Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica
2014

Pedro Daniel Almeida Rios

Conceção, Desenvolvimento e Projeto de uma Bicicleta Multímodo

Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica
2014

Pedro Daniel Almeida Rios

Conceção, Desenvolvimento e Projeto de uma Bicicleta Multímodo

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de António Manuel Godinho Completo.

O júri / The jury

Presidente / President	**Prof. Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho** Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro
Vogais / Committee	**Prof. Doutor António Manuel Godinho Completo** Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)
	Prof. Doutor José Luís Soares Esteves Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Agradecimentos / Acknowledgements

Quero aqui deixar o meu profundo agradecimento a todas as pessoas que contribuíram para que a realização deste trabalho fosse possível. Nomeadamente, deixo o meu agradecimento ao Professor Doutor António Manuel Godinho Completo por todo o trabalho de orientação prestado e motivação, durante o período de execução do projeto.

Deixo também uma palavra de agradecimento aos meus colegas, professores e familiares que me acompanharam no decorrer do meu percurso académico.

Um agradecimento especial à Patrícia e aos meus pais por tudo ...

Aos elementos do júri pela disponibilidade.

Palavras-chave

Desenvolvimento de produto; bicicleta de utilização dinâmica e *indoor*; carregamento de dispositivos eletrónicos; transmissão por veio mecânico; projeto mecânico; condicionamento físico.

Resumo

O tema de dissertação no âmbito de uma bicicleta multímodo teve como objetivo o desenvolvimento de um conceito de bicicleta com um conjunto de características diferenciadoras, a nível de funcionalidade, em relação a uma bicicleta convencional. Do conjunto de funcionalidades inicialmente considerado, a capacidade de utilização da bicicleta numa vertente dinâmica e *indoor*, a integração e o carregamento de dispositivos eletrónicos constituem as principais funcionalidades do produto desenvolvido. Após uma análise de *benchmarking* a um conjunto de bicicletas desportivas e *indoor*, foram identificados e, posteriormente, desenvolvidos sistemas, como por exemplo a transmissão por veio mecânico, que visam dar resposta às principais funcionalidades da bicicleta. Nesta etapa, foram considerados um conjunto de aspetos antropométricos, ergonómicos e biomecânicos.

Tendo em conta o enquadramento do presente trabalho, todo o processo de conceção e de projeto seguiu uma metodologia de um processo de engenharia do produto, tendo sido utilizadas um conjunto de ferramentas típicas com vista a sistematizar e hierarquizar a informação necessária ao desenvolvimento da bicicleta. Destacam-se a identificação dos requisitos do produto e a sua relação com os requisitos do cliente através da matriz QFD; a geração e seleção de conceitos para os sistemas da bicicleta; o desenvolvimento de um logótipo representativo do produto desenvolvido; uma análise de custos e, no âmbito de *design* robusto, a realização de uma análise de modos de falha e efeito (FMEA), sobre a perspetiva do utilizador. Ao nível de projeto mecânico procedeu-se à modelação geométrica da bicicleta através de um *software* CAD, tendo sido verificado o dimensionamento das suas principais estruturas através do método dos elementos finitos e pelo cálculo analítico. Nesta fase do projeto, foram considerados os principais requisitos normativos de desempenho e segurança para bicicletas passíveis de serem utilizadas na via pública. Por fim, foram elaborados os desenhos de montagem e de conjunto dos sistemas da bicicleta, assim como os desenhos de definição dos principais componentes da bicicleta.

O resultado final é uma bicicleta para utilização em atividades de lazer do dia a dia, assim como no processo de recondicionamento/manutenção física, que pode ser desenvolvido *indoor* ou *outdoor* sem a necessidade de componentes adicionais e que integra a capacidade de aproveitamento da energia motora do utilizador, para a geração de energia a ser utilizada no carregamento de pequenos dispositivos eletrónicos pessoais.

Keywords

Product development; Dynamics and indoor bicycle; charging of electronic devices; shaft drive transmission; mechanical design; fitness.

Abstract

The dissertation topic within a multimode bicycle aimed to develop a concept bicycle with a set of differentiating characteristics, the level of functionality compared to a conventional bicycle. The set of features initially considered, the ability to use the bicycle on dynamic aspect and indoor way, and the integration and charging of electronic devices are the main features of the product developed. After an analysis of benchmarking a set of sports and indoor bicycles, were identified and further developed systems, such as the shaft drive transmission, aimed at addressing the main features of the bicycle. In this step, was considered a set of anthropometric, ergonomic and biomechanical aspects.

Regardin the framework of the present work, the whole process of design and project followed a methodology of a process of product engineering, having being used a set of standard tools to help organize and prioritize the information necessary for the developmentof the bicycle. Stand out: the identification of product requirements and their relationship with customer requirements through the QFD, the generation and selection of concepts for bicycle systems, the development of a representative logo developed product matrix, an analysis of costs and, under robust design, conducting an analysis of failure modes and effect (FMEA), on the perspective of the user. In terms of mechanical design proceeded to geometric modeling bicycle through a software CAD, the scaling of its main structures by the finite element method and the analytical calculation were verified. At this stage of the project, were considered the main regulatory requirements for performance and safety for bicycles that can be used on public roads. Finally, the assembly drawings and assembly bicycle systems, as well as the definition drawings of the main bicycle components were developed.

The end result is a bicycle for leisure use in day-to-day, as well as reconditioning process/fitness, that can be developed indoor or outdoor without the need for additional components and which includes the ability to use the motive power user for generating energy to be used in charging small personal electronic devices.

Conteúdo

1 Introdução **1**

1.1 Motivação 1

1.2 Objetivos 1

1.3 Estrutura 2

2 A Mobilidade Individual **5**

2.1 Problemática da Mobilidade Individual 5

2.1.1 Saúde Pública 6

2.1.2 Impactes Ambientais 7

2.1.3 Impactes Económicos 8

2.2 A Bicicleta e a Mobilidade Urbana Sustentável 9

2.3 A Bicicleta e a Saúde Individual 12

2.4 Mercado das Bicicletas 14

2.5 Normas e Legislação 16

2.6 *Benchmarking* 17

2.6.1 Bicicletas Órbita 17

2.6.2 Bicicleta Smart 19

2.6.3 Bicicletas BMW 20

2.6.4 Bicicletas Specialized 21

2.6.5 Bicicletas *Indoor* 22

2.6.6 Modelos Conceptuais 25

2.6.7 Análise Comparativa 26

3 Ergonomia, Antropometria e Biomecânica do Ciclismo **31**

3.1 Biomecânica do Ciclismo 31

3.1.1 Análise Cinemática 32

3.1.2 Análise Cinética 34

3.1.3 Ativação Muscular 39

3.2 Ergonomia 41

3.2.1 Parâmetros de Conforto 41

3.2.2 Posturas de Condução 46

3.3 Antropometria 50

3.3.1 Dados Antropométricos Estáticos 50

3.3.2 Dados Antropométricos Dinâmicos 53

4 Processo de Desenvolvimento da Bicicleta **55**
4.1 Identificação das Necessidades dos Utilizadores 55
4.2 Organização dos Dados 61
4.3 Hierarquização dos Requisitos 62
4.4 Estabelecimento dos Requisitos do Produto 67
4.5 Casa da Qualidade - QFD 68
4.6 Geração e Seleção de Conceitos 78
4.6.1 Decomposição de Funções 78
4.6.2 Clarificação dos Objetivos de Utilização 79
4.6.3 Classificação de Conceitos 80
4.6.4 Patentes 81
4.6.5 Seleção 83
4.7 Logótipo 102
4.8 Solução Final 102
4.8.1 Utilização *Indoor* 105
4.8.2 Integração e Carregamento dos Dispositivos Eletrónicos 109
4.8.3 Transmissão 110
4.8.4 Ergonomia 112
4.8.5 Protótipos Virtuais 117
4.8.6 Especificações Finais 118
4.9 Análise de Custos 119
4.9.1 Componentes Estandardizados 119
4.9.2 Componentes para Fabrico 120
4.9.3 Custos de Montagem 121
4.9.4 Custo Total 122
4.9.5 Estimativa da Quantidade de Vendas 123
4.10 *Design* Robusto 125
4.10.1 Análise de Modo de Falha e Efeito 125

5 Projeto Mecânico **127**
5.1 Dimensionamento da Transmissão 127
5.1.1 Engrenagens 127
5.1.2 Veios 133
5.1.3 Rolamentos 141
5.1.4 Ligações por Chaveta 144
5.2 Cálculo das Molas do Guiador 145
5.3 Análise Estrutural dos Principais Componentes da Bicicleta 149
5.3.1 Comportamento Estrutural do Quadro 149
5.3.2 Dimensionamento do Suporte Multifunções 157
5.4 Desenho Técnico 163

6 Conclusões Finais e Ações Futuras **165**
6.1 Conclusões 165
6.2 Ações Futuras 166

Bibliografia **169**

A Legislação **175**
A.1 Norma Europeia EN 14764 175
A.2 Portaria nº.311-B/2005 de 24 de Março 181

B Resultados Obtidos nos Questionários Realizados **183**
B.1 Primeiro Questionário 183
B.2 Segundo Questionário 185

C Logótipo - Versões Alternativas **187**

D Matriz QFD **189**

E Desenhos de Conjunto **193**

F Desenhos de Montagem **205**

G Desenhos de Definição **217**

Lista de Tabelas

2.1 Impactes de cada poluente na saúde 6
2.2 Impactes ambientais provocados pelo setor dos transportes 7
2.3 Gasto calórico da atividade de pedalar 13
2.4 Produção de bicicletas (UE-27) em 2011 14
2.5 Evolução do número de bicicletas vendidas (UE-27) 14
2.6 Número de bicicletas vendidas ao público, referente ao ano de 2011 15
2.7 Normas europeias aplicadas no setor das bicicletas 16
2.8 Marcas analisadas no *benchmarking* 17
2.9 Análise comparativa - bicicletas *indoor* 26
2.10 Análise comparativa - modelos de bicicletas Specialized e Smart 27
2.11 Dimensões dos quadros Specialized 28
2.12 Dimensões dos quadro BMW 28
2.13 Análise comparativa - modelos de bicicletas Órbita e BMW 29

3.1 Pesos dos ciclistas e condições de teste 36
3.2 Valores máximos e mínimos do deslocamento angular da articulação do joelho e tornozelo 39
3.3 Atividade muscular durante as fases do ciclo da pedalada 40
3.4 Padrões médios de atividade muscular durante as fases da pedalada para os principais grupos musculares 40
3.5 Comprimento da pedaleira 44
3.6 Dimensões antropométricas do homem e da mulher portugueses 52
3.7 Estimativa do valor do entrepernas em função da altura 53

4.1 Respostas obtidas para a primeira e segunda questão do segundo inquérito 59
4.2 Distribuição da amostra por escalão etário e de género 59
4.3 Sumário das respostas à quarta questão do segundo inquérito 60
4.4 Preços que os utilizadores poderão despender por uma bicicleta 60
4.5 Interpretação das necessidades dos utilizadores 61
4.6 Requisitos e respetiva designação 62
4.7 Grau de importância dos requisitos 65
4.8 Definição das especificações técnicas da bicicleta 67
4.9 Determinação das dimensões do quadro da bicicleta 72
4.10 Tamanhos dos quadros 72
4.11 Determinação da altura do selim 72
4.12 Valores alvo dos requisitos do produto 75
4.13 Tabela de classificação de conceitos 80

4.14 Vantagens e desvantagens dos sistemas de direção 83
4.15 Matriz de decisão para a seleção do sistema de direção 83
4.16 Vantagens e desvantagens dos sistemas de tração 84
4.17 Matriz de seleção para o sistema de tração 84
4.18 Vantagens e desvantagens dos sistemas mecânicos de transmissão de potência 85
4.19 Matriz de seleção para o sistema mecânico de transmissão de potência . . 86
4.20 Matriz de seleção para a caixa de transmissão 87
4.21 Vantagens e desvantagens dos sistemas de travagem 88
4.22 Matriz de seleção - Sistema de travagem 89
4.23 Matriz de seleção para o transporte de objetos. 90
4.24 Matriz de seleção para o sistema de amortecimento 91
4.25 Matriz de seleção para o suporte de estabilidade 93
4.26 Matriz de seleção para o sistema de regulação de esforço físico 95
4.27 Matriz de seleção para o sistema de geração de energia 97
4.28 Matriz de seleção para o sistema de integração dos dispositivos eletrónicos 98
4.29 Matriz de seleção para a geometria do quadro 99
4.30 Matriz de seleção para a geometria do guiador 100
4.31 Especificações finais da bicicleta 118
4.32 Componentes estandardizados 119
4.33 Preço de produção de alguns dos componentes da bicicleta 120
4.34 Estimativa dos tempos de montagem 121
4.35 Custo total de produção 122
4.36 Análise de modo de falhas 126

5.1 Valores de K_A de acordo com o tipo de choque de engrenamento a dimensionar 129
5.2 Valores de m e N_r em função do tipo de engrenagem escolhido 129
5.3 Valores de C_3 130
5.4 Valores de tensão de ruína à fadiga superficial 131
5.5 Cálculo do número de dentes, módulo e diâmetro das engrenagens 131
5.6 Coeficientes c_i para o cálculo de C_3 132
5.7 Coeficientes e_0 e e_1 para o cálculo C_3 132
5.8 Fatores de cálculo de K_f 136
5.9 Valores das variáveis para o cálculo de k_{as} 138
5.10 Coeficiente de segurança parcial para o dimensionamento à fadiga 138
5.11 Fatores de dimensionamento à cedência e à fadiga do veio da transmissão 141
5.12 Fatores radial e axial dos rolamentos fixos de esferas 143
5.13 Dimensões normalizadas das chavetas paralelas 144
5.14 Propriedades dos aços de molas mais utilizados 147
5.15 Parâmetros de dimensionamento da mola à compressão 147
5.16 Valores de primeira escolha do diâmetro da espira d (mm) 147
5.17 Propriedades mecânicas do alumínio 6061-T6 152
5.18 Propriedades da malha utilizada na averiguação estrutural do quadro da bicicleta 152
5.19 Peso dos utilizadores considerados na determinação da largura do suporte 158
5.20 Propriedades da malha utilizada na averiguação estrutural do suporte multifunções 160

5.21 Codificação atribuída aos desenhos elaborados 163

A.1 Principais requisitos da norma EN 14764 175
A.2 Requisitos de travagem EN-14764 179
A.3 Caraterísticas das luzes de presença 181

B.1 Resumo de respostas obtidas no primeiro questionário, referentes à primeira questão 183
B.2 Resumo de respostas obtidas no primeiro questionário, referentes à segunda questão 183
B.3 Quadro das respostas obtidas no segundo questionário. 186

Lista de Figuras

2.1 Contribuição do setor dos transportes para as emissões totais de GEE em 2009 . . . 7
2.2 Consumo final de energia por setor(UE-27) . . . 8
2.3 Modelos de bicicletas atuais . . . 9
2.4 Sistemas de aluguer de bicicletas . . . 10
2.5 Medidas de mobilidade urbana sustentável . . . 11
2.6 Modelos de bicicletas Órbita . . . 18
2.7 Smart *ebike* . . . 19
2.8 Modelos de bicicletas BMW . . . 20
2.9 Modelos de bicicletas Specialized . . . 21
2.10 Exemplo de utilização de uma bicicleta *indoor* . . . 22
2.11 Esquema representativo dos principais componentes de um bicicleta *indoor* 23
2.12 Modelos de bicicletas *indoor* . . . 24
2.13 Modelos de bicicletas conceptuais . . . 25
2.14 Principais dimensões da bicicleta smart . . . 26

3.1 Planos triortogonais com base na posição anatómica de referência . . . 32
3.2 A atividade do ciclismo decorre essencialmente no plano sagital . . . 33
3.3 Divisão do ciclo da pedalada em graus . . . 34
3.4 Representação das forças exercidas nos pedais . . . 35
3.5 Eixos dos pedais utilizados por *Stone* e *Hull* . . . 36
3.6 Padrões médios das forças exercidas nos pedais em função do ângulo da pedaleira (θ_c). . . . 37
3.7 Amplitudes de movimentos . . . 38
3.8 Representação dos principais músculos dos membros inferiores solicitados durante a atividade de pedalar . . . 39
3.9 Parâmetros de conforto decorrentes da utilização da bicicleta . . . 41
3.10 Variáveis antropométricas, necessárias no dimensionamento de uma bicicleta 42
3.11 Medidas fixas do quadro . . . 43
3.12 Dimensões para o cálculo da altura do selim . . . 44
3.13 Comprimento do guiador . . . 45
3.14 Representação esquemática do ângulo de inclinação do tubo do selim . . . 45
3.15 Posições de condução . . . 46
3.16 Curvatura em "duplo S"da coluna vertebral . . . 47
3.17 Posição de condução clássica . . . 47
3.18 Ângulos de conforto biomecânicos recomendados para bicicletas de lazer e transporte . . . 48

3.19 Posição de condução desportiva e de turismo 49
3.20 Postura de condução de competição 49
3.21 Dimensões antropométricas 51
3.22 Comprimento dos segmentos corporais, em percentagem da altura do corpo 52
3.23 Valores médios de rotações voluntárias do corpo 53

4.1 Esboço do primeiro inquérito realizado 56
4.2 Resumo das respostas do primeiro questionário 57
4.3 Esboço do segundo inquérito desenvolvido 58
4.4 Diagrama de Mudge 63
4.5 Priorização inicial dos requisitos do cliente 64
4.6 Diagrama de Kano 66
4.7 Matriz de relações entre os requisitos de cliente e do produto 68
4.8 Análise competitiva e argumentos de venda 69
4.9 Matriz de correlações entre os requisitos do projeto 70
4.10 Análise da concorrência dos requisitos do projeto 71
4.11 Dimensões dos dispositivos eletrónicos 74
4.12 Priorização revista dos requisitos do cliente 76
4.13 Priorização dos requisitos do produto 76
4.14 Diagrama de funções do novo conceito de bicicleta 78
4.15 Suporte de treino físico adaptável a um bicicleta convencional (*Bicycle Trainer*) 81
4.16 Dispositivo de regulação do esforço físico (*Bicycle Mounted Exercise and Training Device*) 82
4.17 Dispositivo de resistência magnética 82
4.18 Sistemas de travagem 88
4.19 Conceitos de transporte de objetos 90
4.20 Sistemas de amortecimento 91
4.21 Utilização *indoor* - suporte de estabilidade 92
4.22 Suporte de estabilidade dobrável 93
4.23 Sistema de regulação de esforço físico adaptado a um disco mecânico (conceito 1) 94
4.24 Sistema independente de regulação de esforço físico acoplado no quadro (conceito 2) 95
4.25 Sistemas de geração de energia 96
4.26 Integração dos dispositivos eletrónicos 97
4.27 Geometrias consideradas para o quadro da bicicleta 98
4.28 Soluções consideradas para o guiador da bicicleta 99
4.29 Logótipo associado ao produto desenvolvido 102
4.30 Bicicleta FHUE - suporte multifunções e transmissão por veio mecânico . 103
4.31 Bicicleta FHUE - guiador e suporte de fixação do telemóvel 104
4.32 Suporte multifunções proporcionando uma utilização *indoor* da bicicleta . 105
4.33 Sistema de bloqueio do suporte no cubo da roda traseira 106
4.34 Pormenor das guias e do sistema de bloqueio no tubo do selim 107
4.35 Sistema de regulação do esforço físico 108
4.36 Suporte de fixação e carregamento do telemóvel 109
4.37 Sistema de transmissão por veio mecânico 110

4.38 Vista em corte da zona da pedaleira da sistema de transmissão 111
4.39 Forqueta com amortecimento e suporte para garrafa de água 112
4.40 Sistema de ajuste em altura e comprimento do selim 113
4.41 Localização dos LEDs de sinalização da bicicleta 114
4.42 Sistema de travagem por disco mecânico. 114
4.43 Postura de condução - posição a 90° dos braços em relação ao tronco . . . 115
4.44 Solução construtiva do guiador da bicicleta 116
4.45 Avanço do guiador regulável 116
4.46 Bicicleta FHUE - protótipos virtuais 117
4.47 Determinação da percentagem de inquiridos que provável (90%) e definitivamente (20%) compravam a bicicleta 124

5.1 Disposição das engrenagens da transmissão. 128
5.2 Esquema representativo das forças de engrenamento no veio da pedaleira . 133
5.3 Esquema representativo das forças aplicadas e dos momentos fletores (Nm) no veio da pedaleira (plano xz) 134
5.4 Esquema representativo das forças aplicadas e dos momentos fletores (Nm) no veio da pedaleira (plano xy) 135
5.5 Tensões de cedência e de rotura em MPa de alguns aços de veios 136
5.6 Fator K_t para um veio com concordância à flexão 137
5.7 Casos de alteração de geometria que implicam concentrações de tensões . 137
5.8 Esquema representativo das forças de engrenamento sobre o veio da transmissão 139
5.9 Esquema representativo das forças aplicadas e dos momentos fletores (Nm) no veio da transmissão (plano xz) 140
5.10 Esquema representativo das forças aplicadas e dos momentos fletores (Nm) no veio da transmissão (plano xy) 140
5.11 Rolamento rígido de esferas (6004-2RSH) 142
5.12 Concordâncias admissíveis e diâmetros máximos recomendados para o alojamento de rolamentos rígidos de esferas 143
5.13 Exemplo de uma ligação por chaveta 144
5.14 Mola sujeita a esforços de compressão presente na dobradiça do guiador . 145
5.15 Mola helicoidal sujeita a uma carga axial 146
5.16 Mola do guiador sujeita a esforços de tração 148
5.17 Solicitação vertical - dimensões em milímetros 150
5.18 Solicitação horizontal - dimensões em milímetros 151
5.19 Condições de fronteira e malha de elementos finitos 153
5.20 Gradiente de tensões de Von Mises (solicitação horizontal) 154
5.21 Gradiente de deslocamentos (solicitação horizontal) 155
5.22 Gradiente de tensões de Von Mises (solicitação vertical) 156
5.23 Esquema representativo do diagrama de forças no suporte 157
5.24 Cálculo da largura mínima do suporte multifunções 159
5.25 Condições de fronteira e malha de elementos finitos do suporte multifunções 161
5.26 Perfil de tensões de Von Mises no suporte multifunções 162
5.27 Perfil das deformações principais no suporte multifunções 162

6.1 Proposta de trabalho a desenvolver no futuro 167

A.1 Saliências expostas EN-14764 179
A.2 Manete do travão EN-14764 179
A.3 Ângulo da direção EN-14764 180
A.4 Espaço livre admissível entre o pedal e o pneu EN-14764 180

B.1 *Layout* do primeiro questionário realizado 184
B.2 *Layout* do segundo questionário realizado 185

C.1 Versões alternativas do logótipo criado. 187

Lista de Siglas, Acrónimos e Abreviaturas

QFD *Quality Function Development*

CAD *Computer Aided Design*

FMEA *Failure Mode and Effects Analysis*

MEF Métodos dos Elementos Finitos

INE Instituto Nacional de Estatística

GEE Gases de Efeito de Estufa

UE-27 União Europeia a 27 Estados

AEA Agência Europeia do Ambiente

OMS Organização Mundial de Saúde

ZER Zona de Emissões Reduzidas

BTT Bicicleta Todo o Terreno

DFM *Design for Manufacturing*

LED *Light Emitting Diode*

USB *Universial Serial Bus*

GPS *Global Positioning System*

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

O setor dos transportes em geral e o setor rodoviário em particular constituem as principais fontes para o aquecimento global, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis, mas também em virtude de todo o impacto ambiental inerente à fabricação destes meios. Assim, é de todo o interesse encontrar formas de mobilidade alternativas que possam não substituir toda a função do automóvel, mas uma substituição parcial das suas funções de mobilidade.

Neste contexto, a bicicleta tem sido utilizada como meio de mobilidade individual que pode substituir o automóvel, essencialmente em zonas urbanas e rurais. Na última década, por questões de preocupação com o bem-estar e a saúde, a bicicleta, quer em ginásio, quer em circuito tem sido um dos meios de exercício físico mais frequentemente utilizados. Na área do lazer, cada vez mais a bicicleta é procurada como meio lúdico de passeio, em especial em meio urbano. É percetível que a bicicleta assuma cada vez mais importância, quer na área da mobilidade individual, da saúde e do bem-estar, tal como na área do lazer e mesmo no desporto.

Tendo em conta as diversas aplicações da bicicleta em diferentes atividades, é de todo o interesse o desenvolvimento de um conceito de bicicleta que a partir de uma mesma plataforma possa ser adaptada ou configurada às diferentes utilizações, permitindo deste modo a sua aplicação a diferenciadas atividades sem descorar a portabilidade, característica deste meio de transporte.

1.2 Objetivos

O objetivo do trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação visou o desenvolvimento, a conceção e o projeto detalhado de uma bicicleta multímodo, cuja principal característica é a versatilidade de comutação entre uma utilização dinâmica (convencional) e estática (*indoor*).

O conceito de bicicleta desenvolvido procurou satisfazer o aspeto da mobilidade individual numa perspetiva de lazer, recreativa, de reabilitação física e, sobretudo, de condicionamento físico. Além da possibilidade de utilização numa vertente dinâmica e

indoor, o conceito de bicicleta desenvolvido foi concebido de modo a possibilitar a integração e o carregamento de pequenos dispositivos eletrónicos durante a sua utilização, tornando o produto mais atrativo para um conjunto diversificado de utilizadores.

Numa fase inicial do projeto foi delineado que a propulsão da bicicleta iria ser exclusivamente manual. Deste modo, e com base numa análise de *benchmarking* a uma gama de produtos semelhantes, ao nível da funcionalidade do produto a desenvolver, foram identificados módulos necessários a incorporar no produto base que permitiram, posteriormente, dar resposta aos objetivos de utilização estabelecidos inicialmente.

A partir deste ponto procedeu-se à aplicação de um referencial de projeto e de engenharia do produto. Este referencial traduziu-se num conjunto de etapas que vão desde a interação e identificação das necessidades dos utilizadores, através da criação de questionários *online*, passando pela seleção de valores alvo das especificações técnicas da bicicleta e da sua relação através da casa da qualidade (QFD).

Na fase seguinte, considerou-se um conjunto de soluções para as diferentes funções da bicicleta, sendo selecionadas as mais adequadas. Posteriormente, definiu-se o *design* da bicicleta, a modelação e o projeto mecânico na perspetiva de desenho para fabricação (DFM). Esta etapa incluiu a elaboração de um *dossier* técnico com os respetivos desenhos de definição, de montagem e de conjunto associados com a respetiva lista de componentes.

1.3 Estrutura

Esta dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos distintos.

No capítulo 1 (presente), é feita uma introdução de todo o trabalho desenvolvido servindo como guia do mesmo.

No capítulo 2, referem-se dados qualitativos e quantitativos relativamente aos efeitos que o setor dos transportes provoca na saúde pública, no ambiente e na economia. É realçado o papel da bicicleta na sociedade como alternativa de mobilidade sustentável e o seus benefícios na saúde pública e individual. Posteriormente, são mencionados alguns dados acerca da indústria de bicicletas. Numa fase seguinte, realizou-se uma análise de *benchmarking* a uma gama de produtos e a sua caracterização em termos de *design*, peso, materiais, processo de fabrico, entre outras características. Neste capítulo são referidas as principais normas europeias e a legislação nacional em vigor aplicadas no setor das bicicletas.

No capítulo 3, realizou-se uma análise biomecânica associada à prática do ciclismo com especial enfoque dos membros inferiores e ao nível da postura corporal. São mencionadas e avaliadas as capacidades de forças e amplitudes de movimentos que podem ser desenvolvidos pelos membros inferiores. Em seguida, referem-se aspetos ergonómicos e antropométricos e o modo como estes influenciam o correto desenvolvimento da bicicleta.

No capítulo 4, procedeu-se à aplicação de todo o processo de conceção e projeto de engenharia de produto, correspondendo este capítulo ao trabalho principal desta dissertação. É realizada uma identificação, interpretação, hierarquização e avaliação das necessidades de "potenciais" clientes, tendo com base a criação e divulgação de dois questionários *online*. Seguidamente são definidas as especificações técnicas que foram combinadas com os requisitos do cliente na matriz da qualidade (QFD). Neste capítulo foram desenvolvidos um conjunto de soluções técnicas para as diferentes funções da bicicleta, sendo posteriormente avaliadas através de critérios de seleção.

Numa fase seguinte, definiu-se todo o *design* da bicicleta, correspondendo esta fase à modelação geométrica e apresentação de um logótipo representativo do projeto. Posteriormente, foram criados um conjunto de protótipos virtuais e, no âmbito de *design* robusto, foi realizada uma análise de modos de falha (FMEA) sobre a perspetiva do utilizador.

No capítulo 5, elaborou-se todo o trabalho de projeto de detalhe da bicicleta com os desenhos de conjunto, montagem e definição, assim como o dimensionamento estrutural das principais estruturas da bicicleta, com recurso a *software* de elementos finitos e através de cálculo analítico. Verificou-se o dimensionamento do quadro, dos elementos constituintes da transmissão (engrenagens, rolamentos, veios e ligações mecânicas), das molas presentes no guiador e dimensionamento e a largura mínima do suporte multifunções.

No capítulo 6, estabelecem-se as principais conclusões do trabalho realizado, sugerindo - se trabalhos complementares a desenvolver no futuro.

Capítulo 2

A Mobilidade Individual

Neste capítulo são referidos dados estatísticos qualitativos e quantitativos acerca dos impactes ambientais, económicos e na saúde pública decorrentes do uso excessivo dos recursos energéticos, provenientes do setor dos transportes. É apresentada a bicicleta como forma de mobilidade sustentável, assim como são mencionados os benefícios decorrentes da sua utilização na saúde pública e em termos individuais. Posteriormente, são referidos alguns dados acerca da indústria das bicicletas, com especial referência à indústria nacional. Numa fase seguinte, é realizada uma análise de *benchmarking* a uma gama de produtos que se enquadram no mesmo segmento do produto proposto a desenvolver, sendo comparados em termos *design*, peso, materiais, componentes, processo de fabrico, entre outras características.

Por fim, são referidas as principais normas europeias e legislação nacional em vigor no setor das bicicletas. O objetivo deste capítulo é realçar o papel da bicicleta como forma de mobilidade sustentável, servindo como ponto de partida e justificação do presente trabalho.

2.1 Problemática da Mobilidade Individual

O setor dos transportes, como setor primário do desenvolvimento, tem um papel fundamental na sociedade e na vida dos cidadãos. Este setor deve respeitar os princípios do desenvolvimento sustentável, ou seja, deve satisfazer as necessidades de mobilidade, promovendo a qualidade de vida numa perspetiva integrada que engloba preocupações ambientais, sociais e económicas.

Nas sociedades modernas atuais, o automóvel representa um bem adquirido e imprescindível, no sentido da independência que proporciona às pessoas em termos de mobilidade individual, segurança, ou até mesmo como sinónimo de estatuto social. Por outro lado, é percetível que o automóvel altere os padrões de desenvolvimento do território, contribuindo para um aumento dos níveis de poluição como consequência do uso excessivo e desregulado dos combustíveis fósseis.

Face ao panorama atual das sociedades, a mobilidade urbana tem sido cada vez mais discutida a nível ambiental, económico e na saúde pública. Alguns aspetos estatísticos relacionados com esta problemática serão seguidamente mencionados a nível quantitativo e qualitativo.

2.1.1 Saúde Pública

Atualmente existem cerca de 850 milhões de veículos rodoviários em todo o mundo, estimando-se que no ano de 2050 existam mais de 2 mil milhões de veículos [1]. Em Portugal, segundo os dados estatísticos do Instituto Nacional de Estatística (INE), a estimativa de veículos rodoviários presumivelmente em circulação, em 31 de dezembro de 2011, ascendia a 6 milhões de veículos (6.181.188) dos quais 98% eram veículos ligeiros [2].

O elevado número de automóveis em circulação, muito característico dos grandes centros urbanos, aeroportos e portos marinhos, constitui uma das principais causas de poluição atmosférica, sonora e de *stress* ambiental urbano.

Na Tabela 2.1 encontram-se os principais poluentes emitidos pelos motores de combustão e os seus potenciais riscos para a saúde.

Tabela 2.1: Impactes de cada poluente na saúde. *Adaptado de* [3].

Poluente:	**Efeitos na Saúde**:	**Comentários**:
CO (monóxido de carbono)	Redução da capacidade do transporte de oxigénio no sangue aos tecidos.	Extremamente perigoso para uma curta exposição a altas doses; o CO afeta a perceção e raciocínio, inibe os reflexos, causa sonolência e perda dos sentidos, podendo causar morte.
NO_x (óxidos de azoto)	Aumento da suscetibilidade a infeções respiratórias; aumento das vias aéreas em pacientes asmáticos; diminuição da função pulmonar.	Especialmente perigoso para uma exposição contínua a longo prazo, causando doenças crónicas relacionadas com as funções respiratórias e pulmonares.
HC (hidrocarbonetos)	Efeitos tóxicos e cancerígenos; irritação nos olhos, nariz e membranas mucosas, tosse, náuseas e falta de ar.	Perigoso e problemático para uma exposição a longo prazo, causando doenças crónicas no sistema nervoso, hematológico, imunológico e respiratório.
Pb (chumbo)	Pressão arterial elevada; perda de memória, diminuição dos reflexos e do tempo de reação.	Constitui um risco significativo para crianças com menos de 6 anos de idade e a mulheres adultas em idade reprodutiva, causando efeitos agudos.
Partículas	Doenças cardiovasculares, respiratórias e pulmonares.	Efeitos causados por uma curta exposição, são reversíveis; exposição a longo prazo aumenta o risco de morte causado por infeções respiratórias e cardiorrespiratórias.
SO_2 (dióxido de enxofre)	Consequências ao nível do trato respiratório, causando uma redução da função pulmonar.	Uma exposição prolongada provoca doenças respiratórias, aumentando o risco de mortalidade e morbilidade.

2.1.2 Impactes Ambientais

O setor dos transportes, em particular o setor rodoviário, constitui uma das principais fontes de emissões de gases poluentes na atualidade, não só devido ao uso de combustíveis fósseis como também aos impactes inerentes na fabricação dos veículos rodoviários.

Segundo os dados publicados pela Agência Europeia do Ambiente (AEA), em 2009, este setor foi responsável por cerca de **24%** do total de emissões de gases poluentes (GEE) na União Europeia (sub 32) [4]. Sendo o setor rodoviário o principal emissor de gases poluentes, como é possível observar na Figura 2.1.

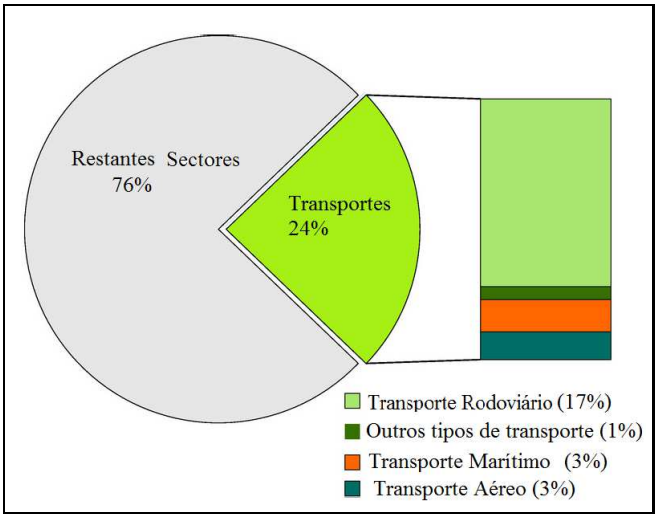


Figura 2.1: Contribuição do setor dos transportes para as emissões totais de GEE em 2009. *Adaptado de*[4].

Embora não seja possível identificar uma relação direta entre os poluentes atmosféricos emitidos e as alterações climatéricas sofridas, o clima é fortemente afetado pela alteração da concentração de determinados gases, modificando o equilíbrio entre a radiação solar proveniente e o fluxo de radiação enviado para o espaço, provocando o denominado: "efeito de estufa"[1].

As consequências ambientais provocadas por este desequilíbrio podem-se manifestar a nível local, regional e global. A Tabela 2.2 refere as principais consequências.

Tabela 2.2: Impactes ambientais provocados pelo setor dos transportes. *Adaptado de* [1] e [5].

Nível	Impacte Ambiental
Local	Poluição atmosférica especialmente em áreas urbanas: CO; HC; NO_x; Partículas; Ruído.
Regional	Chuvas ácidas: NO_x; SO_2 Nevoeiro fotoquímico: HC; NO_X
Global	Efeito de estufa: CO_2; CH_4; N_2O; O_3 Proliferação de doenças; degelo das calotas polares.

2.1.3 Impactes Económicos

No ano de 2010, o setor dos transportes foi responsável por um consumo total de energia de **31.7%** (UE-27), sendo este valor superior à energia consumida pela indústria **(25.3%)**, Figura 2.2.

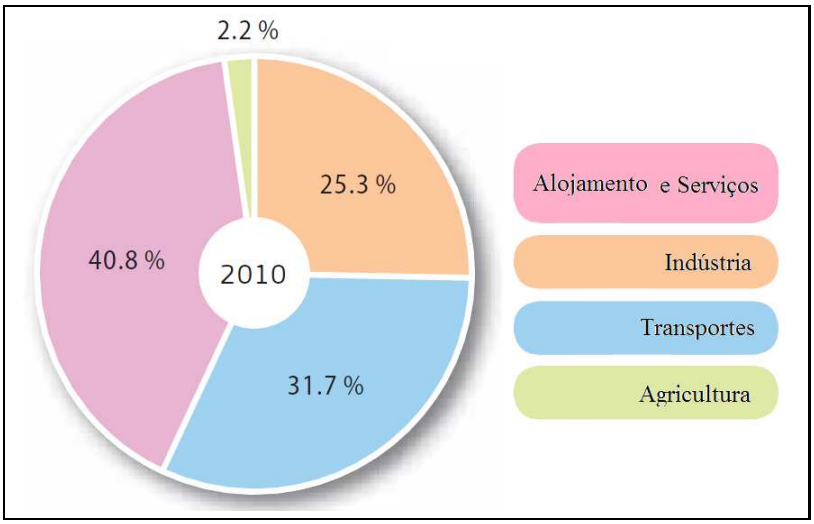


Figura 2.2: Consumo final de energia por setor (UE-27). *Adaptado de* [6].

Em Portugal, o consumo de energia absorvido pelo setor dos transportes representa, nos dias de hoje, quase 40% do consumo total de energia [1].

O elevado consumo energético, absorvido pelo automóvel, traduz-se num gasto económico cada vez mais visível nas sociedades atuais, dado o crescente aumento dos preços dos combustíveis. De facto, a nível nacional, as famílias portuguesas gastam em média 1843 euros por ano em energia, representando cerca de 50,6 % da energia consumida pelo automóvel particular. Assim, o automóvel particular é nos dias de hoje responsável por um gasto energético médio de 1002 euros por ano, face aos 840 euros no alojamento [7].

2.2 A Bicicleta e a Mobilidade Urbana Sustentável

Não existe na bibliografia uma data concreta sobre o surgimento da bicicleta. No entanto, a bicicleta tal como a conhecemos nos dias de hoje surgiu em meados do século XX, representando um dos meios de transporte mais populares e recreativos em todo o mundo [8].

A bicicleta constitui um meio de transporte relativamente barato, de fácil utilização, ecológico e tecnologicamente simples. Este meio de transporte é muito comum em países em desenvolvimento, dado os seus baixos custos de utilização. Por outro lado, é muito frequente em países desenvolvidos onde a topografia urbana convida a uma utilização em pequenas deslocações.

Existe um conjunto variado de estilos e variantes de bicicletas, desde desportivas, utilizadas em provas de alta competição, citadinas e recreativas, utilizadas em meios urbanos e em pequenas deslocações. Por outro lado, é possível verificar uma utilização considerável de bicicletas *indoor* em ginásios e instituições desportivas, representando uma boa forma de manutenção e condicionamento físico.

Tendências Atuais

A tendência atual deste setor, consiste na introdução completa ou parcial de bicicletas elétricas (Figura 2.3(a)). Esta característica convida a uma utilização em percursos de longa distância, assim como em situações onde a inclinação do terreno não é convidativa. Uma outra vantagem é o facto de usufruírem de características das bicicletas tradicionais e dos motociclos, uma vez que, por norma, não necessitam que o condutor possua qualquer tipo de licença de condução.

(a) Bicicleta assistida eletricamente [9]

(b) Bicicleta dobrável elétrica [10]

Figura 2.3: Modelos de bicicletas atuais

As bicicletas dobráveis representam outra das inovações introduzidas no setor. Estas bicicletas, sendo bastante compactas, permitem que sejam transportadas em outros meios de transporte (p.ex. autocarro, comboio e automóvel). Atualmente já existem modelos de bicicletas que combinam os dois tipos de inovações (Figura 2.3(b)).

Sendo um meio de transporte ecológico, compacto e silencioso, a bicicleta é cada vez mais utilizada como meio de lazer, desporto e, sobretudo, numa vertente de **mobilidade urbana**. Nos dias de hoje, existem sistemas de aluguer de bicicletas disponíveis em algumas cidades europeias. Alguns exemplos destes sistemas, a nível nacional são as Bicicletas de Utilização Gratuita de Aveiro - Buga (Figura 2.5(a)) e as bicicletas de uso público incluídas no Plano Estratégico de Transporte de Beja - Petra (Figura 2.5 (b)).

(a) Buga - *cidade de Aveiro*

(b) Petra - *cidade de Beja* [11]

Figura 2.4: Sistemas de aluguer de bicicletas

Estes sistemas de aluguer de bicicletas têm como objetivo representar uma escolha sensata em pequenas deslocações, contribuindo para uma diminuição dos impactes do automóvel e uma diminuição dos congestionamentos urbanos, dado que as bicicletas ocupam um espaço significativamente menor que os automóveis.

Uma outra medida de mobilidade urbana sustentável, adotada em algumas cidades europeias, consiste na criação de zonas de emissões reduzidas (ZER), em que a circulação dos veículos mais antigos/mais poluentes é restringida (Figura 2.5(a)). Paralelamente,

existe em determinados centros urbanos locais onde a circulação de veículo, seja de qualquer tipo, é permitida, mas taxada (Figura 2.5(b)). A restrição e a regulação da circulação dos automóveis em centros urbanos, para além de contribuir para uma redução dos impactes do automóvel, constitui um incentivo à utilização de meios suaves, como é o caso da bicicleta.

(a) Lisboa - Avenida da Liberdade

(b) Londres

Figura 2.5: Medidas de mobilidade urbana sustentável: (a) Zona de Emissões Reduzidas (ZER) [12]; (b) *Congestion Charging* [13]

2.3 A Bicicleta e a Saúde Individual

A bicicleta é um veículo que proporciona grandes benefícios na saúde individual em termos físico e mental. Dada a importância deste tema, a Organização Mundial de Saúde (OMS) assegura que o bem-estar da população é um dos fatores chave que recruta muitas pessoas a optarem por andar de bicicleta nas suas atividades de lazer e na mobilidade diária.

Dado o elevado potencial da utilização regular da bicicleta, esta pode contribuir de forma positiva a uma progresso ou a um tratamento na saúde em diversos níveis, tais como [14]:

- Controlo de peso.
- Maior flexibilidade e força muscular.
- Redução da ansiedade e depressão.
- Fortalecimento da massa óssea.
- Aumento da coordenação motora e postura corporal;
- Prevenção e recuperação de doenças.
- Prevenção de doenças cardiovasculares, de forma a estimular e a melhorar o coração, os pulmões e a circulação nos vasos sanguíneos.
- Prevenção de diabetes, uma vez que as pessoas com estilo de vida sedentário têm maior probabilidade de contrair este tipo de doença.
- Diminuição dos níveis de gordura corporal.
- Melhorias significativas de qualidade de vida.

Para além de constituir uma boa forma de condicionamento e manutenção física, a bicicleta em determinadas circunstâncias é utilizada como forma de reabilitação e terapia física. Alguns estudos [15] demonstram que a utilização da bicicleta numa vertente *indoor* constitui uma forma de prevenção de doenças crónicas, conduzindo em curto prazo a um aumento da velocidade da marcha, da resistência física, da força muscular e simetria da passada.

Pedalar é uma atividade física que é praticada por pessoas com diferentes biótipos e características fisiológicas distintas. Deste modo, é oportuno conhecer o gasto energético associado a esta atividade. A **taxa metabólica** representa o número de calorias gastas numa determinada atividade por massa corporal e por minuto, medida em unidades de **met** (medida da intensidade de exercício aeróbico). Por sua vez, um **met** representa a energia gasta por uma pessoa sentada (em repouso), sendo igual a $0,00175[kcal] \times [kg^{-}1] \times [min^{-1}]$. O gasto energético das diversas atividade físicas pode ser expresso como múltiplos da taxa metabólica em repouso. Assim, o gasto energético associado a uma determinada atividade física é representado por (equação (2.1)):

$$\text{Gasto energético}[kcal/min] = met_{repouso} \times \text{ massa corporal} \times nmet_{atividade} \tag{2.1}$$

Na Tabela 2.3 são mencionadas as unidades de **met** associadas à atividade de pedalar em diversas circunstâncias.

Tabela 2.3: Gasto calórico da atividade de pedalar. *Adaptado de* [16].

Atividade Física: Pedalar Descrição:	Gasto Calórico (mets)
Vel.$< 16km/h$ - lazer, deslocações quotidianas	4
Vel.16 a $19km/h$ - lazer, esforço leve	6
Vel.19 a $22km/h$ - lazer, esforço moderado	8
Vel.22 a $25km/h$ - esforço elevado	10
Vel. superior a $30km/h$	12
Vel. superior a $32km/h$	16
Bicicleta BTT - geral	8,5
Bicicleta *indoor* geral	5
Bicicleta *indoor* ($50W$) - esforço muito reduzido	3
Bicicleta *indoor* ($100W$) - esforço reduzido	5,5
Bicicleta *indoor* ($150W$) - esforço moderado	7
Bicicleta *indoor* ($200W$) - esforço elevado	10,5

De acordo com a Tabela 2.3, e a título de exemplo, uma pessoa com 72 kg de massa corporal ao pedalar durante 40 minutos a uma velocidade de passeio (16-19 km/h) associado a um gasto energético médio de 6 mets, poderá despender aproximadamente 300 $Kcal$ de acordo com a equação (2.1):

$$\text{Gasto energético} = 0,0175[kcal/kg/min] \times 72[kg] \times 40[min] \times 6 \approx 300\ [kcal]$$

2.4 Mercado das Bicicletas

Segundo os dados publicados pela associação europeia da indústria de bicicletas, *COLIPI - (Comité de Llaison des Fabricants Européens de Blcyclettes)*, em conjunto com a indústria de componentes e acessórios, *COLIPED - (Comité de Liaison des Fabricants de Pièces et Equipements de Deux-roues des pays de la C.E)*, anualmente, na União Europeia (UE-27), são vendidas cerca de **20 milhões** de bicicletas, sendo este valor superior a qualquer outro meio de transporte (p.ex, automóveis, motociclos, etc.). A mesma fonte, refere que os cidadãos europeus possuem mais bicicletas do que qualquer outro meio de transporte [17].

A Tabela 2.4 ilustra os principais países produtores de bicicletas e a percentagem que cada produtor representa no número total de bicicletas produzidas, referentes ao ano de 2011.

Tabela 2.4: Produção de bicicletas (UE-27). *Adaptado de* [17].

País	Nº Bicicletas produzidas (×1000)	*Ranking* [%]
Itália	2.310	19,65
Alemanha	2.288	19,46
Holanda	1.200	10,21
França	900	7,65
Polónia	892	7,59
Portugal	**782**	**6,65**
Bulgária	642	5,46
EU 27	*11.758*	*100*

Da análise da Tabela 2.4, Portugal surge como o sexto produtor de bicicletas com um número total de 782 mil unidades produzidas em 2011, representando cerca de 6,65 % no *ranking* europeu.

Observa-se que a Itália e a Alemanha figuram os dois países com maior número de unidades produzidas face aos restantes produtores.

A Tabela 2.5 representa a evolução do número de bicicletas vendidas na União Europeia (UE-27) referente ao período de 2006 a 2011.

Tabela 2.5: Evolução do número de bicicletas vendidas (UE-27). *Adaptado de* [17].

Ano	2006	2007	2008	2009	2010	**2011**
Nº de bicicletas vendidas (× 1000)	21.033	21.344	20.206	19.582	20.261	20.039
Evolução [%]	0,58	1,48	-5,33	-3,09	4,49	-2.06

Pela análise da Tabela 2.5, constata-se que o número de unidades vendidas tem sofrido oscilações nos últimos anos. Em 2011 foram vendidas cerca de 20 milhões de bicicletas, verificando-se um decréscimo de 2,06 % face ao ano de 2010.

No que diz respeito ao número de bicicletas vendidas ao público, e de acordo com os dados presentes na Tabela 2.6, em Portugal foram comercializadas um total de **320 mil** unidades. Este valor posiciona Portugal na 16ª posição do *ranking* europeu de vendas.

Tabela 2.6: Número de bicicletas vendidas ao público, em 2011. *Adaptado de* [17].

País	Nº de bicicletas vendidas (×1000)	*Ranking*
Alemanha	4.050	1
Grã-Bretanha	3.580	2
França	3.200	3
...	...	...
Portugal	**320**	**16**
EU 27	20.039	100 %

Paralelamente, constata-se que em países como a Alemanha, Grã-Bretanha e França, o número de unidades vendidas ascende os 3 milhões.

Em concordância com os dados das Tabelas 2.4 e 2.6, constata-se que a nível nacional o número de bicicletas produzidas supera o número de unidades vendidas numa relação de aproximadamente 2,4 vezes superior. De facto, algumas fontes [18] referem que parte da produção nacional tem como destino os mercados internacionais, com forte presença o mercado espanhol.

A indústria nacional de bicicletas é constituída por pequenas e médias empresas responsáveis por empregarem cerca de **1.190** trabalhadores, dos quais **690** fazem parte da produção de bicicletas e os restantes da produção de componentes e acessórios, referente ao ano de 2011 [17]. A nível nacional, destacam-se as seguintes empresas: Órbita - Bicicletas Portuguesas, Lda., Miranda & Irmão, Lda. e *Rodi Wheels and Rims*.

Tendo em conta os dados referidos anteriormente, constata-se que o setor das bicicletas é visto como um setor importante, não só pela sua dinâmica organizacional, como também pela sua atividade exportadora, dando origem a um mercado com distinta competitividade global [18].

Por fim, é de salientar que embora seja um setor tradicional a nível nacional, é responsável por um volume de exportações anualmente de **160 milhões de euros** na economia portuguesa [18].

2.5 Normas e Legislação

Numa fase inicial do projeto, e dada a natureza do produto a desenvolver, é pertinente conhecer a legislação em vigor com vista a uma homologação da sua circulação. Na Tabela 2.7 são resumidas as principais normas atualmente aplicadas no setor das bicicletas.

Tabela 2.7: Normas europeias aplicadas no setor das bicicletas [19].

Norma Europeia	Designação
EN 14764:2005	"Bicicletas de estrada e híbridas - Requisitos de segurança e métodos de ensaio."
EN 14766:2005	"Bicicletas de montanha - Requisitos de segurança e métodos de ensaio."
EN 14781:2005	"Bicicletas de corrida - Requisitos de segurança e métodos de ensaio."
EN 16054:2012	"Bicicletas BMX - Requisitos de segurança e métodos de ensaio."
EN 14872:2006	"Bicicletas - Acessórios para bicicletas - Suportes de bagagem."
	Bicicletas *Indoor*
EN 957-10:2005	"Equipamento de treino fixo - Parte 10: Bicicletas de exercício com roda fixa ou sem roda livre, requisitos específicos de segurança adicionais e métodos de ensaio."

Do conjunto de normas referidas na Tabela 2.7, considerou-se em termos de projeto a norma **EN 14764**. De uma forma resumida, a norma 14764 especifica um conjunto de requisitos ao nível de segurança e de desempenho para a conceção, montagem e teste de bicicletas. Na Tabela A.1, presente no Apêndice A.1, são mencionados os principais requisitos da norma 14764 considerados no presente projeto.

Um dos aspetos mencionados na norma 14764 diz respeito aos dispositivos de iluminação, sendo que este documento refere que "uma bicicleta urbana ou de turismo não necessita de possuir dispositivos de iluminação. No entanto, o fabricante deve informar ao condutor a legislação nacional em vigor no país onde a bicicleta será comercializada"[20].

Deste modo, a nível nacional, a portaria *nº.311 - B/2005 de 24 Março* define um conjunto de características das luzes de presença necessárias à circulação em via pública. Estas características estão presentes na Tabela A.3 do Apêndice A.2.

2.6 *Benchmarking*

O *Benchmarking* é um método que permite avaliar comparativamente um produto, empresa ou organização face à sua concorrência. De uma forma resumida, o *benchmarking* consiste na procura de melhores métodos utilizados nos diferentes processos de negócio e nas funções empresariais, com especial ênfase naquelas que permitem assegurar e sustentar vantagens competitivas. Este método pode ser usado por empresas, independente da sua dimensão, cujo seu setor de atividade pode ser distinto [21].

No contexto de desenvolvimento de um produto, o *benchmarking* permite, em primeiro lugar, identificar as empresas ou instituições tidas como referência do setor, ou seja, as empresas que produzem determinado produto ou fornecem determinado serviço com um máximo de lucro aliado a um elevado grau de satisfação dos consumidores [22].

No presente projeto foram alvo de *benchmarking* uma gama de bicicletas atualmente disponíveis no mercado que se inserem no segmento de bicicletas desportivas, de turismo, urbanas e *indoor*, de gama doméstica e profissional. Alternativamente foi incluído um modelo de uma bicicleta elétrica.

Na Tabela 2.8, ilustram-se as marcas analisadas neste projeto.

Tabela 2.8: Marcas analisadas no *benchmarking*.

Bicicletas desportivas/urbanas & elétricas
ÓRBITA BICICLETAS PORTUGUESAS, Lda. smart BMW SPECIALIZED
Bicicletas Indoor
SPORT ZONE

2.6.1 Bicicletas Órbita

A construtora portuguesa de bicicletas **Órbita - Bicicletas Portuguesas, Lda.**, fundada a 2 de fevereiro 1971 e sediada no distrito de Aveiro, exporta mais de 70% da sua produção e encontra-se presente em mais de 15 mercados mundiais. Para além da produção e venda de bicicletas, a empresa dispõe de centros de ensaios e controlo de qualidade que lhe permite uma maior competitividade e qualidade dos seus produtos.

A Órbita possui um conjunto diversificado de modelos de bicicletas que lhe permite responder às diversas exigências de mercado. Esta empresa comercializa bicicletas de

lazer, desportivas, de estrada e bicicletas BTT, cuja construção do quadro pode ser em aço, alumínio ou até mesmo quadros reforçados em fibra de carbono [9].

Do conjunto de modelos de bicicletas comercializados pela marca, foram selecionados três modelos de bicicletas urbanas/desportivas representados na Figura 2.6.

(a) *Strada 26"*

(b) *Trekking 21 VH*

(c) *Country Tour*

Figura 2.6: Modelos de bicicletas Órbita [9].

2.6.2 Bicicleta Smart

A **Smart®** é um fabricante de automóveis que pertence ao grupo *Daimler AG*. Além da produção de automóveis, em 2012, a marca construiu uma bicicleta denominada Smart *electric bike* ou *ebike*, Figura 2.7(a).

Para além das características que são possíveis de se encontrarem numa bicicleta comum, a Smart *ebike* enquadra-se no segmento de bicicletas assistidas eletricamente, que para além de permitir a sua propulsão manual, possui um motor elétrico no cubo da roda traseira (250 W) e uma bateria que pode possibilitar uma autonomia de utilização até 100 km.

É de frisar que esta bicicleta possui uma correia dentada em fibra de carbono, sendo mais silenciosa e requerendo menos manutenções que o sistema convencional de carretos e corrente em aço (Figura 2.7(b)). Uma outra característica deste modelo, é a presença de um suporte que permite a fixação e o carregamento de um telemóvel (Figura 2.7(c)).

A Smart *ebike* não só constitui um bom exemplo das atuais tendências no setor das bicicletas, como exibe um *design* único que lhe conferiu o prémio ***reddot design award*** - *best of best 2012* [23].

(a) Bicicleta Smart *ebike*

(b) Pormenor da correia dentada em carbono

(c) Integração de telemóvel

Figura 2.7: Smart *ebike* [23].

2.6.3 Bicicletas BMW

A **BMW**® é conhecida como uma marca alemã de referência em termos de segurança, conforto, qualidade e *design* dos seus automóveis. Esta marca foi selecionada no decorrer da análise de *benchmarking*, uma vez que para além do fabrico de automóveis, este fabricante apresenta um conjunto variado de modelos de bicicletas.

Dado o conjunto de modelos disponíveis pela marca, foram selecionados dois modelos de bicicletas urbanas/desportivas, Figura 2.8(a) e (b).

(a) *Touring 2012*

(b) *Cruise 2012*

Figura 2.8: Modelos de bicicletas BMW [24].

Estes dois modelos presentes na Figura 2.8, embora não possuam qualquer acréscimo de funcionalidade face aos modelos da Órbita e sendo construídos no mesmo material, diferem no processo de obtenção da geometria das peças que dão forma ao quadro. Nos dois modelos BMW a geometria do quadro é obtida pelo processo *hydroforming*, exibindo um *design* distinto. Contrastando com os modelos Órbita em que a geometria do quadro é oval ou circular.

De frisar que o *design* dos quadros das bicicletas BMW receberam a distinção de *reddot design winner 2006* [24].

2.6.4 Bicicletas Specialized

A fundação da **Specialized**® data o ano de 1974. Este fabricante americano é tido como uma referência no setor das bicicletas devido à qualidade dos seus produtos, estando inclusivamente presente em equipas de ciclismo de alta competição.

Para além das bicicletas, este fabricante produz uma vasta gama de componentes e acessórios para o setor. Uma outra característica desta marca, reside na variedade de modelos que lhe permite estar presente em todos os nichos de mercado, incluindo o segmento de bicicletas elétricas [25].

Foram alvo de *benchmarking* os modelos de bicicletas presentes na Figura 2.9(a), (b) e (c).

(a) *Crossover Elite Disc*

(b) *Expedition*

(c) *Sirrus Comp*

Figura 2.9: Modelos de bicicletas Specialized [25].

2.6.5 Bicicletas *Indoor*

No decorrer da atividade de *benchmarking*, como referido anteriormente, foi analisado um conjunto de modelos de bicicletas *indoor* utilizadas numa vertente doméstica e profissional.

As bicicletas *indoor* podem ser vistas como uma adaptação de uma bicicleta convencional, dado que o seu surgimento é posterior às bicicletas convencionais. A utilização deste tipo de produto está vocacionada para a reabilitação física e, sobretudo, para o condicionamento físico dos usuários, estando presente em ginásios, associações desportivas e clínicas de reabilitação física (Figura 2.10). Este tipo de modalidade tem vindo a apresentar cada vez mais adeptos, uma vez que a sua prática não está dependente das condições climatéricas, nem do tráfego dos centros urbanos [26].

Figura 2.10: Exemplo de utilização de uma bicicleta *indoor*, *Cortesia Clube7 Ginásios*.

Em termos construtivos, as bicicletas *indoor* têm como objetivo principal o conforto e a correta adaptação do utilizador, permitindo regular parte dos componentes (ajuste do selim e guiador em altura e comprimento). Outro aspeto visível é a geometria da sua estrutura idealizada, para permitir o fácil acesso.

Na Figura 2.11 são representados os principais componentes presentes numa bicicleta *indoor*.

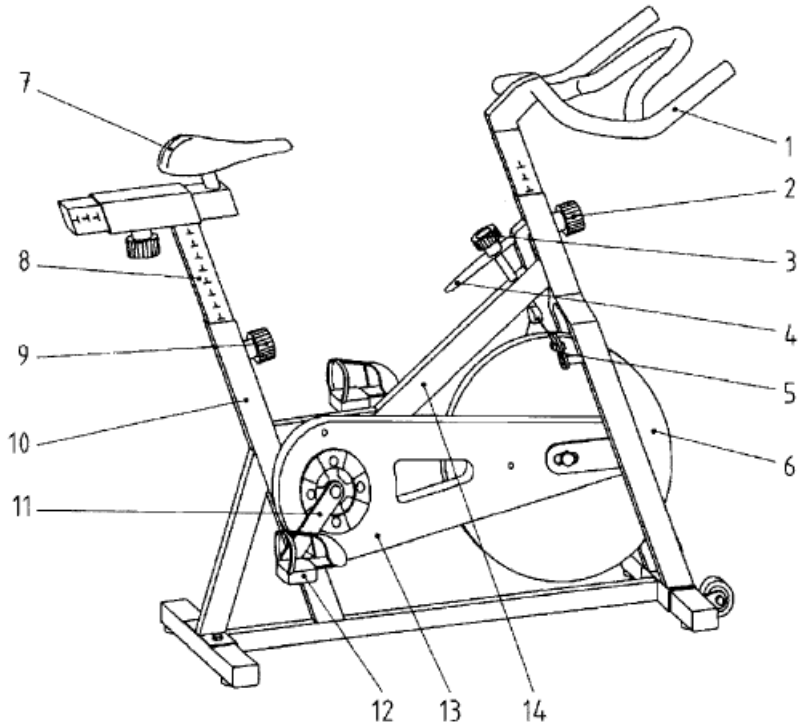


Figura 2.11: Esquema representativo dos principais componentes de um bicicleta *indoor* [27]. [**Legenda:** 1 - Guiador; 2 - Ajuste do guiador; 3 - Regulador de carga; 4 - Travão de emergência; 5 - Travão; 6 - Roda livre; 7 - Selim; 8 - Tubo do selim; 9 - Ajuste do selim; 10 - Tubo de suporte do espigão do selim; 11 - Pedaleira; 12 - Pedais; 13 - Carenagem de transmissão; 14 - Quadro.]

Além dos dispositivos de regulação do selim e do guiador, as bicicletas *indoor* possuem um sistema de uma roda livre e um dispositivo de regulação da carga que permite ao utilizador adequar o esforço físico.

Modelos Sport Zone

Do conjunto de modelos de bicicletas *indoor*, disponíveis pela Sport Zone®, foram selecionados três modelos de bicicletas. Os modelos presentes na Figura 2.12, além possuírem uma geometria e um *design* distinto, diferem essencialmente no modo como é feita a regulação do esforço físico.

Na Figura 2.12(a), a regulação do esforço físico é feita por pastilhas, cuja geometria do dispositivo é semelhante aos sistemas de travagens presentes nas bicicletas comuns. Já na Figura 2.12(b) a regulação é feita através de um travão magnético. No modelo da Figura 2.12(c), a regulação do esforço é feita por fricção. Alguns fabricantes de bicicletas *indoor* optam por dotar os seus modelos com um conjunto de atributos, que têm como objetivo atrair o máximo de compradores, por exemplo, através de ventilação integrada, ecrã LED, medidor cardíaco.

(a) *H 9155 SB 1.0*

(b) *Marte*

(c) *STROM 5.0*

Figura 2.12: Modelos de bicicletas *indoor* [28].

2.6.6 Modelos Conceptuais

No decorrer da atividade de *benchmarking* foram encontrados alguns conceitos inovadores de bicicletas ao nível da funcionalidade, da geometria, dos materiais e, sobretudo, ao nível do *design*. Seguidamente, os trabalhos apresentados podem ainda se encontrar numa fase conceptual de desenvolvimento ou aperfeiçoamento. No entanto, optou-se por apresentar algumas soluções analisadas. Na Figura 2.13, ilustram-se alguns dos modelos conceptuais considerados.

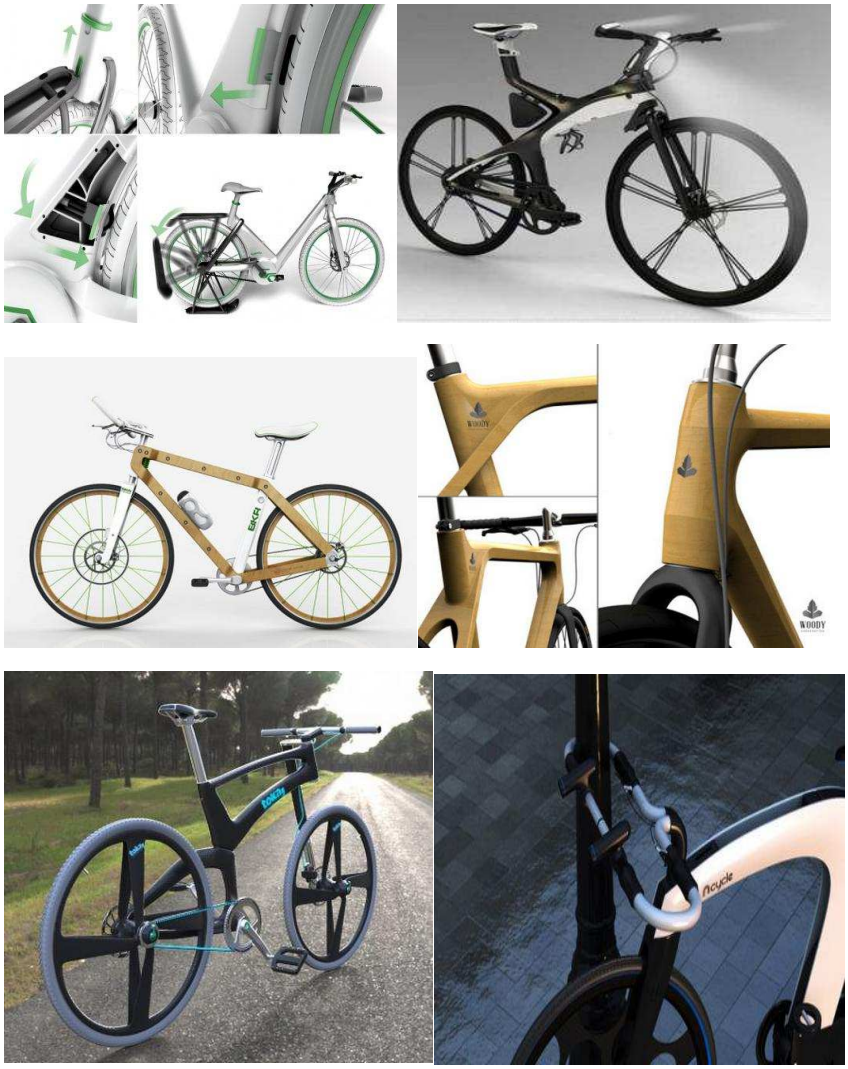


Figura 2.13: Modelos de bicicletas conceptuais. *Adaptado de* [10].

2.6.7 Análise Comparativa

As Tabelas 2.9, 2.13 e 2.10 ilustram a realização da análise comparativa, efetuada aos produtos anteriormente apresentados, através de especificações fornecidas pelos respetivos fabricantes.

Tabela 2.9: Análise comparativa - bicicletas *indoor* [28].

	Modelo (Referência do fabricante):		
	H 9155 SB 1.0 (04743453)	*Marte (04674038)*	*STROM 5.0 (04724123)*
Preço:	€499,00	€129,00	€299,00
Peso:	41 kg	50 kg	38,7 kg
Dimensões:	104 × 55 × 120× cm	85 × 52 × 130× cm	118 × 49 × 117 × cm
Peso máximo do utilizador:	110 kg	100 kg	110 kg
Volante de inércia:	16 kg	5 kg	14 kg
Sistema de regulação de carga:	Pastilhas	Travão magnético	Fricção
Monitor LED	✓	-	✓(Monitor LCD)
Ventilação/Arejamento	-	-	-
Rodas de transporte	✓	✓	✓
Porta USB	-	-	-
Pulsómetro/Medidor cardíaco	-	✓	-

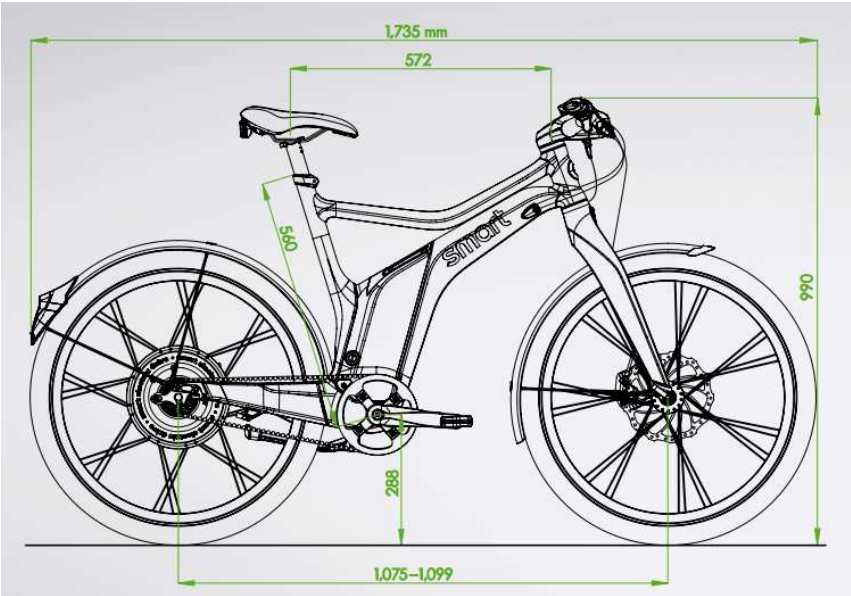


Figura 2.14: Principais dimensões da bicicleta Smart [23].

Tabela 2.10: Análise comparativa - modelos de bicicletas Specialized e Smart [23],[25].

Especificação:	Modelo	Smart *ebike*	*Sirrus Comp*	*Expedition*	*Crossover Elite Disk*
Material	Quadro	Alumínio (AL6061-T6)	Alumínio	Alumínio	Alumínio
	Forqueta	Alumínio	Carbono	Suspensão (63 *mm* de curso)	Suspensão (60 *mm* de curso)
Dimensões	Comprimento do guiador	-	Tabela 2.11		
	Quadro	**M** 572 *mm* (Figura 2.14)	Tabela 2.11		
	Rodas	Continental 26 × 1,75 *in*	Sport 700 × 28 C	Hemisphere 26 *in*	Trigger 700 × 38 C
Acessórios	Guarda-lamas	✓	-	✓	✓
	Cárter corrente	-	-	✓	✓
	Suporte bagagem frontal	-	-	-	-
	Suporte bagagem traseiro	✓(20 kg)	-	✓	✓(25 Kg)
	Campainha	-	-	-	✓
Sistemas de iluminação		✓	✓	✓	✓
Refletores laterais		-	✓	-	-
Postura de condução		Desportiva	Desportiva	Clássica	Desportiva
Assistência à pedalada		Sim	Não	Não	Não
Aspeto formal		Funcional e estético e moderno	Funcional e estético		
Transmissão de potência		Correia dentada em carbono	Corrente em aço		
Nº de relações de transmissão		Cubo de 3 vel.	27	21	24
Integração de telemóvel		Sim	Não	Não	Não
Sistema de travagem		Hidráulico de disco	V-brake	V-brake	V-brake
Manípulos		Rotativo	Shimano Rapidfire	Rotativo	Shimano Rapidfire
Avanço do guiador		Rígido	Rígido	De quilha ajustável	Rígido
Suspensão da forqueta		Não	Não	Sim	Sim
Peso total (kg)		26,1	-	-	-
Preço de aquisição [€]		≈ 3000,00	814,00	539,00	864,00

Tabela 2.11: Dimensões dos quadros (Specialized) [25].

Sirrus Comp

Tamanho	XS	S	M	L	XL
Comprimento do Tubo Vertical - Centro do BB ao Topo	395mm	440mm	485mm	530mm	570mm
Comprimento do Tubo Superior (Horizontal)	555mm	570mm	589mm	600mm	620mm
Drop do eixo Pedaleiro	70mm	70mm	70mm	70mm	70mm
Comprimento da Escora Inferior	445mm	445mm	445mm	445mm	445mm
Ângulo do Tubo Vertical	73.5°	73.25°	73.5°	73°	73°
Ângulo do Tubo de Direção	70.5°	71°	71.5°	72°	72°
Fork Rake	51mm	51mm	51mm	51mm	51mm
Trail	59mm	56mm	63mm	60mm	60mm
Front-Center	620mm	629mm	637mm	646mm	667mm
Distância entre Eixos	1055mm	1065mm	1072mm	1082mm	1103mm
Altura do Tubo Horizontal ao Solo	709mm	741mm	777mm	812mm	850mm
Comprimento do Tubo de Direção	130mm	150mm	165mm	190mm	225mm
Comprimento do Guidador	590mm	590mm	590mm	590mm	590mm
Comprimento do Avanço	75mm	90mm	90mm	100mm	100mm
Comprimento do cranque	170mm	170mm	175mm	175mm	175mm
Comprimento do Tubo Vertical	300mm	350mm	350mm	350mm	350mm

Expedition

Tamanho	S	M	L
Comprimento do Tubo Vertical - Centro do BB ao Topo	370mm	425mm	480mm
Comprimento do Tubo Superior (Horizontal)	610mm	625mm	640mm
Drop do eixo Pedaleiro	59mm	59mm	59mm
Comprimento da Escora Inferior	500mm	500mm	500mm
Ângulo do Tubo Vertical	57°	57°	57.5°
Ângulo do Tubo de Direção	68.5°	68.5°	68.5°
Fork Rake	40mm	40mm	40mm
Trail	89mm	89mm	89mm
Front-Center	630mm	650mm	665mm
Distância entre Eixos	1123mm	1136mm	1159mm
Altura do Tubo Horizontal ao Solo	436mm	437mm	453mm
Comprimento do Tubo de Direção	160mm	180mm	200mm

Crossover Sport

Tamanho	S	M	L	XL	XXL
Comprimento do Tubo Vertical - Centro do BB ao Topo	394mm	445mm	483mm	533mm	584mm
Comprimento do Tubo Superior (Horizontal)	575mm	585mm	600mm	615mm	625mm
Drop do eixo Pedaleiro	60mm	60mm	60mm	60mm	60mm
Comprimento da Escora Inferior	445mm	445mm	445mm	445mm	445mm
Ângulo do Tubo Vertical	73°	73°	73°	73°	73°
Ângulo do Tubo de Direção	70.5°	70.5°	70.5°	70.5°	70.5°
Fork Rake	38mm	38mm	38mm	38mm	38mm
Trail	88mm	88mm	88mm	88mm	88mm
Front-Center	625mm	636mm	652mm	668mm	678mm
Distância entre Eixos	1064mm	1074mm	1090mm	1106mm	1117mm
Altura do Tubo Horizontal ao Solo	745mm	781mm	809mm	842mm	877mm
Comprimento do Tubo de Direção	90mm	105mm	120mm	135mm	155mm
Comprimento do Guidador	660mm	660mm	660mm	660mm	660mm
Comprimento do Avanço	70mm	80mm	80mm	80mm	80mm
Comprimento do cranque	170mm	170mm	175mm	175mm	175mm
Comprimento do Tubo Vertical	300mm	350mm	350mm	350mm	350mm

Tabela 2.12: Dimensões dos quadros BMW [24].

S	(41 cm, altura até 168 cm)
M	(46 cm, altura até 165-178 cm)
L	(51 cm, altura até 174-190 cm)
Xl	(55 cm, altura até 183-195 cm)

Tabela 2.13: Análise comparativa - modelos de bicicletas Órbita e BMW [9], [24].

Especificação:	Modelo	*Strada 26"*	*Trekking 21 VH*	*Country Tour*	*Touring 2012*	*Cruise 2012*
Material	Quadro	Aço	Alumínio	Alumínio	Alumínio (AL6061-T6)	Alumínio (AL6061-T6)
	Forqueta	Aço	Suspensão	Suspensão	Suspensão (75 *mm*)	Suspensão (75 *mm*)
Dimensões	Comprimento do guiador	-	-	-	*580 mm*	*600 mm*
	Quadro	457 *mm*	17-19-21 *in*	18 *in*	Tabela 2.12	
	Rodas	BTT -26 × 1,60	City - 700 × 35 C	Slick 26 × 1,70	Schawble city plus 47-559	Schawble city plus 50-599
Acessórios	Guarda-lamas	✓	-	✓	-	-
	Cárter corrente	✓	-	✓	✓	-
	Suporte bagagem frontal	✓	-	-	-	-
	Suporte bagagem traseiro	✓	-	-	✓	-
	Campainha	-	-	-	✓	-
Sistemas de iluminação		✓	-	✓	✓	-
Refletores laterais		✓	✓	-	-	-
Postura de condução		Clássica	Desportiva	Clássica	Desportiva	Desportiva
Assistência à pedalada		Não	Não	Não	Não	Não
Aspeto formal		Funcional e estético	Funcional e estético	Funcional e estético	Funcional, estético e moderno	
Transmissão de potência		Corrente em aço				
Nº de relações de transmissão		Shimano TY 21	21	Shimano Nexus 3 vel.	Shimano Deore, 27 velocidades	
Integração de telemóvel		Não	Não	Não	Não	Não
Sistema de travagem		V-brake	V-brake	V-brake	V-brake	V-brake
Manípulos		Rotativo	Shimano ST-EF51	Shimano Nexus 3vel.	Shimano Deore	Shimano Alivio
Avanço do guiador		-	-	-	BMW Original Trekking mate S:90, M/L/XL: 110 mm	
Suspensão da forqueta		Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Peso total (kg)		19,720	13,50	16	16,3	13,9
Preço de aquisição [€]		235,00	269,00	429,55	1299,00	899,00

Capítulo 3

Ergonomia, Antropometria e Biomecânica do Ciclismo

Neste capítulo são abordados aspetos biomecânicos, antropométricos e ergonómicos relacionados com a prática do ciclismo.

Numa primeira fase, é feita uma abordagem em termos da cinemática e da cinética da biomecânica do ciclismo. É caraterizada a atividade de pedalar, sendo mencionados os principais músculos e articulações associados ao movimento. Posteriormente, são identificadas as principais forças e amplitudes de movimento dos vários segmentos corporais inerentes ao ato de pedalar.

Numa segunda parte, referem-se os principais fatores ergonómicos essenciais no desenvolvimento de uma bicicleta, sendo indicadas as vantagens e desvantagens das posturas corporais desenvolvidas. Por fim, são abordados um conjunto de dados antropométricos necessários para o correto dimensionamento da bicicleta.

3.1 Biomecânica do Ciclismo

O ciclismo é um dos desportos mais populares e praticados em todo o mundo, sendo muitas vezes associado à alta competição. Contudo, para além do uso competitivo, a bicicleta é utilizada como meio de condicionamento físico, lazer, meio de transporte ou até mesmo como modo de reabilitação física.

A maioria dos trabalhos relacionados com a biomecânica do ciclismo dividem-se numa análise cinemática e cinética do movimento [29], [30].

A **análise cinemática** do ciclismo é responsável pela descrição dos parâmetros temporais, espaciais e espaço-temporais do gesto motor, sem ter em consideração as forças que originam o movimento. Por outro lado, numa **análise cinética** é descrito todo o movimento com base nas forças que o originam [31].

3.1.1 Análise Cinemática

A cinemática consiste no estudo da geometria, do padrão ou da forma de movimento em relação ao tempo. Esta divide-se numa análise linear ou angular, envolvendo o estudo do aspeto, da forma e da sequência do movimento linear através do tempo sem qualquer referência à força ou ao conjunto de forças que causam/resultam do movimento [31].

Usualmente, estes movimentos são descritos com base nos três planos anatómicos de referência. Na Figura 3.1 representam-se os três planos anatómicos com base na posição anatómica de referência.

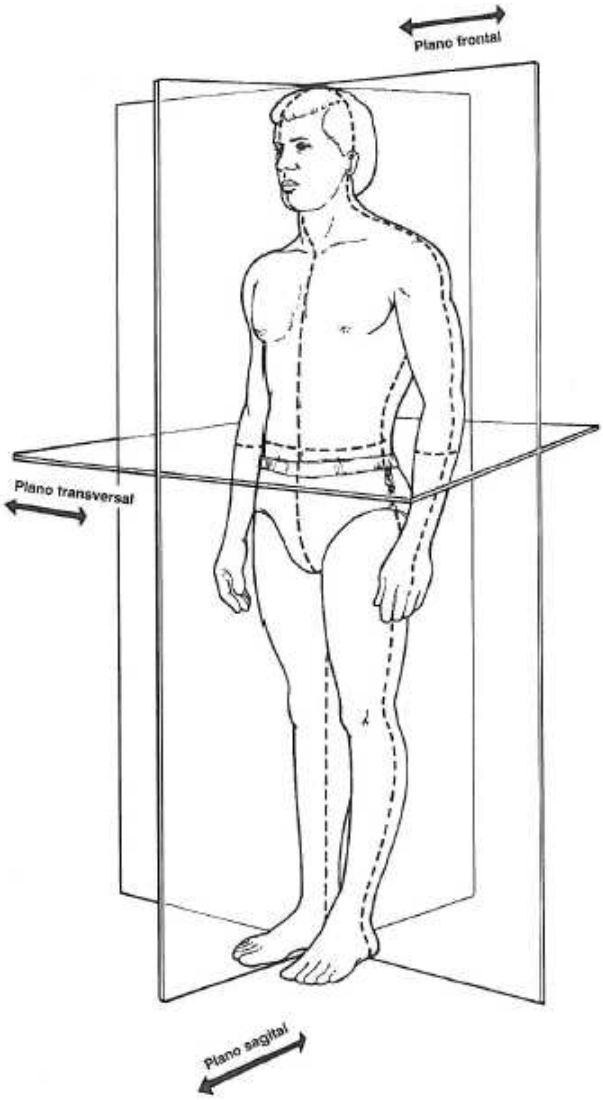


Figura 3.1: Planos triortogonais com na base posição anatómica de referência [31].

O **plano sagital**, também designado por plano ântero-posterior, divide o corpo verticalmente em metades direita e esquerda, com cada metade contendo a mesma massa. **O plano frontal**, também denominado plano coronal, divide o corpo verticalmente em metades anterior e posterior com a mesma massa. O **plano transversal** ou horizontal

separa o corpo em metades superior e inferior com uma massa igual. Para um indivíduo de pé na posição anatómica de referência, os três planos cardinais cruzam-se num único ponto - centro de massa ou centro de gravidade do corpo [31].

De uma forma generalizada, é possível afirmar que a atividade de pedalar consiste num movimento que decorre essencialmente no plano sagital, Figura 3.2. O movimento é caracterizado pela **flexão** e **extensão** do joelho, **dorsiflexão** e **flexão planar** do tornozelo [29].

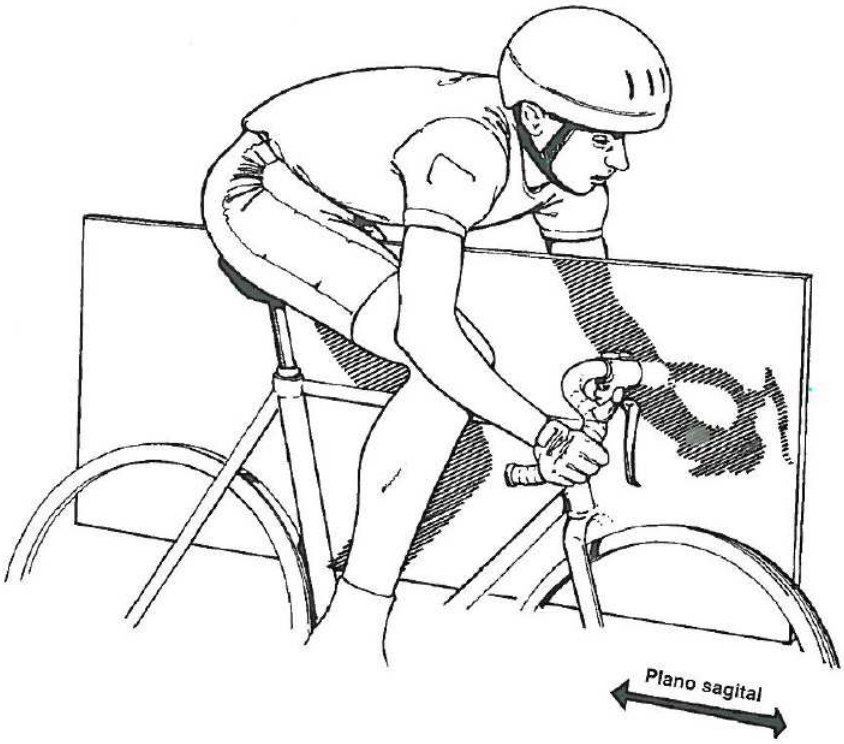


Figura 3.2: A atividade do ciclismo decorre essencialmente no plano sagital [31].

Embora tenha sido caraterizado o movimento como bidimensional, o gesto motor de pedalar consiste num movimento tridimensional complexo, caracterizado pelas flexões e extensões das articulações do tornozelo, da anca, do joelho, assim como a abdução e a adução da articulação da anca, provocando a rotação da tíbia [29].

Análise de Movimento - Fases

O ato de pedalar consiste num movimento cíclico e repetitivo, definido pela rotação completa do eixo do pedal em relação ao eixo central da bicicleta.

De uma forma generalizada, este movimento é dividido em duas fases distintas: **fase propulsiva ou de propulsão** e **fase de recuperação** [29]. A fase propulsiva inicia-se no ponto morto superior, definida por um ângulo de 0° (ponto mais alto alcançado pela pedaleira) até ao ponto morto inferior de 180°, sendo nesta fase que o ciclista exerce uma maior força no pedal. Por outro lado, de 180° a 360° ocorre a fase de recuperação (Figura 3.3).

Não obstante, alguns autores [30] sugerem uma divisão do ciclo em **quatro** fases distintas: **impulso** (315°-45°), **compressão** (45°-135°), **retorno** (135°-335°) e **puxada** (225°-315°). Na Figura 3.3 ilustram-se as quatro divisões do ciclo.

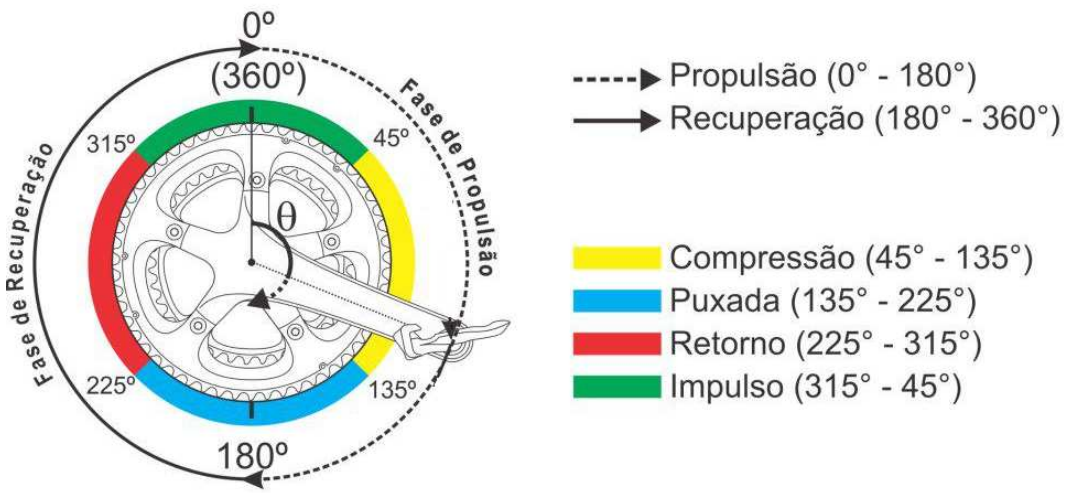


Figura 3.3: Divisão do ciclo da pedalada em graus. *Adaptado de* [32].

3.1.2 Análise Cinética

Quando se estuda a cinética de um gesto motor é necessário perceber que o corpo humano gera forças e resiste a elas durante a realização das atividades [31].

Neste contexto irá ser feita uma análise cinética de todo o gesto da pedalada, sendo referenciadas as principais forças exercidas pelo ciclista e o seu papel na biomecânica do ciclismo.

Forças Exercidas

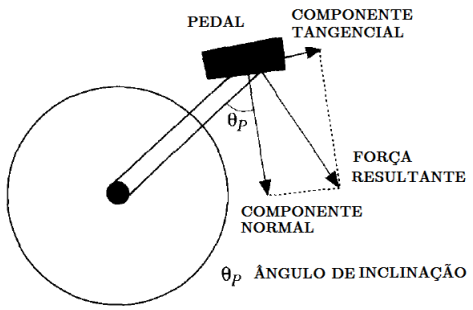
De acordo com a bibliografia especializada, existem diversas fontes geradoras de forças na bicicleta e nos seus componentes resultantes da interação entre o homem e a máquina.

Uma das fontes, é o condutor que desenvolve esforços inerentes à atividade de pedalar e ao seu peso corporal. As irregularidades da superfície e as ações do condutor (p.ex. curvar e travar) representam outras duas fontes geradoras de forças. Deste conjunto de forças, o condutor é a principal fonte, uma vez que este contacta com a bicicleta em diversos pontos e participa numa variedade de situações que poderão induzir esforços adicionais. Por outro lado, existem outras variáveis - postura (p.ex. sentado *versus* em pé), rotação da pedaleira e a potência gerada - que poderão induzir esforços adicionais na bicicleta e nos componentes [33].

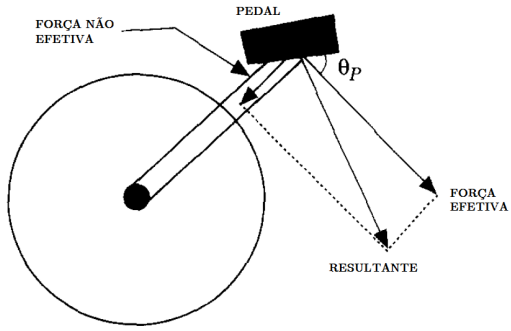
Do conjunto de forças resultantes da interação entre o condutor e a bicicleta, as mais importantes dizem respeito às forças que o condutor exerce sobre os pedais para propulsionar a bicicleta.

Caso seja feita uma análise bidimensional num plano paralelo ao plano sagital, observa - se que o ciclista aplica uma força no pedal, designada por força aplicada ou

força resultante (Figura 3.4(a)). A força resultante pode ser decomposta nas componentes tangencial e normal, tendo como referência a superfície do pedal. Por outro lado, caso seja conhecido o ângulo entre a superfície do pedal e a pedaleira (θ_P), a força aplicada/resultante pode ser decomposta nas suas componentes efetiva e não-efetiva (Figura 3.4(b)).



(a) Normal e tangencial



(b) Efetiva e não efetiva

Figura 3.4: Representação das forças exercidas nos pedais. *Adaptado de* [34].

A força efetiva ou transmitida é a componente da força aplicada responsável pela propulsão da bicicleta. Esta força atinge o seu máximo quando o pedal se encontra perto de 90°, correspondendo ao pico de atividade dos quadrícipes. O binário exercido para propulsionar a bicicleta é dado pela soma das forças aplicadas em ambos os pedais multiplicados pelo comprimento da pedaleira, equação (3.1) [30].

$$T = (F_E MIE \pm F_E MID) \times L_{Pedaleira} \tag{3.1}$$

Sendo,

$F_E MIE$ - Força efetiva, exercida pelo membro inferior esquerdo;

$F_E MID$ - Força efetiva, exercida pelo membro inferior direito;

$L_{Pedaleira}$ - Comprimento da pedaleira.

No entanto, convém referir que um dos membros pode gerar um binário negativo, devido à força da gravidade que atua sobre o membro inferior e devido à força inercial ou tendência do peso dos membros em resistir ao movimento imposto pelo pedal [30].

No presente contexto, a força não efetiva apenas atua na pedaleira comprimindo e tracionando este componente.

Dada a importância do conhecimento das forças exercidas sobre os pedais, *Stone* e *Hull* [33] apresentaram um conjunto de resultados práticos que evidenciam os padrões médios das forças aplicadas para uma amostra de utilizadores com peso distinto e perante um conjunto de condições de teste (Tabela 3.1).

Na Figura 3.5, ilustra-se o sistema de eixos utilizado e o sentido de rotação do pedal e da pedaleira utilizados no estudo.

Tabela 3.1: Pesos dos ciclistas e condições de teste. *Adpatado de* [33].

Condutor ("Rider")	Peso (N)
1	547
2	663
4	778
Condições de teste	
Rotação da pedaleira (rpm)	84
Posição simulada	Sentado com uma inclinação de 6%

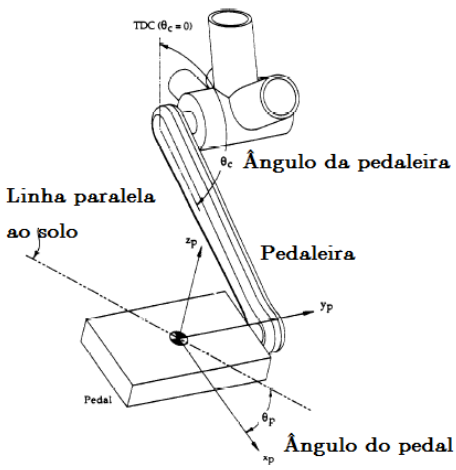


Figura 3.5: Eixos dos pedais utilizados por *Stone e Hull*. A origem do sistema de eixos situa-se no centro do topo da superfície do pedal. O plano formado x_p e z_p é paralelo ao plano central da bicicleta e, por sua vez, y_p é mutuamente perpendicular a x_p e a z_p. O ângulo θ_c (ângulo da pedaleira) é positivo para o sentido convencional de propulsão da bicicleta. Por fim, θ_p (ângulo do pedal) é positivo num plano paralelo ao plano central da bicicleta no sentido dos ponteiros dos relógio [33].

A Figura 3.6 ilustra os padrões médios de forças obtidos para uma rotação completa da pedaleira em torno do eixo central da bicicleta. É possível concluir que a componente de maior magnitude corresponde à componente segundo o eixo z, verificando um valor máximo para um ângulo de pedaleira (θ_c) de $90°$. Sendo um resultado lógico, dado que é esta a componente (PF_z), cuja linha de ação é perpendicular à superfície do pedal [33].

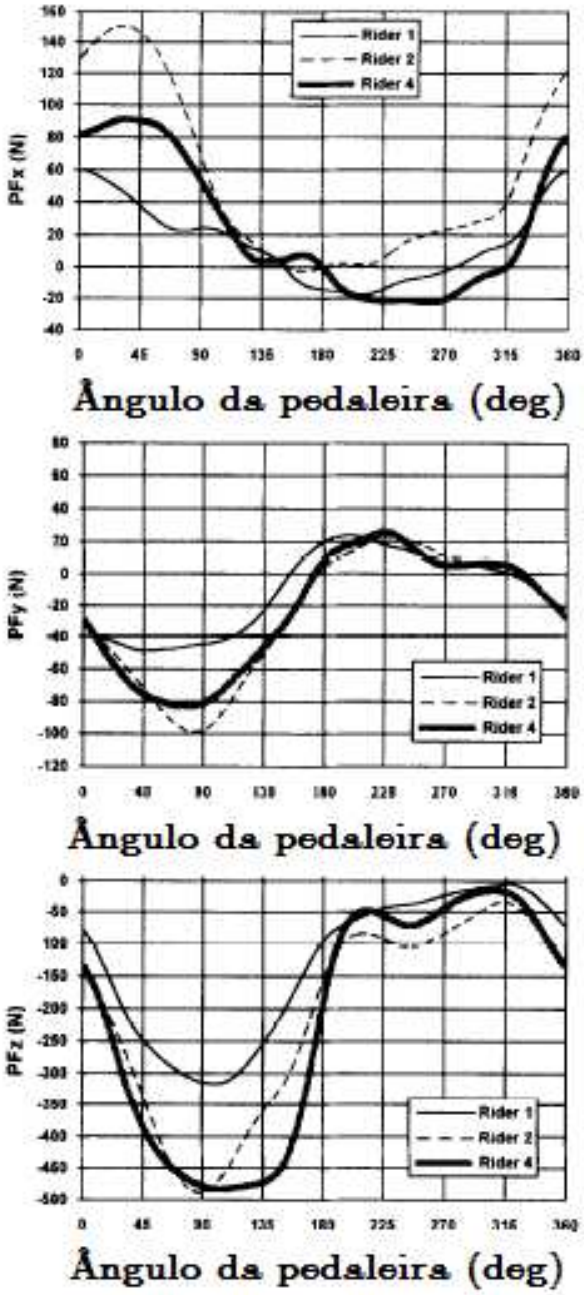
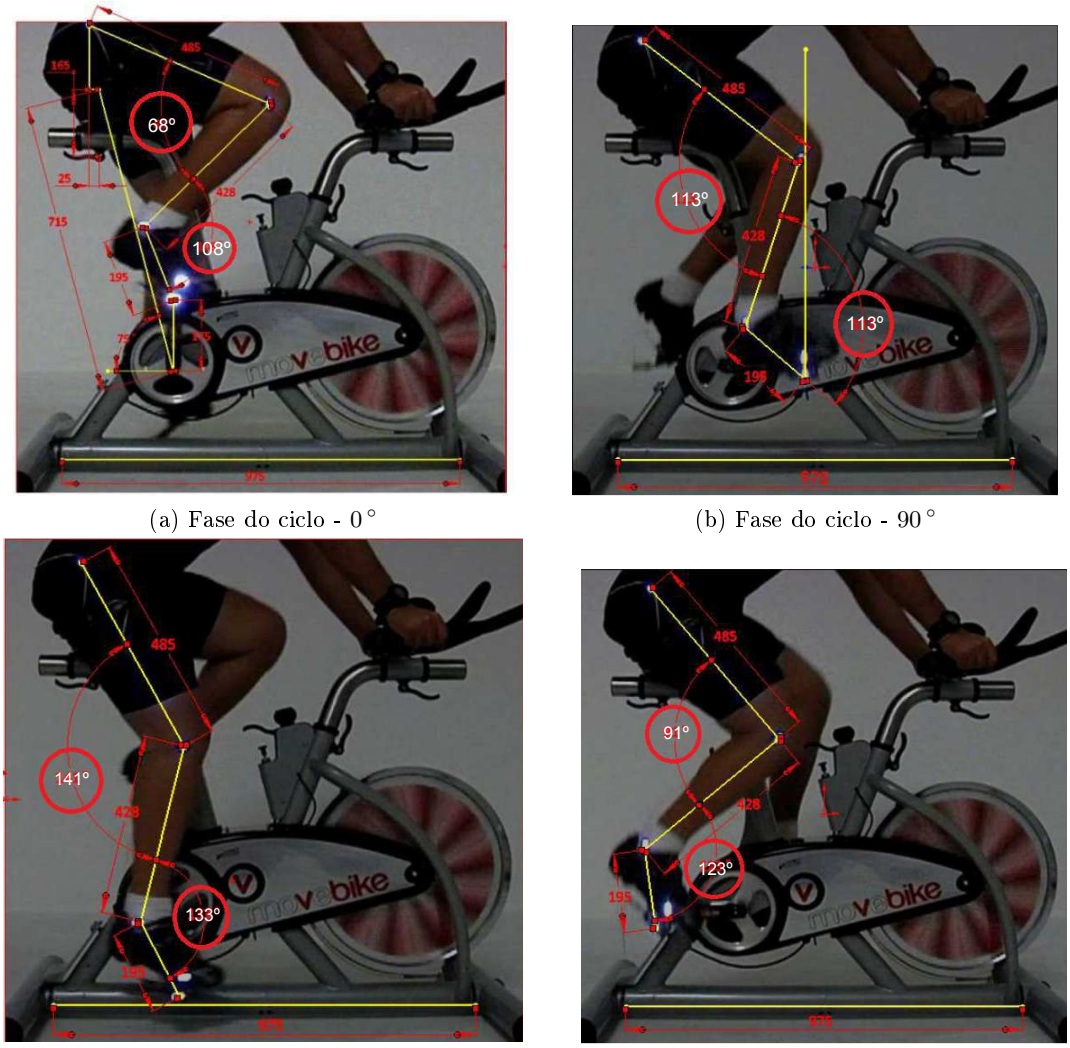


Figura 3.6: Padrões médios das forças exercidas nos pedais em função do ângulo da pedaleira (θ_c). *Adaptado de* [33].

Amplitude de Movimentos

Durante um ciclo completo de pedalada, o ciclista, como referido anteriormente, realiza a flexão e extensão planar do joelho e dorsiflexão e flexão planar do tornozelo. Deste modo, foram recolhidos valores de amplitude de movimentos para as diferentes posições angulares dos membros inferiores ao longo do ciclo da pedalada, tendo como referência estudos práticos [35].

A Figura 3.7 ilustra o deslocamento angular do tornozelo e do joelho, em quatro fases de referência do ciclo da pedalada.



(a) Fase do ciclo - 0 °

(b) Fase do ciclo - 90 °

(c) Fase do ciclo - 270 °

(d) Fase do ciclo - 360,°

Figura 3.7: Amplitude de movimentos. *Adaptado de* [35].

Da análise da Figura 3.7, observa-se que os valores mínimos e máximos do deslocamento angular do joelho e do tornozelo ocorrem na fase do ciclo de 0° a 180°, respetivamente.

Na Tabela 3.2 são resumidos os valores máximos e mínimos do deslocamento angular, sendo mencionado o valor da amplitude de movimentos.

Tabela 3.2: Valores máximos e mínimos do deslocamento angular da articulação do joelho e tornozelo. *Adaptado de* [35].

Articulação	Valor máximo(°)	Valor mínimo (°)	Amplitude (°)
Joelho	141	68	73
Tornozelo	133	108	25

3.1.3 Ativação Muscular

Pedalar requer um conjunto de movimentos sincronizados de múltiplas articulações por meio de forças desenvolvidas, essencialmente por músculos localizados na **região lombo-pélvica** e nos **membros inferiores** [30].

Na Figura 3.8 ilustram-se os principais músculos solicitados durante a atividade de pedalar.

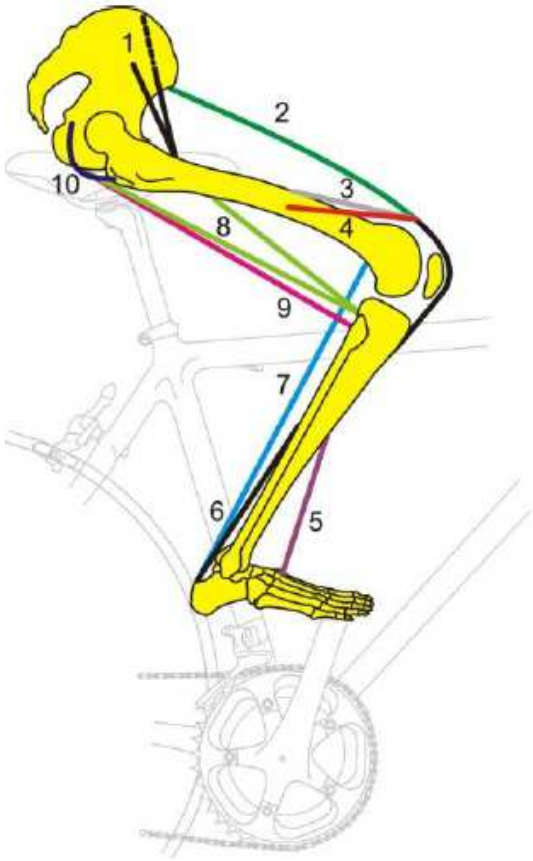


Figura 3.8: Representação dos principais músculos dos membros inferiores solicitados durante a atividade de pedalar: (1) Iliopsoas, (2) Reto Femoral, (3) Vasto Medial, (4) Vasto Lateral, (5) Tibial Anterior, (6) Sóleo, (7) Gastrocnémio, (8) Bíceps Femoral, (9) Semitendinoso e (10) Glúteo Máximo [30].

Na Tabela 3.3 apresenta-se a ativação dos grupos musculares do membro inferior em função das fases do ciclo da pedalada.

Tabela 3.3: Atividade muscular durante as fases do ciclo da pedalada. *Adaptado de* [31].

Articulação	Grupo muscular ou músculo	Fases			
		0° - 90°	90° - 180°	180° - 270°	270° - 360°
Anca	Glúteo Máximo	⋆ ⋆ ⋆	⋆ ⋆	⋆	⋆
	Reto Femoral	⋆ ⋆	⋆ ⋆	⋆	⋆ ⋆ ⋆
	Sartório	⋆	⋆	⋆	⋆
	Tensor da Fáscia Lata	⋆	⋆	⋆	⋆
Joelho	Bíceps Femoral	⋆	⋆ ⋆ ⋆	⋆	⋆
	Grácil	⋆ ⋆	⋆	⋆	
	Semimembranoso	⋆ ⋆	⋆ ⋆ ⋆	⋆ ⋆	⋆
	Vasto Lateral	⋆ ⋆ ⋆	⋆ ⋆	⋆	⋆ ⋆
	Vasto Medial	⋆ ⋆ ⋆	⋆ ⋆	⋆	⋆ ⋆
Tornozelo	Gastrocnémio	⋆ ⋆	⋆ ⋆ ⋆	⋆ ⋆	⋆
	Tibial Anterior	⋆ ⋆	⋆ ⋆	⋆ ⋆	⋆ ⋆ ⋆

⋆ Atividade Reduzida; ⋆ ⋆ Atividade Moderada; ⋆ ⋆ ⋆ Atividade Elevada;

De acordo com a tabela, na fase de 0° a 90° observa-se uma atividade elevada no grupo quadríceps femoral (vasto lateral e medial) e glúteo máximo. Na fase de 90° a 180°, verifica-se uma atividade moderada do gastrocnémico e isquiotibiais. Na fase de 180° a 270°, verifica-se uma atividade moderada nos isquiotibiais (tibial anterior), dorsiflexores (semimembranoso) e gastrocnémio. Na fase final do ciclo, de 270° a 360° observa-se uma atividade elevada no reto femoral e tibial anterior.

Alternativamente, na Tabela 3.4 referem-se em maior detalhe a solicitação exercida em cada grupo muscular, assim como o pico máximo em função das diferentes fases do ciclo da pedalada.

Tabela 3.4: Padrões médios de atividade muscular durante as fases da pedalada para os principais grupos musculares. *Adaptado de* [36].

Músculos/ Grupo muscular	**Função**	**Fase de solicitação (°)**	**Máxima solicitação (°)**
Glúteo Máximo	Extensão do quadril	340-130	80
Vasto Lateral	Extensão do joelho	300-130	30
Vasto Medial	Extensão do joelho	300-130	30
Reto Femoral	Extensão do joelho e flexão do quadril	200-110	20
Sóleo	Flexão plantar do tornozelo	340-270	110
Gastrocnémio	Flexão Plantar do tornozelo e joelho	350-270	110
Tibial Anterior	Dorsiflexão do tornozelo	Ciclo completo	280
Hamstrings	Flexão do joelho	10-230	100
Bíceps Femoral	Flexão do joelho e extensão do quadril	350-230	110

3.2 Ergonomia

O termo **ergonomia** provém das palavras gregas *"ergon"* (trabalho) e *"nomos"* (regras), significando etimologicamente **"o estudo das regras e normas do trabalho"**. Por outras palavras, segundo *Murrel*, o conceito de ergonomia pode ser definido como "conjunto de conhecimentos científicos relativos ao homem e necessário para os engenheiros conceberem ferramentas, máquinas e conjuntos de trabalhos que possam ser utilizados com máximo conforto, segurança e eficiência"[37].

O desenvolvimento de qualquer produto ou sistema engloba necessariamente uma abordagem a fatores ergonómicos, ou seja, para que o produto seja confortável, eficiente e seguro é necessário que este possua determinados atributos que visam um maior grau de desempenho e satisfação por parte do utilizador, resultando num maior sucesso comercial do produto.

Nesta secção referem-se as principais características ergonómicas, assim como recomendações de projeto que devem ser consideradas em primeira instância no desenvolvimento ergonómico de uma bicicleta.

3.2.1 Parâmetros de Conforto

O conforto decorrente da utilização da bicicleta é dependente de um conjunto de três áreas ou fatores distintos. Estes são os fatores ambientais, mecânicos e biomecânicos e fisiológicos, Figura 3.9.

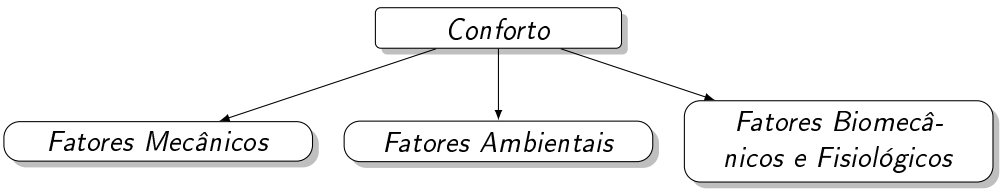


Figura 3.9: Parâmetros de conforto decorrentes da utilização da bicicleta. *Adaptado de* [38].

Os **fatores mecânicos** estão relacionados essencialmente com o equipamento e os componentes que estão presentes na bicicleta, como exemplo, podem citar-se: a geometria do quadro, a transmissão, a geometria do selim, a forma da forqueta, o nível de ar dos pneus, o tamanho do aro e do pneu, a posição das manetes dos travões, as dimensões do guiador, entre outros.

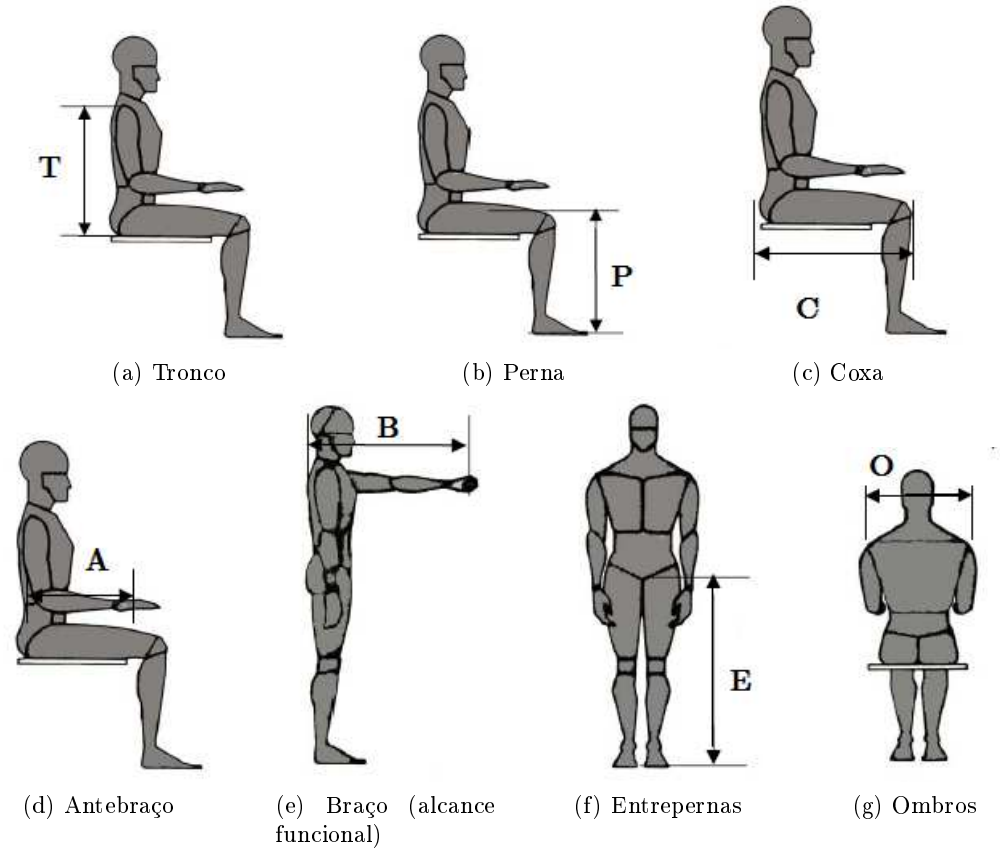
Os **fatores ambientais** não só estão relacionados com as condições climatéricas a que o ciclista pode estar sujeito (p.ex. vento e chuva), mas também relacionam-se com o vestuário utilizado. Um vestuário apropriado, não só permite um maior nível de conforto de utilização ao condutor, como pode prevenir lesões essencialmente nas zonas de contacto com a bicicleta (p.ex. utilização de luvas).

Os **fatores biomecânicos e fisiológicos** constituem a área que mais influência o conforto da utilização da bicicleta, uma vez que estes aspetos dizem respeito às características anatómicas do ciclista. Exemplos destes fatores são: a idade, o género e o comprimento dos vários segmentos corporais [38].

Seguidamente, serão abordados aspetos relacionados com os três fatores mencionados e o modo como estes influenciam o desenvolvimento ergonómico da bicicleta.

Variáveis antropométricas

O dimensionamento ergonómico de uma bicicleta passa, em primeiro lugar, pelo conhecimento de um conjunto de sete medidas morfológicas do individuo/condutor, designadas no presente texto por variáveis antropométricas (Figura 3.10).



(a) Tronco (b) Perna (c) Coxa

(d) Antebraço (e) Braço (alcance funcional) (f) Entrepernas (g) Ombros

Figura 3.10: Variáveis antropométricas necessárias no dimensionamento de uma bicicleta. *Adpatado de* [30].

Após serem identificadas as variáveis antropométricas, o próximo passo consiste em identificar um outro conjunto de variáveis designadas por variáveis dimensionais da bicicleta e o modo como estas se relacionam com as primeiras.

Variáveis dimensionais da bicicleta

Uma bicicleta carateriza-se por dois conjuntos de medidas: as **medidas da estrutura** e as **medidas variáveis**.

As **medidas da estrutura** são compostas por um conjunto de medidas que são independentes dos componentes presentes, sendo deste modo fixas (Figura 3.11). Estas são:

H - Altura do quadro.

L - Comprimento do quadro.

l - Recuo do selim.

Av - Distância entre o eixo central da bicicleta e eixo da roda dianteira.

Ar - Distância entre o eixo central da bicicleta e eixo da roda traseira.

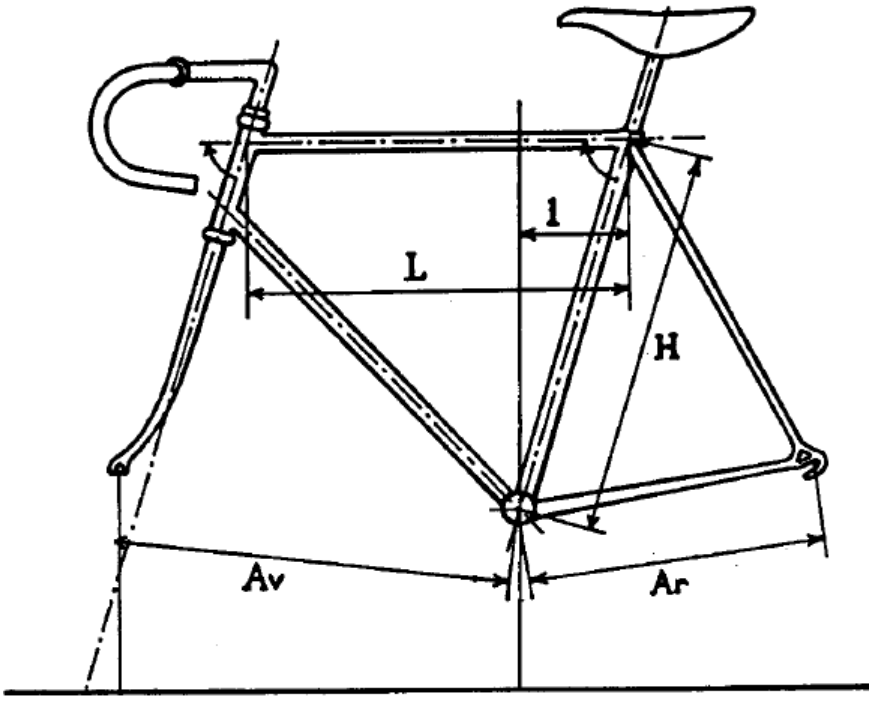


Figura 3.11: Medidas fixas do quadro. *Adaptado de* [39].

As medidas variáveis dizem respeito ao conjunto de medidas que podem variar consoante a regulação efetuada, essencialmente nos componentes em contacto com o condutor (p.ex. ajuste do selim). Estas medidas ilustram-se na Figura 3.12, sendo:

Hs - Altura do selim - medida entre o eixo central da bicicleta e a parte central superior do selim.

R - Recuo do selim - distância horizontal medida entre o bico do selim e a vertical que atravessa o eixo da transmissão.

S - Distância entre o bico do selim e a parte horizontal do guiador - zona onde é montado o espigão horizontal do guiador.

D - Desnível entre o selim e o espigão do guiador - corresponde à distância medida na vertical entre o espigão do guiador e o topo do selim.

Seguidamente, é identificada a relação entre as variáveis antropométricas e as variáveis dimensionais da bicicleta.

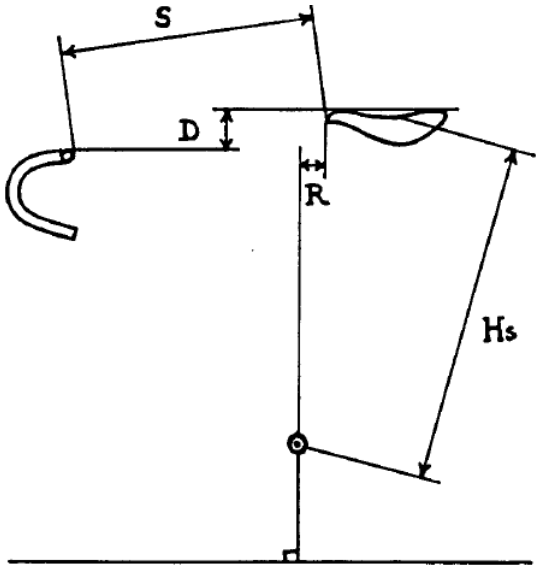


Figura 3.12: Dimensões para o cálculo da altura do selim. *Adaptado de* [39].

Altura do quadro

A altura do quadro (H), Figura 3.11, é obtida em função do entrepernas (E), Figura 3.10 (f), multiplicado pelo coeficiente de 0,65 (equação (3.2)).

$$\text{Altura do quadro}(H) = \text{Entrepernas}(E) \times 0,65 \tag{3.2}$$

Altura máxima do selim

A altura do selim (Hs), Figura 3.12, é calculada pela equação (3.3), onde o valor de Hs varia de acordo com o valor do entrepernas do condutor (E), multiplicado por um fator de 0,885.

$$\text{Altura máxima do selim}(Hs) = \text{Entrepernas}(E) \times 0,885 \tag{3.3}$$

Comprimento da pedaleira

Regra geral, o comprimento da pedaleira ronda os 17 cm. No entanto, este valor pode ser dado em função do entrepernas (E) do condutor (Tabela 3.5) [39].

Tabela 3.5: Comprimento da pedaleira. *Adaptado de* [39].

Entrepernas (mm)	Pedaleira (mm)
$\leq$ 830	165
830 - 980	170
$\geq$ 980	175

Comprimento do guiador

O guiador deve possuir um comprimento igual à largura do ombros (bidéltoide) do condutor, Figura 3.13. Um guiador com um comprimento inferior à largura dos ombros reduz a eficiência da direção. Por outro lado, um guiador demasiado largo pode provocar lesões, devido à fadiga muscular resultante dos braços estarem abertos por um longo período [38].

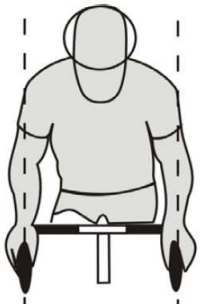


Figura 3.13: Comprimento do guiador [39].

Inclinação do tubo do selim

O ângulo de inclinação do tubo do selim (Figura 3.14) por norma corresponde a 72°, podendo este ser alterado. No entanto, é recomendado que esta variável não ultrapasse o limite de 74°.

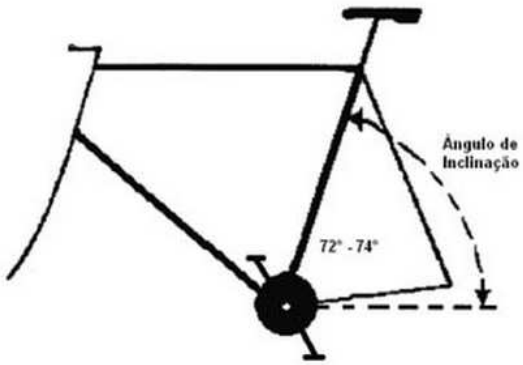


Figura 3.14: Representação esquemática do ângulo de inclinação do tubo do selim [40].

Comprimento do quadro

O comprimento do quadro (L), Figura 3.11, pode ser obtido através da medida do tronco (T), do antebraço (A) e do alcance funcional anterior (B), equação (3.4) [41].

$$L = 72,25\% \times T + 7,8\% \times B + 7\% \times A - 10(mm) \tag{3.4}$$

3.2.2 Posturas de Condução

Paralelamente ao conjunto variado de modelos de bicicletas atualmente disponíveis no mercado, é possível identificar um conjunto diversificado de posturas ou de posições de condução. Deste conjunto, as posições mais usuais são a posição vertical em bicicletas tradicionais ou clássicas, a posição ligeiramente inclinada em bicicletas desportivas ou de turismo e a posição inclinada para a frente da bicicleta de corrida em estrada (Figura 3.15).

(a) Clássica

(b) Desportiva/Turismo

(c) Competição

Figura 3.15: Posições de condução [42].

Do conjunto de posições de condução, a postura clássica e a postura desportiva contribuem para a forma de "duplo S"da coluna vertebral, sendo um aspeto principal para a manutenção de uma correta postura na bicicleta (Figura 3.16).

De acordo com a autor [43], a forma da coluna vertebral em "duplo S"privilegia a maximização da capacidade de amortecimento das vibrações. A capacidade de articulação e rotação do torso fornece uma boa base para a utilização dos músculos que apoiam os esforços realizados pelos membros inferiores e posteriores, servindo para manter a pélvis fixa. Esta por sua vez, serve como uma base estável para o movimento dos membros posteriores de forma a maximizar a força exercida sobre os pedais.

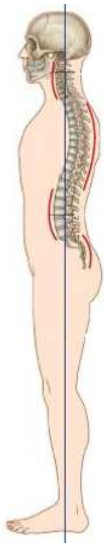


Figura 3.16: Curvatura em "duplo S"da coluna vertebral. *Adaptado de* [44].

De salientar que não existe uma "posição ideal"de condução. No entanto, é importante conhecer quais as posições mais adequadas a um determinado segmento de bicicletas. Seguidamente, são abordadas as três posições de condução em cima mencionadas e as vantagens e desvantagens para cada posição.

Posição de Condução Clássica

A posição de condução clássica, Figura 3.17, carateriza-se pela posição ereta das costas do condutor em relação ao solo. O ângulo formado entre o tronco e os braços do ciclista é aproximadamente 20°, verificando-se uma proximidade visível do guiador em relação ao tronco. Esta posição para além de contribuir para a posição de "duplo S"da coluna vertebral, reduz a tensão sobre os braços e as mãos.

A principal desvantagem reside na baixa transferência de energia para os pedais, uma vez que grande parte do peso do condutor recai sobre a zona glútea, estando esta apoiada no selim [42].

Figura 3.17: Posição de condução clássica. [42].

No entanto, esta é a postura que obteve 100% de aprovação nos resultados práticos

realizados por *Pequini (2005)* [39] face às bicicletas que induzem o tronco em flexão, sendo recomendados os ângulos posturais biomecânicos presenteados na Figura 3.18 para bicicletas de lazer e de transporte quotidiano.

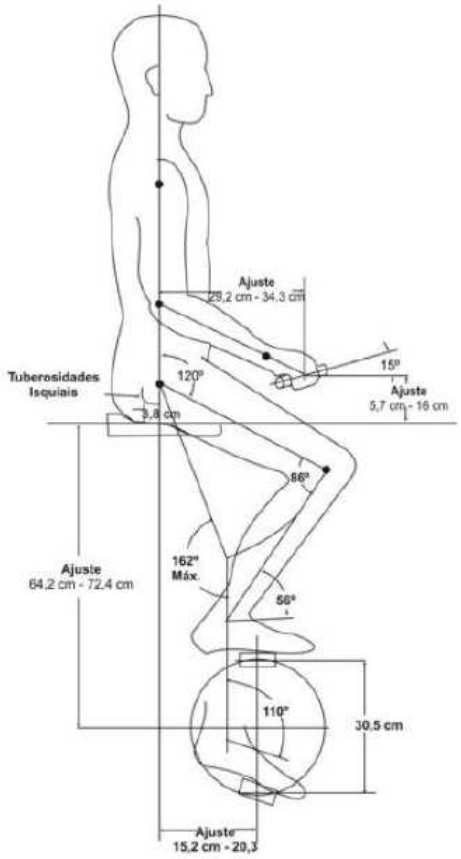


Figura 3.18: Ângulos de conforto biomecânicos recomendados para bicicletas de lazer e transporte [39].

Posição de Condução Desportiva

As posições de condução representadas na Figura 3.19 (a) e (b) caraterizam-se pela inclinação visível do tronco em relação ao solo. Na figura da esquerda, o ângulo entre o tronco e os braços do condutor ronda os 90°. Já na figura da direita o ângulo é aproximadamente de 60°. Ambas as posições visam uma maximização muscular dos membros inferiores, sendo esta posição de condução ideal para uma utilização turística ou desportiva, pois requerem a realização de esforços de variadas magnitudes por um longo período de tempo.

Como desvantagens desta posição, salienta-se a necessidade do ciclista possuir um nível mínimo de preparação física a nível muscular de modo a suportar o esforço gerado confortavelmente. A zona da palma da mão, do pescoço e os ombros podem sofrer alguma tensão nesta posição.

(a) (b)

Figura 3.19: Posição de condução desportiva e de turismo. *Adaptado de* [42]

Posição de Condução de Competição

A posição de condução de competição, Figura 3.20, é caraterizada pela inclinação acentuada do tronco do condutor, em relação ao solo, e pela posição superior do assento em relação ao guiador. Esta posição é tipicamente utilizada por ciclistas de alta competição, uma vez que o condutor adota uma postura aerodinâmica que favorece a propulsão da bicicleta.

Contudo, a posição de condução de competição exige um nível de preparação física a nível muscular, uma vez que o corpo se encontra tenso. Não sendo assim uma posição recomendável para utilização urbana ou de lazer [42].

Figura 3.20: Postura de condução de competição. *Adaptado de* [42].

3.3 Antropometria

A antropometria é a ciência que estuda as dimensões físicas do corpo humano tendo como variáveis o peso, a altura e as proporções entre secções.

Uma análise antropométrica a determinada população permite observar a sua evolução e identificar as diferenças entre indivíduos, assim como constitui uma ferramenta de auxílio na conceção e *design* de novos produtos e dimensionamento de postos de trabalho [45].

A antropometria divide-se em **antropometria estática** e **antropometria dinâmica**. A **antropometria estática** estuda as proporções do ser humano, ou seja, uma análise antropométrica estática trata o conjunto de dados, ditos estáticos, associados aos comprimentos, áreas, volumes, massa, entre outros, do corpo humano ou dos seus segmentos [45].

Este conjunto de dados, tal como o nome sugere, são frequentemente utilizados no projeto e dimensionamento de objetos estáticos, por exemplo, mesas, secretárias, bancos, entre outros, de forma a possibilitar espaços disponíveis ao utilizador e uma correta integração e interação dimensional com os equipamentos. É frequente encontrar estes dados em tabelas percentis para uma determinada população.

Um percentil representa o valor de uma dimensão abaixo da qual existe uma certa percentagem de observações. Por exemplo, o percentil 5 representa o resultado em que apenas 5% das observações a um determinado grupo de indivíduos são inferiores a este valor, sendo que 95% das observações têm resultados acima deste valor. No caso do percentil 95, apenas 5% das observações estão acima dos resultados obtidos e 95 % abaixo da dimensão de referência. Por fim, o percentil 50 significa que 50% dos indivíduos têm dimensões inferiores ou iguais às descritas por esse mesmo percentil [45].

A **antropometria dinâmica** (funcional) é usada principalmente na conceção de produtos que implicam a realização de movimentos durante a sua interação. Este conjunto de dados estão associados às amplitudes de movimentos do corpo humano nas suas diferentes posturas e atividades, bem como às amplitudes que as diferentes articulações podem realizar individualmente, tendo como base os planos anatómicos de referência [45].

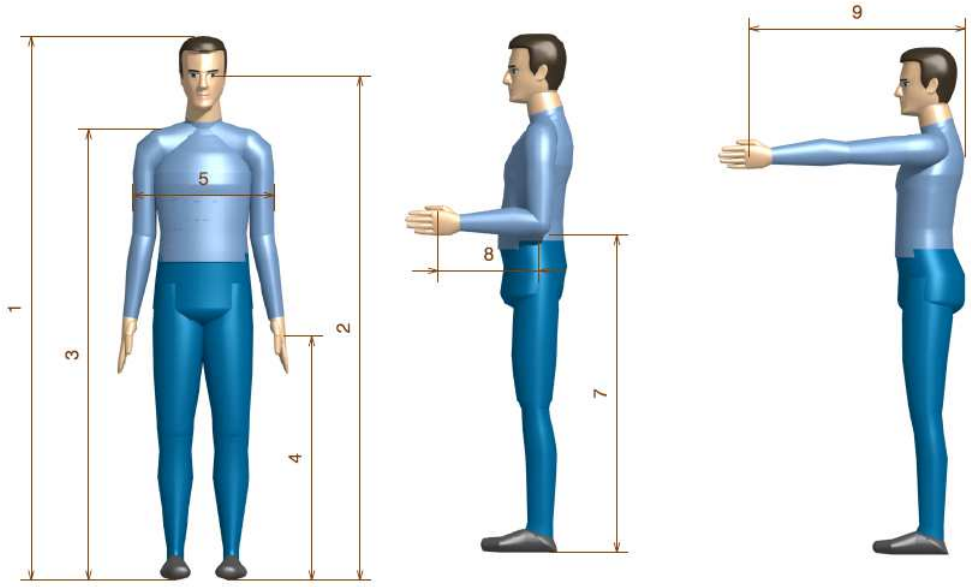
Como mencionado anteriormente, o conhecimento do conjunto dos dados antropométricos constitui uma ferramenta essencial no desenvolvimento ergonómico de um produto, como a bicicleta, facultando uma correta integração entre o homem e a máquina.

3.3.1 Dados Antropométricos Estáticos

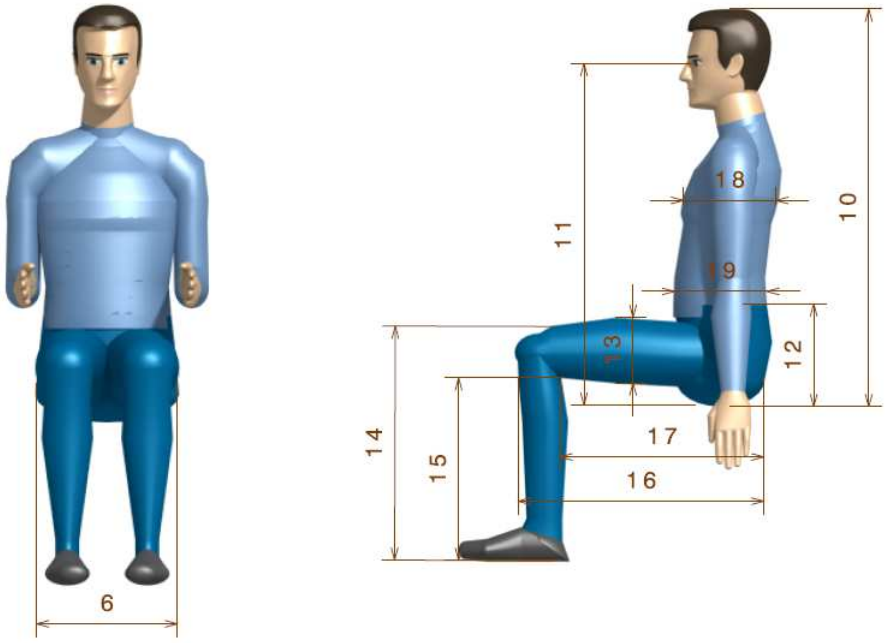
A antropometria estática refere-se à medição corporal em posições *standard* pré-determinadas em relação a posições anatómicas de referência.

No presente projeto foram recolhidos um conjunto de dados antropométricos referentes à população portuguesa [46]. Na Figura 3.21 e na Tabela 3.6 são ilustrados os principais dados antropométricos considerados, nomeadamente na Tabela 3.6 são referidas as dimensões dos segmentos anatómicos para indivíduos do género masculino e feminino pertencentes ao percentil 5, 50 e 95.

Posteriormente, com o auxílio do módulo *Ergonomics Design &Analasys* presente no *software* de modelação CAD *CATIA V5* ©, introduziu-se manualmente as medidas presentes na Tabela 3.6 no editor de medidas do modelo humano.



(a) Postura em pé



(b) Postura sentado

Figura 3.21: Dimensões antropométricas. *Adaptado de* [46].

Tabela 3.6: Dimensões antropométricas do homem e da mulher portugueses. *Adaptado de* [46].

		Homem(mm)			**Mulher**(mm)		
		Percentil			Percentil		
Dimensão $N^{\underline{o}}$	Designação	5	50	95	5	50	95
1	Estatura	1.566	1.690	1.814	1.456	1.565	1.674
2	Altura dos olhos	1.463	1.565	1.707	1.356	1.465	1.574
3	Altura do ombro	1.289	1.585	1.707	1.203	1.295	1.387
4	Altura do punho	664	735	806	620	685	750
5	Largura dos ombros (bideltóide)	425	475	525	260	300	341
6	Largura das ancas	340	380	420	355	400	445
7	Altura do cotovelo	966	1.050	1.134	890	956	1040
8	Distância cotovelo-punho	320	350	380	292	320	348
9	Alcance funcional anterior	627	730	833	620	675	730
10	Altura sentado	859	920	981	807	865	923
11	Altura dos olhos (em relação ao assento)	754	810	866	703	760	817
12	Altura lombar (em relação ao assento)	183	215	247	107	220	253
13	Espessura máxima da coxa	146	175	204	140	165	190
14	Altura do joelho	475	525	575	435	480	525
15	Altura do poplíteo	385	400	442	327	365	403
16	Comprimento máximo da coxa	536	590	644	518	570	622
17	Comprimento coxa-poplíteo	433	485	538	421	470	520
18	Espessura do peito	227	265	303	226	275	324
19	Espessura abdominal	213	265	317	201	260	317
20	Distância ombro-assento	575	630	685	539	595	650
*	Massa corporal (kg)	56	74	92	48	64	80

O valor do entrepernas (medida entre o solo e as virilhas) não se encontra mencionado no estudo anteriormente referenciado. Uma vez que se trata de uma dimensão necessária para o dimensionamento da bicicleta, este valor foi considerado como sendo de 48% da altura do corpo (Figura 3.22). A Tabela 3.7 ilustra os valores do entrepernas (arredondados à unidade) calculados para os diversos percentis.

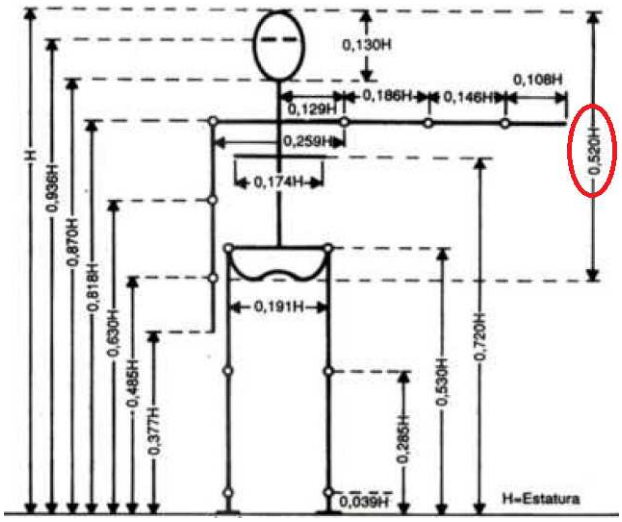


Figura 3.22: Comprimento dos segmentos corporais, em percentagem da altura do corpo. *Adpatado de* [47].

Tabela 3.7: Estimativa do valor do entrepernas em função da altura.

Género	Percentil	Altura (mm)	Entrepernas $\approx 0,48 \times Altura\ (mm)$
	5	1.566	752
Masculino	50	1.690	811
	95	1.814	871
	5	1456	699
Feminino	50	1565	751
	95	1.674	804

3.3.2 Dados Antropométricos Dinâmicos

A antropometria dinâmica, como referido anteriormente, estuda as amplitudes de movimentos realizados pelo corpo humano. Esta medição pode ser vista como um complemento dos dados estáticos uma vez que fornece informação acerca das rotações das secções corporais.

A Figura 3.23 ilustra os valores de rotações corporais considerados.

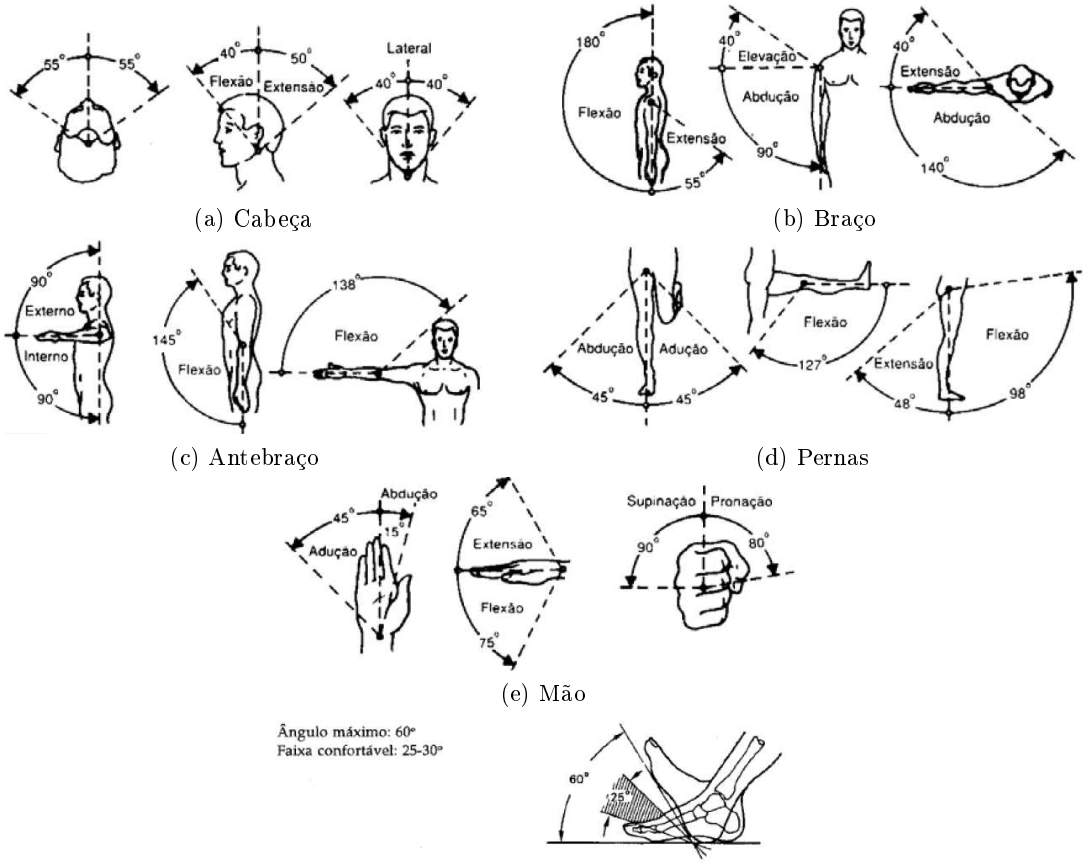


Figura 3.23: Valores médios de rotações voluntárias do corpo. *Adaptado de* [47].

Capítulo 4

Processo de Desenvolvimento da Bicicleta

Este capítulo trata toda a fase de desenvolvimento e conceptualização do novo conceito de bicicleta.

Numa primeira fase, são expostas as necessidades e opiniões de vários utilizadores sobre o novo conceito a desenvolver. É ilustrada a metodologia utilizada na identificação das necessidades de utilizadores típicos e o modo de interação com os mesmos.

Posteriormente, são expostas todas as ferramentas utilizadas, características de um projeto de engenharia de produto, tendo como base metodologias atualmente estabelecidas como referência.

4.1 Identificação das Necessidades dos Utilizadores

A identificação das necessidades dos consumidores é parte integrante de um processo de desenvolvimento do produto, constituindo uma etapa essencial de todo o projeto. A identificação das necessidades e requisitos permite que estes se traduzam em atributos e funcionalidades do produto [48].

No contexto de desenvolvimento de um novo produto, ou no melhoramento, *re-design* e refunção de um já existente, existem diversos métodos de identificação das preferências dos consumidores. Destes destacam-se: questionários, entrevistas, observação direta no ambiente do produto, entre outros. Dos métodos referidos, facilmente se compreende que estes, de um modo geral, requerem um dispêndio de recursos, tais como, infra-estruturas, profissionais especializados, meios técnicos, etc.

Com o intuito de delinear um caminho na geração do novo conceito de bicicleta, e por outro lado conhecer um conjunto diversificado de opiniões de usuários de um modo relativamente rápido e simples, foram criados dois questionários *online* através da tecnologia **Google Docs** e posteriormente divulgados num fórum de ciclismo [1].

O primeiro questionário consistia num conjunto de duas questões de escolha múltipla. A primeira questão listava um conjunto de possíveis motivos justificativos para o uso da bicicleta, sendo pedido para selecionar o que melhor correspondia a cada utilizador. Na

[1] `http://www.forumciclismo.net/`

segunda questão apresentava-se um conjunto de funcionalidades e especificações possíveis a incorporar num novo conceito de bicicleta, pedindo-se para selecionar a(s) que mais agradava(m) aos utilizadores. Alternativamente, nesta questão foi adicionado um campo de resposta aberta de modo a permitir aos utilizadores sugerirem outras funcionalidades.

Na Figura B.2, presente no Apêndice B, é ilustrado o *layout* do primeiro questionário e disponibilizado *online*.

O conjunto de características possíveis e sugeridas no inquérito constituíam os desafios iniciais do projeto. Uma vez que o desenvolvimento de uma bicicleta que respondesse de igual forma a este conjunto de especificações não era viável, optou-se por desenvolver um conceito de bicicleta de acordo com a opinião dos inquiridos.

Por outro lado, é percetível que existem diversos motivos que justificam a utilização da bicicleta por parte dos utilizadores, observando-se, assim, diversas categorias de bicicletas com características próprias para os fins a que se destinam. Sendo assim, pretendeu - se com a construção deste questionário conhecer e identificar o motivo justificativo de utilização e o conjunto de funcionalidades selecionadas para cada resposta obtida.

Na Figura 4.1 é ilustrado o esboço do primeiro questionário criado e um exemplo de uma possível resposta.

Primeira Questão:

Quais os motivos pelos quais usa a bicicleta ?

☐ Lazer e cicloturismo.
☐ Gosto pela prática de BTT.
☐ Como meio de transporte no quotidiano.
☐ Ciclismo de estrada.
☑ Manutenção física.

Segunda Questão:

Para além dos requisitos normais (p.ex. conforto, segurança) que uma bicicleta deve contemplar, que funcionalidades gostaria de encontrar numa bicicleta ?

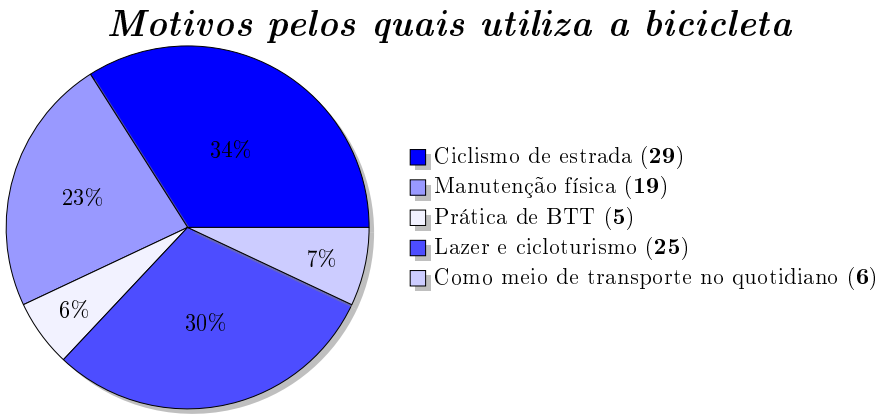
☑ Capacidade de gerar energia para carregar pequenos dispositivos (p.ex. telemóvel, mp3, GPS), durante a sua utilização.
☐ Possibilidade de utilização em meio aquático (na perspetiva de lazer).
☑ Dupla função de passeio e exercício físico em casa (género de bicicleta *indoor*).
☐ Capacidade de utilização ou reabilitação física a utilizadores com limitações físicas.
☐ Fácil transporte e arrumação.
☐ Outra:_____.

Figura 4.1: Esboço do primeiro inquérito realizado.

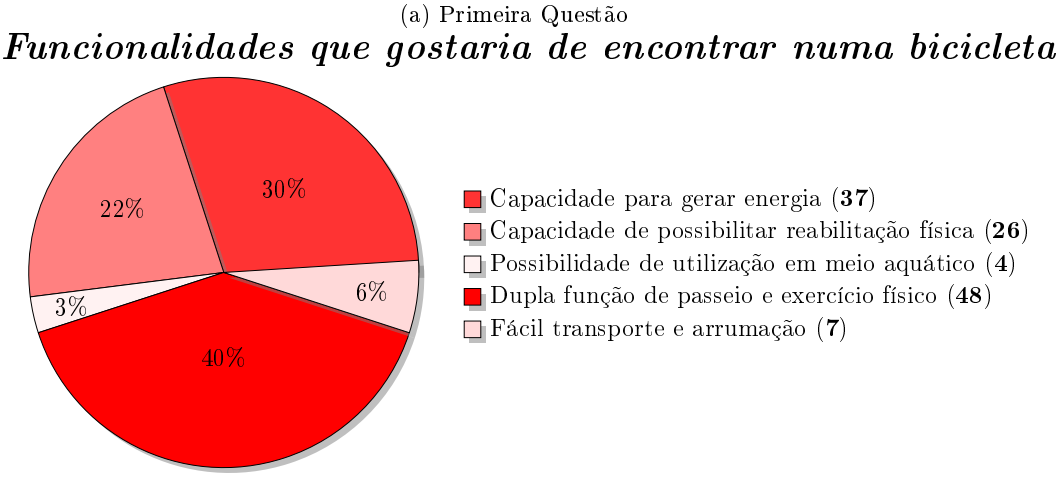
Este primeiro inquérito publicado a 26 de novembro 2012, contabilizou um número total de **84** respostas no período compreendido entre 26 de novembro e 17 de dezembro 2012.

Os gráficos presentes na Figura 4.2 (a) e (b) ilustram os resultados obtidos na primeira e segunda questão, respetivamente. O número de vezes que determinado motivo ou característica foi selecionado encontra-se entre parêntesis.

No Apêndice B, as Tabelas B.1 e B.2 resumem as respostas totais obtidas para a primeira e segunda questão, respetivamente.



(a) Primeira Questão



(b) Segunda Questão

Figura 4.2: Resumo das respostas do primeiro questionário.

Da análise das Figura 4.2 (a) e (b), observa-se que o motivo que mais justifica o uso da bicicleta é o "Ciclismo de estrada", representando cerca de 34% do votos. Os motivos "Lazer e cicloturismo" e "Manutenção física" constituem o segundo e o terceiro motivo justificativo, respetivamente. O uso da bicicleta para a "Prática de BTT" e "Como meio de transporte no quotidiano"constituem as razões que menos justificam o uso da bicicleta.

No que diz respeito ao conjunto de funcionalidades possíveis a incorporar num novo conceito de bicicleta, as que mais despertam interesse por parte dos utilizadores são: "Dupla função de passeio e exercício físico estático" e "Capacidade para gerar energia", representando cerca de 40% e 30% dos votos, respetivamente. As funcionalidades "Fácil transporte e arrumação" e "Possibilidade de utilização em meio aquático" representam as especificações com menos votos.

Nesta fase do projeto, face aos resultados obtidos no primeiro questionário, decidiu-se que as funcionalidades a incorporar num novo conceito de bicicleta que mais contribuíam para a aceitação e diferenciação do produto no mercado, por ordem de importância, são:

1. **Dupla função de passeio e exercício físico estático (*indoor*).**
2. **Capacidade de gerar energia para carregar pequenos dispositivos eletrónicos durante a sua utilização.**
3. **Capacidade de utilização ou reabilitação física a utilizadores com limitações físicas.**

Como referido anteriormente, foram desenvolvidos dois questionários. O primeiro constituiu um "guia" de projeto que permitiu identificar um conjunto de especificações ou funcionalidades a desenvolver numa nova proposta ou conceito de bicicleta. Contudo, este primeiro questionário não permitia conhecer as necessidades, reclamações e opiniões "reais" de utilizadores típicos. Deste modo, elaborou-se um segundo questionário constituído por três questões de resposta aberta e uma questão de escolha múltipla.

Na Figura 4.3 representa-se um esboço do segundo inquérito realizado. Este, publicado *online* em 24 de janeiro 2013, contabilizou um total de **38** respostas até ao dia 18 de fevereiro do mesmo ano.

Primeira Questão:

Que fatores consideraria na compra de uma bicicleta e quanto estaria disposto a pagar?

R: _____

Segunda Questão:

Que melhorias ou funções aplicava na sua bicicleta?

R: _____

Terceira Questão:

Indique a sua idade e género: _____

Quarta Questão:

(Por favor indique o nível de importância que atribui, numa escala 1 (pouco importante); 5 (muito importante), as seguintes características.)

	1	2	3	4	5
Robustez, durabilidade.	◎	◎	◎	◎	◎
Leveza, conforto.	◎	◎	◎	◎	◎
Segurança, fácil manutenção.	◎	◎	◎	◎	◎
Design apelativo, fácil arrumação.	◎	◎	◎	◎	◎
Uso de materiais recicláveis.	◎	◎	◎	◎	◎
Baixo custo.	◎	◎	◎	◎	◎
Adaptável, ajustável.	◎	◎	◎	◎	◎
Multifunção (p.ex. carregar dispositivos eletrónicos).	◎	◎	◎	◎	◎

Figura 4.3: Esboço do segundo inquérito desenvolvido.

Na primeira pergunta, questionou-se quais os fatores que considerariam na compra de uma bicicleta e o preço que estariam dispostos a ceder na sua aquisição. Na segunda,

questionou-se os utilizadores acerca de melhorias ou aspetos que modificavam, ou até que incluíam na sua própria bicicleta. Na terceira questão, pedia-se aos inquiridos para mencionarem a idade e o género. Na última questão (escolha múltipla), enumerou-se um conjunto de caraterísticas técnicas (p.ex. robustez), sendo pedido aos usuários para classificarem as características identificadas numa escala de 1 (pouco importante) a 5 (muito importante) de acordo com as suas preferências.

Os resultados do segundo inquérito podem ser consultados na Tabela B.3 presente no Apêndice B. Alternativamente, na Tabela 4.1 estão resumidas as principais respostas dos inquiridos relativamente à primeira e segunda questão.

Tabela 4.1: Respostas obtidas para a primeira e segunda questão do segundo inquérito.

Primeira Questão:	**Segunda Questão:**
"Leveza e durabilidade"	"Sistema de iluminação lateral/rodas/pedais"
"Desempenho e estética"	"Eficácia de transmissão"
"*Design* e robustez"	"Amortecimento"
"Qualidade"	"Aerodinâmica"
"Leveza e preço"	"Quadro"
"Acabamento e aspeto"	"Sistema de travagem"
"Pouca manutenção"	"Rodas/Pneus"
"Sistema de transmissão"	"Capacidade de carga e estabilidade"
"Componentes"	"Redução do peso"
"Segurança"	"Pulsómetro e conta km"
"Leitura de terreno"	"Sensor de potência"
"Conforto"	"Marcha auxiliada por motor elétrico"

As respostas dos utilizadores inquiridos, resumidas na Tabela 4.1, constituem as "necessidades" que serão consideradas na próxima secção. Salienta-se o facto de os utilizadores terem mencionado com frequência que incluíam dispositivos de iluminação na sua bicicleta.

Na Tabela 4.2 é efetuada uma caraterização da amostra em termos etários e de género.

Tabela 4.2: Distribuição da amostra por escalão etário e de género.

Escalão Etário (anos)	Género Masculino	Género Feminino	Frequência [%]
Menos de 20	1	-	2,78
20-29	17	-	47,22
30-39	9	1	25
40-49	7	-	19,44
Mais de 50	2	-	5,56

Na Tabela 4.2, observa-se que o universo de utilizadores inquiridos apresentam idades inferiores a 20 anos e superiores a 50 anos, tendo a maioria idades compreendidas entre os 20 e os 29 anos. Por outro lado, observa-se que o número de respostas de utilizadores do sexo feminino é praticamente nulo.

Na Tabela 4.3 encontram-se os resultados da quarta questão do segundo questionário, ilustrando-se a frequência relativa que determinado atributo foi avaliado numa cotação de "4"(Importante) ou "5"(Muito importante), assim como a sua frequência relativa.

Tabela 4.3: Sumário das respostas à quarta questão do segundo inquérito.

Requisito identificado	Nºde respostas com cotação de 4 ou 5	Frequência Relativa [%]
Robustez, durabilidade.	35	21,08
Leveza, conforto.	31	18,67
Segurança, fácil manutenção.	28	16,87
Design apelativo, fácil arrumação.	22	13,25
Baixo custo;	22	13,25
Adaptável, ajustável.	15	9,04
Multifunção(p.e carregar telemóvel);	7	4,22
Uso de materiais recicláveis;	6	3,61

De acordo com os resultados da Tabela 4.3, os utilizadores dão prioridade a aspetos como "Robustez, durabilidade", "Leveza, conforto" e "Segurança, fácil manutenção". Estas características serão consideradas na fase de hierarquização e interpretação dos dados obtidos.

O preço que os utilizadores estão dispostos a pagar por uma bicicleta varia entre 300 €e 4000 €. A Tabela 4.4 apresenta os preços que os utilizadores estão dispostos a despender por uma bicicleta.

Tabela 4.4: Preços que os utilizadores poderão despender por uma bicicleta.

Preço [€]	N^{o}de respostas
Inferior ou igual a 1000	8
Superior a 1000 e inferior a 2000	6
Superior ou igual a 2000	14

Não menosprezando os resultados da Tabela 4.4, decidiu-se que a nova proposta de bicicleta a desenvolver deveria possuir um preço de aquisição não superior a 1000 € de modo a tornar-se competitiva face à oferta de mercado.

4.2 Organização dos Dados

Após a fase de levantamento das necessidades, gostos e preferências dos utilizadores e o conhecimento de um conjunto vasto de opiniões, procedeu-se a uma organização de toda a informação. Os dados obtidos nos questionários foram agrupados de forma a interpretar as necessidades em requisitos do cliente (Tabela 4.5).

Tabela 4.5: Interpretação das necessidades dos utilizadores.

Necessidade original	Requisito cliente
"Bom amortecimento"	**Amortecimento vibratório**
"Não possuir arestas cortantes" "Ser confortável"	**Configuração ergonómica**
"Ajustável" "Adaptável"	**Adaptável/Ajustável**
"Fácil arrumação"	**Fácil armazenamento e transporte**
"Pode ser utilizado por pessoas c/ limitações físicas"	**Adaptável a usuários c/ limitações físicas**
"Iluminação nos pedais e nas rodas" "Iluminação lateral" "Luzes" "Sistema de bloqueio/travagem" "Boa aderência" "Anti-furo" "ABS"	**Segurança do usuário**
"Ser robusto" "Não ser contaminada por fatores externos" "Fiabilidade"	**Robustez**
"Utilização estática e passeio"	**Multiuso (utilização dinâmica e *indoor*)**
"Carregar dispositivos durante a utilização" "Pulsómetro integrado"	**Multifunção (carregar dispositivos eletrónicos)**
"Pouca manutenção e avarias "	**Pouca manutenção**
"Leveza" "Quadro mais leve" "Rodas mais leves"	**Peso reduzido**
"Capacidade de carga"	**Transporte de objetos**
"Transmissão" "Rodas" "Nº de velocidades" "Eficácia da pedalada" "Desempenho" "Aerodinâmica"	**Eficiência/*Performance***
"Ser fácil de usar" "Ser estável" "Boa estabilidade" "Simplicidade"	**Fácil utilização**
"Modernidade" "*Design*" "Estética" "*Design* atraente"	***Design*/Aspeto apelativo**
"Relação qualidade-preço"	**Preço acessível**

4.3 Hierarquização dos Requisitos

Após terem sido identificados os requisitos dos consumidores, o próximo passo consiste numa hierarquização dos mesmos, de modo a estabelecer uma ordem de valor.

Diagrama de Mudge

O diagrama de Mudge consiste numa ferramenta que permite avaliar as funções por ordem de importância que estas representam para o cumprimento das exigências dos utilizadores. Esta técnica permite comparar todas as combinações possíveis das funções, duas a duas, definindo qual a função mais importante através da atribuição de um nível de importância, assumindo os seguintes valores: (1) tão importante quanto; (2) mais importante; (3) muito mais importante ([49]).

De uma forma resumida, o diagrama de Mudge compara os requisitos entre si, definindo qual o requisito que contribui para o sucesso do produto e quanto mais importante é esse requisito.

Primeiramente, atribuiu-se a cada requisito uma designação alfabética para posteriormente serem introduzidos no diagrama de Mudge (Tabela 4.6).

Tabela 4.6: Requisitos e respetiva designação.

Requisito	**Designação**
Amortecimento vibratório	A
Configuração ergonómica	B
Adaptável/Ajustável	C
Fácil armazenamento e transporte	D
Adaptável a usuários c/ limitações físicas	E
Segurança do usuário	F
Robustez	G
Multiuso (uso dinâmico e *indoor*)	H
Multifunção (carregar dispositivos eletrónicos)	I
Pouca manutenção	J
Peso reduzido	K
Transporte de objetos	L
Eficiência/*Performance*	M
Fácil utilização	N
Design/Aspeto apelativo	O
Preço acessível	P

Na Figura 4.4, ilustra-se o diagrama de Mudge do projeto. O nível de importância atribuído a cada requisito, quando comparado com os restantes, foi feito tendo em consideração os resultados obtidos nos questionários realizados, assim como uma utilização desportiva, de condicionamento físico de lazer à qual a bicicleta a desenvolver se enquadra.

Após a construção do diagrama de Mudge, os requisitos foram hierarquizados atendendo à importância relativa (expressa em percentagem) de cada um, Figura 4.5.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Total	%	Importância
A	B1	C1	D2	E2	F2	G2	H3	I2	J1	K1	A1	M1	A1	A1	P2	3	1,89	15
	B	B1	B1	E1	F1	G2	H1	I1	J1	B1	B1	M1	B1	B1	B1	8	5,03	11
		C	C1	E1	F1	G1	H2	I1	J1	K1	K1	M2	N1	C1	P1	3	1,89	14
			D	E1	F3	G2	H3	I3	J1	K2	L2	M2	N1	O1	P1	2	1,26	16
				E	F1	G1	H3	I2	E1	K1	E2	M1	E1	E1	E1	11	6,92	5
					F	F1	H1	I1	F2	F1	F3	F1	F1	F1	F1	19	11,95	2
						G	H1	G1	J1	G1	G1	M1	G1	O2	P1	12	7,55	4
							H	H2	H1	H1	H2	H1	N1	H2	H1	24	15,09	1
								I	J1	K1	L1	I1	I1	I1	I1	14	8,81	3
									J	J1	J1	M2	J2	O1	P1	10	6,29	8
										K	L2	M1	K1	O2	P2	9	5,66	10
											L	L2	L1	L1	P1	8	5,03	12
												M	N1	O1	P2	11	6,92	6
													N	O1	N1	5	3,14	13
														O	O1	9	5,66	9
															P	11	6,92	7
																159	100	

Figura 4.4: Diagrama de Mudge.

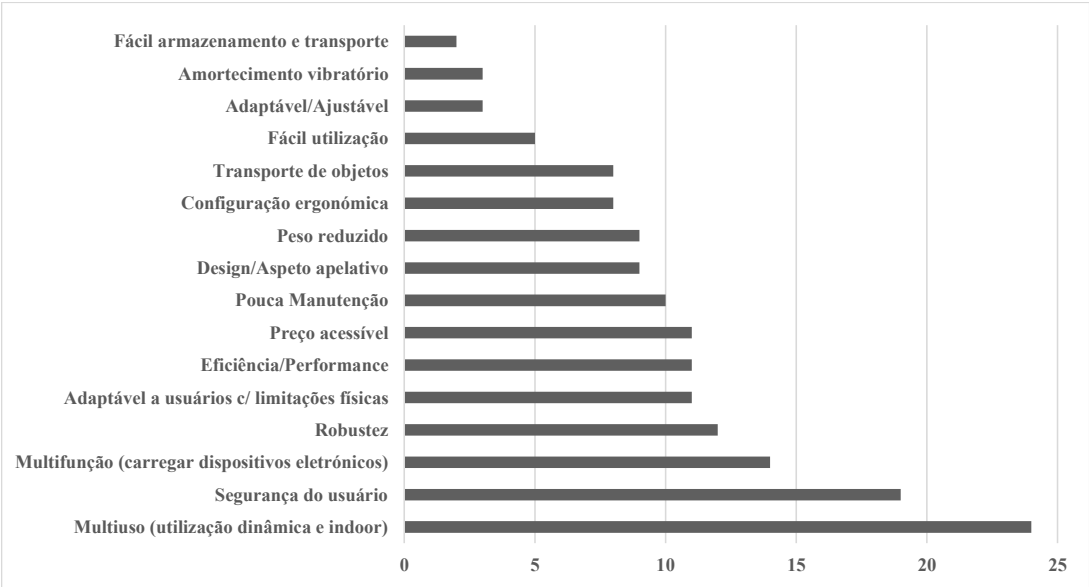


Figura 4.5: Priorização inicial dos requisitos do cliente.

Da análise da Figura 4.5, observa-se que os requisitos com maior pontuação e que desta forma ocupam os lugares de topo do *ranking* são: "Multiuso (uso dinâmico e *indoor*)", "Segurança do usuário" e "Multifunção (carregar dispositivos eletrónicos)". Por outro lado, os requisitos "Fácil armazenamento e transporte"e "Amortecimento vibratório" constituem o grupo de requisitos com menor pontuação.

Após a hierarquização realizada dos requisitos, é feita uma divisão dos mesmos em graus de importância entre 1 (pouco importante) a 5 (muito importante), Tabela 4.7. Esta divisão será contemplada na fase de construção da matriz QFD.

Tabela 4.7: Grau de importância dos requisitos.

Requisito	Total	Importância	Valor
Multiuso (utilização dinâmica e *indoor*)	24	1	**5**
Segurança do usuário	19	2	
Multifunção (carregar dispositivos eletrónicos)	14	3	
Robustez	12	4	
Adaptável a usuários c/ limitações físicas	11	5	**4**
Eficiência/*Performance*	11	6	
Preço acessível	11	7	
Pouca manutenção	10	8	**3**
Design/Aspeto apelativo	9	9	
Peso reduzido	9	10	
Configuração ergonómica	8	11	
Transporte de objetos	8	12	**2**
Fácil utilização	5	13	
Adaptável/Ajustável	3	14	
Amortecimento vibratório	3	15	**1**
Fácil armazenamento e transporte	2	16	

Diagrama de Kano:

A análise de Kano, comummente designada por diagrama de Kano, consiste num método gráfico de medição da qualidade para categorizar e priorizar as necessidades e requisitos do cliente [50].

De uma forma resumida, o pressuposto subjacente à análise de Kano é que a satisfação do cliente nem sempre é proporcional à forma totalmente funcional do produto. Por outras palavras, maior qualidade não conduz necessariamente a uma maior satisfação para todos os atributos ou especificações do produto. Ou seja, combinando o desempenho do produto com o nível de satisfação do cliente, é determinado o efeito que a variação da capacidade de resposta a um determinado requisito provocará no nível de satisfação do cliente [50].

A análise de Kano distingue três tipos de requisitos de produto que influenciam a satisfação do cliente em diferentes modos [50]:

Requisitos básicos: são os requisitos que obrigatoriamente têm de estar presentes no produto, ou seja, a sua ausência provoca grande insatisfação no cliente. Por outro lado, e uma vez que o cliente associa estes requisitos como "garantidos" no produto, a sua presença não contribui para o aumento da sua satisfação. Os requisitos básicos constituem, em diversas situações, um fator competitivo, uma vez que a sua ausência no produto conduz a um desinteresse do cliente.

Requisitos unidimensionais ou esperados: constituem o grupo de requisitos que podem aumentar ou diminuir o grau de satisfação do cliente consoante o seu maior

ou menor nível de desempenho. Na maioria dos casos, estes requisitos são explicitamente exigidos pelo cliente.

Requisitos inesperados ou de excitação: estes requisitos constituem os critérios de produto que têm maior influência sobre o grau de satisfação de um cliente sobre determinado produto. De facto, o cliente não associa estes requisitos ao produto. Contudo, a sua presença conduz a um elevado grau de satisfação do cliente. Estes requisitos, normalmente, não são mencionados pelo cliente e a sua ausência no produto não provoca qualquer insatisfação.

Com o evoluir da tecnologia, e de uma forma generalizada para qualquer segmento ou tipo de produto, e em particular para um produto como a bicicleta, é normal que os requisitos de "excitação" passem a constituir requisitos "esperados" , assim como os requisitos "esperados" sejam incluídos no grupo de requisitos "básicos", ocorrendo uma evolução natural proporcionada pela evolução da tecnologia.

Na Figura 4.6 encontra-se ilustrado o diagrama de Kano do projeto. A medida do desempenho de determinado requisito e a satisfação do cliente são indicadas no eixo x e y, respetivamente. A categorização dos requisitos foi feita com base nos dados obtidos dos questionários realizados e dos dados obtidos na atividade *benchmarkting*.

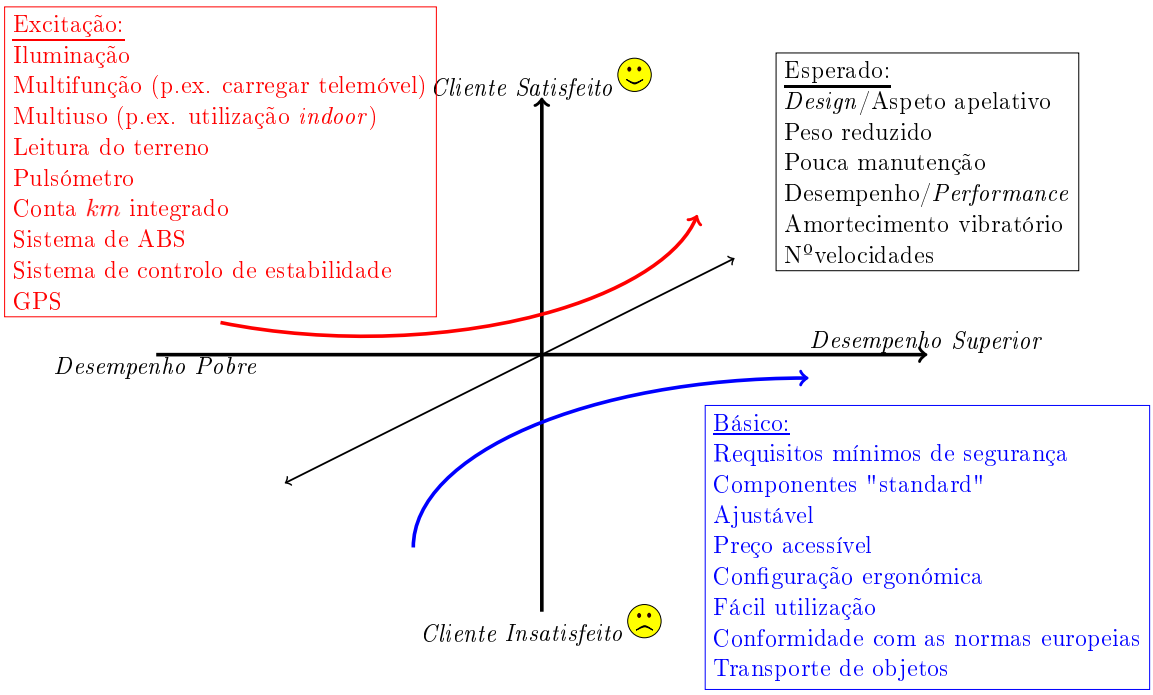


Figura 4.6: Diagrama de Kano.

4.4 Estabelecimento dos Requisitos do Produto

Após a interpretação e hierarquização dos requisitos do cliente, é necessário a conversão dos mesmos em atributos e especificações do produto. Estas especificações/requisitos constituem meios de resposta do novo conceito de bicicleta, face às necessidades do cliente.

Na Tabela 4.8, ilustram-se as especificações técnicas definidas, assim como, a sua grandeza associada.

Tabela 4.8: Definição das especificações técnicas da bicicleta.

Especificações do produto	**Grandeza**
Altura do quadro	mm
Comprimento do quadro	mm
Altura do selim	mm
Distância entre o eixo da transmissão e a roda dianteira	mm
Distância entre o eixo da transmissão e a roda traseira	mm
Inclinação do tubo do selim	$graus(°)$
Recuo do selim	mm
Comprimento da pedaleira	mm
Comprimento do guiador	mm
Desnível entre o guiador e o assento	mm
Distância entre o eixo central da transmissão e o solo	mm
Ângulo de topo da direção	$graus(°)$
N^{o} de velocidades	un
Diâmetro das rodas	in
Rigidez do quadro	GPa
Curso da suspensão	mm
N^{o} de manutenções	un
Potência necessária	W
N^{o} de dispositivos de iluminação	un
Dimensões máximas dos dispositivos eletrónicos	mm
Peso da bicicleta	kg
Peso máximo do condutor	kg
Peso máximo da bagagem a transportar	kg
Volume máximo da bagagem a transportar	cm^3
Preço de aquisição de cada unidade	€
Escala de *design* da bicicleta	1 - 10

4.5 Casa da Qualidade - QFD

O QFD *(Quality Function Deployment)* consiste numa ferramenta que pode ser empregue durante todo o processo de desenvolvimento do produto, cujo principal objetivo é traduzir os requisitos, desejos e preferências dos consumidores em características de engenharia de um produto [48].

Após a fase de identificação e interpretação das necessidades dos utilizadores nos respetivos requisitos e, posteriormente, a conversão em requisitos do produto, o próximo passo consiste em estabelecer um conjunto de relações entre os respetivos dados. Neste contexto, e com o auxílio da matriz QFD, confrontam-se os requisitos dos consumidores com os atributos ou especificações do produto, no sentido de identificar os pontos fortes e os aspetos deficitários do projeto, de acordo com os dados do *benchmarking*.

Requisitos do Cliente vs Requisitos do Produto

A primeira etapa do processo de construção do QFD consiste na identificação e classificação do tipo de relações entre os requisitos do consumidor e os requisitos do projeto. Estas relações são classificadas em fortes, médias ou nulas (nível 9, nível 3, nível 1, respetivamente). Esta classificação tem como objetivo identificar os requisitos ou atributos do projeto com maior influência na satisfação de determinado requisito do consumidor e a ausência e/ou inadequabilidade das relações. A avaliação definida para cada relação ilustra-se na Figura 4.7.

			Requisitos do Produto																												
			Altura do quadro	Comprimento do quadro	Altura do selim	Distância entre o centro da transmissão e a roda dianteira	Distância entre o centro da transmissão e a roda traseira	Inclinação do tubo do selim	Recuo do selim	Comprimento da pedaleira	Comprimento do guiador	Desnível entre o guiador e o assento	Distância entre o centro da transmissão e o solo	Ângulo de topo da direção	Nº de velocidades (rel. Transmissão)	Diâmetro das rodas	Rigidez do quadro	Curso da suspensão	Nº de manutenções	Potência necessária	Nº de dispositivos de iluminação	Dimensões máximas dos dispositivos eletrónicos	Peso da bicicleta	Peso máximo do condutor	Peso máximo da bagagem a transportar	Volume máximo da bagagem a transportar	Preço de aquisição de cada unidade	Escala de design da bicicleta
RC: Requisitos do Cliente	Conforto, desempenho e segurança	Amortecimento vibratório															△1	⊙9					○3	○3			○	○3	
		Configuração ergonómica	⊙9	⊙9	⊙9	△1	△1	⊙9	⊙9	△1	⊙9	⊙9				△1													
		Fácil armazenamento e transporte	○3	○3	○3	○3	○3				○3					9							⊙9						
		Segurança do usuário	⊙9	⊙9	⊙9	3	3					⊙9	○3	○3			○3	△1			⊙9								
		Robustez															9						○3	○3	3	3	⊙9	○9	3
		Pouca Manutenção													△1				⊙9				○3	○3			○	○3	
		Peso Reduzido	△1	△1	△1	△1	△1										⊙9						⊙9	⊙9			⊙9	○9	3
		Eficiência/Performance	○3	○3	○3	○3	3			○3	○3	○3	○3	○3	⊙9	⊙9	○3		○3				⊙9	○9	○3	3			
		Fácil Utilização	○3	○3	⊙9									○3									○3		△1	△1			
	Versatilidade	Multiuso (utilização dinâmica e indoor)	○3	○3	○3	○3	○3	○3	○3		⊙9	⊙9	⊙9			△1							⊙9	⊙9			⊙9	○9	3
		Multifunção (carregar dispositivos eletrónicos)																		⊙9		⊙9						9	△1
		Adaptável a usuários c/ limitações físicas	⊙9	⊙9	⊙9	△1	△1	○3	○3		○3	○3	○3		○3	○3							○3					○3	
		Adaptável/Ajustável	○3	○3	⊙9	○3	○3	△1	○3															△3	1				
		Transporte de objetos																							⊙9	⊙9	○3	△1	
	Aparência	Design/ Aspeto apelativo	○3	○3	○3	○3	○3				○3	○3	○3			⊙9	△1					△1					○3	⊙9	
	Custo	Preço acessível													○3		○3		△1	△1		○3	⊙9				⊙9	○9	3

Figura 4.7: Matriz de relações entre os requisitos de cliente e do produto.

Avaliação Competitiva

Após a avaliação das relações entre os requisitos de cliente e do produto, é necessário efetuar uma avaliação competitiva. Nesta fase considera-se os dados provenientes do *benchmarking*, permitindo identificar os aspetos fortes/deficitários em relação à concorrência. Esta avaliação permite identificar aspetos que podem ser considerados como vantagem ou pontos a melhorar.

Do conjunto de modelos de bicicletas analisados foram selecionados os seguintes:

- *Strada 26"* (Órbita);
- *Smart ebike* (Smart);
- *Touring 2012* (BMW);
- *Expedition* (Specialized);
- *Strom 5,0* (Sport Zone).

A Figura 4.8 ilustra a análise efetuada, numa escala de 1 (satisfaz pouco) a 5 (satisfaz muito).

As células marcadas dessa cor são calculadas automaticamente

						Benchmarking de Mercado										
			Cliente	Kano (interno)	Grau de importância (geral)	Nosso Produto	Órbita (Strada 26")	Smart ebike	Bmw (Touring 2012)	Specialized (Expedition)	Sport Zone (Strom 5,0)	Plano	Índice de melhoria	Argumento de vendas	Peso absoluto	Peso relativo
RC: Requisitos do Cliente	Conforto, desempenho e segurança	Amortecimento vibratório	1	L	1	2	1	1	2	4	1	2	1,00	1,0	1,00	1,52
		Configuração ergonómica	3	O	3	4	3	4	3	3	5	3	0,75	1,0	2,25	3,43
		Fácil armazenamento e transporte	1	L	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	1,0	1,00	1,52
		Segurança do usuário	5	O	5	4	3	4	4	2	4	4	1,00	1,2	6,00	9,15
		Robustez	5	O	4	3	4	4	4	3	5	3	1,00	1,0	4,00	6,10
		Pouca Manutenção	3	O	3	4	3	5	3	3	4	4	1,00	1,5	4,50	6,86
		Peso Reduzido	3	O	3	3	3	1	3	3	1	3	1,00	1,0	3,00	4,57
		Eficiência/Performance	4	O	3	3	3	5	3	3	3	3	1,00	1,0	3,00	4,57
		Fácil Utilização	2	L	3	3	3	4	3	1	3	3	1,00	1,0	3,00	4,57
	Versatilidade	Multiuso (utilização dinâmica e indoor)	5	E	5	4	1	1	1	1	1	5	1,25	1,5	9,38	14,29
		Multifunção (carregar dispositivos eletrónicos)	5	E	5	4	1	4	1	1	1	5	1,25	1,5	9,38	14,29
		Adaptável a usuários c/ limitações físicas	4	E	5	3	2	3	3	3	3	3	1,00	1,0	5,00	7,62
		Adaptável/Ajustável	2	L	2	3	2	2	3	3	4	3	1,00	1,0	2,00	3,05
		Transporte de objetos	2	L	3	4	4	3	3	3	1	3	0,75	1,2	2,70	4,12
	Aparência	Design/Aspeto apelativo	3	O	4	3	3	5	5	3	3	4	1,33	1,2	6,40	9,76
	Custo	Preço acessível	4	L	3	3	5	1	3	4	4	3	1,00	1,0	3,00	4,57
															65,6	100

Figura 4.8: Análise competitiva e argumentos de venda.

Correlações

A próxima etapa da matriz QFD consiste em identificar uma relação entre os requisitos do projeto e determinar o direcionador de melhoria. As correlações entre os requisitos podem ser positivamente fortes/fracas, negativamente fortes/fracas ou inexistentes, consoante os requisitos em análise. A título de exemplo, uma bicicleta construída em aço é mais pesada do que um modelo de geometria equivalente em fibra de carbono. No entanto, a utilização de materiais compósitos implica necessariamente um aumento substancial do custo final da bicicleta. Deste modo, é possível identificar uma correlação negativa entre o peso da bicicleta e seu preço.

O direcionador de melhoria é um fator que indica qual o sentido que o requisito deve tomar para responder às necessidades do cliente. Ou seja, há requisitos do produto cujo valor deve aumentar ou diminuir para agrado do cliente. Por outro lado, existem situações onde a variação do mesmo não implica alteração no nível de satisfação do cliente. A matriz de correlações é ilustrada na Figura 4.9.

	Altura do quadro	Comprimento do quadro	Altura do selim	Distância entre o centro da transmissão e a roda dianteira	Distância entre o centro da transmissão e a roda traseira	Inclinação do tubo do selim	Recuo do selim	Comprimento da pedaleira	Comprimento do guiador	Desnível entre o guiador e o assento	Distância entre o centro da transmissão e o solo	Ângulo de topo da direção	Nº de velocidades (rel. Transmissão)	Diâmetro das rodas	Rigidez do quadro	Curso da suspensão	Nº de manutenções	Potência necessária	Nº de dispositivos de iluminação	Dimensões máximas dos dispositivos eletrónicos	Peso da bicicleta	Peso máximo do condutor	Peso máximo da bagagem a transportar	Volume máximo da bagagem a transportar	Preço de aquisição de cada unidade	Escala de design da bicicleta
Altura do quadro																										
Comprimento do quadro																										
Altura do selim	+ +																									
Distância entre o centro da transmissão e a roda dianteira		+ +																								
Distância entre o centro da transmissão e a roda traseira																										
Inclinação do tubo do selim																										
Recuo do selim	+		+ +			+ +																				
Comprimento da pedaleira																										
Comprimento do guiador																										
Desnível entre o guiador e o assento	- -					-																				
Distância entre o centro da transmissão e o solo							+	-																		
Angulo de topo da direção																										
Nº de velocidades (rel. Transmissão)					+																					
Diâmetro das rodas				+	+								+	+												
Rigidez do quadro																										
Curso da suspensão														+ +												
Nº de manutenções																										
Potência necessária																										
Nº de dispositivos de iluminação																	-	- -								
Dimensões máximas dos dispositivos eletrónicos																		-								
Peso da bicicleta	-	-		-	-									-	+ +					-						
Peso máximo do condutor																	-									
Peso máximo da bagagem a transportar																+										
Volume máximo da bagagem a transportar																								- -		
Preço de aquisição de cada unidade													- -	-	- -	-	- -		-	- -	- -					
Escala de design da bicicleta														+					+	-	-					-
Direcionador de melhoria >>>>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	▼	○	▲	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▼	▲

Correlação	
++	Posit. Forte
+	Posit. Fraco
	Inexistente
-	Neg. Fraca
- -	Neg. Forte

	Direcionador de melhoria
○	não importa a variação do valor
▲	quanto maior o valor melhor
▼	quanto menor o valor melhor

Figura 4.9: Matriz de correlações entre os requisitos do projeto.

Valores Alvo

A fase final da matriz QFD consiste na identificação de valores dos requisitos do produto. Nesta etapa pretende-se identificar os aspetos do produto, que quando comparados com os produtos da concorrência não representam vantagens, mas aspetos a melhorar no projeto.

A Figura 4.10 representa o valor dos requisitos do produto presentes nos modelos da concorrência.

	Altura do quadro	Comprimento do quadro	Altura do selim	Distância entre o centro da transmissão e a roda dianteira	Distância entre o centro da transmissão e a roda traseira	Inclinação do tubo do selim	Recuo do selim	Comprimento da pedaléira	Comprimento do guiador	Desnível entre o guiador e o assento	Distância entre o centro da transmissão e o solo	Ângulo de topo da direção	Nº de velocidades (rel. Transmissão)	Diâmetro das rodas	Rigidez do quadro	Curso da suspensão	Nº de manutenções	Potência necessária	Nº de dispositivos de iluminação	Dimensões máximas dos dispositivos eletrónicos	Peso da bicicleta	Peso máximo do condutor	Peso máximo da bagagem a transportar	Volume máximo da bagagem a transportar	Preço de aquisição de cada unidade	Escala de *design* da bicicleta
Unidade	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	graus	unidade	in	GPa	mm	unidade	W	unidade	mm	kg	kg	kg	cm3	€	1-10
Órbita (Strada 26")	-	457	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	26	200	-	-	-	-	-	19,7	-	-	-	239	6
Smart ebike (M)	560	572	-	500	500	-	-	-	-	-	288	-	3	26	70	-	-	-	2	124x5	26	95	20	-	3000	10
Bmw (Touring 2012) (M)	460	460	-	-	-	-	-	170	580	-	-	-	27	22	70	75	-	-	2	-	16,3	-	-	-	1299	8
Specialized (Expedition) (M)	425	625	-	569	569	-	-	170	-	-	-	68,5	21	26	70	63	-	-	-	-	-	-	-	-	539	7
Sport Zone (Strom 5,0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38,7	110	-	-	299	4

M - Tamanho médio do quadro;

Figura 4.10: Análise da concorrência dos requisitos do projeto.

Seguidamente são definidos os valores alvo dos requisitos do produto, tendo como referencia os produtos da concorrência e as recomendações ergonómicas abordadas no capítulo 3.

-Dimensões do quadro: O quadro da bicicleta é um elemento rígido cujas dimensões são inalteráveis após o seu fabrico. Deste modo, torna-se necessário desenvolver quadros com diferentes tamanhos de modo a que estes se adaptem às variações antropométricas dos usuários.

Tendo como referência os percentis 5, 50 e 95 do género masculino e feminino, foram definidos três tamanhos para o quadro da bicicleta: S (pequeno); M (médio); L (grande).

Na Tabela 4.9 ilustra-se os valores calculados para a altura (H) e para o comprimento do quadro (L), consoante as dimensões dos usuários. Já na Tabela 4.10 são especificadas as dimensões dos três tamanhos definidos, tendo como referência os valores médios obtidos na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Determinação das dimensões do quadro da bicicleta.

	Género Masculino			**Género Feminino**		
Percentil	5	50	95	5	50	95
Antebraço (A) (mm)	320	350	380	292	320	348
Medida do tronco (T) (mm)	575	630	685	539	595	650
Alcance funcional(B) (mm)	627	730	833	620	675	730
Entrepernas (E) (mm)	752	811	871	699	751	804
Altura do quadro (H)(mm)	489	527	566	454	488	523
Comprimento do quadro (L)(mm)	477	527	576	448	495	541

Altura do quadro(H) = Entrepernas$(E) \times 0,65$	[39]
$L = 72,25\% \times T + 7,8\% \times B + 7\% \times A - 10(mm)$	[41]

Tabela 4.10: Tamanhos dos quadros.

	S - (pequeno)	**M - (médio)**	**L - (grande)**
Altura do quadro (H)(mm)	472	508	544
Comprimento do quadro (L)(mm)	462	511	549

- Inclinação do tubo do selim: O valor da inclinação do tubo do selim foi definido em $72°$.

-Altura do selim: Para uma correta adaptação do usuário à bicicleta, o valor da altura do selim deve ser ajustável podendo assumir dois valores limites (Tabela 4.11).

Tabela 4.11: Determinação da altura do selim.

Altura do selim (HS)	
Valor mínimo (percentil 5, género feminino)(mm)	617
Valor máximo (percentil 95, género masculino)(mm)	771
Amplitude (mm)	152

Altura do selim(Hs) = Entrepernas$(E) \times 0,885$	[39]

-Recuo do selim: O valor deste parâmetro depende diretamente da altura do quadro e da inclinação do tudo do selim. Por exemplo, para um quadro de tamanho médio (M) e para uma inclinação do tubo do selim de $72°$, o valor do recuo (l) é de aproximadamente 157 mm (equação (4.1)).

$$\text{Recuo do selim (l)} = \text{Altura do quadro}(H) \times sin(90° - 72°) \tag{4.1}$$

Todavia, e tal como sucede nas bicicletas *indoor*, este parâmetro pode ser ajustado de modo a proporcionar uma correta adaptação ao usuário, tendo sido assumida uma amplitude de 80 mm.

- **Distância entre o centro da transmissão e a roda dianteira/traseira:** O valor da distância entre o centro da transmissão e a roda dianteira e traseira foi definido em 610 mm e 450 mm, respetivamente.

- **Comprimento da pedaleira:** O comprimento da pedaleira foi fixado em 170 mm. No entanto, sendo a pedaleira um componente normalizado, é possível a utilização de pedaleiras com tamanhos superiores ou inferiores.

- **Comprimento do guiador:** O comprimento do guiador da bicicleta deverá rondar os 500 mm.

- **Desnível entre o guiador e o assento:** O valor do desnível entre o guiador e o assento foi definido em 80 mm, sendo um valor razoável para bicicletas desportivas ou de turismo.

Distância entre o centro da transmissão e o solo: O valor deste parâmetro foi definido em 300 mm, sendo necessário a sua validação de acordo com a Tabela A.1 (Apêndice A.1).

- **Ângulo de topo da direção:** O valor do ângulo de topo da direção foi fixado em 70°, sendo necessário averiguar o valor deste parâmetro, de acordo com a Figura A.3, presente no Apêndice A.1.

- **Nº de velocidades:** A bicicleta deverá possuir no mínimo 18 relações de transmissão.

- **Dimensões das rodas:** O valor do tamanho das rodas correspondem a 26 × 1,6 in (diâmetro × largura).

- **Rigidez do quadro:** A definição do valor de rigidez do quadro da bicicleta está diretamente relacionada com o material utilizado na sua construção. Para além da rigidez, o material influência a geometria, o peso e o custo da bicicleta, entre outros.

  No presente projeto, optou-se pela utilização do alumínio (6061-T6, $E \approx 70\ GPa$) no quadro da bicicleta. O alumínio, em comparação com os materiais compósitos (fibra de carbono) é mais económico e, em relação aos materiais metálicos, é mais leve.

- **Curso da suspensão:** A bicicleta deverá ser dotada de um sistema de suspensão com um curso não inferior a 60 mm.

- **Nº de manutenções:** Sendo difícil quantificar o número total de manutenções, este parâmetro deve ser minimizado ou até mesmo nulo.

- **Potência necessária:** A bicicleta deverá gerar uma potência elétrica igual a 4,5 W. Estando 2,5 W destinados a uma entrada USB 2.0 e os restantes 2 W na iluminação da bicicleta:

  USB 2.0: $P = V \times I \Longrightarrow P = 5(V) \times 500(mA) \Longrightarrow P = 2,5W$;

Iluminação: Por norma os LEDs de sinalização operam com uma potência compreendida entre 0,05 e 0,2 W [51]. Assumindo a utilização de 10 LEDs de sinalização, são necessários 2 W (10×0,2).

- **Nº de dispositivos de iluminação:** A bicicleta deverá possuir um total de 10 LEDs de sinalização (6 na dianteira e 4 na retaguarda), cujas características deverão estar em conformidade com a legislação em vigor (Tabela A.3, Apêndice A.1).

- **Dimensões máximas dos dispositivos eletrónicos:** A determinação das dimensões máximas admissíveis dos dispositivos eletrónicos foi feita em consideração de dois modelos *smartphones* atualmente disponíveis no mercado (Figura 4.11).

(a) *Samsung Galaxy S4 Active* (b) *Iphone 5s*

Figura 4.11: Dimensões dos dispositivos eletrónicos.

Deste modo, definiu-se que a bicicleta deverá possuir um suporte de fixação para dispositivos com dimensões não superiores a $145 \times 75 \times 10\ mm$ (comprimento × largura × espessura).

- **Peso da bicicleta:** O valor do peso da bicicleta foi fixado em 12 Kg.

- **Peso máximo do condutor:** O peso máximo do condutor corresponde ao valor de um indivíduo do género masculino pertencente ao percentil 95 ($P_{condutor} = 92\ kg$).

- **Peso máximo da bagagem:** O peso máximo da bagagem a ser transportada corresponde a 20 kg.

- **Volume máximo da bagagem a transportar:** A bicicleta deverá acomodar bagagens com um volume máximo não inferior a 135000 cm^3 ($15 \times 45 \times 20\ cm$) .

- **Preço de aquisição:** A bicicleta não deverá possuir um preço de aquisição superior a 800 € , de modo a tornar-se competitiva face à oferta do mercado.

- ***Design*/Aspeto:** O aspeto é um fator de extrema importância para um produto como a bicicleta. Tendo como referência os modelos das bicicletas BMW ® e da Smart ®, a bicicleta deverá apresentar um aspeto estético e funcional de modo a competir com estes dois modelos.

Na Tabela 4.12 são resumidos os valores alvo dos requisitos do produto anteriormente definidos.

Tabela 4.12: Valores alvo dos requisitos do produto.

Requisitos do produto	**Valor Alvo**	**Grandeza**
Altura do quadro $*$	508	mm
Comprimento do quadro $*$	511	mm
Altura do selim	[617; 771]	mm
Distância entre o centro transmissão e a roda dianteira	610	mm
Distância entre o centro transmissão e a roda traseira	450	mm
Inclinação do tubo do selim	72	graus(°)
Recuo do selim	100	mm
Comprimento da pedaleira	170	mm
Comprimento do guiador	500	mm
Desnível entre o guiador e o selim	80	mm
Distância entre o centro da transmissão e o solo	300	mm
Ângulo de topo da direção	70	graus(°)
Nº de velocidades	18 (mínimo)	*unidade*
Diâmetro das rodas	26 × 1,6	in
Rigidez do quadro	70	GPa
Curso da suspensão	($\geq$ 60)	mm
Nº de manutenções	0	*unidade*
Potência necessária	4,5	W
Dimensões máximas dos dispositivos eletrónicos	145 × 75	mm
Peso da bicicleta	12	kg
Peso máximo do condutor	92	kg
Peso máximo da bagagem a transportar	20	kg
Volume máximo da bagagem a transportar	135000	cm^3
Preço de aquisição de cada unidade	800	€
Escala de *design* da bicicleta	8	$1 - 10$

($*$ Tamanho de quadro médio);

Através da matriz QFD é possível realizar uma nova hierarquização dos requisitos do consumidor. Anteriormente a priorização dos requisitos tinha em conta as necessidades expressas e o modo como se relacionam entre si, como representado no diagrama de Mudge. A construção da matriz QFD permite conhecer o peso relativo de cada necessidade, tendo como referência o grau de importância geral, o índice de melhoria (que relaciona as características atuais do produto com o plano previsto) e o argumento de venda.

Na Figura 4.12, ilustra-se a nova hierarquização dos requisitos do cliente. À semelhança da hierarquização definida pelo diagrama de Mudge, os requisitos que se destacam são: "Multiuso (utilização dinâmica e *indoor*)" e "Multifunção (carregar dispositivos eletrónicos)". O mesmo acontece com os requisitos de menor pontuação, em que se destacam o "Amortecimento vibratório" e o "Fácil armazenamento e transporte". É possível constatar que o requisito "*Design*/Aspeto apelativo" ocupa agora uma posição cimeira do

topo do *ranking*.

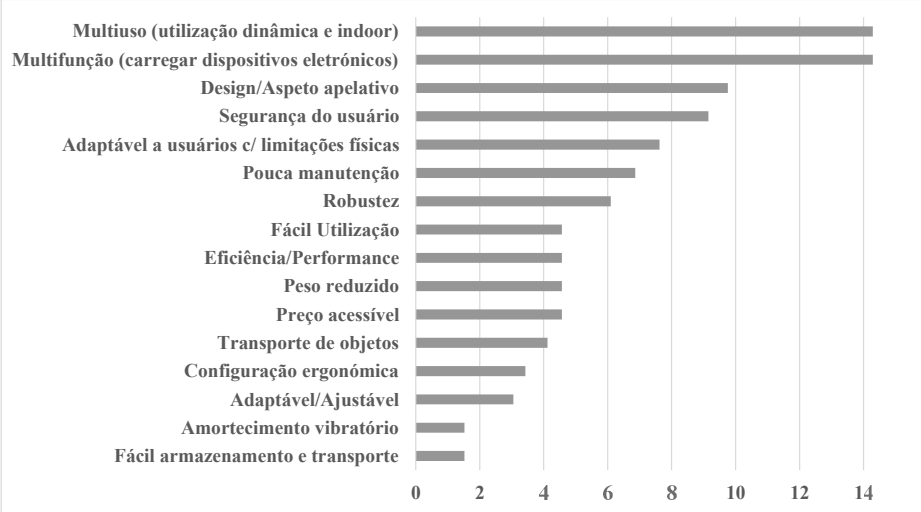


Figura 4.12: Priorização revista dos requisitos do cliente.

A matriz QFD também permite conhecer a importância relativa dos requisitos do produto. Esta priorização é obtida pelo somatório da importância da relação de cada requisito, permitindo identificar os principais requisitos do projeto.

A Figura 4.13 ilustra a importância relativa, por ordem decrescente, dos requisitos do produto.

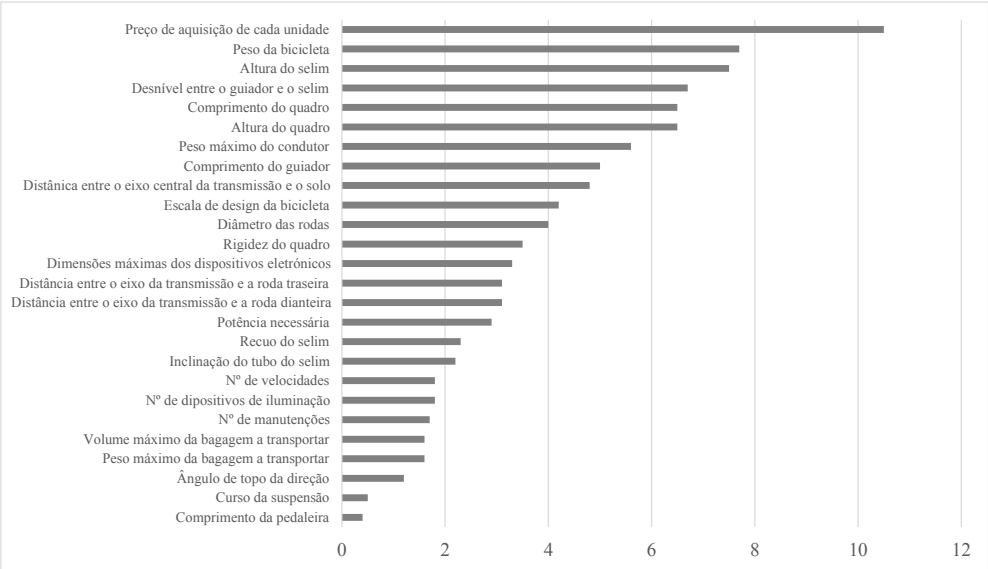


Figura 4.13: Priorização dos requisitos do produto.

Estando finalizada a matriz QFD (Apêndice D), é importante analisar os resultados obtidos da sua construção. Seguidamente, são analisados os resultados mais relevantes da matriz obtida.

Na matriz de relações entre os requisitos do cliente e do produto, é possível observar a ausência de linhas vazias, isto é, os requisitos do produto satisfazem os requisitos do cliente. Também é possível constatar que não existem colunas vazias, o que simboliza que não existem áreas de sobredimensionamento na bicicleta. De um modo geral, os requisitos com maior número de relações dizem respeito às variáveis dimensionais da bicicleta (estudadas no capítulo 3).

Após a elaboração da matriz de avaliação competitiva, é necessário averiguar a existência de pontos críticos e/ou de conflito, assim como identificar as áreas de oportunidade do projeto e aspetos a melhorar. A bibliografia especializada [48] define pontos críticos como requisitos de elevada importância para o consumidor, nos quais o produto a desenvolver encontra-se inferior à concorrência, sendo necessário o seu melhoramento caso se trate de requisitos de elevada importância para o cliente. No presente projeto, são claramente identificados pontos críticos relacionados com *design*/aspeto, segurança, preço e ergonomia. De um modo geral, o cliente valoriza estes aspetos quando existe uma forte oferta.

Por outro lado, os pontos de conflito representam os pontos nos quais o produto em análise se encontra abaixo da concorrência a nível competitivo, mas a nível técnico é superior à concorrência. Ou seja, existe uma resposta exagerada da necessidade que não acrescenta valor ao produto, visto que não é aproveitada pelo cliente [48]. No presente projeto não são identificados pontos de conflito.

Relativamente à posição de mercado do produto, as denominadas áreas de oportunidade dizem respeito a situações onde a posição competitiva do mercado é pobre, quer para o produto a desenvolver quer para a concorrência. Caso sejam detetados requisitos de elevada importância para o cliente e o produto apresente uma boa resposta, então estes devem ser considerados como potenciais argumentos de venda [48]. No projeto, a capacidade de utilização dinâmica e *indoor* representa uma clara oportunidade de mercado, dado que os produtos da concorrência não oferecem resposta a esta necessidade do cliente.

A capacidade para carregar dispositivos eletrónicos (p.ex. telemóvel) também pode ser considerada como uma oportunidade, uma vez que apenas um modelo da concorrência oferece solução para esta necessidade.

Em última análise, é necessário reter que a ferramenta QFD permite identificar os aspetos nos quais determinado produto apresenta deficiências face à concorrência. No presente projeto, fica claro que a capacidade da bicicleta de utilização numa vertente dinâmica e *indoor*, assim como o carregamento dos dispositivos eletrónicos, constituem as características principais e diferenciadoras de mercado. Contudo, e dada a natureza do produto a desenvolver, é necessário perceber que aspetos como *design*, custo final, manutenção e transporte de objetos constituem requisitos de elevada importância para um produto como uma bicicleta de lazer. Deste modo, é necessário que estes requisitos não sejam menosprezados em termos de produto final.

4.6 Geração e Seleção de Conceitos

4.6.1 Decomposição de Funções

Na geração de novas soluções para os diversos conjuntos e subconjuntos de um dado produto, por norma é comum proceder-se à decomposição do problema inicial em problemas mais simples, com o objetivo de facilitar o processo de conceção. Neste contexto, procedeu-se a uma decomposição de funções do novo conceito de bicicleta a desenvolver. A Figura 4.14 representa o diagrama de funções elaborado no âmbito do presente projeto.

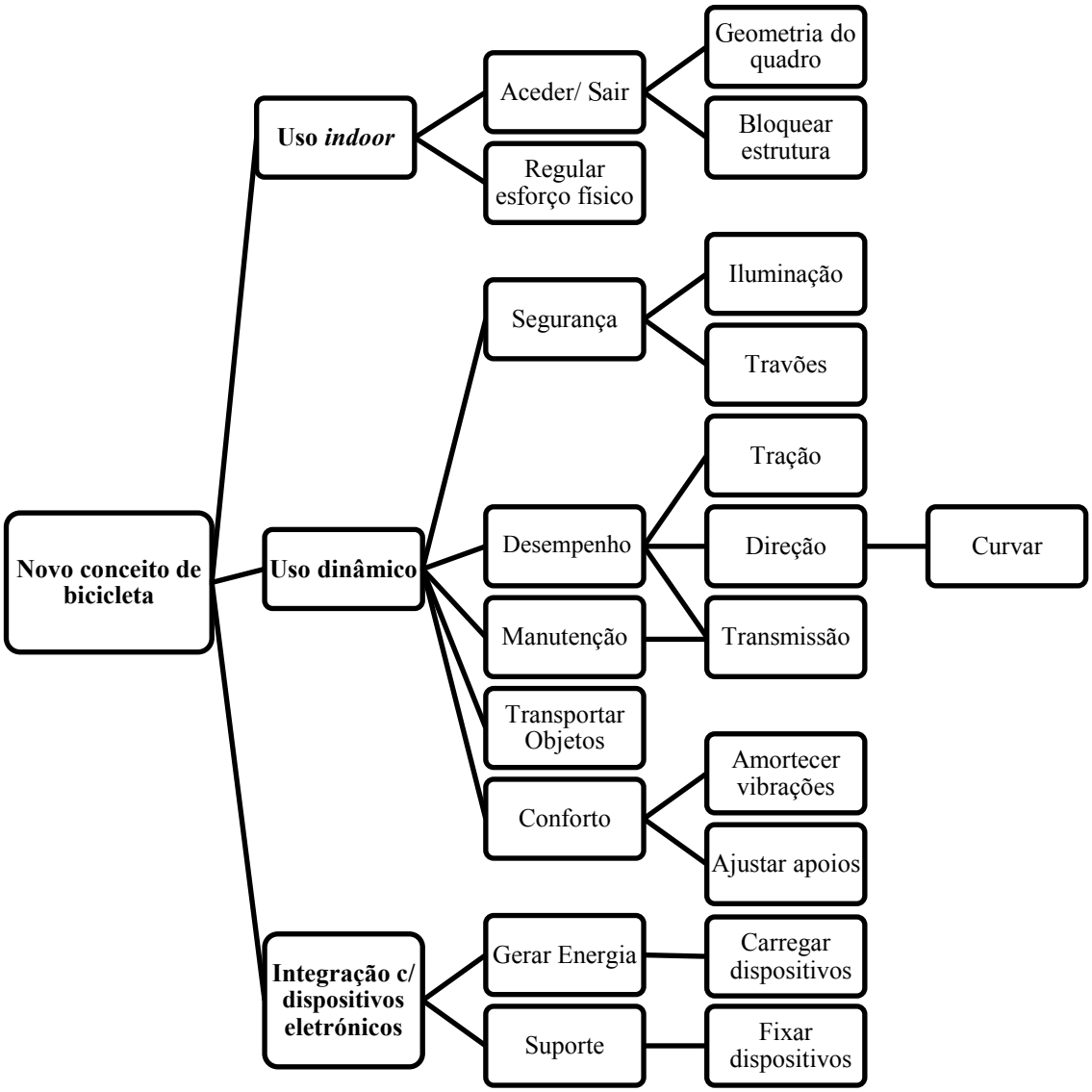


Figura 4.14: Diagrama de funções do novo conceito de bicicleta.

4.6.2 Clarificação dos Objetivos de Utilização

A decomposição das funções de um sistema ou produto é muitas vezes acompanhada por uma definição concreta dos seus objetivos. Neste seguimento, procedeu-se à identificação dos objetivos de utilização para a proposta de bicicleta:

- A bicicleta poderá ser utilizada numa vertente *indoor* e dinâmica.
- A bicicleta deverá possuir um dispositivo de regulação de esforço físico, tal como sucede nas bicicletas *indoor*.
- A utilização *indoor* da bicicleta não deverá estar condicionada a um local ou obrigar a utilização de quaisquer dispositivos/módulos independentes à bicicleta.
- A estrutura da bicicleta deverá prever os movimentos oscilatórios do utilizador aquando da sua utilização *indoor*.
- A bicicleta deverá permitir o transporte de pequenos objetos.
- Na vertente *indoor* e dinâmica, a bicicleta deverá gerar energia de forma a possibilitar o carregamento de pequenos dispositivos eletrónicos.
- A bicicleta deverá possuir um suporte de fixação dos dispositivos eletrónicos.
- A estrutura principal da bicicleta (quadro) deverá possibilitar o acesso e a utilização de usuários com limitações físicas de mobilidade.
- A bicicleta deverá possuir um sistema de iluminação integrado.
- As zonas de contacto ou de interação entre o condutor e a bicicleta devem ser adaptadas ou facilmente ajustadas.
- A bicicleta deverá possuir um sistema de suspensão de modo a absorver os impactos e vibrações.

4.6.3 Classificação de Conceitos

Após a decomposição das funções do produto e a clarificação dos objetivos de utilização, a próxima etapa consiste em considerar um conjunto de soluções para os vários módulos da bicicleta, de forma a dar resposta às funções de utilização definidas anteriormente.

A Tabela 4.13 ilustra as diversas soluções consideradas.

Tabela 4.13: Tabela de classificação de conceitos.

Transmissão	⇒ Sistema de engrenagens e veio de transmissão. ⇒ Sistema de carretos e corrente. ⇒ Sistema de polias e correia.	
Tração	⇒ Traseira. ⇒ Dianteira. ⇒ Integral.	
Direção	⇒ Frontal. ⇒ Traseira.	
Transporte de objetos	⇒ Suporte de bagagem traseiro. ⇒ Suporte embutido no quadro. ⇒ Cesto frontal.	
Travões	⇒ *V-brake*. ⇒ Disco mecânico. ⇒ Calços hidráulicos.	
Amortecimento	⇒ Espigão do selim c/ amortecimento. ⇒ Quadro c/ suspensão. ⇒ Forqueta c/ suspensão. ⇒ Assento c/ amortecimento.	
Velocidades	⇒ Cubo. ⇒ Carretos. ⇒ Caixa de velocidades.	
Iluminação	⇒ LED.	
Geometria do quadro	⇒ Modular. ⇒ Formato em "dois"triângulos. ⇒ Tubo principal rebaixado.	
Geometria do guiador	⇒ Rígido. ⇒ Adaptável. ⇒ Curvado.	
Gerar energia	⇒ Dínamo interno à transmissão. ⇒ Dínamo acoplado à roda (fricção). ⇒ Dínamo integrado no cubo.	
Utilização *indoor*	⇒ Estabilidade	• Suporte de estabilidade.
	⇒ Regular esforço físico	• Fricção. • Magnético. • Calços.
Dispositivos eletrónicos	⇒ Interface/Comunicação	• Cabo USB.
	⇒ Suporte	• Regulável. • Rígido.

4.6.4 Patentes

No decorrer da fase de geração de conceitos e soluções para os diversos sistemas da bicicleta, foram analisadas um conjunto de patentes com o objetivo de diversificar o tipo de abordagens possíveis. Do conjunto de inovações analisadas, foram selecionados os conceitos considerados mais relevantes no âmbito do presente projeto.

A patente presenteada na Figura 4.15 ilustra um suporte de treino em que pode ser fixada uma bicicleta convencional, permitindo a utilização *indoor* da mesma. De uma forma resumida, o dispositivo é composto por uma estrutura rígida e por uma estrutura que se adapta aos movimento oscilatórios do utilizador pela ação de molas e amortecedores, simulando condições reais de utilização da bicicleta. A utilização do suporte obriga à remoção da roda dianteira da bicicleta, sendo necessário posteriormente a sua fixação à estrutura [52].

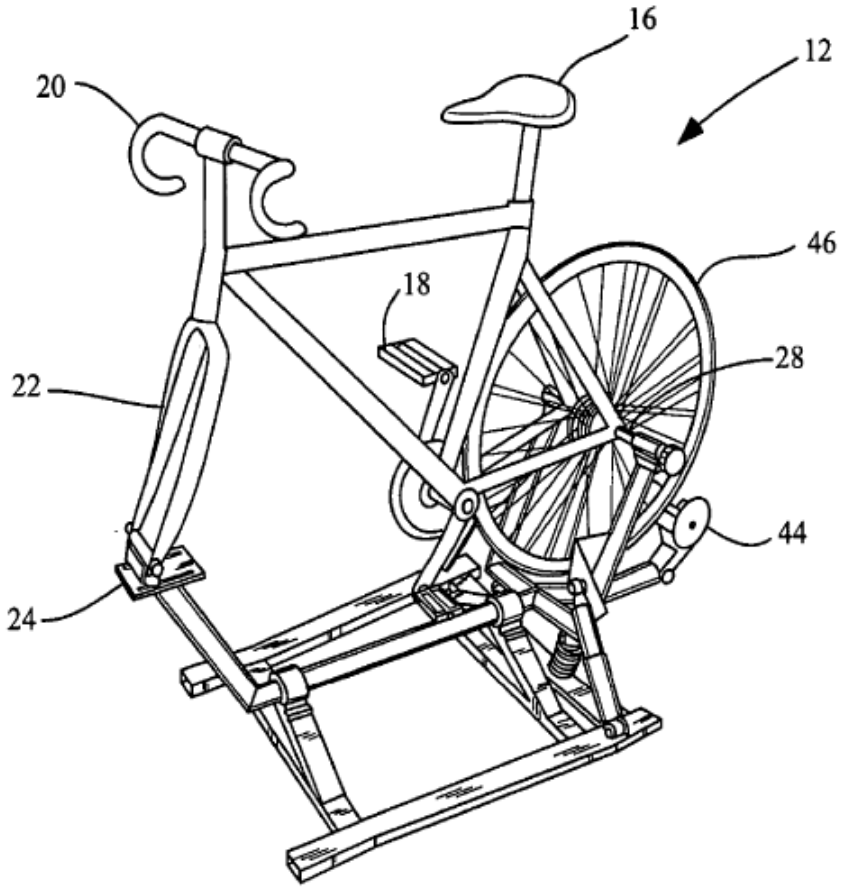
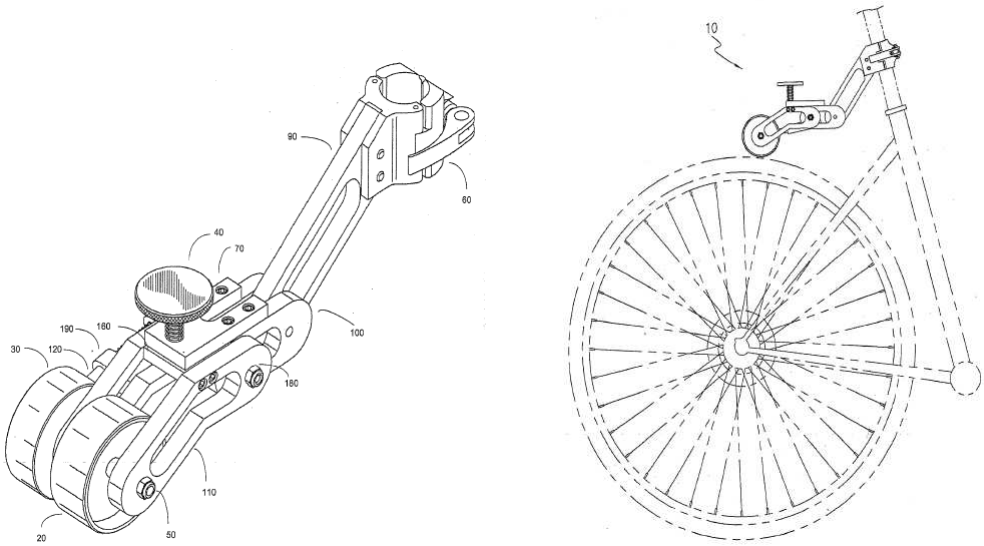


Figura 4.15: Suporte de treino físico adaptável a um bicicleta convencional (*Bicycle Trainer*) [52].

A Figura 4.16(a) e (b) ilustra um dispositivo de regulação de esforço físico que tem como objetivo criar resistência ao movimento livre da roda através de fricção. A sua utilização obriga o condutor a exercer um esforço adicional, exercitando os músculos dos membros inferiores. O sistema é fixado numa bicicleta através de uma unidade de aperto rápido no tubo do selim, permitindo que seja ajustado [53].



(a) Dispositivo (b) Fixação na bicicleta

Figura 4.16: Dispositivo de regulação do esforço físico (*Bicycle Mounted Exercise and Training Device*) [53].

A patente presente na Figura 4.17 ilustra um dispositivo de resistência magnética que pode ser utilizado numa bicicleta convencional. A sua utilização permite ao usuário utilizar a bicicleta numa vertente *indoor*, assim como regular o esforço físico exercido [54].

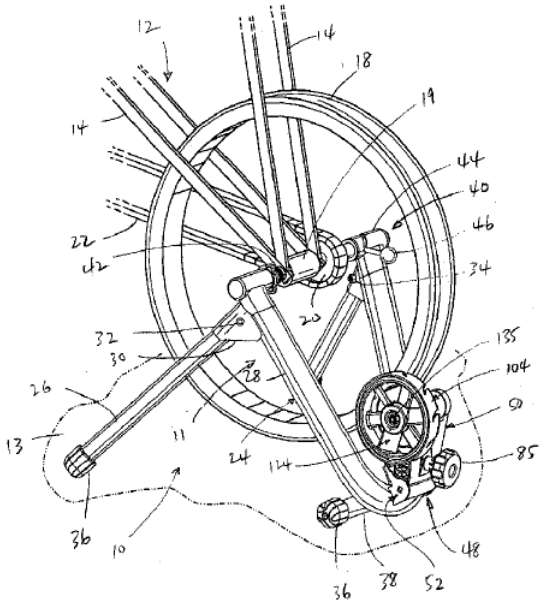


Figura 4.17: Dispositivo de resistência magnética (*Variable Magnetic Resistance Unit For an Exercise Device*) [54].

4.6.5 Seleção

Após ter sido considerado um conjunto de soluções possíveis para os vários sistemas da bicicleta, é necessário efetuar a sua triagem. Deste modo, os próximos tópicos ilustram a seleção efetuada das soluções tendo como base critérios de decisão.

Direção

Os sistemas de direção considerados no novo conceito de bicicleta são: o sistema de direção traseira e o sistema de direção dianteira. Na Tabela 4.14 apresentam-se as vantagens e desvantagens dos dois sistemas.

Tabela 4.14: Vantagens e desvantagens dos sistemas de direção.

	Vantagens	**Desvantagens**
Direção dianteira	Maior perceção visual e controlo da trajetória. Sistema com maior estabilidade dinâmica.	Capacidade de manobra média.
Direção traseira	Capacidade de manobra elevada.	Maior instabilidade dinâmica. Complexidade. Atuação pouco intuitiva sobre a trajetória.

Tabela 4.15: Matriz de decisão para a seleção do sistema de direção.

Matriz de decisão - Sistema de direção					
Critério de seleção	**Peso(%)**	**Direção Frontal**		**Direção Traseira**	
		Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação
Facilidade de atuação	30	4	1,2	2	0,6
Estabilidade dinâmica conferida	35	4	1,4	2	0,7
Complexidade mecânica	35	4	1,4	2	0,7
Total ponderado		4		2	
Continua conceito?		Sim		Não	

Legenda:	4 - Fortemente positiva; 3 - Mediamente positiva; 2 - Mediamente negativa; 1 - Fortemente negativa.

O sistema de direção frontal constitui a melhor solução a adotar, sendo o sistema com melhor pontuação para os critérios de seleção estabelecidos (Tabela 4.15).

Tração

A tração da bicicleta pode ser realizada em três maneiras distintas, Tabela 4.16.

Tabela 4.16: Vantagens e desvantagens dos sistemas de tração.

Tração	Vantagens	Desvantagens
Dianteira		Menor aderência em situações de aceleração. Maior sobrecarga dos pneus dianteiros.
Traseira	Boa capacidade de transmissão de potência em quaisquer condições de piso e inclinação topográfica. Desgaste equilibrado dos pneus. Simplicidade mecânica.	
Integral	Elevada capacidade de transmissão de potência em qualquer inclinação de piso.	Necessidade de um mecanismo diferencial de transmissão de potência. Acréscimo de peso.

A avaliação dos sistemas de tração encontra-se efetuada na Tabela 4.17.

Tabela 4.17: Matriz de seleção para o sistema de tração.

Matriz de decisão - Sistema de tração							
Critério de seleção	**Peso (%)**	**Dianteira**		**Traseira**		**Integral**	
		Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação
Capacidade de transmissão de potência	35	2	0,7	3	1,05	4	1,4
Complexidade mecânica	35	2	0,7	4	1,4	1	0,35
Acréscimo de peso	30	4	1,2	4	1,2	2	0,6
Total ponderado		2,6		3,65		2,35	
Continua conceito?		Não		Sim		Não	

Legenda:	4 - Fortemente positiva; 3 - Mediamente positiva; 2 - Mediamente negativa; 1 - Fortemente negativa.

O sistema de tração mais adequado é o sistema de tração traseiro, constituindo a solução com maior pontuação para os critérios de decisão.

Transmissão de Potência

Atualmente, existem vários sistemas mecânicos de transmissão de potência nas bicicletas. Os mais comuns são o sistema de corrente e carretos, o sistema de correia e o sistema de veio de transmissão. Não havendo propriamente um sistema mecânico ideal, na Tabela 4.18 são identificadas as vantagens e desvantagens destes sistemas.

Tabela 4.18: Vantagens e desvantagens dos sistemas mecânicos de transmissão de potência.

	Vantagens	**Desvantagens**
Sistema de veio de transmissão	Sistema compacto.	Tolerâncias de montagem apertadas.
	Maior proteção do vestuário do condutor, dado que o sistema é vedado.	Custos de produção tipicamente superiores face aos sistemas de correia ou corrente.
	Eficiência de transmissão.	Acréscimo de peso.
	Maior segurança do utilizador.	Sistema pouco prático no caso de ser necessário a substituição do pneu traseiro.
	Manutenção mínima.	Requer a utilização de um cubo de transmissão ou de uma caixa de velocidades.
Sistema de correia de transmissão	Mais compacto que o sistema de corrente.	Requer a utilização de um esticador da correia.
	Lubrificação nula.	Sistema pouco prático no caso de ser necessário a substituição do pneu traseiro.
	Não necessita de grandes tolerâncias de montagem relativamente ao sistema de engrenagens cónicas.	Implica a utilização de cubo de transmissão ou caixa de velocidades.
	Baixo ruído face ao sistema de corrente.	
Sistema de transmissão por carretos e corrente	Sistema versátil.	Ruído.
	Baixo custo.	Manutenção considerável, associada à lubrificação da corrente.
	Peso reduzido.	Necessidade de utilização de um cárter de corrente.
		A exposição a poeiras, sujidades e humidade pode induzir a uma degradação precoce da corrente, assim como a perda de eficiência da transmissão.

O sistema de transmissão desempenha um papel fundamental na bicicleta. A transmissão para além de ser responsável pela propulsão da bicicleta, deve ser segura e eficiente. Por outro lado, representa o sistema mais associado a questões de manutenção nas bicicletas, representando um dos aspetos fundamentais no presente projeto.

A Tabela 4.19 ilustra a seleção efetuada para o sistema de transmissão.

Tabela 4.19: Matriz de seleção para o sistema mecânico de transmissão de potência.

Matriz de decisão - Sistema de transmissão de potência							
Critério de seleção	**Peso (%)**	**Veio**		**Correia**		**Corrente**	
		Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação
Eficiência	15	4	0,6	3	0,45	2	0,3
Conforto	15	4	0,6	4	0,6	3	0,45
Segurança	20	4	0,8	3	0,6	2	0,4
Manutenção	20	4	0,8	3	0,6	2	0,4
Acréscimo de peso	15	2	0,3	3	0,45	4	0,6
Custos de produção	15	1	0,15	3	0,45	4	0,6
Total ponderado		3,25		3,15		2,75	
Continua conceito?		Sim		Sim		Não	

Legenda:	4 - Fortemente positiva; 3 - Mediamente positiva; 2 - Mediamente negativa; 1 - Fortemente negativa.

Os sistemas de transmissão considerados mais adequados para a bicicleta são o sistema de veio de transmissão e o sistema de correia, uma vez que obtiveram uma maior pontuação para os critérios de seleção estabelecidos (Tabela 4.19).

Velocidades

Atualmente, existem diversas maneiras de efetuar a multiplicação/redução de binário nas bicicletas. Os exemplos de sistemas podem ser os cubos de transmissão, as cassetes, ou até mesmo a utilização de uma pequena caixa de velocidades. No entanto, o uso de determinada solução é dependente do sistema de transmissão de potência.

Anteriormente, os sistemas mecânicos de veio de transmissão e de correia foram selecionados como os mais adequados. Deste modo, o uso de qualquer um destes sistemas impede a utilização de um sistema de carretos.

Neste contexto, consideram-se duas soluções possíveis para a caixa de transmissão: um cubo de variação contínua montado na roda traseira e uma pequena caixa de velocidades incorporada na zona da pedaleira da bicicleta, sendo posteriormente selecionado o cubo de transmissão como o melhor sistema a adotar (Tabela 4.20).

Tabela 4.20: Matriz de seleção para a caixa de transmissão.

Matriz de decisão - Sistema de multiplicação/ redução de binário.					
Critério de seleção	**Peso (%)**	**Cubo**		**Caixa de velocidades**	
		Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação
Nº de velocidades	30	4	1,2	2	0,6
Custos de produção/aquisição	30	3	0,9	1	0,3
Robustez	20	2	0,4	4	0,8
Sistema compacto	20	4	0,8	3	0,6
Total ponderado		3,3		2,3	
Continua conceito?		Sim		Não	

Legenda:	4 - Fortemente positiva; 3 - Mediamente positiva; 2 - Mediamente negativa; 1 - Fortemente negativa.

Sistema de Travagem

Existem diferentes soluções para o sistema de travagem. A Figura 4.18 contempla os principais sistemas atualmente utilizados nas bicicletas.

(a) *V-brake* (b) Disco mecânico (c) Hidráulico de calços

Figura 4.18: Sistemas de travagem.

Na tabela seguinte são identificadas as vantagens e desvantagens para cada sistema.

Tabela 4.21: Vantagens e desvantagens dos sistemas de travagem.

	Vantagens	**Desvantagens**
V-brake	Manutenção simples e de custos reduzidos. Custo de aquisição relativamente baixo. Boa potência de travagem.	Exposição a sujidades e humidade conduz a uma diminuição da capacidade de travagem. Funcionamento dependente do estado do aro.
Disco mecânico	Maior potência de travagem em relação ao sistema *V-brake*. Boa modulação da força de travagem. Funcionamento sobre qualquer condição de sujidade ou humidade.	Custos de aquisição e de manutenção superiores relativamente ao sistema *V-brake*.
Hidráulico de calços	Elevada potência de travagem; Boa modulação da força de travagem. Funcionamento sobre qualquer condição de sujidade ou humidade.	Sobreaquecimento em caso de travagem prolongada, induzindo a um desgaste precoce dos componentes. Elevado custo de aquisição.

Seguidamente é feita uma seleção do sistema mais adequado, sendo a melhor solução a adotar o sistema de disco mecânico (Tabela 4.22).

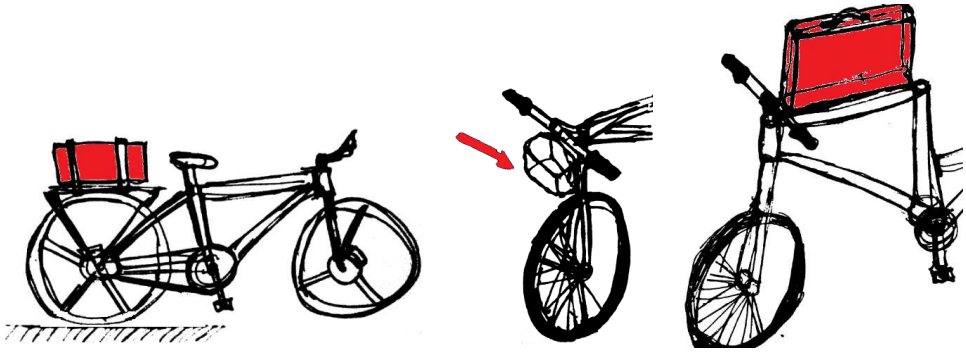
Tabela 4.22: Matriz de seleção - Sistema de travagem.

Matriz de decisão - Sistema de travagem							
Critério de seleção	**Peso (%)**	***V-brake***		**Disco mecânico**		**Hidráulico**	
		Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação
Potência de travagem	25	2	0,5	3	0,75	3	0,75
Modulação da força de travagem	25	2	0,5	4	1	4	1
Eficiência de travagem face a condições climatéricas adversas	25	2	0,5	4	1	4	1
Preço de aquisição	25	4	1	2	0,5	1	0,25
Total ponderado		2,5		3,25		3	
Continua conceito?		Não		Sim		Não	

Legenda:	4 - Fortemente positiva; 3 - Mediamente positiva; 2 - Mediamente negativa; 1 - Fortemente negativa.

Transporte de Objetos

A capacidade da bicicleta para transportar objetos constitui um dos requisitos do projeto, sendo uma característica comum nas bicicletas desportivas e urbanas, como foi evidenciado na atividade de *benchmarking*. A Figura 4.19 ilustra três soluções consideradas.



(a) Suporte de bagagem traseiro (b) Cesto frontal (c) Quadro adaptado

Figura 4.19: Conceitos de transporte de objetos.

A Tabela 4.23 ilustra a triagem das soluções efetuadas, tendo como critérios de seleção a capacidade de carga, fácil utilização, a versatilidade das soluções e a estabilidade conferida.

Tabela 4.23: Matriz de seleção para o transporte de objetos.

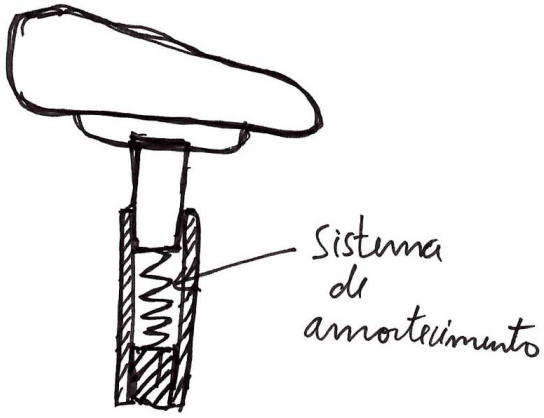
Matriz de decisão - Transporte de objetos							
Critério de seleção	**Peso (%)**	**Suporte de bagagem traseiro**		**Cesto frontal**		**Quadro adaptado**	
		Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação
Fácil utilização	15	2	0,3	4	0,6	4	0,6
Perceção visual	15	1	0,15	4	0,6	4	0,6
Versatilidade	20	3	0,6	1	0,2	1	0,2
Capacidade de carga	25	3	0,75	2	0,5	1	0,25
Estabilidade	25	3	0,75	2	0,5	3	0,75
Total ponderado		2,55		2,4		2,4	
Continua conceito?		Sim		Não		Não	

Legenda:	4 - Fortemente positiva; 3 - Mediamente positiva; 2 - Mediamente negativa; 1 - Fortemente negativa.

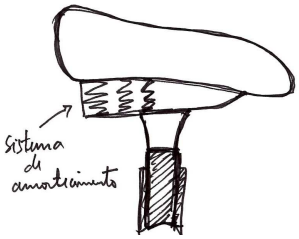
De acordo com a Tabela 4.19, a melhor solução identificada para o transporte de objetos é o suporte de bagagem traseiro. No entanto, o uso desta solução não invalida a utilização em conjunto das restantes soluções (p.ex. cesto frontal).

Amortecimento

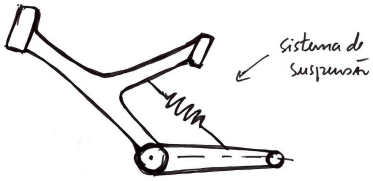
O amortecimento de impactos e vibrações pode ser feito de diversas formas (Figura 4.20).



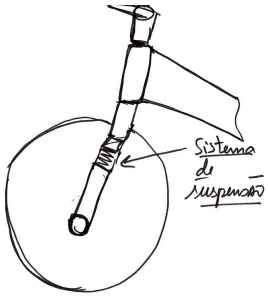
(a) Tubo do selim amortecido



(b) Assento com amortecimento



(c) Quadro com sistema de amortecimento



(d) Forqueta com amortecimento

Figura 4.20: Sistemas de amortecimento.

A Tabela 4.24 ilustra a avaliação das várias soluções realizadas.

Tabela 4.24: Matriz de seleção para o sistema de amortecimento.

Matriz de decisão - Sistema de amortecimento de vibrações									
Critério de seleção	**Peso**	**Selim c/ amortecimento**		**Tubo do selim amortecido**		**Forqueta c/ suspensão**		**Quadro c/ suspensão**	
	(%)	Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação
Capacidade de absorção de vibrações	25	1	0,25	2	0,5	3	0,75	4	1
Capacidade de absorção de impactos	25	1	0,25	2	0,5	3	0,75	4	1
Complexidade	30	4	1,2	2	0,6	4	1,2	2	0,6
Preço de aquisição	20	4	0,8	2	0,4	4	0,8	2	0,4
Total ponderado		2,5		2		3,5		3	
Continua conceito?		Não		Não		Sim		Não	

Legenda:	4 - Fortemente positiva; 3 - Mediamente positiva; 2 - Mediamente negativa; 1 - Fortemente negativa.

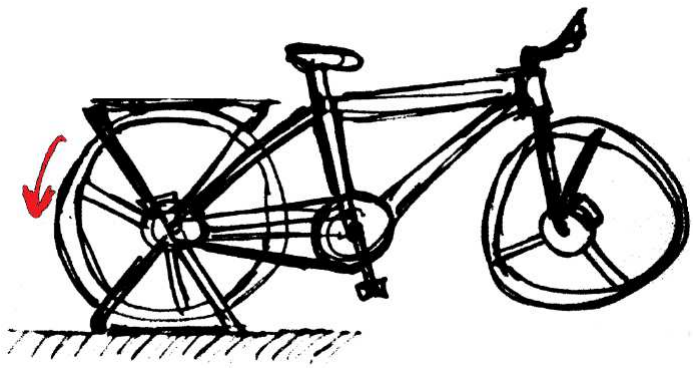
O sistema de amortecimento mais adequado é o sistema de forqueta com amortecimento, representando maior cotação para os critérios definidos. A utilização deste sistema permite o uso em conjunto de outros sistemas (p.ex. assento com amortecimento).

Utilização *Indoor* - Suporte de Estabilidade

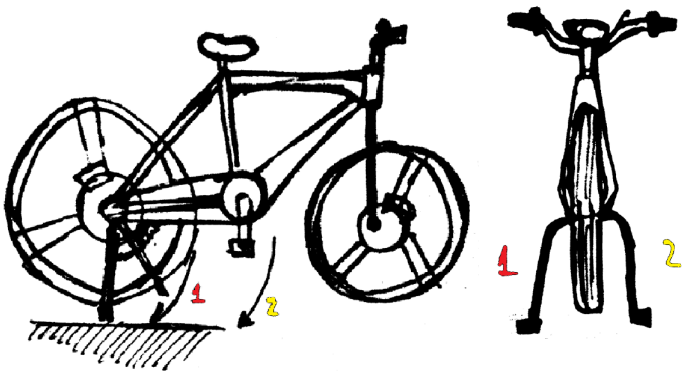
O suporte de estabilidade diz respeito a um sistema da bicicleta que tem como objetivo principal o uso numa vertente *indoor*. Uma vez que não se pretende que a utilização *indoor* esteja condicionada a um local, ou obrigue a utilização de componentes independentes da bicicleta, foi esboçado um conjunto de soluções com vista a conferir uma utilização *indoor* (Figura 4.21(a) e (b)).

O conceito presenteado na Figura 4.21(a) ilustra um suporte de bagagem móvel, que pode assumir duas configurações possíveis, consoante a utilização pretendida. Quando este suporte se encontra na sua posição superior, a sua utilização destina-se ao transporte de objetos, tal como os suportes convencionais. Já na sua posição inferior, este serve de suporte a uma utilização *indoor* da bicicleta ou até mesmo de suporte de repouso.

Na Figura 4.21(b) apresenta-se um conceito de suporte de estabilidade que consiste em dois braços independentes que podem assumir duas posições limite. A utilização de um braço, na posição mais avançada, poderá servir de suporte de repouso da bicicleta. Por outro lado, a utilização dos dois braços poderá servir de suporte de estabilidade a uma utilização estática da bicicleta.



(a) Suporte de bagagem móvel



(b) Suporte de braços móveis

Figura 4.21: Utilização *indoor* - suporte de estabilidade.

Alternativamente, foi considerado um conceito distinto dos anteriores que consiste num suporte dobrável, podendo ser utilizado como suporte de repouso, de estabilidade e como meio de transporte de objetos. A dobragem do dispositivo é conseguida através

da presença de duas molas, de forma a facilitar a utilização das diferentes configurações possíveis (Figura 4.22).

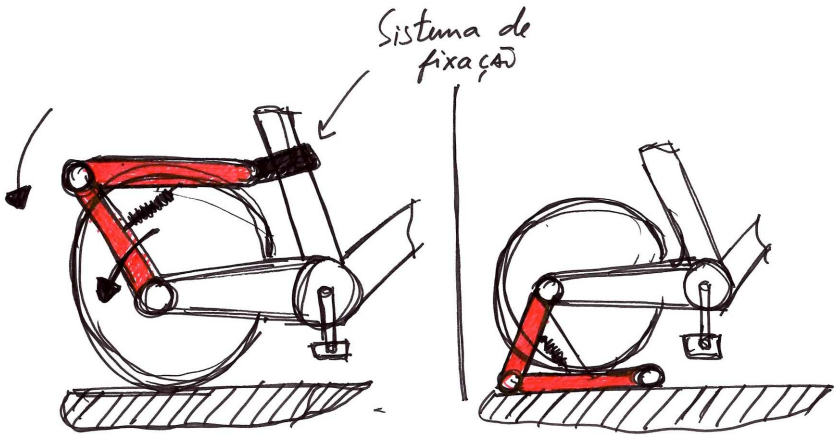


Figura 4.22: Suporte de estabilidade dobrável.

Esta estrutura deve conferir estabilidade aos movimentos do utilizador e não deve conferir um acréscimo de peso substancial à bicicleta. Deve ser fácil de usar, robusto e versátil, podendo ser utilizado em diversas circunstâncias. Com estes critérios definidos na Tabela 4.25, ilustra-se a triagem das soluções efetuadas.

Tabela 4.25: Matriz de seleção para o suporte de estabilidade.

Matriz de decisão - Suporte de Estabilidade							
Critério de seleção	**Peso (%)**	**Suporte de bagagem móvel**		**Suporte de braços móveis**		**Suporte dobrável**	
		Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação
Robustez	20	3	0,6	2	0,4	2	0,4
Estabilidade	30	3	0,9	3	0,9	3	0,9
Versatilidade	20	4	0,8	2	0,4	3	0,6
Peso	15	2	0,3	4	0,6	3	0,45
Complexidade	15	3	0,45	4	0,6	2	0,3
Total ponderado		3,05		2,9		2,65	
Continua conceito?		Sim		Não		Não	

Legenda:	4 - Fortemente positiva; 3 - Mediamente positiva; 2 - Mediamente negativa; 1 - Fortemente negativa.

Face aos resultados obtidos na Tabela 4.25, a solução a desenvolver é a do suporte de bagagem móvel, doravante designado por suporte multifunções. Esta solução satisfaz dois requisitos do projeto: a possibilidade de utilização de um modo *indoor* e a capacidade para transportar objetos.

Sistema de Regulação de Esforço Físico

O sistema de regulação de esforço físico, presente nas bicicletas *indoor*, tem como finalidade criar um impedimento ao movimento imposto pela rotação dos pedais. Este mecanismo obriga o condutor/utilizador a exercer uma força maior do que aquela que realmente necessita, simulando situações reais de utilização da bicicleta. Neste contexto foram idealizados dois dispositivos.

O conceito da Figura 4.23 consiste no dispositivo de fricção, adaptado a um travão de disco convencional. Num dos lados do disco atua as maxilas dos travões e na outra extremidade atua um dispositivo secundário (regulação de esforço físico), impedindo a rotação normal da roda da bicicleta.

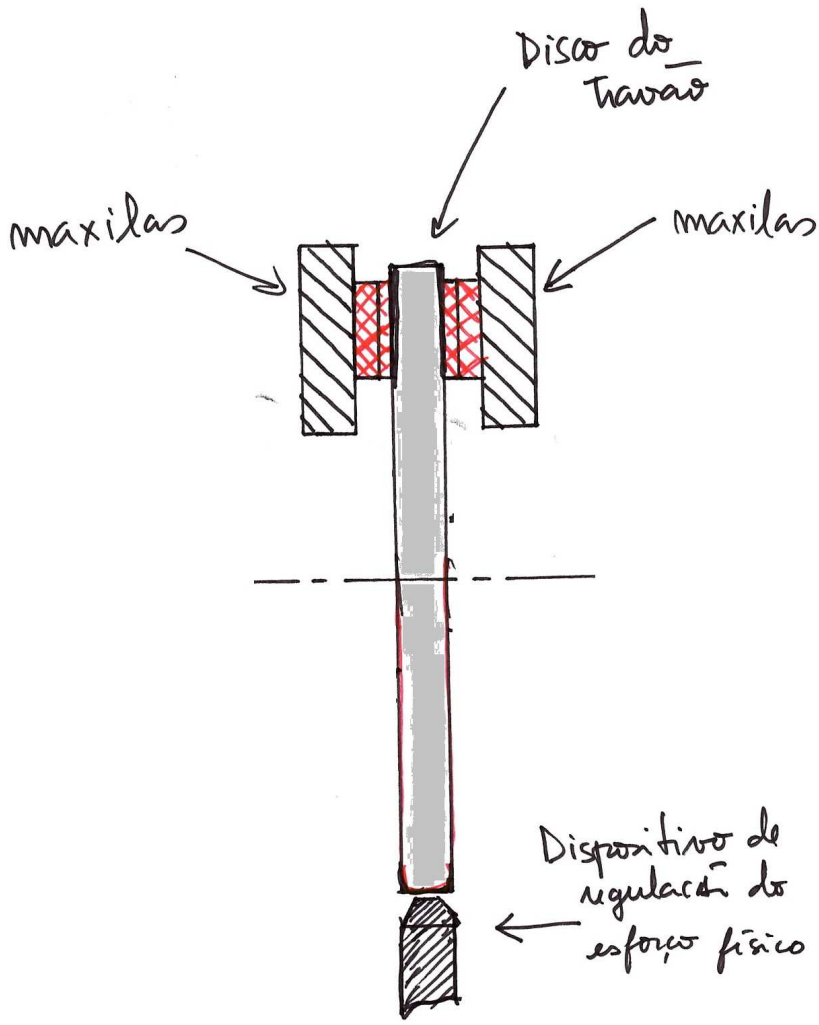


Figura 4.23: Sistema de regulação de esforço físico adaptado a um disco mecânico (conceito 1).

O conceito da Figura 4.24 refere um mecanismo de fricção independente que pode ser incorporado no quadro da bicicleta. O impedimento do movimento é feito através do

contacto exercido no pneu da roda traseira, sendo que a afinação do dispositivo é feita através do avanço e recuo no quadro.

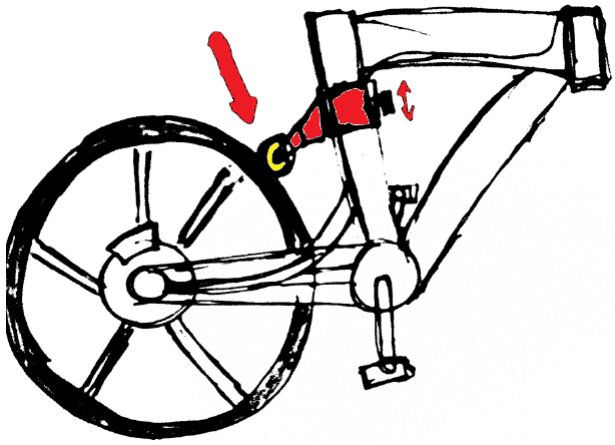


Figura 4.24: Sistema independente de regulação de esforço físico acoplado no quadro (conceito 2).

Uma vez que a utilização de um dispositivo de regulação do esforço físico serve para o utilizador gerir o esforço pretendido, este sistema não deverá representar um acréscimo de peso substancial à bicicleta. Por outro lado, deverá ser compacto, eficiente e de fácil utilização. Com base nestes critérios é realizada uma seleção do sistema mais adequado (Tabela 4.26).

Tabela 4.26: Matriz de seleção para o sistema de regulação de esforço físico.

Matriz de decisão - Sistema de regulação do esforço físico					
Critério de seleção	**Peso (%)**	**Conceito 1**		**Conceito 2**	
		Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação
Fácil utilização	25	3	0,75	3	0,75
Complexidade	25	3	0,75	2	0,5
Eficiência	25	3	0,75	2	0,5
Sistema compacto	25	3	0,75	2	0,5
Total ponderado		3		2,25	
Continua conceito?		Sim		Não	

Legenda:	4 - Fortemente positiva; 3 - Mediamente positiva; 2 - Mediamente negativa; 1 - Fortemente negativa.

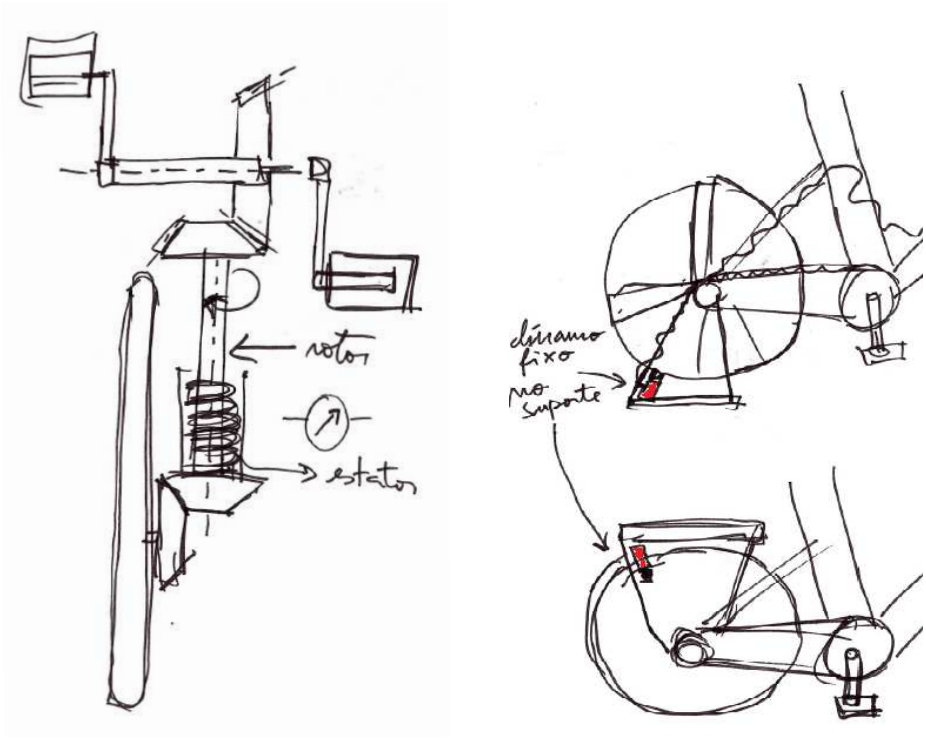
O sistema mais adequado para regular o esforço físico do utilizador é o sistema adaptado a um disco mecânico (conceito 1).

Geração de Energia

A capacidade da bicicleta gerar energia é essencial no âmbito do presente projeto, uma vez que irá permitir alimentar os sistemas de iluminação e carregar as baterias dos dispositivos eletrónicos.

Atualmente existem diversos mecanismos para gerar energia nas bicicletas. Os mais comuns são o dínamo mecânico, o dínamo integrado no cubo da roda ou até sistemas de indução eletromagnética, sendo todos os sistemas dependentes do movimento de uma das rodas, tipicamente a roda dianteira. Uma vez que se pretende que a geração de energia esteja também presente numa utilização *indoor* da bicicleta, esboçaram-se dois conceitos distintos presentes na Figura 4.25.

O primeiro conceito, Figura 4.25 (a), representa um pequeno gerador interno a um sistema de transmissão de potência de veio mecânico. Nestas circunstâncias, o veio serve de "rotor", sendo o estator fixo num dos apoios do sistema. No segundo conceito, Figura 4.25 (b), a geração de energia é feita através de um dínamo convencional fixo no suporte multifunções, estando permanentemente em contacto com a roda traseira.



(a) Gerador interno a um sistema mecânico de veio de transmissão (conceito 1)

(b) Dínamo fixo ao suporte multifunções (conceito 2)

Figura 4.25: Sistemas de geração de energia.

Na Tabela 4.27 são confrontadas as duas soluções através de critérios de seleção, sendo o melhor sistema a usar o conceito 1.

Tabela 4.27: Matriz de seleção para o sistema de geração de energia.

Matriz de decisão - Sistemas de geração de energia					
Critério de seleção	**Peso (%)**	**Conceito 1**		**Conceito 2**	
		Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação
Robustez	25	4	1	1	0,25
Sistema compacto	25	4	1	1	0,25
Custo de produção/aquisição	25	1	0,25	4	1
Potência gerada	25	3	0,75	3	0,5
Total ponderado		3		2	
Continua conceito?		Sim		Não	

Legenda:	4 - Fortemente positiva; 3 - Mediamente positiva; 2 - Mediamente negativa; 1 - Fortemente negativa.

Integração dos Dispositivos Eletrónicos

As imagens fotorrealísticas presentes na Figura 4.26 (a) e (b), ilustram dois conceitos idealizados e posteriormente desenvolvidos para permitir a fixação dos dispositivos eletrónicos (p.ex. telemóvel; GPS).

A figura da esquerda diz respeito a um suporte fixo no guiador da bicicleta, sendo uma solução relativamente simples, de custos reduzidos e atualmente disponível no mercado. Por outro lado, na figura da direita ilustra-se um suporte integrado no quadro da bicicleta que, para além de permitir a fixação do telemóvel, contém um conjunto de LEDs frontais. O suporte integrado no quadro, embora seja mais complexo e, por conseguinte, mais caro, aproxima-se das inovações atuais introduzidas no setor, como evidenciado no modelo da bicicleta da Smart ®.

(a) Suporte fixo no guiador

(b) Suporte integrado no quadro

Figura 4.26: Integração dos dispositivos eletrónicos.

Na Tabela 4.28 é feita uma seleção destes dois conceitos, evidenciando a solução a

desenvolver: o suporte integrado no quadro da bicicleta. Este sistema, para além de garantir a fixação dos dispositivos através da presença de uma entrada USB 2.0, deverá assegurar a iluminação frontal da bicicleta.

Tabela 4.28: Matriz de seleção para o sistema de integração dos dispositivos eletrónicos.

Matriz de decisão - Integração dos dispositivos eletrónicos					
Critério de seleção	**Peso (%)**	**Suporte no guiador**		**Suporte integrado no quadro**	
		Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação
Robustez	25	1	0,25	4	1
Perceção visual	25	3	0,75	2	0,5
Custo de produção/aquisição	25	3	0,75	1	0,25
Versatilidade	25	3	0,25	3	0,75
Total ponderado		2		2,5	
Continua conceito?		Não		Sim	

Legenda:	4 - Fortemente positiva; 3 - Mediamente positiva; 2 - Mediamente negativa; 1 - Fortemente negativa.

Quadro da Bicicleta

O quadro representa a principal e a mais importante estrutura para um produto como a bicicleta. Este elemento, para além de ser responsável pela integridade da bicicleta, influencia o aspeto visual, o peso, a robustez, o preço final, entre outras características.

Anteriormente definiu-se que este elemento deverá ser em alumínio. Deste modo, na Figura 4.27 ilustram-se três soluções idealizadas.

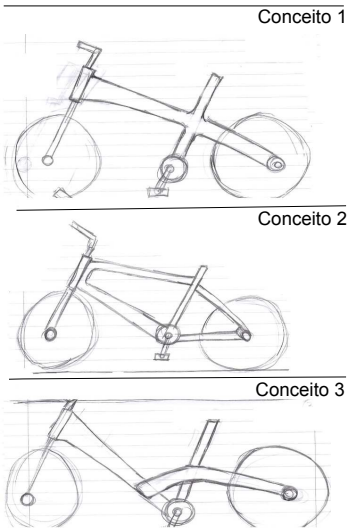


Figura 4.27: Geometrias consideradas para o quadro da bicicleta.

No âmbito do presente projeto é necessário que o quadro possua uma geometria de acesso fácil que possa ser utilizado por pessoas com limitações físicas e, por outro lado não deverá representar um custo elevado. A melhor solução a adotar é a do quadro com o tubo principal rebaixado, Tabela 4.29.

Tabela 4.29: Matriz de seleção para a geometria do quadro.

Matriz de decisão - Geometria do quadro							
Critério de seleção	Peso (%)	Conceito 1		Conceito 2		Conceito 3	
		Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação
Robustez	30	0,6	2	0,9	3	0,9	3
Acesso	30	0,9	3	0,3	1	1,2	4
Inovação	20	0,6	3	0,2	1	0,6	3
Custo de produção	20	0,2	1	0,8	4	0,6	3
Total ponderado		2,3		2,2		3,3	
Continua conceito ?		Não		Sim		Não	

Legenda:	4 - Fortemente positiva; 3 - Mediamente positiva; 2 - Mediamente negativa; 1 - Fortemente negativa.

Guiador

É possível observar que a geometria dos guiadores das bicicletas *indoor* proporcionam maiores zonas de contacto entre o guiador e o usuário. Por outro lado, numa bicicleta convencional, o guiador é um elemento rígido, constituído por punhos ergonómicos que têm como finalidade reduzir as tensões de contacto na palma da mão.

Tendo em conta a utilização *indoor* da bicicleta, o guiador a desenvolver deverá possuir uma geometria que seja facilmente adaptada à configuração pretendida. Na Figura 4.28, são presenteadas três soluções consideradas.

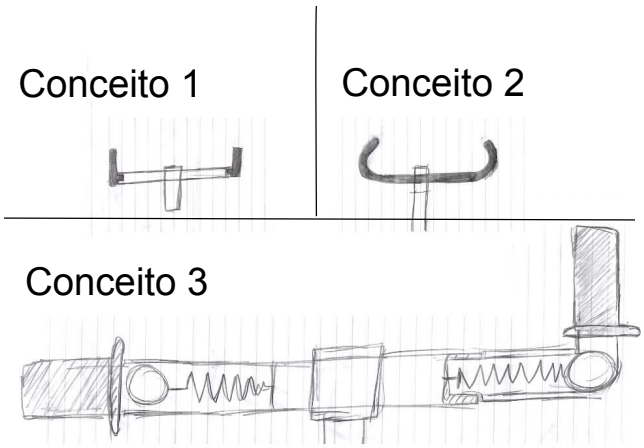


Figura 4.28: Soluções consideradas para o guiador da bicicleta.

Na primeira solução, o guiador é constituído por um perfil rígido, no qual são fixas

duas pegas na sua extremidade. O segundo, sendo semelhante ao guiador das bicicletas *indoor*, apresenta uma curvatura nas suas extremidades. Já a terceira solução representa um guiador "adaptável", uma vez que este permite duas configurações distintas, através da utilização de duas molas no seu interior.

De acordo com a Tabela 4.30 a solução a desenvolver é a do guiador adaptável.

Tabela 4.30: Matriz de seleção para a geometria do guiador.

Matriz de decisão - Geometria do quadro							
Critério de seleção	Peso (%)	Conceito 1		Conceito 2		Conceito 3	
		Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação	Pontuação	Cotação
Versatilidade	40	0,8	2	1,2	3	1,6	4
Inovação	30	0,3	1	0,3	1	0,9	3
Custo de produção	30	1,2	4	0,9	3	0,3	1
Total ponderado		2,3		2,4		2,8	
Continua conceito ?		Não		Não		Sim	

Legenda:	4 - Fortemente positiva; 3 - Mediamente positiva; 2 - Mediamente negativa; 1 - Fortemente negativa.

Conceito Final

Após a triagem efetuada anteriormente, é possível resumir as características finais a implementar na nova proposta de bicicleta:

- Tração: traseira.
- Direção: dianteira.
- Sistema mecânico de transmissão de potência: veio de transmissão e engrenagens cónicas.
- Sistema de multiplicação/redução de binário: cubo na roda traseira.
- Sistema de travagem: disco mecânico.
- Transporte de objetos: suporte multifunções.
- Sistema de amortecimento: forqueta com amortecimento.
- Utilização *indoor*:
    - Estabilidade: suporte multifunções.
    - Sistema de regulação do esforço físico: adaptado a um disco mecânico.
- Integração e carregamento de dispositivos eletrónicos:
    - Geração de energia: gerador interno a um veio de transmissão.
    - Fixação dos dispositivos: suporte integrado no quadro.
    - Interface/Comunicação: USB 2.0.
- Geometria do quadro: tubo principal rebaixado.
- Geometria do guiador: adaptável.

4.7 Logótipo

No decorrer do processo de desenvolvimento da bicicleta considerou-se a possibilidade de criar um logótipo associado a um slogan do produto. Deste modo, foram considerados um conjunto de possíveis nomes a designar, tendo sido selecionado o nome **FHUE**.

O nome FHUE consiste numa sigla em que **F** - (*Freedom*) representa a **liberdade** de mobilidade que a bicicleta proporciona; **H** - *(Health)* enaltece os benefícios em termos de **saúde** individual e condicionamento físico, proporcionado por uma bicicleta com dupla capacidade de utilização *indoor* e dinâmica; **U** - (*Urban*) sublinha o contributo da bicicleta para uma mobilidade **urbana** sustentável; **E** - *(Environment)* refere-se a todas as vantagens **ambientais** deste meio de transporte.

A Figura 4.29 ilustra o logótipo criado. Na Figura C.1, presente no Apêndice C, encontram - se algumas versões "alternativas" idealizadas para o logótipo.

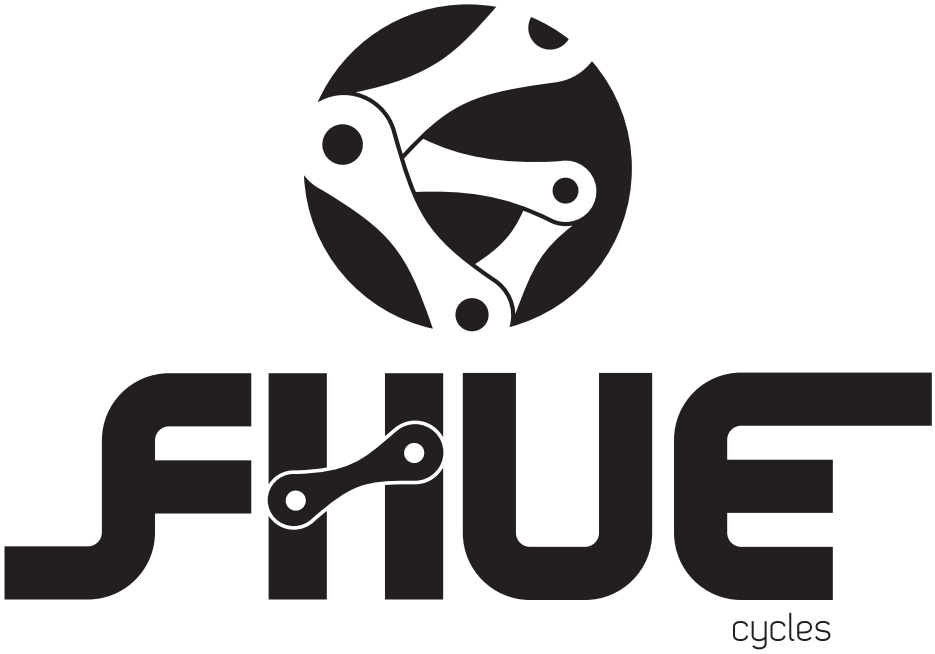


Figura 4.29: Logótipo associado ao produto desenvolvido.

4.8 Solução Final

Os próximos tópicos ilustram a solução final da bicicleta desenvolvida através do *software* de modelação CAD CATIA V5 ©, evidenciando todos os pormenores, sistemas e as possíveis configurações da bicicleta.

Nas Figuras 4.30 e 4.31 são apresentadas um conjunto de imagens fotorrealísticas da bicicleta, evidenciando os seus principais sistemas. As imagens da Figura 4.30 representam o suporte multifunções e o sistema de transmissão da bicicleta. Por outro lado, na Figura 4.31 é ilustrado o sistema de fixação do telemóvel e o guiador. Posteriormente, é feita uma análise funcional destes sistemas.

Figura 4.30: Bicicleta FHUE - suporte multifunções e transmissão por veio mecânico.

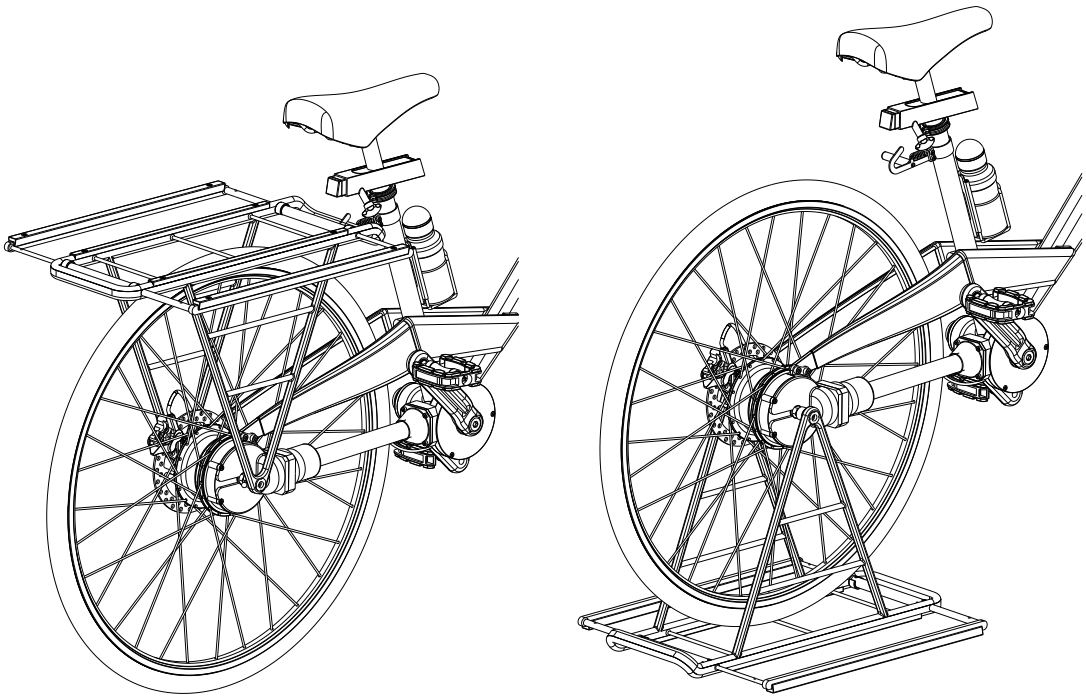
Figura 4.31: Bicicleta FHUE - guiador e suporte de fixação do telemóvel.

4.8.1 Utilização *Indoor*

Suporte Multifunções

A vertente *indoor* representa a característica principal da bicicleta. Sendo a bicicleta composta por um suporte multifunções, este pode assumir duas posições limite consoante a utilização pretendida. Na posição superior, a estrutura pode ser utilizada como um suporte de bagagem convencional. Por outro lado, na posição inferior, o suporte confere uma base de estabilidade a uma utilização estática.

Na Figura 4.32 são representadas as duas possíveis configurações do suporte.



(a) Movimento das guias móveis (posição superior)

(b) Rotação em torno do eixo do cubo traseiro (posição inferior)

Figura 4.32: Suporte multifunções proporcionando uma utilização *indoor* da bicicleta.

De um modo genérico, este sistema é constituído por uma estrutura principal na qual deslizam duas guias móveis (em ambas as laterais do suporte), permitindo alcançar um atravancamento máximo[2] de 420 mm. Por sua vez, as guias são fixas no suporte nas duas posições limite através de quatro elementos de fixação (fixadores).

[2]O cálculo da largura máxima do suporte é alvo de estudo no capítulo 5

O bloqueio do suporte nas duas posições limite é feito através de dois mecanismos. O primeiro, Figura 4.33, está presente no eixo do cubo da roda traseira, sendo constituído por uma peça estriada (3) que é roscada no seu interior, não havendo movimento em relação ao eixo do cubo. Por sua vez, nesta peça desliza uma manga (1) que, consoante a posição do suporte, permite o bloqueio da estrutura pela ação de um pino (4). A numeração presente na figura 4.33 ilustra a sequência correta de montagem dos componentes no cubo.

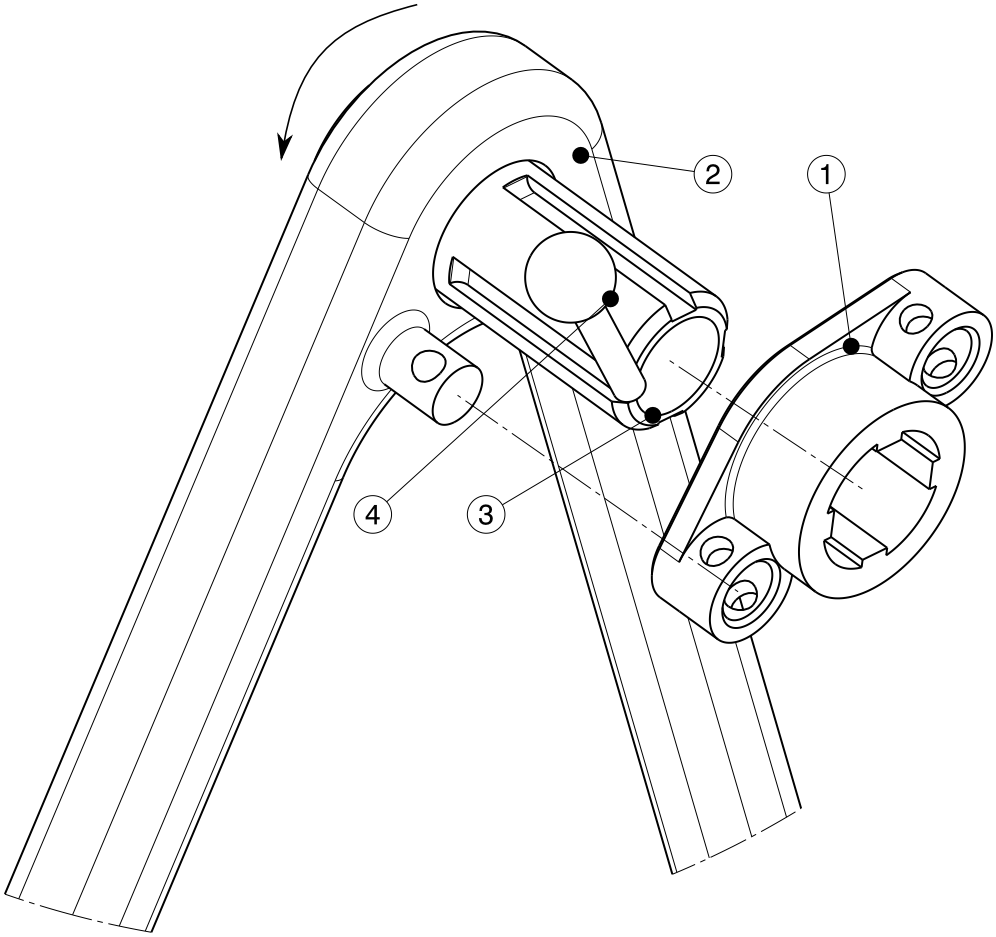


Figura 4.33: Sistema de bloqueio do suporte no cubo da roda traseira [**Legenda:** 1 - Manga; 2 - Suporte multifunções; 3 - Estria; 4 - Pino].

O outro sistema de bloqueio diz respeito a um mecanismo mecânico constituído por uma mola e por uma pequena garra. Este mecanismo montado no tubo do selim da bicicleta tem como objetivo reduzir possíveis vibrações, conferindo uma maior robustez ao sistema.

Na Figura 4.34, ilustra-se o sistema de bloqueio montado no tubo do selim, em pormenor as guias e os elementos de fixação já referidos.

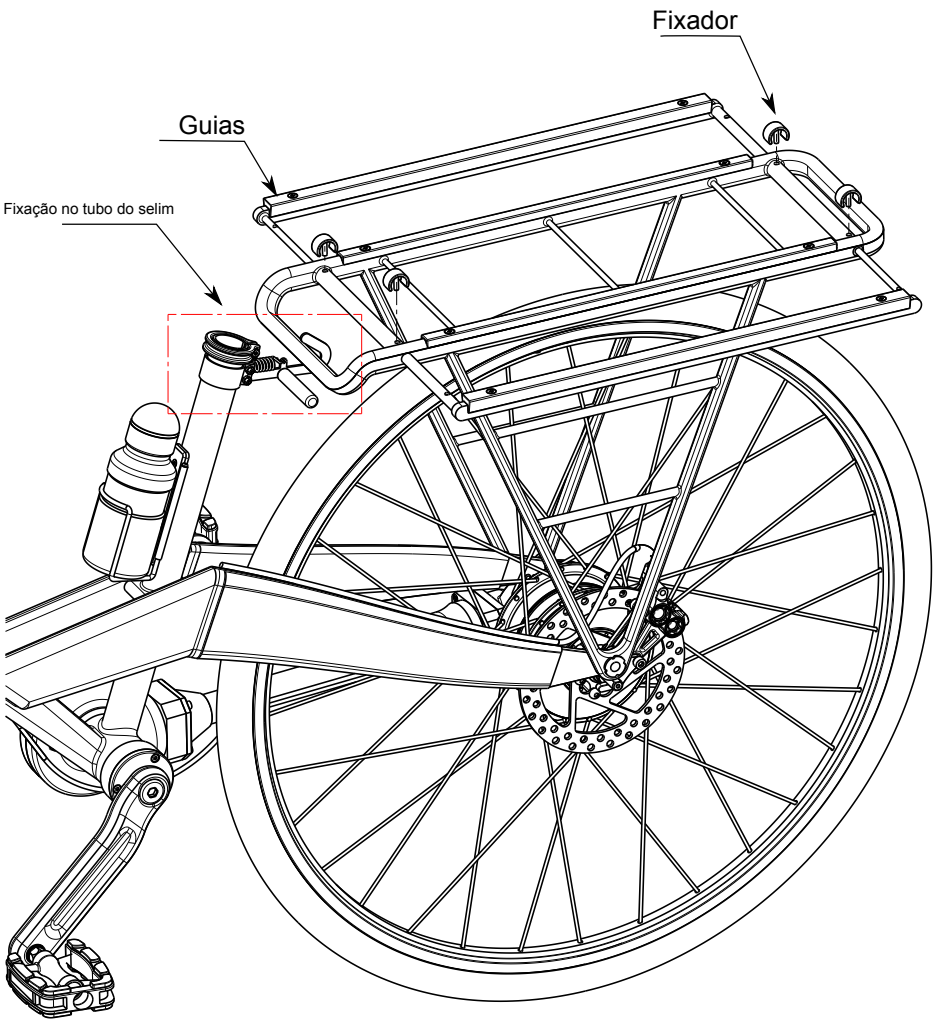


Figura 4.34: Pormenor das guias e do sistema de bloqueio no tubo do selim.

Após a descrição dos elementos e das ações necessárias para uma utilização *indoor* da bicicleta, são resumidas as etapas por ordem sequencial:

1. Movimento das guias em relação ao suporte até à sua posição de maior atravancamento.
2. Libertação do pino e movimento de recuo da manga presente no sistema de bloqueio no cubo.
3. Libertação do suporte relativamente ao sistema de bloqueio presente no tubo do selim.
4. Rotação de 180° do suporte em relação ao eixo da roda traseira (posição inferior).
5. Avanço da manga e bloqueio da estrutura.

Tendo o suporte multifunções como finalidade primária a utilização da bicicleta numa vertente *indoor*, todavia poderá ser utilizado no transporte de objetos, constituindo uma necessidade manifestada pelos utilizadores.

Sistema de Regulação do Esforço Físico

A regulação do esforço físico é realizada através de um sistema mecânico de fricção, Figura 4.35. Este sistema, atuando no disco da roda traseira, é composto por uma alavanca que possui um movimento de rotação em torno do seu eixo de fixação. Uma vez que a gestão do esforço físico é feita pelo usuário através da presença de um regulador no tubo principal do quadro, um maior aperto irá implicar um maior atrito entre o calço e o disco.

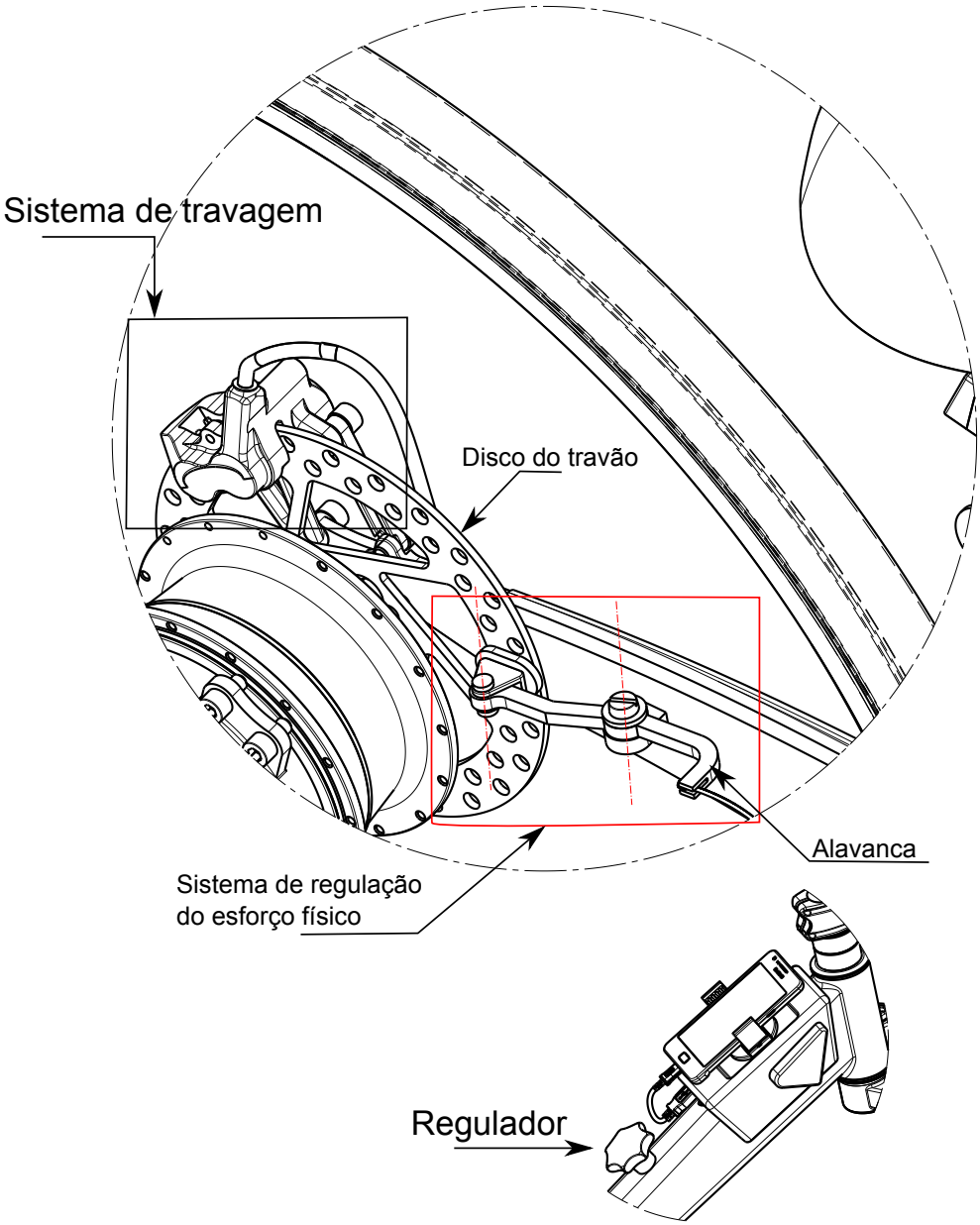


Figura 4.35: Sistema de regulação do esforço físico.

Um outro aspeto visível diz respeito ao modo como é feito o contacto entre o calço e o disco mecânico. Possuindo o calço um movimento livre de rotação, irá ser exercida

uma força de atrito uniforme na superfície de contacto entre o disco e o calço.

4.8.2 Integração e Carregamento dos Dispositivos Eletrónicos

A fixação e o carregamento de dispositivos eletrónicos é feita através de um suporte presente no tubo principal do quadro, Figura 4.36. Para além de acomodar o telemóvel, o suporte engloba um conjunto de 6 LEDs projetados para a dianteira da bicicleta. Este suporte é composto por uma entrada USB 2.0, que tem como objetivo carregar os equipamentos, e por um botão ON/OFF, que permite ao usuário ligar/desligar a iluminação da bicicleta, como se ilustra na Figura 4.36. Em termos construtivos, a fixação dos dispositivos é feita através de duas garras que podem ser ajustadas, consoante as dimensões dos dispositivos. Contudo, a nível dimensional apenas é possível fixar equipamentos com dimensões inferiores a 145 $\times$ 75 mm (comprimento $\times$ largura).

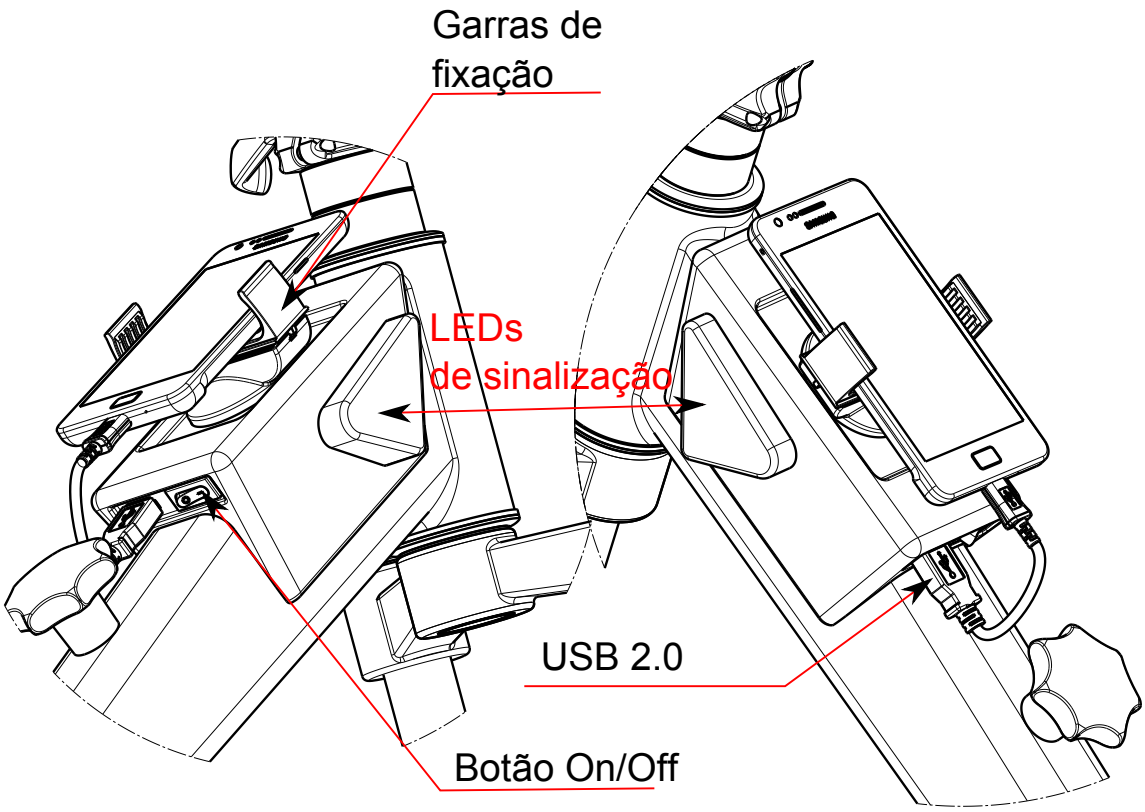


Figura 4.36: Suporte de fixação do telemóvel.

Dada a complexidade de projeto, o sistema encontra-se desenvolvido apenas a nível conceptual, ou seja, todos os componentes eletrónicos e peças de plástico não foram alvo de estudo no presente projeto.

4.8.3 Transmissão

A transmissão por veio mecânico é resultado da necessidade de baixa manutenção exigida pelos utilizadores e do facto da bicicleta possuir um sistema que carregue os dispositivos eletrónicos. Dada a complexidade a nível de dimensionamento, todos os componentes eletrónicos não foram dimensionados no presente projeto, sendo apenas projetados os componentes mecânicos constituintes da transmissão.

Em termos construtivos, o sistema é constituído por dois veios em aço, quatro rolamentos e quatro engrenagens. Tendo sido admitida uma relação de transmissão interna $u = 2{:}1$, no primeiro par de engrenagens ocorre uma redução do binário e no segundo uma multiplicação, Figura 4.37. Em relação ao número de relações de transmissão, este é somente dependente do cubo de transmissão. Tendo sido selecionado um cubo de variação contínua que permite uma relação mínima de 0,5 e uma relação máxima de 1,8.

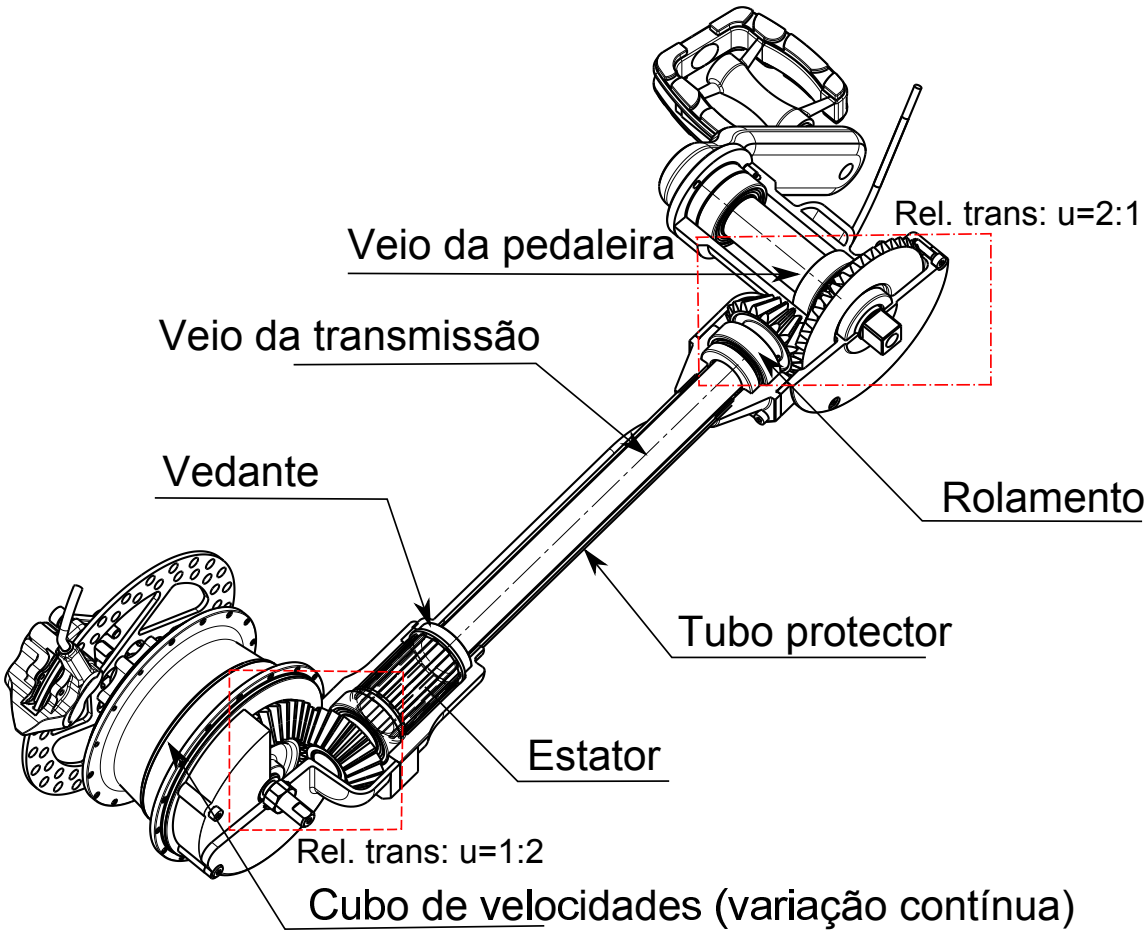


Figura 4.37: Sistema de transmissão por veio mecânico.

A nível de transmissão de movimento entre os elementos mecânicos na zona da pedaleira, a engrenagem é fixa no veio através da utilização de duas chavetas. Já a ligação entre as engrenagens e o veio da transmissão é feita através da presença de pinos, Figura 4.38. Um aspeto a salientar é o facto de todo o sistema ser vedado através da presença de elementos vedantes e de um tubo roscado em ambas as extremidades, devidamente

alojados nas tampas concebidas e nos apoios concebidos.

A lubrificação do sistema é assegurada pela presença de um pino de lubrificação na zona da pedaleira. Na Figura 4.38 é ilustrada a zona da pedaleira da bicicleta em corte, evidenciando a disposição e a ligação entre os vários elementos.

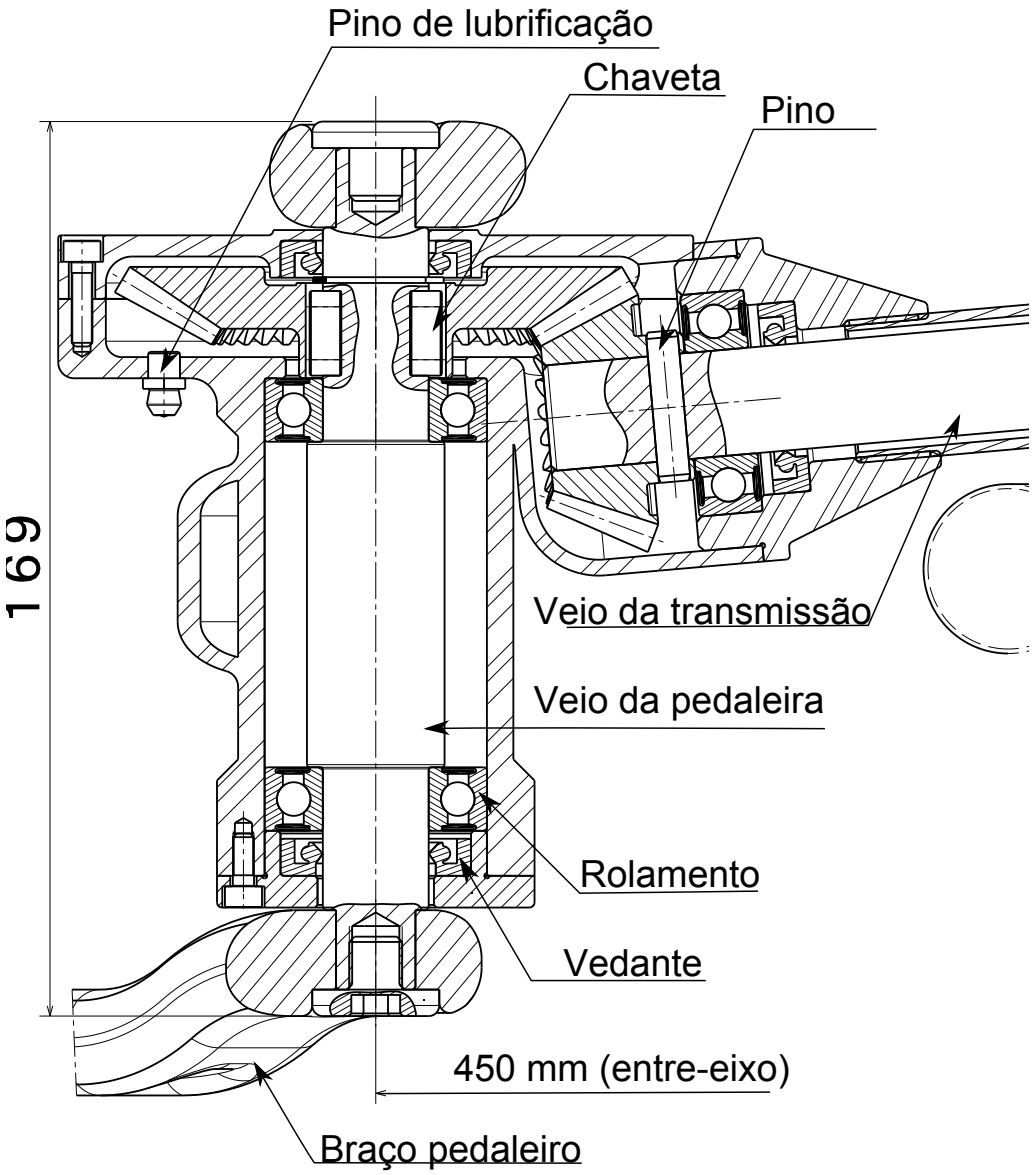


Figura 4.38: Vista em corte da zona da pedaleira da sistema de transmissão.

Como referido anteriormente, toda a componente eletrónica da bicicleta não foi dimensionada. No entanto, a nível conceptual, a geração de energia da bicicleta deverá ser assegurada pela presença de um estator fixo a um dos apoios da transmissão, sendo utilizado o movimento rotacional do veio da transmissão como indutor do sistema.

4.8.4 Ergonomia

Tendo sido apresentados os principais sistemas de modo a dar resposta aos objetivos de utilização da bicicleta, é importante referir que, para além das características específicas do projeto, a bicicleta é ainda dotada de uma forqueta com suspensão, de modo a amortecer as vibrações, e de um suporte para garrafa de água no tubo do selim do quadro, sendo um aspeto especialmente importante para uma bicicleta com a dupla capacidade de utilização *indoor* (Figura 4.39).

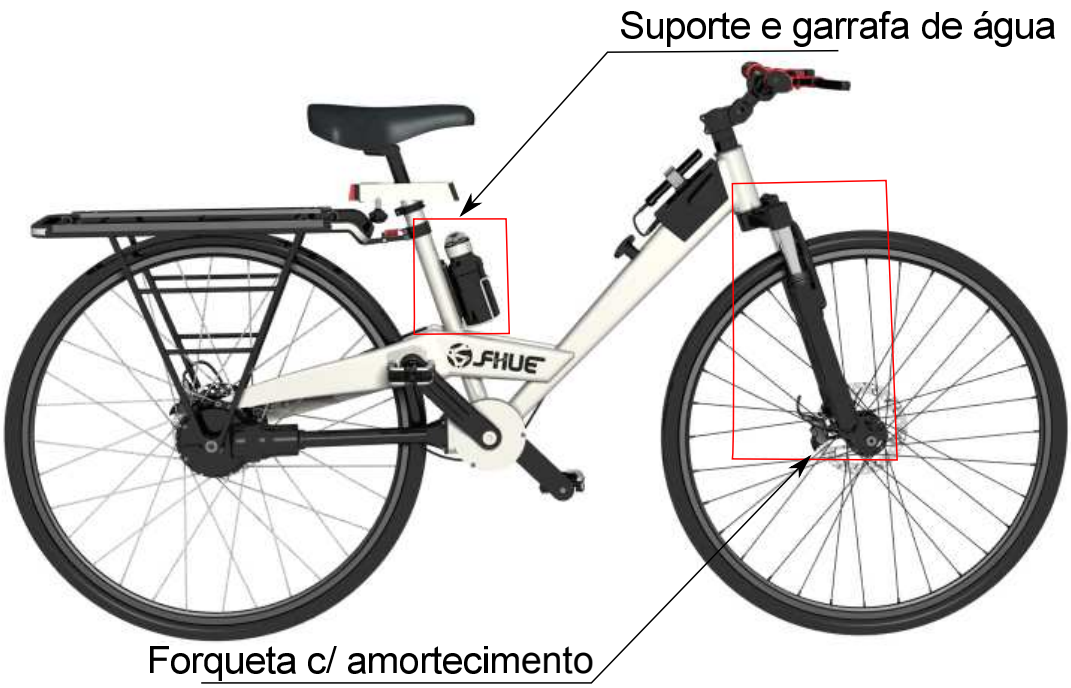


Figura 4.39: Forqueta com amortecimento e suporte para garrafa de água.

Como é visível na Figura 4.39, a geometria do quadro faculta um espaço livre na zona central da bicicleta facilitando o seu acesso. Esta característica é essencial para os utilizadores com limitações de mobilidade, sendo também essencial para a utilização *indoor*.

Sistema de Regulação do Selim

Como mostrado no capítulo 2, as bicicletas *indoor* possuem sistemas de regulação que permitem o ajuste do selim e do guiador em altura e em comprimento, de modo a permitirem uma correta adaptação da bicicleta às características físicas do condutor. Por outro lado, as bicicleta convencionais, por norma, possuem apenas o ajuste do selim em altura. Tendo em conta a utilização *indoor* da bicicleta, foi concebido um sistema de ajuste do selim em altura e comprimento, (Figura 4.40).

Sendo semelhante aos sistemas presentes nas bicicletas *indoor*, o sistema de ajuste é constituído por um elemento fixo, que é fixo no quadro através de um aperto rápido (tubo do selim), e por um elemento móvel (calha móvel), que pode possuir movimento relativo em relação ao tubo do selim, dependo do aperto de um regulador presente no tubo do selim.

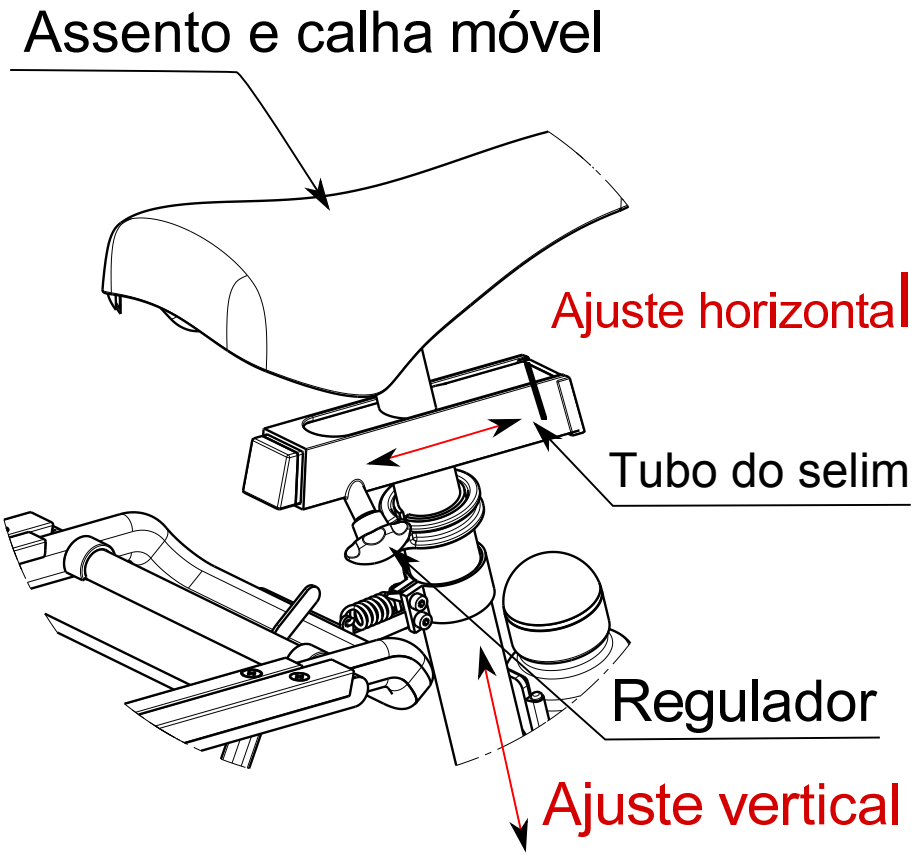


Figura 4.40: Sistema de ajuste em altura e comprimento do selim.

Tendo como referência as dimensões antropométricas de um indivíduo pertencente ao percentil 50, do género masculino e feminino, foi dimensionado um ajuste horizontal de 80 mm (40 mm em relação à posição neutra). Em termos de ajuste vertical, o sistema foi dimensionado de modo a permitir um ajuste vertical de 152 mm, em relação à sua posição mais recuada.

Iluminação e Sistema de Travagem

A necessidade da bicicleta possuir um sistema de iluminação foi, por várias vezes, um aspeto manifestado pelos utilizadores inquiridos, constituindo um requisito importante do projeto. Além de contribuir para a segurança do utilizador, a iluminação pode representar um fator competitivo como evidenciado. Deste modo, a bicicleta está equipada com um conjunto de seis LEDs de sinalização projetados para a dianteira da bicicleta e quatro para a retaguarda da bicicleta, estando estes alojados no suporte de fixação do telemóvel e no sistema de regulação do selim. Nas imagens da Figura 4.41 é identificada a localização e a disposição dos LEDs de sinalização da bicicleta.

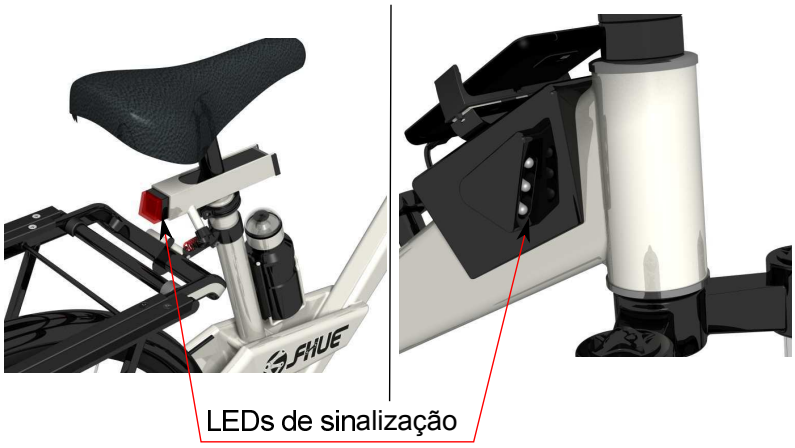


Figura 4.41: Localização dos LEDs de sinalização da bicicleta.

Em relação ao sistema de travagem e tendo em conta os sistemas já apresentados, a bicicleta é dotada de dois discos mecânicos com um diâmetro de 160 mm presentes na roda dianteira da bicicleta e na roda traseira (Figura 4.42).

Figura 4.42: Sistema de travagem por disco mecânico.

Posição de Condução

A imagem da Figura 4.43 ilustra a postura de condução de um indivíduo do género masculino, pertencente ao percentil 50. Tendo em conta o estudo realizado no capítulo 2, é percetível que a bicicleta induza uma posição de condução desportiva, caracterizada por um ângulo de aproximadamente de 90° dos braços, em relação ao tronco, e por uma ligeira inclinação visível do tronco, em relação ao solo. Esta posição visa uma maximização muscular dos membros inferiores, sendo uma posição ideal para uma utilização por um longo período de tempo.

Figura 4.43: Postura de condução - posição a 90° dos braços em relação ao tronco.

Guiador

A solução desenvolvida para o guiador permite duas possíveis configurações que estão de acordo com a utilização pretendida para a bicicleta. Numa vertente *indoor*, os punhos do guiador podem ser posicionados a 90° do tubo principal, permitindo deste modo que a posição das mãos do utilizador não esteja restringida apenas numa posição. Já numa utilização dinâmica, pretende-se que os punhos sejam posicionados a 0° do tubo principal do guiador.

De um modo geral, o movimento dos punhos entre as duas posições é realizado através de duas molas, sujeitas predominantemente à tração (Figura 4.44). O bloqueio dos punhos do guiador nas duas posições limite é conseguido através de uma mola de com-

pressão, presente na dobradiça do guiador.

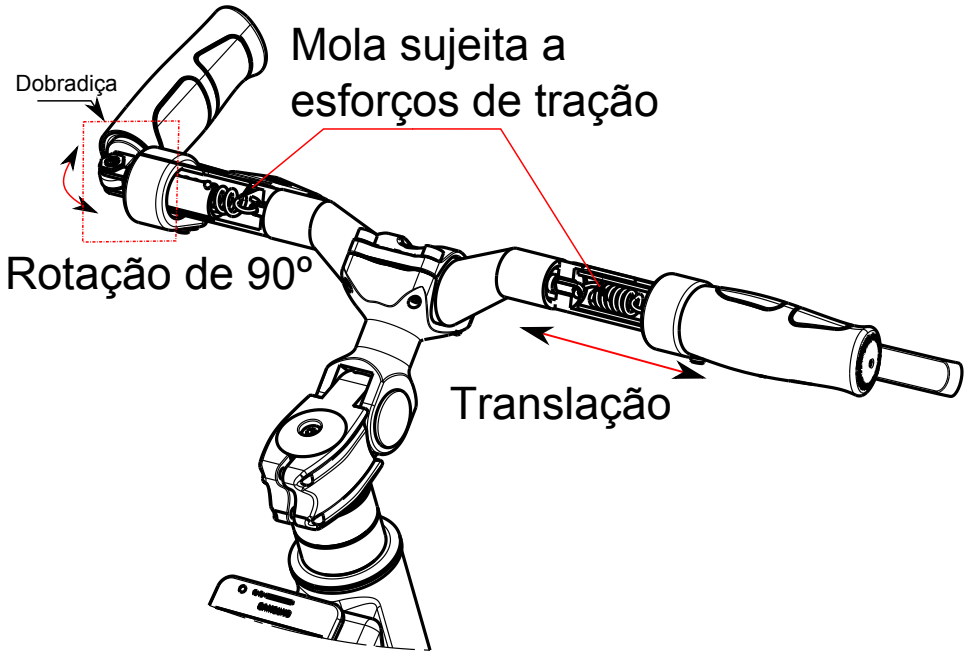


Figura 4.44: Solução construtiva do guiador da bicicleta.

Um outro aspeto importante da bicicleta é a presença de um avanço do guiador regulável. Sendo um componente estandardizado, o avanço selecionado permite ajustar o posicionamento do guiador e, consequentemente, o desnível entre o guiador e o selim através da rotação máxima de 60° (Figura 4.45).

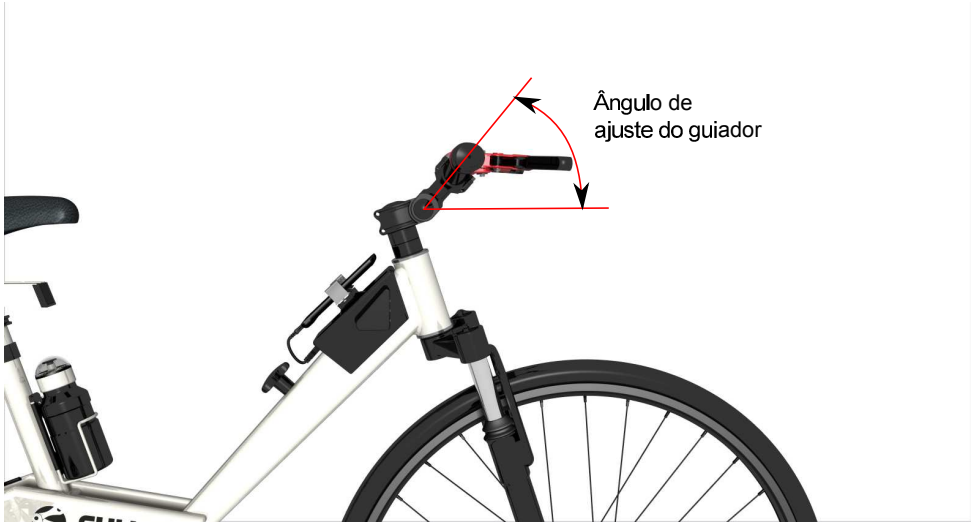


Figura 4.45: Avanço do guiador regulável.

4.8.5 Protótipos Virtuais

Na Figura 4.46 são apresentadas três cores diferentes para a bicicleta **FHUE**.

Figura 4.46: Bicicleta FHUE - Protótipos virtuais.

4.8.6 Especificações Finais

Após a análise dos sistemas da bicicleta, apresentam-se as suas especificações finais. Outrora, estas tinham sido definidas na fase de construção do QFD, no entanto, após a fase de desenvolvimento é possível que não tenham sido respeitadas todas as especificações técnicas idealizadas. Na Tabela 4.31 é feita uma comparação entre as especificações definidas na matriz da qualidade e as especificações finais da bicicleta.

Tabela 4.31: Especificações finais da bicicleta.

Requisitos do produto	**Valor alvo**	**Valor final**	**Grandeza**
Altura do quadro	508	400	mm
Comprimento do quadro	511	533	mm
Altura do selim	[617; 771]	[570; 650]	mm
Distância entre o centro transmissão e a roda dianteira	610	634	mm
Distância entre o centro da transmissão e a roda traseira	450		mm
Inclinação do tubo do selim	72		$graus(°)$
Comprimento da pedaleira	170	170	mm
Comprimento do guiador	500	489	mm
Desnível entre o guiador e o selim	100	85	mm
Distância entre o centro da transmissão e o solo	300	347	mm
Ângulo de topo da direção	70	72	$graus(°)$
Nº de velocidades	18 (mínimo)	Infinito	$unidade$
Diâmetro das rodas	$26 \times 1,6$		in
Rigidez do quadro	70		GPa
Curso da suspensão	(>60)	63	mm
Nº de manutenções	0	-	$unidade$
Potência necessária	4,5		W
Dimensões máximas dos dispositivos eletrónicos	145×75		mm
Peso da bicicleta	12	-	kg
Peso máximo do condutor	92		kg
Peso máximo da bagagem a transportar	20		kg
Volume máximo da bagagem a transportar	135000		cm^3
Preço de aquisição de cada unidade	800	-	€
Escala de *design* da bicicleta	8	-	$1 - 10$

Como é possível observar na Tabela 4.31, constata-se que a maioria dos requisitos do produto foram alcançados. Contudo, em alguns requisitos verifica-se uma diferença entre o valor alvo e o valor final. A diferença entre os valores é pouco relevante ao nível do produto final, dada a dependência entre alguns requisitos, por exemplo, a distância do centro da transmissão ao solo final é 47 mm superior ao valor alvo. No entanto, esta diferença é compensada pelo valor da altura do quadro em 92 mm.

4.9 Análise de Custos

Um processo de conceção e engenharia de um produto só se encontra completo quando são conhecidos os custos envolvidos na sua fabricação [22]. No presente projeto, é estimado o custo de produção da bicicleta desenvolvida através dos custos de aquisição dos componentes estandardizados, da fabricação dos componentes dimensionados e dos custos de montagem.

4.9.1 Componentes Estandardizados

Os componentes estandardizados estão presentes na totalidade dos sistemas da bicicleta. Exemplos destes componentes são o cubo de velocidades, a forqueta com suspensão, os rolamentos da transmissão, os punhos, os pneus, o selim, entre outros. Na Tabela 4.32 é resumido o seu custo de aquisição dos componentes estandardizados, tendo sido obtidos por via *online*.

Tabela 4.32: Componentes estandardizados.

Peça	**Fornecedor**	**Descrição**	**Qtd.**	**Preço (€)**
Rolamentos	Skf	Rolamento 6004-2RSH	4	20,60
Vedantes	Skf	Vedante (20x36x7 HMS5 Skf)	4	12,00
Parafusos (disco do travão)	ProbikeShop	Formula (6 para fixação de disco)	12	4,24
Pneus	Sport Zone	Michelin Pneu Country Cross 26"	2	29,98
Aros	ProbikeShop	Mavic aro XM 319	2	35,07
Cubo dianteiro	ProbikeShop	Shimano Cubo Dianteiro XT	1	53,19
Cubo traseiro e seletor de velo.	Nuvinci	Nuvinci N360	2	314,00
Garrafa de água	Decatlhon	Bidon bebida 600	1	1,49
Suporte de garrafa	Decatlhon	Porta-Bidon 3 RAPID	1	2,95
Punhos	Bikezone	Punhos Ritchey Ergo	2	9,59
Avanço	Bikezone	BBB HIGHSIX 0° a 60°	1	31,05
Caixa da direção	bikezone	Caixa de Direção Integrada	1	24,41
Forqueta com suspensão	Bikeos	SR SUNTOUR XCR RL-R DISC	1	99,00
Manetes de travão e adaptadores	Bikezone	Travão AVID ELIXIR 160 *mm* S/Disco	2	105,00
Discos	Shimano	Disco XTR Centerlock 160 *mm*	1	48,22
Selim	Sport Zone	(Berg Cycles) Comfort Mx Super	1	30,99
Pedaleira	Miranda e Irmão	E-Bike Cranks (ALPHA 0)	2	60,00
Pedais	Decathlon	Pedais Bicicleta Resina	2	5,95
Argola do selim	Decathlon	Argola de selim (31,8 mm)	6,95	6,95
			Total	894,68

Dada a complexidade e o número considerável de componentes da maioria dos sistemas, irá ser atribuída uma margem na estimativa do preço final da bicicleta.

4.9.2 Componentes para Fabrico

Os componente para fabrico correspondem aos elementos mecânicos desenvolvidos e dimensionados no presente projeto. O custo de produção, em alguns casos, foi obtido através de um pedido de cotação (através dos desenhos de definição) a empresas do setor. Já o custo de produção dos componentes de maiores dimensões, como o quadro e o suporte multifunções, foi estimado tendo como comparação modelos de geometria e material equivalente no mercado, Tabela 4.33 [3].

Tabela 4.33: Preço de produção de alguns dos componentes da bicicleta

Conjunto	Peça	Material	Preço (€)
Transmissão	Veio da pedaleira	Aço (42 CrMo 4)	116,00
	Tampa esquerda	Alumínio	41,00
	Tampa direita	Alumínio	80,00
	Apoio primário	Alumínio	123,00
	Veio da transmissão	Aço (42 CrMo 4)	176,00
	Tubo roscado	Alumínio	71,00
	Apoio secundário	Alumínio	60,00
	Engrenagens	Aço	200,00
	Suporte transmissão/cubo	Alumínio	80,00
Quadro		Alumínio 6061-T6	600,00
Suporte multifunções		Alumínio 6061-T6	60,00
		Total	1607,00

A Tabela 4.33 não engloba o custo de fabricação dos componentes do guiador, do sistema de regulação de esforço físico e do guiador. De modo a contabilizar o preço dos elementos citados, é tido um custo potencial da matéria-prima e do seu processo de produção (por exemplo: maquinação, corte e soldadura).

[3] Os preços das peças da transmissão foram obtidos após um pedido de cotação

4.9.3 Custos de Montagem

Para avaliar os custos de montagem, é necessário estimar os tempos de montagem de cada conjunto de componentes. Na Tabela 4.34 estão presentes os tempos previstos de montagem dos componentes.

Tabela 4.34: Estimativa dos tempos de montagem.

Módulo	**Componentes**	**Tempo (min)**
Transmissão	Veios Rolamentos Engrenagens Apoios Vedantes Tampas Parafusos	30
Roda traseira	Cubo traseiro Pneu Jante Aros Disco do travão Sistema de roda livre	20
Roda dianteira	Cubo dianteiro Pneu Jante Aros Disco do travão Forqueta	25
Suporte multifunções	Suporte Borrachas Parafusos Guias Fixadores	20
Guiador	Caixa da direção Avanço Manetes Apoios Punhos	20
Sistema de regulação do esforço físico	Cabos Regulador Suporte	10
	Total	125

O tempo de montagem previsto é de aproximadamente duas horas. Tendo em conta a complexidade dos sistemas, o valor obtido é aceitável. Assumindo uma taxa horária de 50 €/hora, este será o valor da mão-de-obra para a montagem da bicicleta.

4.9.4 Custo Total

Na Tabela 4.35 é apresentado o custo do produto desenvolvido. O custo total é dado pelo somatório dos custos associados aos componentes estandardizados, para fabrico, e os custos de montagem. Dado o elevado número de componentes estandardizados e para fabrico, é acrescentado uma margem de 10 % ao valor obtido. É importante referir que a estimativa do custo do produto desenvolvido não tem em conta o custo de produção do sistema de fixação do telemóvel, devido ao custo de fabrico das peças de plásticos e dos componentes eletrónicos.

Tabela 4.35: Custo total de produção.

Fator	**Custo (€)**
Componentes estandardizados	894,68
Componentes para fabrico	1607,00
Matéria-prima	60,00
Processo de produção (corte, maquinação, soldadura)	100,00
Montagem	104,17
Total	2765,85
Total inflacionado (10%)	3042

O preço associado ao projeto final ultrapassa os 3000 €. Tendo como referência o valor de 800 € definido na matriz QFD, a estimativa obtida é claramente elevada. Por outro lado, e tendo em conta o preço dos produtos da concorrência analisados, apenas o modelo da bicicleta Smart apresenta um preço equivalente.

A bicicleta é tida, na maioria das vezes, como um meio de transporte de custos reduzidos. No entanto, é necessário perceber que todos os sistemas desenvolvidos implicam, obrigatoriamente, um aumento do custo final do produto. Não obstante, é imperativo procurar formas para reduzir os custos de fabricação da bicicleta.

Em última análise, o valor de 3042 € representa um custo de fabricação pouco realista caso seja feita uma produção em série de qualquer um dos conjuntos da bicicleta. De facto, apenas a produção unitária dos elementos da transmissão representa um custo de aproximadamente 950 €.

4.9.5 Estimativa da Quantidade de Vendas

De acordo com a bibliografia especializada [48], a estimativa do número de vendas, equação 4.2, é obtida em função do número de potenciais clientes, do número de potenciais compradores e da probabilidade de o produto ser adquirido, caso esteja disponível e o consumidor devidamente informado. Sendo:

$$Q = N \times A \times P \tag{4.2}$$

Em que:

- **Q**: Quantidade esperada vendida (nº de unidades vendidas).
- **N**: Número esperado de potenciais clientes a fazerem compras durante o período de tempo em que o produto estará disponível.
- **A**: Fração dos potenciais compradores para os quais o produto estará disponível.
- **P**: Probabilidade de o produto ser adquirido, caso o consumidor esteja informado, sendo obtido pela equação 4.3.

$$P = (C_{def} \times F_{def}) + (C_{prob} \times F_{prob}) \tag{4.3}$$

- F_{def}: Fração de respostas que indicaram que, caso o produto estivesse disponível, definitivamente o compravam.
- F_{prob}: Fração de respostas que indicaram que, caso o produto estivesse disponível, provavelmente o compravam.
- C_{def} **e** C_{prob} : Coeficientes de calibração da empresa baseados em produtos similares no passado, assumindo normalmente os seguintes intervalos:

$$0,1 < C_{def} < 0,5, \text{ sendo usual}, C_{def} = 0,4 \tag{4.4}$$

$$0 < C_{prob} < 0,25, \text{ sendo usual}, C_{prob} = 0,2 \tag{4.5}$$

No presente projeto, assumiu-se os seguintes parâmetros:

A = 0,25

C_{def} = 0,4

C_{prob} = 0,2

Os resultados obtidos no primeiro questionário evidenciaram que, do número total de respostas obtidas, 90 % dos utilizadores manifestaram a "Possibilidade de utilização dinâmica e *indoor*" e a "Capacidade de gerar energia" como funcionalidades a desenvolver na bicicleta, assumindo-se F_{prob} = 0,9. Desta percentagem, assumiu-se que apenas 20% dos utilizadores compravam definitivamente a bicicleta (F_{prob} = 0,2). A Figura 4.47 ilustra o raciocínio adotado.

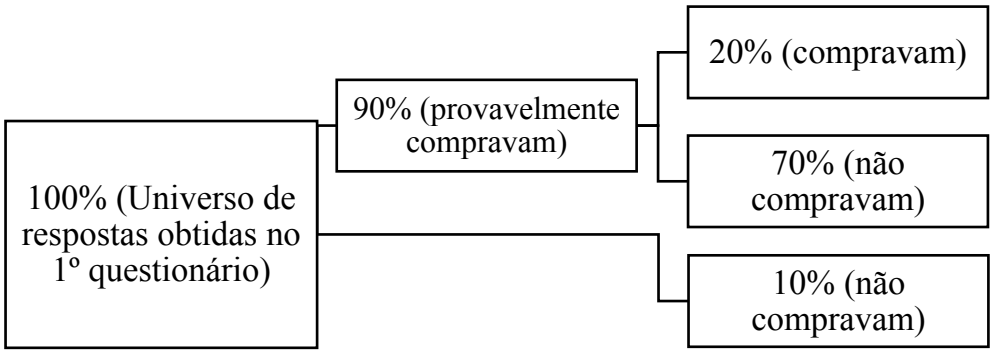


Figura 4.47: Determinação da percentagem de inquiridos que provável (90%) e definitivamente (20%) compravam a bicicleta.

O parâmetro N, na equação (4.2), corresponde ao número de bicicletas vendidas a nível nacional em 2011, sendo esta informação já referida no capítulo 2. Deste modo, a estimativa da quantidade de vendas é de (equação (4.6)):

$$Q = 320000 \times 0,25 \times ((0,4 \times 0,2) + (0,2 \times 0,9)) = 20800 \text{ unidades/ano} \tag{4.6}$$

O valor de 20800 unidades por ano corresponde a cerca de 400 unidades vendidas semanalmente, sendo um valor bastante aceitável face à variada oferta de mercado.

4.10 *Design* Robusto

Um produto robusto (ou processo) é aquele que perante condições não favoráveis de funcionamento mantém sempre o mesmo desempenho. É frequente designar estas condições (variáveis) não ideais de ruído, significando variações incontroladas dos parâmetros em torno do produto ao nível do seu funcionamento.

4.10.1 Análise de Modo de Falha e Efeito

A analise de modo de falha e efeito, comummente designada por FMEA (do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*), consiste numa metodologia que pode ser aplicada num processo de engenharia do produto, tanto na fase de projeto, como na fase do processo. A utilização desta análise permite identificar, detetar e definir potenciais falhas de um produto ou processo antes que este chegue ao consumidor final. Assim, é possível aumentar a fiabilidade e a durabilidade que é associada pelos consumidores a um produto.

A Figura 4.36 ilustra a análise FMEA efetuada, tendo em conta os objetivos de utilização da bicicleta e os requisitos expressos pelos consumidores, tendo sido identificadas um total de sete falhas críticas.

A primeira falha identificada diz respeito à integridade do quadro da bicicleta, sendo este elemento responsável pela fiabilidade e segurança da bicicleta. Uma falha a nível estrutural pode colocar em risco a integridade física do utilizador. Deste modo, a ação preventiva passa pela averiguação estrutural através de simulações numéricas e, numa fase posterior, pelo ensaio do quadro de acordo com as referências normativas. As outras duas falhas detetadas estão relacionadas com o desempenho do sistema de travagem e da geometria da direção. Estes dois sistemas são de extrema importância para garantir a segurança do utilizador, sendo necessário cumprirem os requisitos de segurança previstos na norma EN 14764.

Tendo em conta a utilização *indoor* da bicicleta, foram detetadas duas falhas críticas relacionadas com a robustez e segurança do suporte multifunções. Uma ação corretiva passará pelo estudo do movimento em protótipo.

Por fim, as outras duas falhas críticas estão relacionadas com o *design* e preço de aquisição da bicicleta. É percetível que um preço de aquisição excessivamente elevado compromete o sucesso comercial da bicicleta, sendo oportuno a utilização de componentes mais baratos ou, até mesmo, a redução do número de componentes (p.ex. ausência do suporte multifunções e do guiador) para versões mais simples da bicicleta. Em relação ao *design*, é importante considerar formas de personalizar o exterior da bicicleta, como por exemplo, através da coloração e de adereços decorativos.

Tabela 4.36: Análise de modo de falhas.

Análise de falhas sobre a perspetivativa do utilizador					
Função/actividade	**Modo de falha**	**Causa da falha**	**Possíveis efeitos das falhas**	**Termos críticos das falhas**	**Possíveis ações corretivas ou medidas preventivas**
Robustez do quadro	Perda das propriedades mecânicas	Exposição e contaminação pelos agentes externos	Deteorização superfícial	Falha menor	Tratamento superfícial adequado
	Rotura por fadiga	Sobrecarga (peso do condutor e dos objetos)	Deformação; fissuração	Falha crítica	Correto dimensionamento do quadro (utilização de MEF; ensaios normativos)
		Esforços induzidos pelas ações do condutor			
		Esbarramento com obstáculos			
Propulsão da bicicleta	Falha da transmissão	Lubrificação incorrecta do sistema de transmissão	Desgate dos componentes	Falha maior	Aconselhar tipo de lubricação e frequência
		Exposição e contaminação por fatores externos			
	Folgas entre os componentes	Incorreto dimensionamento mecânico	Substituição dos componentes	Falha maior	Rever as tolerâncias do projeto
	Efeciência do movimento	Pouca amplitude de relações de transmissão	Desconforto	Falha menor	Sistema complementar de redução/ multiplicação de binário
Travar bicicleta	Falha dos travões	Falha mecânica dos componentes	Queda do utilizador	Falha crítica	Correcta montagem dos componentes
		Afinação incorrecta			
Curvar	Movimento difícil	Dimensionamento incorrecto da direção	Queda do condutor	Falha crítica	Conformidade com as normas europeias
			Desconforto	Falha menor	
Transporte de objetos	Objetos de grandes dimensões	Ausência de sistema de fixação	Desconforto	Falha maior	Suporte compatível com sistemas de fixação
		Dimensões do suporte	Estabilidade da bicicleta		
Circulação diurna	Falha do sistema de iluminação	Degradação dos componentes	Perceção visual	Falha maior	Correcta seleção e montagem dos componentes eletrónicos
		Mau contacto	Sinalização da bicicleta		
Acesso da bicicleta	Dificuldade de acesso	Geometria do quadro não facilita o acesso	Desconforto	Falha maior	Re-*design* do quadro
Carregamento dos dispositivos eletrónicos	Bateria descarregada	Mau contacto	Não é gerada energia elétrica	Falha maior	Analisar a montagem dos componentes
		Degradação dos componentes			
Fixar dispositivos eletrónicos	Queda dos dispositivos	Folga do sistema de fixação	Danificação dos dispositivos	Falha maior	Utilização de materiais mais aderentes/re-*design* do sistema
Utilização *indoor*	Inclinar	Largura máxima do suporte	Queda do utilizador	Falha crítica	Análise do movimento em protótipo
		Sistema pouco robusto			
	Regular esforço	Posicionamento incorreto do regulador	Dificuldade de atuação	Falha maior	Regulador ao alcance funcional
	Falta de bloqueio da estrutura	Má ligação dos componentes	Queda do utilizador	Falha crítica	Utilizar materias aderentes nas zonas do suporte em contacto com o solo
		Pouca aderência			Correto bloqueio da bicicleta
Peso da bicicleta	Peso elevado	Peso dos componentes da bicicleta	Desconforto	Falha maior	Utilização de materiais mais leves
Ergonomia	Dificuldade de utilização	Dimensionamento incorrecto da bicicleta	Lesões musculares; Desconforto	Falha maior	Análise em protótipo
Design	Esteticamente pouco atrativo	Simplicidade Poucas opções de personalização	Não vende	Falha crítica	Opções de personalização (cores, componentes, etc).
Montagem dos sistemas	Processo complexo	Elevado número de componentes; complexidade das ligações	Difícil de montar	Desconforto	Estudar novas soluções construtivas
Preço de aquisição	Preço elevado	Custo dos componentes estandardizados Processo de fabrico dos componentes	Não vende	Falha crítica	Versões da bicicleta para todas as possibilidades económicas

Capítulo 5

Projeto Mecânico

Este capítulo trata toda a componente de projeto mecânico associada à conceção da bicicleta. Perante um conjunto de condições de fronteira, averiguou-se a resposta estrutural do quadro e do suporte multifunções através da utilização do método dos elementos finitos.

Recorrendo a cálculos analíticos, verificou-se o dimensionamento do conjunto de engrenagens da transmissão, veios, rolamentos e chavetas, assim como as molas do guiador. Posteriormente, elaboraram-se os desenhos de montagem, de conjunto e de definição para os vários conjuntos da bicicleta, com o objetivo de elaborar toda documentação técnica.

5.1 Dimensionamento da Transmissão

5.1.1 Engrenagens

A primeira etapa a executar no dimensionamento da transmissão é o cálculo das engrenagens. Tendo sido selecionadas engrenagens cónicas de dentado reto, o seu anteprojeto teve como base a metodologia proposta por *Henriot* [55].

O cálculo das engrenagens consiste num procedimento interativo que tem como base o módulo de engrenamento, equação (5.1), em que Z_1 representa o número de dentes do pinhão, u a relação de transmissão, K_{adm} o fator de resistência, δ_1 o ângulo de inclinação da geratriz primitiva e P a potência de engrenamento em $[KW]$.

$$m \approx \frac{549}{Z_1} \sqrt[3]{\frac{P}{n_1} \frac{sin(\delta_1)}{K_{adm}} \frac{u+1}{u}} \tag{5.1}$$

Condições Iniciais

Os resultados experimentais realizados por *Stone* e *Hull* [33] indicam que um homem com 778 N de peso corporal pode exercer uma força máxima no pedal de aproximadamente 475 N, para uma velocidade de rotação de 84 $r.p.m.$

Como mencionado no capítulo 3, o valor do binário exercido é resultante do conjunto de forças desenvolvido pelos membros inferiores, sendo um aspeto dependente da técnica

do condutor. Face a este facto, foi adicionado um coeficiente de segurança (γ_s) igual a 1,5, ao valor da força máxima documentada por *Stone* e *Hull*, equação (5.2).

$$M_y = F_z \times \gamma_s \times L_{pedaleira} = 475 \times 1,5 \times 0,17 = 121,125 \ \ [N.m] \tag{5.2}$$

Obtendo-se assim uma potência de aproximadamente 1 $[KW]$ (equação (5.3)).

$$P = \frac{\pi}{30} \times 84 \text{ (r.p.m)} \times 121,125 \text{ (N.m)} = 1,06 \ \ [KW] \tag{5.3}$$

Após ser calculada a potência de serviço, foi considerada uma relação de transmissão interna $u = 1:2$, $\delta_1 = arctan(1/2) = 26,48\,°$, sendo que no primeiro par de engrenagens ocorre uma multiplicação e, no segundo, uma redução de binário. A Figura 5.1 ilustra a disposição das engrenagens da transmissão. Dado o atravancamento do cubo da roda traseira, o ângulo utilizado em cada par de engrenagens é de $95\,°$.

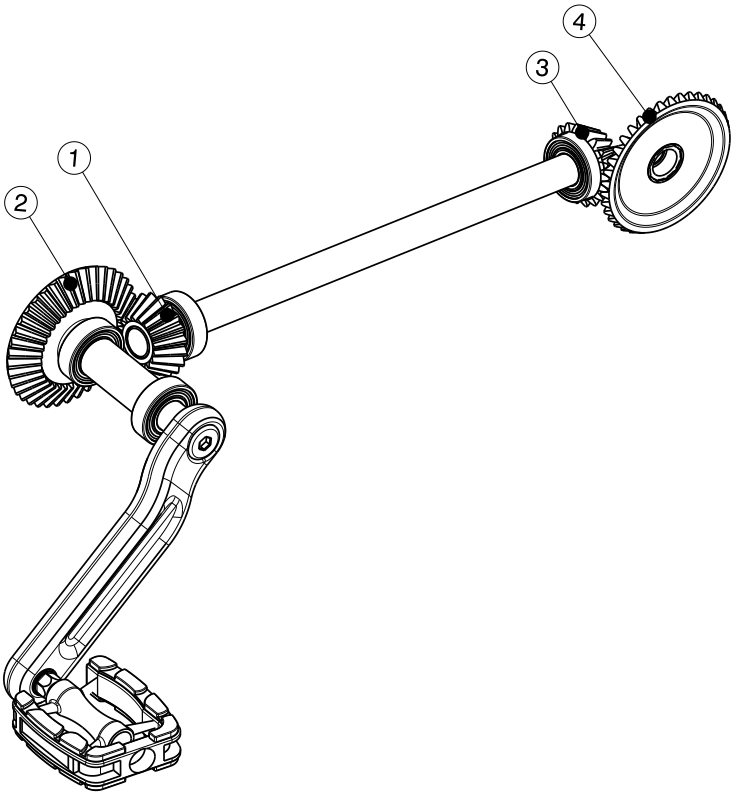


Figura 5.1: Disposição das engrenagens da transmissão.

A próxima etapa passa pelo cálculo do fator de serviço K_{adm}, sendo este dado pela equação (5.4).

$$K_{adm} = \frac{1}{K_B} \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5 \times C_6 \tag{5.4}$$

onde K_B representa o fator de serviço que depende de outras variáveis (fator de aplicação de carga K_A e fator de duração Z_N), C_2, C_3, C_4, C_5 e C_6 são coeficientes de dimensionamento a calcular. K_B é definido por:

$$K_B = \frac{K_A}{Z_N^2} \tag{5.5}$$

Sendo que K_A varia com o nível de flutuação de choque a jusante e a montante da engrenagem. O seu valor é dado pela Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Valores de K_A de acordo com o tipo de choque de engrenamento a dimensionar. *Adaptado de* [55].

	Máquina Acionada			
Acionamento	U	L	M	H
U - uniforme	1	1.25	1.50	1.75
L - choques ligeiros	1.10	1.35	1.60	1.80
M - choques moderados	1.25	1.50	1.75	2.00
H - choques importantes	1.50	1.75	2.00	≥ 2.25

No presente caso, admitiu-se um choque uniforme no acionamento e saída, obtendo-se $K_A = 1$.

O fator de duração Z_N é dado através do número de ciclos (N) que a engrenagem opera com os coeficientes de dimensionamento m e N_r (equação (5.6)). Ambos os valores são obtidos na Tabela 5.2.

$$Z_N = \left(\frac{N_r}{N}\right)^m \tag{5.6}$$

Tabela 5.2: Valores de m e N_r em função do tipo de engrenagem escolhido. *Adaptado de* [55].

Estado	N_r	Ciclos	m
Têmpera ou cementação	5.10^7	$10^5 \leq N \leq N_r$	0.0756
		$N_r \leq N \leq 10^{10}$	0.0756
Nitruração longa	2.10^6	$10^5 \leq N \leq N_r$	0.0875
		$N_r \leq N \leq 10^{10}$	0.0191
Nitruração curta	2.10^6	$10^5 \leq N \leq N_r$	0.038
		$N_r \leq N \leq 10^{10}$	0.0191

Assumindo um período de utilização da bicicleta equivalente a 5 horas semanais, durante um ano, e tendo em conta que o pinhão é o elemento sujeito a um maior número de ciclos, obtém-se um número total de 262.800 ciclos (equação (5.7)).

$$168 \times r.p.m \times (1\ \ hora \times \times 5\ \ dias \times 52\ \ semanas) = 262800\ \ [ciclos] \tag{5.7}$$

Considerando engrenagens com tratamento de têmpera, resulta:

$$Z_N = \left(\frac{5 \times 10^7}{2620800}\right)^{0,0756} = 1,249 \ \ (3 \text{ c.d}) \tag{5.8}$$

Deste modo, é possível calcular o valor de K_B

$$K_B = \frac{1}{1,249^2} = 0,640 \ \ (3 \text{ c.d}) \tag{5.9}$$

O fator geométrico C_2 varia em função do ângulo de inclinação do dentado. Uma vez que as engrenagens selecionadas são de dentado reto, o fator C_2 é a igual 0,20.

O fator C_3 diz respeito a efeitos dinâmicos resultantes da velocidade e dos erros dimensionais e geométricos (Tabela 5.3. Já o fator C_4 trata a distribuição de carga, sendo este valor dependente do tipo de montagem considerado e da largura da engrenagem (b em mm). Numa primeira fase, admitiu-se um dentado reto com qualidade ISO 6, resultando $C_3 = 0,905$. Dada a montagem em consola de uma das engrenagens e desprezando o termo dependente de b, o valor obtido de C_4 é de 0,725 (equação (5.10)).

Tabela 5.3: Valores de C_3. *Adaptado de* [55].

Dentado	Qualidade ISO	C_3
Reto	5 e 6	0.905
	7	0.782
Helicoidal	5 e 6	0.905
	7	0.812

$$C_4 = \frac{1}{(1.38 + (b/1250))} \tag{5.10}$$

Os fatores C_5 e C_6 referem-se à resistência da engrenagem. C_5 é o fator de resistência da tensão de ruína à fadiga superficial (σ_{Hlim}) e o fator de relação de dureza (C_W). O seu valor é dado pela equação (5.11).

$$C_5 = \left(\frac{\sigma_{Hlim} C_W}{C_e}\right)^2 \tag{5.11}$$

Nesta se verifica que o valor da relação de dureza é igual a 1 e C_e é igual a 190 $MPa^{(1/2)}$, dependendo estes valores do caso em estudo. No presente projeto, foi admitido engrenagens sujeitas a um tratamento de têmpera superficial. Da Tabela 5.4, é possível conhecer o valor da tensão de ruína à fadiga superficial.

Sendo o material das engrenagens em aço, sujeito a têmpera superficial, obtém-se:

$$C_5 = \left(\frac{1200}{190}\right)^2 = 39,889 \ \ (3 \text{ c.d}) \tag{5.12}$$

Uma vez que foram consideradas engrenagens de têmpera superficial, C_6 é igual a 0,72.

Tabela 5.4: Valores de tensão de ruína à fadiga superficial. *Adaptado de* [55].

Aços	Dureza da roda	$\sigma_{Hlim}(MPa)$
Têmpera & Revenido	250 HB	690
	280 HB	730
	350-360 HB	850
Têmpera superficial	53-57 HRC	1200
Nitruração curta duração	52-56 HRC	950
Nitruração longa duração	58-60 HRC	1250
Cementação - alta liga	58-60 HRC	1500

Conhecidos todos os fatores, é possível estimar o valor do fator de serviço. Substituindo os valores anteriormente calculados na equação (5.4), obtém-se um valor aproximado de $K_{adm} \approx 5,883 \ \ MPa$.

Substituindo estes valores na equação (5.1):

$$m \approx \frac{549}{Z_1} \sqrt[3]{\frac{1,06}{168} \frac{sin(26,48)}{5,883} \frac{2+1}{2}} = \frac{49,227}{Z_1} \tag{5.13}$$

Seguidamente, são considerados um conjunto de possíveis valores para Z_1, sendo estimado o seu módulo de engrenamento. Deste modo, estabeleceu-se um número mínimo para Z_1 de 15 dentes e um número máximo de 25, sendo calculadas todas as soluções intermédias entre estes dois limites. A Tabela 5.5 ilustra os valores obtidos.

Tabela 5.5: Cálculo do número de dentes, módulo e diâmetro das engrenagens.

Z_1	Z_2	$mn_{(aproximado)}$	$m_n(norm)$	$(d_1 mm)$
15	30	3,28	4	60
16	32	3,08	3	48
17	34	2,90	3	51
18	36	2,73	3	54
19	38	2,59	2,5	47,5
20	40	2,46	2,5	50
21	42	2,34	2,5	52,5
22	44	2,24	2,5	55
23	46	2,14	2,5	57,5
24	48	2,05	2	48
25	50	1,97	2	50

Valores de primeira escolha de $m_{n(norm)}$: 1;1,25;1,5;2;2,5;3;4;5;6.

Da análise da Tabela 5.5, pode-se concluir que a solução mais compacta é $Z_1 = 19$ e $m_n = 2,5$. No entanto, dado que o módulo selecionado é ligeiramente inferior ao calculado, é necessário validar a solução.

Primeiramente, determina-se o número de dentes virtual (equação (5.14)).

$$Z_v = \frac{Z}{cos(\delta)} = 21,23\,^{\circ} \tag{5.14}$$

Em seguida, obtém-se o valor da velocidade tangencial de $v_t = 0,47$ (m/s), podendo ser obtido o valor do fator $C3$ através da equação (5.15) e dos coeficientes presentes nas Tabelas 5.6 e 5.7.

$$C_3 = \frac{c_0 + c_1 v_t + c_2 v_t^2 + c_3 v_t^3}{e_0 + e_1 v_t} = 0,909 \tag{5.15}$$

Tabela 5.6: Coeficientes c_i para o cálculo de C_3. *Adaptado de* [55].

	ISO 5 e ISO 6	ISO 7
c_0	$0.8950 + 1.299.10^{-4} \times Z_1$	$0.7848 + 5.279.10^{-4} \times Z_1$
c_1	$0.01699 - 4.567.10^{-4} Z_1$	$0.03257 - 7.321.10^{-4} Z_1$
c_2	$-5.840.10^{-4} + 1.357.10^{-5} Z_1$	$-1.447.10^{-3} + 2.847^{-5} Z_1$
c_3	$6.104.10^{-6} Z_1$	$1.1991.10^{-5} - 4.067.10^{-7} Z_1$

Tabela 5.7: Coeficientes e_0 e e_1 para o cálculo C_3. *Adaptado de* [55].

Dentado	Qualidade ISO	e_0	e_1
Reto	5 e 6	0.9895	$1.849.10^{-4} Z_1$
	7	1.0335	$1.0335^{-4} Z_1$
Helicoidal	Todas	1.0	0.0

Posteriormente, é necessário atualizar o valor de C_4. Assim, é necessário conhecer o valor de R (valor da geratriz primitiva) dado pela equação (5.16), tal como a largura do dentado (equação (5.17)).

$$R = \frac{r}{sin(\delta)} = 53,265 \ \ (mm) \tag{5.16}$$

$$b = \frac{R}{3} = 17,76 \ \ (mm) \tag{5.17}$$

Substituindo os valores anteriormente calculados na equação (5.10), obtém-se $C4 =$ 0,717.

Desta forma, substituindo os valores $C3$ e $C4$ na equação (5.4), obtém-se o valor final de K_{adm} igual a 5,848.

Por fim, resta determinar o valor da potência admissível (equação (5.18)).

$$P_{adm} = 6.06.10^{-9} \times n_1 \times \frac{u}{u+1} \times \frac{m^3 Z_1^3}{sen\delta 1} \times K_{adm} \tag{5.18}$$

Resultando um valor de P_{adm} igual a 0,95 $[KW]$, sendo 5 % inferior ao valor de referência de 1 $[KW]$. Face aos pressupostos assumidos na definição das condições de fronteira, considerou-se a solução aceitável.

5.1.2 Veios

Após o dimensionamento das engrenagens, os próximos elementos a dimensionar são o veio da pedaleira e o veio da transmissão. Os seguintes tópicos ilustram os resultados obtidos após várias iterações de cálculo, sendo aconselhável uma análise em paralelo dos desenhos de conjunto da transmissão e de definição dos veios.

Veio da Pedaleira

O primeiro passo no dimensionamento do veio da pedaleira (veio onde são montados os pedais) consiste na esquematização das forças de engrenamento. Assim, na Figura 5.2, admitiu-se como sentido de rotação o sentido convencional de propulsão (sentido de z para y), sendo representadas as forças tangencial, radial e axial da ação do pinhão sobre a roda, definindo-se um sistema de eixos.

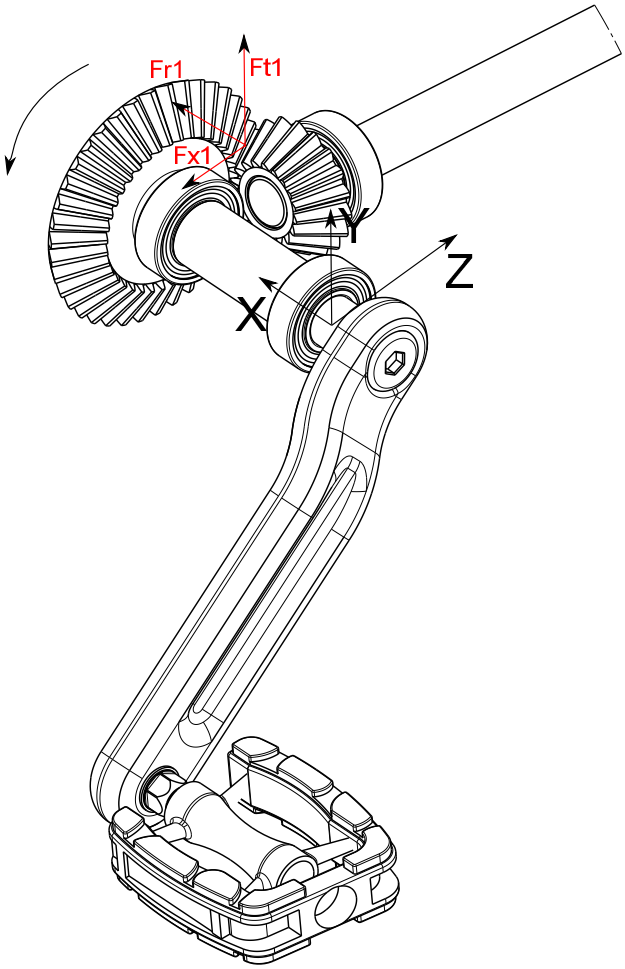


Figura 5.2: Esquema representativo das forças de engrenamento no veio da pedaleira.

Seguidamente, é necessário determinar as forças de engrenamento. As equações (5.19), (5.20) e (5.21) representam a força tangencial (F_t), a força axial (F_{x1}) e a força radial (F_{r1}), respetivamente.

$$F_t = \frac{30P}{\pi n_1 r_{m1}} \tag{5.19}$$

$$F_{x1} = F_{r2} = F_t \times tan(\alpha_n) \times sin(\delta_1) \tag{5.20}$$

$$F_{r1} = F_{x2} = F_t \times tan(\alpha_n) \times cos(\delta_1) \tag{5.21}$$

Aplicando os resultados obtidos no dimensionamento das engrenagens (r_{m1} = 19,79 mm; $\alpha_n = 20°$; $\delta_1 = 26,48°$), obtém-se $F_t = 2,74\ KN$, $F_{x1} = 444,73\ N$ e $F_{r1} = 892,87\ N$.

Em seguida, após a definição do sistema de eixos, representam-se as forças aplicadas na secção média da engrenagem montada no veio, nos planos xy e xz. De frisar, que o comprimento do veio, o posicionamento dos rolamentos e das engrenagens foram obtidos através da manipulação em CAD, tendo sido adotada a configuração mais proporcional a nível mecânico.

Por fim, efetuam-se os cálculos dos momentos fletores e desenham-se os respetivos diagramas, Figuras 5.3 e 5.4[1].

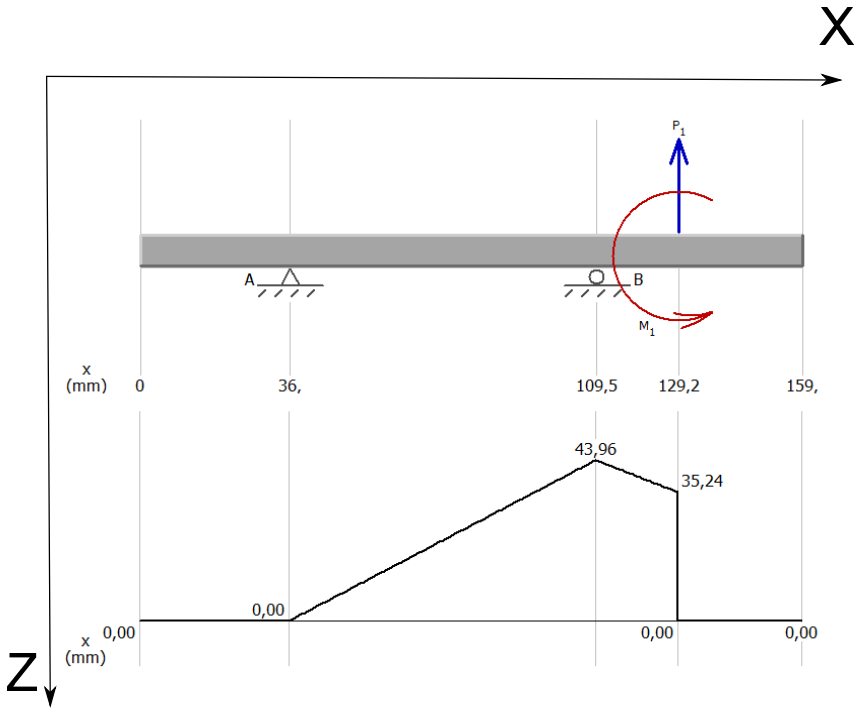


Figura 5.3: Esquema representativo das forças aplicadas e dos momentos fletores (Nm) no veio da pedaleira (plano xz) [$P1$ - 444,73 N; $M_1 = 35,34\ N.m$; $R_A = 598,12\ N(\uparrow)$; $R_B = 1.040,85\ N(\downarrow)$]

[1]Diagramas de momentos fletores obtidos através do *software* MDSOLIDS ©

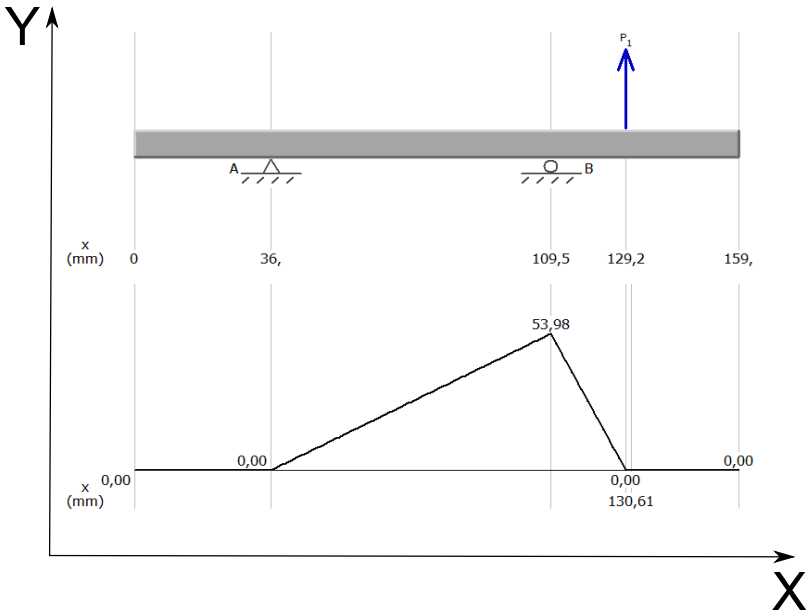


Figura 5.4: Esquema representativo das forças aplicadas e dos momentos fletores (Nm) no veio da pedaleira (plano xy)[$P1$ - 2,74 KN; $R_A = 0,73\ KN(\uparrow)$; $R_B = 3,47\ KN(\downarrow)$].

Analisando os diagramas dos momentos fletores (Figuras 5.3 e 5.4), observa-se que o ponto sujeito a um maior momento fletor é próximo do ponto de apoio do veio nos rolamentos (apoio B). Sendo que é exigida uma concordância de raio r igual a 0,3 mm, de modo assegurar uma correta montagem entre estes dois elementos, o momento fletor (M_b) a utilizar é:

$$M_b = \sqrt{(43,96)^2 + (53,98)^2} = 69,62\ Nm \tag{5.22}$$

Enquanto o momento torsor é $M_t = 121,125\ \ Nm$.

Admitindo que o veio será em aço 43 CrMo 4, sujeito a têmpera e revenido, e que o seu diâmetro estará compreendido entre $16 \leq d(mm) \leq 40$ (Tabela 5.5), o cálculo à cedência impõe um diâmetro do veio $d \geq 13,7\ mm$ para um coeficiente de segurança de $\gamma_s = 1,5$ (equações (5.23) e (5.24)).

$$\sigma_b = \frac{32M_b}{\pi d^3}, \qquad \tau_t = \frac{16M_t}{\pi d^3} \tag{5.23}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau_t^2} = \frac{\sigma_0}{\gamma_s} \tag{5.24}$$

Designação DIN	Estado	d (mm) ≤ 16		16 < d (mm) ≤ 40		40 < d (mm) ≤ 100	
		σ_0	σ_u	σ_0	σ_u	σ_0	σ_u
Ck 35	N	300	480	270	480	270	480
	TR	430	630	370	600	320	550
Ck 45	N	340	580	305	580	305	580
	TR	500	700	430	650	370	630
34 Cr 4	TR	700	900	590	800	460	700
42 CrMo 4	TR	900	1100	750	1000	650	900
30 CrNiMo 8	TR	1050	1250	1050	1250	900	1100

(N: normalizado; TR: temperado e revenido)

Figura 5.5: Tensões de cedência e de rotura em MPa de alguns aços de veios. *Adaptado de* [55].

Realizado o cálculo à cedência, o próximo passo consiste no dimensionamento à fadiga, tendo como base o critério de Gerber (equação (5.25)).

$$\frac{\gamma_s \sigma_a}{\sigma_e} + \left(\frac{\gamma_s \sigma_m}{\sigma_u}\right)^2 = 1 \tag{5.25}$$

Em que γ_s corresponde ao valor do coeficiente de segurança (1,5), σ_e ao valor da tensão limite de fadiga do material, σ_u à tensão de rotura do material. σ_a e σ_m correspondem aos valores de amplitude e de tensão média, sendo obtidos pela equação (5.26).

$$\sigma_a = K_f \sigma_b, \qquad \sigma_m = \sqrt{3}\tau_t \tag{5.26}$$

O coeficiente K_f corresponde ao fator de concentração de tensões à fadiga, sendo obtido por:

$$K_f = \frac{K_t}{1 + \frac{C_a}{\sqrt{r}} \frac{K_t - 1}{K_t}} \tag{5.27}$$

O coeficiente K_t diz respeito ao fator teórico de concentração de tensões (figura 5.6); $r = 0,3$ - raio de concordância; C_a - fator relacionado com a geometria do veio e condições de solicitação (Figura 5.7).

Tendo em conta a geometria definida para o veio da pedaleira, obtém-se sucessivamente: $r/d = 0,015$, $D/d = 1,3$ e $K_t \approx 2,8$. As condições de solicitação a que o veio está sujeito enquadram-se nos casos D (Figura 5.7). Aplicando o resultado da Tabela 5.8 na equação (5.27), obtém-se o valor final de $K_f = 2,11$.

Tabela 5.8: Fatores de cálculo de K_f. *Adaptado de* [55].

Casos (figura 5.7)	A e C	B e D
$C_a \sigma_u$	208	278

Posteriormente, estando o fator de concentração de tensões determinado, é necessário conhecer o valor limite de fadiga (σ_e), equação (5.28).

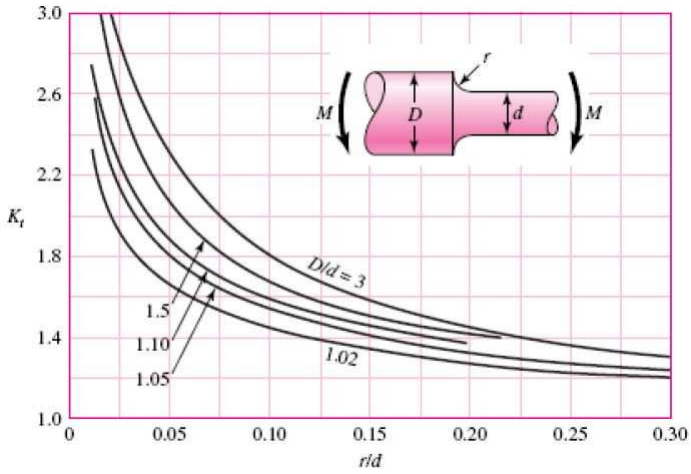


Figura 5.6: Fator K_t para um veio com concordância à flexão [55].

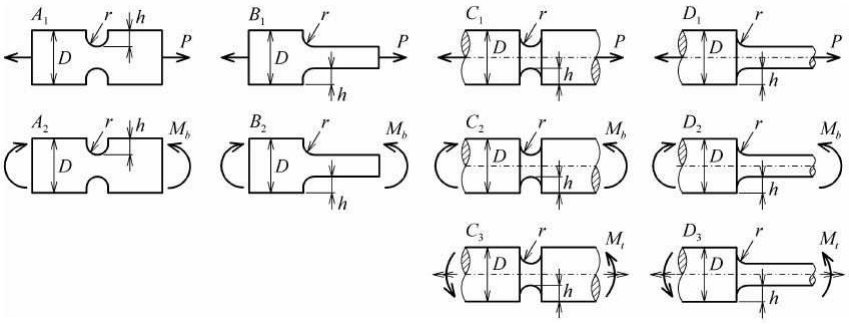


Figura 5.7: Casos de alteração de geometria que implicam concentrações de tensões [55].

$$\sigma_e = k_{as} k_{ta} k_{sl} \frac{\overline{\sigma}_{eb}}{\gamma_{ME}} \tag{5.28}$$

k_{as} corresponde ao fator de acabamento superficial, k_{ta} ao fator de tamanho, k_{sl} ao fator de solicitação (igual a 1 no presente caso), $\overline{\sigma}_{eb}$ ao limite médio de fadiga e γ_{ME} ao coeficiente de segurança parcial para dimensionamento à fadiga (1,9), de acordo com a Tabela 5.10.

O fator de acabamento superficial é dado pela equação (5.29) e pelos parâmetros presentes na Tabela 5.9. No presente caso, admitiu-se que a superfície do veio será retificada, resultando $K_{as} = 0,86$.

$$k_{as} = a\overline{\sigma}_u^b, \quad \overline{\sigma}_u \approx 1,1 \times \sigma_u \tag{5.29}$$

O fator de tamanho k_{ta} traduz a influência das dimensões das peças na resistência à fadiga, sendo dado por:

$$k_{ta} = 1.24 d^{-0.107} \quad 3 \leq d \leq 51 \ \ mm \tag{5.30}$$

Tabela 5.9: Valores das variáveis para o cálculo de k_{as} [55].

Estado da superfície	a	b
Retificada	1.58	-0.086
Maquinada ou Laminada a frio	4.45	-0.265
Laminada a quente	56.1	-0.719
Forjada	271	-0.995

O valor do limite médio de fadiga é igual a 556,6 MPa, equação (5.31).

$$\overline{\sigma}_{eb} = \begin{cases} 0,506\overline{\sigma}_u & \overline{\sigma}_u < 1460MPa \\ 740 & \overline{\sigma}_u > 1460MPa \end{cases} \tag{5.31}$$

Tabela 5.10: Coeficiente de segurança parcial para o dimensionamento à fadiga [55].

Carga	Concentrações de tensões	γ_{Me}
Flexão	Não	1.5
	Sim	1.7
Axial ou torção	Não	1.7
	Sim	1.9

Por fim, estando todos os parâmetros calculados, obtém-se um diâmetro $d > 21,6\ mm$. Face a este resultado, e dado o coeficiente de segurança de 1,5 utilizado no cálculo do momento torsor, optou-se por utilizar um diâmetro na zona de fixação dos rolamentos de 20 mm de modo a tornar o sistema o mais compacto possível. Por outro lado, os valores de tensão de cedência e de rotura do aço usado podem ser superiores aos utilizados, dependendo, por exemplo, da dureza do material. De facto, algumas fontes [56] sugerem que o aço 42 CrMo 4 pode atingir valores máximos de tensão de cedência e de rotura iguais a 800 e 1200 MPa, respetivamente. Nestas condições, o valor mínimo do diâmetro seria igual a 20,4 mm.

Veio da Transmissão

O dimensionamento do veio da transmissão, tal como efetuado no veio da pedaleira, inicia-se pela definição de um sistema de eixos e pela representação das forças de engrenamento (Figura 5.8).

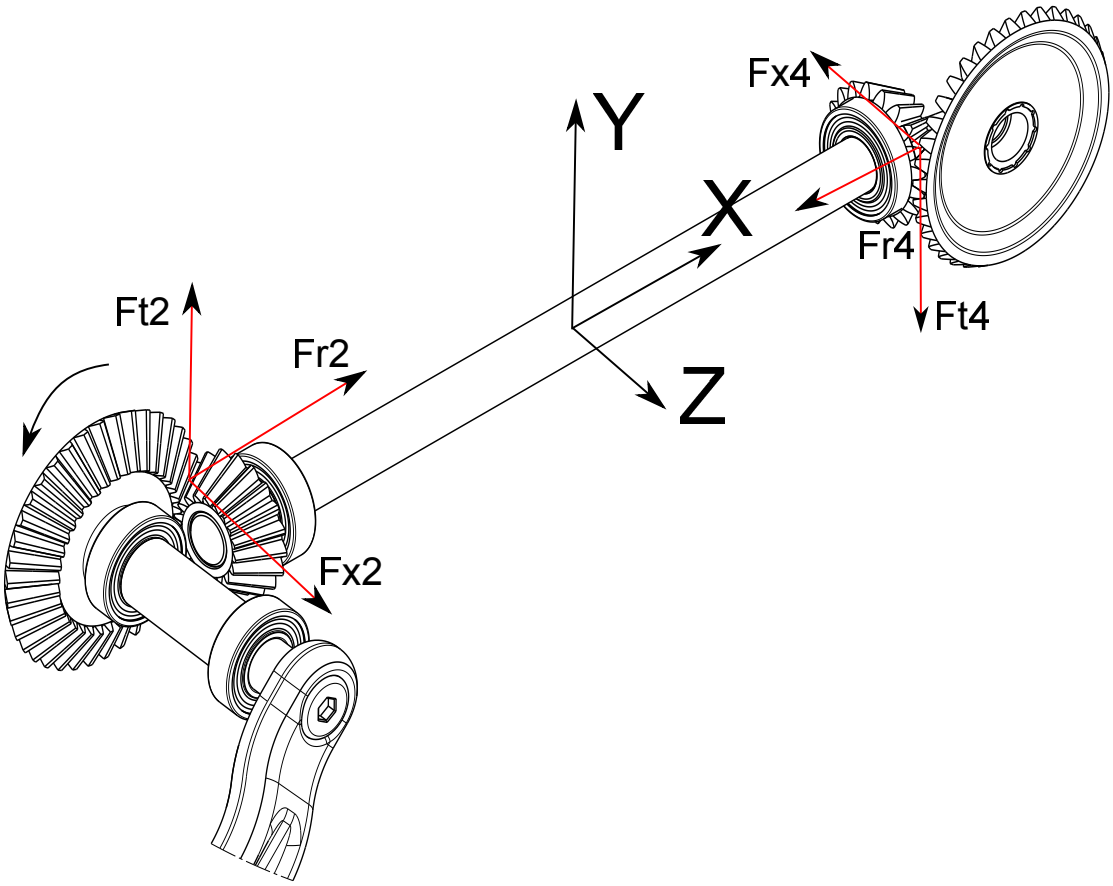


Figura 5.8: Esquema representativo das forças de engrenamento no veio da transmissão.

Posteriormente, foram desenhados os diagramas de momentos fletores nos planos xy e xz (Figuras 5.10 e 5.9) que evidenciam dois pontos críticos coincidentes com os dois pontos de apoio do veio. Deste modo, o momento fletor a utilizar é $M_b = 64,1\ Nm$. Por sua vez, o momento torsor é $M_t = 60,6\ Nm$, dada a redução de binário presente no primeiro par de engrenagens.

Dada a proximidade das zonas de apoio do veio com a zonas de fixação das engrenagens e tendo em conta que são fixas no veio através de cavilhas, foi usado um fator de concentração de tensões (K_t) igual a 2.

Seguindo o mesmo raciocínio utilizado no dimensionamento do veio da pedaleira, na Tabela 5.11 estão presentes os fatores obtidos no cálculo do veio da transmissão.

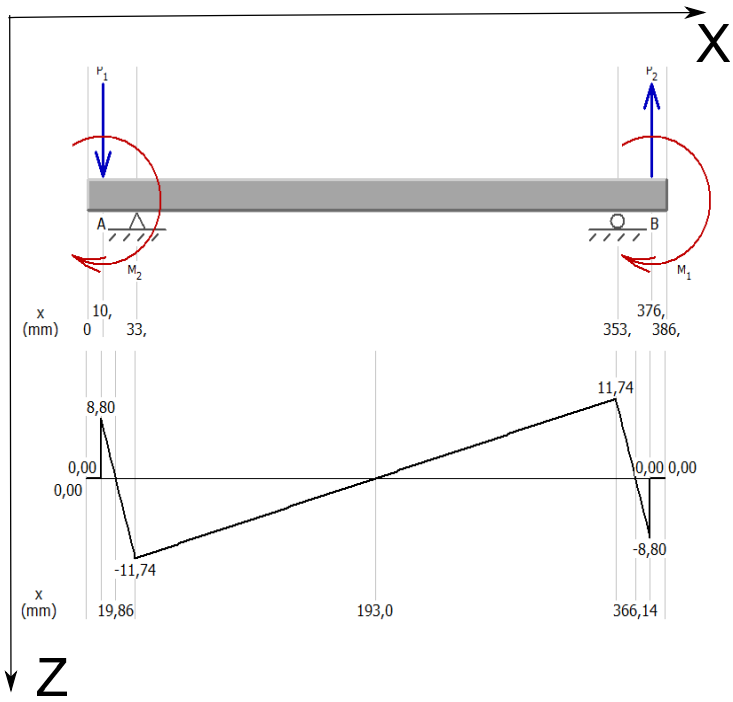


Figura 5.9: Esquema representativo das forças aplicadas e dos momentos fletores (Nm) no veio da transmissão (plano xz) $[P_1 = P_2 = 892,87N$; $M_1 = M_2 = 8,8\ N.m$; $R_{Ay} = 966,22N(\uparrow)$; $R_{By} = 966,22N(\downarrow)]$

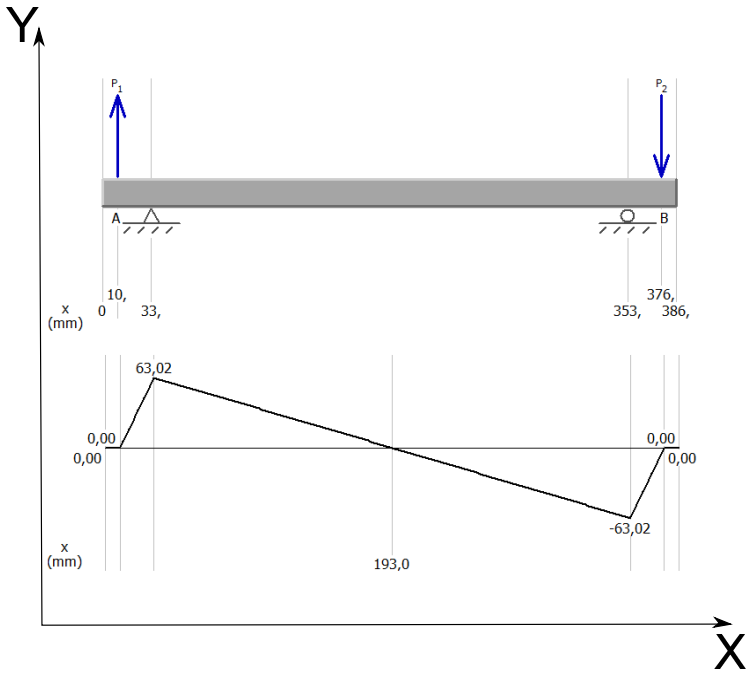


Figura 5.10: Esquema representativo das forças aplicadas e dos momentos fletores (Nm) no veio da transmissão (plano xy) $[P_1 = P_2 = 2,74KN$; $R_{Ay} = 3,13)KN(\downarrow$; $R_{By} = 3,13KN(\uparrow)]$

Tabela 5.11: Fatores de dimensionamento à cedência e à fadiga do veio da transmissão.

Material	Aço: 42 CrMo 4 (TR $*$)
Momento fletor M_b $(N.m)$	64,1
Momento torsor M_t $(N.m)$	60,6
Coeficiente de segurança γ_s	1,5
Tensão de cedência do material (MPa)	750
Diâmetro mínimo (cedência) (mm)	$\geq$ **11,9**
Fadiga	
Fator de concentração de tensões k_{as}	2
Tensão de rotura (MPa)	800
Tensão de rotura média do aço (MPa)	1000
Fator de acabamento superficial	0,865
Fator de tamanho k_{ta}	$1,24d^{-0,107}$
Fator de solicitação k_{sl}	1
Coeficiente de segurança parcial à fadiga γ_{ME}	1,9
Diâmetro mínimo (critério de Gerber)	$\geq$ **20,6**

$*$ Aço sujeito a têmpera e a revenido.

Face ao valor do diâmetro calculado à fadiga (Tabela 5.11) e tendo em conta os coeficientes de segurança utilizados na definição das condições de fronteira (já mencionados), foi definido um diâmetro constante de 20 mm para o veio de modo a não conferir demasiado peso ao sistema.

5.1.3 Rolamentos

No sistema de transmissão da bicicleta existem quatro rolamentos, estando dois montados no veio da pedaleira e os restantes no veio da transmissão. Tal como efetuado nas engrenagens e nos veios, estes elementos foram dimensionados tendo como base de cálculo a metodologia proposta pelo fabricante FAG ©[57].

Seleção

Uma vez que em ambos os veios as forças radiais desenvolvidas pelas engrenagens são mais significativas do que as axiais, foram selecionados rolamentos rígidos de esferas tendo em conta a sua aptidão para suportar cargas radiais consideráveis e também cargas axiais reduzidas [57]. Deste modo, e estando definido o valor de 20 mm para o diâmetro dos veios nas zonas de montagem, selecionou-se um rolamento vedado com as características presentes na Figura 5.11.

Dimensionamento

Na tecnologia dos rolamentos há uma diferenciação entre a solicitação estática e dinâmica. A solicitação estática é relevante para situações de baixas velocidades de rotação, tipicamente $n < 10$ rpm [57]. Deste modo, no presente contexto apenas foi considerado o dimensionamento causado por uma solicitação dinâmica.

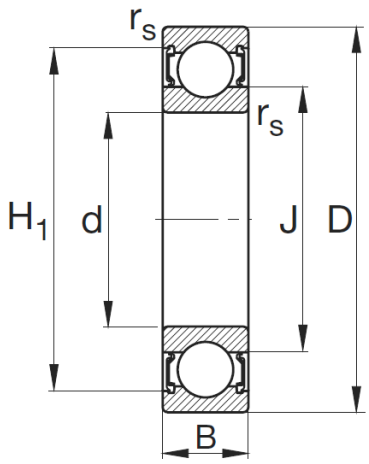


Figura 5.11: Rolamento rígido de esferas (6004-2RSH) [**Legenda:** $d = 20\ mm$; $D = 42\ mm$; $B = 12\ mm$; $r_{smin} = 0,6\ mm$; $H_1 = 37{,}4\ mm$] [57].

O dimensionamento dos rolamentos baseia-se no cálculo da vida nominal, equação (5.32).

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \ [10^6 \text{rotações}], \qquad L_{h10} = \frac{L_{10}.10^6}{n.60} \ [h] \tag{5.32}$$

Em que:

L_{h10} - Duração da vida nominal em horas.

L_{10} - Vida nominal (10^6 rotações).

C - Capacidade dinâmica $[KN]$.

P - Carga dinâmica equivalente $[KN]$.

p - Expoente de duração de vida, sendo igual a 3 para rolamentos de esferas.

n - Rotação (rpm).

Primeiramente é necessário calcular a carga dinâmica equivalente (P), equação (5.33).

$$P = X \times F_r + Y \times F_a \tag{5.33}$$

Sendo:

P - Carga dinâmica equivalente.

F_r - Carga radial.

F_a - Carga axial.

X - Fator radial.

Y - Fator axial.

Sendo os rolamentos utilizados no veio da pedaleira iguais aos rolamentos do veio da transmissão, é no primeiro onde se verifica esforços de maior amplitude. Deste modo, tendo em conta os valores das reações obtidos nos diagramas de momentos fletores do veio da pedaleira, obtém-se $\vec{F}r = \sqrt{(R_{By})^2 + (R_{Bz})^2} = 3{,}22\ KN$. Já o valor da força axial é de $\vec{F_a} = \vec{F_{r1}} = 892{,}87\ N$. Assim, obtém-se sucessivamente $\frac{F_a}{F_r} = 0,28$, $\frac{f_0.F_a}{C_0} = 1{,}5$ e $e \approx 0{,}31$ (Tabela 5.12), resultando um valor da carga dinâmica equivalente (P) igual a $3{,}22\ KN$.

Por fim, o valor da vida nominal calculado é de aproximadamente 24 milhões de ciclos. Caso se considere o valor referência de 84 rpm, o período de funcionamento é igual a 4761 horas, sendo um valor bastante aceitável.

Um outro aspeto considerado diz respeito às concordâncias e diâmetros recomendados para alojar corretamente os rolamentos, tendo servido de referência os valores presentes na Figura 5.12.

Tabela 5.12: Fatores radial e axial dos rolamentos fixos de esferas. Adaptado de [57]

Folga Normal			
$\frac{f_0.F_a}{C_{din}}$	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$	
		X	Y
0,3	0,22	1	0
0,5	0,24	1	0
0,9	0,28	1	0
1,6	0,32	1	0
3	0,36	1	0
6	0,43	1	0
$f_0 = 15,9$			
$C_{din} = 9,3\ KN$			

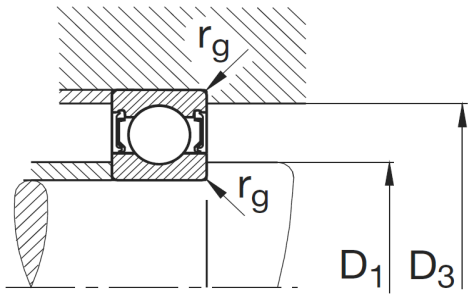


Figura 5.12: Concordâncias admissíveis e diâmetros máximos recomendados para o alojamento de rolamentos rígidos de esferas [57].[**Legenda:** $D_{1min} = 23{,}2\ mm$; $D_{3max} = 38{,}8\ mm$; $r_{g_{max}} = 0{,}6\ mm$;]

5.1.4 Ligações por Chaveta

No presente projeto, a transmissão de movimento entre o veio da pedaleira e as engrenagens é feita pela utilização de duas chavetas paralelas, desfasadas de 180°, sendo necessário validar a solução.

O cálculo das ligações por chaveta tem como base a força gerada no veio. Uma vez que são utilizadas duas chavetas, a força atuante em cada uma é igual a $F = 6056{,}3\ N$, equação (5.34).

$$F = \frac{2T}{d} \tag{5.34}$$

Sendo $T = 121{,}125\ N.m$ e $d = 20\ mm$.

Tendo como referência o valor do diâmetro do veio e usando uma chaveta corrente (Tabela 5.13 e Figura 5.13), é necessário determinar o comprimento da ligação, tendo como referência a tensão normal e a tensão de corte admissíveis que se desenvolvem na ligação, equação (5.35).

$$\tau_{adm} = \frac{F}{bl(F.S)}, \qquad \sigma_{adm} = \frac{F}{l(h-t)(F.S)} \tag{5.35}$$

Em que F representa a força a transmitir, $F.S$ o fator de segurança (1,5), b a largura da chaveta (6 mm), h a espessura da chaveta (6 mm) e t a espessura da chaveta em contacto com o veio (3,5 mm).

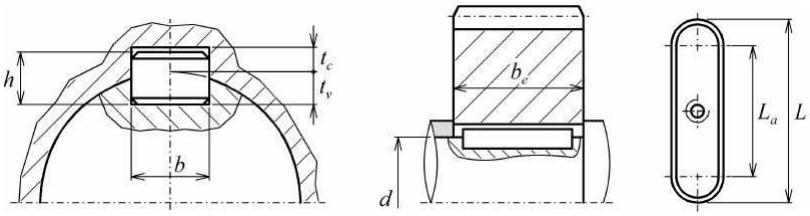


Figura 5.13: Exemplo de uma ligação por chaveta [55].

Tabela 5.13: Dimensões (mm) normalizadas das chavetas paralelas [55].

Chaveta corrente						
d	b	h	tv	tc	L_{min}	L_{max}
			...			
$17 < d \leq 22$	6	6	3.5	2.8	14	70
			...			
$L = 10{,}12{,}14{,}16{,}\ldots$						

De acordo com o fabricante *FABORY* ©, o material utilizado nas chavetas paralelas para um diâmetro de veio de 20 mm é o aço Ck45 [58]. Deste modo, sendo a tensão de

cedência do material (σ_y) igual a 340 MPa [55], obtêm-se um valor da tensão de cedência ao corte igual a $204MPa$ ($\tau_y \approx 0,6 \times \sigma_y$).

Aplicando os valores anteriormente calculados na equação 5.35, obtêm-se um comprimento da ligação de $l_{comp} = 10,6\ mm$ e ao corte de $l_{corte} = 7,42\ mm$. Face a estes resultados, foi selecionada uma chaveta normalizada com um comprimento efetivo igual a 10 mm e um comprimento total igual a 16 mm.

5.2 Cálculo das Molas do Guiador

A solução construtiva concebida para o guiador da bicicleta obriga a utilização de dois conjuntos de molas de modo a que o guiador se adapte à utilização pretendida. Deste modo, um dos conjuntos de molas é predominantemente sujeito a esforços de tração, sendo o outro sujeito a esforços de compressão. Seguidamente é verificada a resistência destes componentes.

Molas de Compressão

As dobradiças presentes na extremidade do guiador contemplam uma mola de compressão fixa através de dois casquilhos roscados e um componente estriado. A Figura 5.14 ilustra a dobradiça em pormenor.

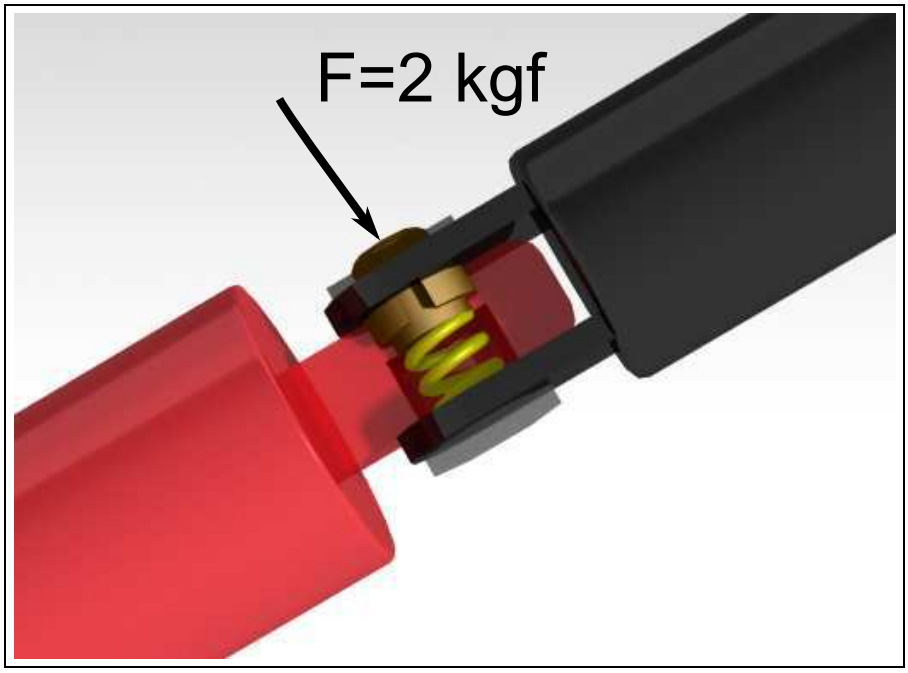


Figura 5.14: Mola sujeita a esforços compressão presente na dobradiça do guiador.

No seu dimensionamento foi considerado uma força de 2 kgf que impõe um deslocamento da mola de 4 mm, definindo-se assim uma rigidez igual a 4,905 [N/mm]. Por outro lado, o valor da rigidez da mola pode ser aproximado pela equação (5.36).

$$k = \frac{F}{\delta} \approx \frac{d^4 G}{8D^3 N_a} \tag{5.36}$$

Em que d representa o diâmetro da espira, G o módulo de corte (80 GPa), D o diâmetro da mola e N_a o número de espiras ativas. Todavia, o índice de esbelteza da mola (C) (equação (5.37) é definido pelo quociente entre o diâmetro da mola e o diâmetro da espira, sendo que este parâmetro varia, geralmente, entre 4 e 12.

$$C = \frac{D}{d} \tag{5.37}$$

Sendo d o diâmetro da hélice e D o diâmetro médio do arame, Figura 5.15.

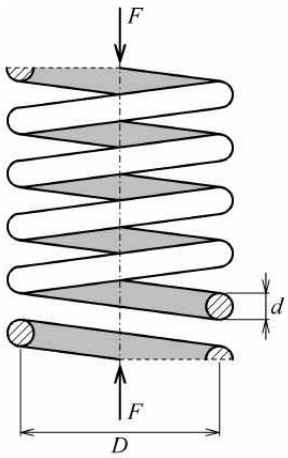


Figura 5.15: Mola helicoidal sujeita a uma carga axial [55].

Substituindo a equação 5.37 em 5.36, e aplicando as condições de fronteira definidas, obtém-se a seguinte condição:

$$\frac{C^3 Na}{d} = 2040,82 \tag{5.38}$$

No dimensionamento à cedência de molas de compressão impõem-se que a tensão máxima de corte, equação (5.39), não exceda a tensão de rotura do material, variando este último parâmetro em função do material da mola (equação (5.40)).

$$\tau_{max} = K_s \frac{8FD}{\pi d^3}, \text{ sendo } K_s = \frac{2C+1}{2C} \tag{5.39}$$

$$\sigma_u = \frac{A}{d^m} \tag{5.40}$$

Tabela 5.14: Propriedades dos aços de molas mais utilizados, *adaptado de* [55].

Aço	Nº AISI	d(mm)	A ($MPa.mm^m$)	M
0.6-0.7C EF	1066	0.7-12.7	1783	0.190
0.6-0.7C TR	1065	0.5-12.7	1855	0.187
0.8-0.95C	1085	0.1-6.5	2211	0.145
Cr-V TR	6150	0.8-11.1	2005	0.168
Cr-Si TR	9254	1.6-9.5	1974	0.108

(EF - Estriado a frio; TR - Têmpera e revenido;)

Sendo A e m constantes características do aço (Tabela 5.14).

Assumindo molas em aço AISI 1066, Tabela 5.14, e adotando $\gamma_S = 2$, obtém-se $F_{max} = 19,62$ e $\gamma_S = 39,24N$. Deste modo (equação (5.41)):

$$(1 + \frac{1}{2C})\frac{8F_{max}C}{\pi d^2} \leq 0,5\frac{1783}{d^{0,190}} \Rightarrow \quad d^{1,81} \geq 0,112(0,5 + C) \tag{5.41}$$

A Tabela 5.15 resume um breve estudo efetuado no dimensionamento da mola. Inicialmente começou-se por admitir valores de C, dentro do intervalo de 4 a 12, sendo calculado o diâmetro da espira, (equação 5.41) que foi arredondado para o valor normalizado mais próximo (Tabela 5.16). Posteriormente, obteve-se o valor máximo de C, a partir do qual se determinou o número de espiras (equação 5.38). Face aos resultados obtidos, constata-se que a solução racional é obtida para um valor de C igual a 4, obtendo-se valores de D e Na aceitáveis.

Tabela 5.15: Parâmetros de dimensionamento da mola à compressão.

$C_{inicial}$	d_{min} mm	d_{norm} mm(tabela 5.16)	C_{max}	D_{final}	Na (equação 5.38)
4	0,685	0,8	5,462	4,369	10,01
12	1,204	1,2	11,92	14,304	1,446
6	0,839	1	8,42	8,42	3,420

Tabela 5.16: Valores de primeira escolha do diâmetro da espira d (mm) [55].

0.10	0.12	0.16	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.0	1.2
1.6	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0

Molas de Tração

No dimensionamento das molas sujeitas a esforços de tração considerou-se uma força de 6 kgf (Figura 5.16) que provoca um deslocamento na mola de 20 mm, obtendo-se uma rigidez de 2,943 N/mm.

Dado que se trata de uma mola sujeita à tração, a sua resistência à cedência é avaliada com base na tensão normal máxima que se gera (equação (5.42)).

Figura 5.16: Mola do guiador sujeita a esforços de tração.

$$\sigma_{max} = K_g \frac{32Fr_1}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} \tag{5.42}$$

Sendo o parâmetro K_g dado pela equação (5.43), d o diâmetro da espira, r_1 o raio do gancho e $C_1 = 2r_1/d$.

$$K_g = \frac{4C_1^2 - C_1 - 1}{4C_1(C_1 - 1)} \tag{5.43}$$

Face à geometria dos componentes que compõem o guiador, definiu-se $r_1 = 5$ mm e $d = 2\ mm$. Deste modo, obtêm-se $K_g = 0{,}94$ e $\sigma_{max} = 7{,}5\ MPa$. Dado que se considerou o aço AISI 1066 e um coeficiente de segurança de $\gamma_S = 2$, resulta uma tensão de rotura igual a 782 MPa, sendo este resultado bastante inferior ao valor da tensão máxima que se desenvolve na espira.

5.3 Análise Estrutural dos Principais Componentes da Bicicleta

O método dos elementos finitos (MEF) é recentemente o método numérico mais utilizado em engenharia, quando se pretende simular o comportamento aproximado dos sistemas reais. Este método consiste numa técnica numérica computacional, que tem como objetivo a determinação do estado de tensão e de deformação de um sólido com uma determinada geometria e perante um conjunto específico de condições de fronteira [59].

Numa primeira fase, a estrutura complexa que se pretende analisar é dividida num número finito de áreas ou volumes mais pequenos, designados por elementos finitos. Ao conjunto formado por todos os elementos finitos dá-se o nome de malha e cada um assume um campo de deslocamentos. Os elementos finitos podem ter várias formas geométricas, desde quadriláteros a triângulos, no caso de serem bidimensionais, ou hexaédricos, tetraédricos e pentaédricos, se a análise em estudo for a três dimensões.

No processo de desenvolvimento de um produto, como uma bicicleta, a análise estrutural constitui uma etapa fundamental do processo. Com o auxílio de programas de elementos finitos, é possível conhecer quais as melhores soluções construtivas e de *design* a aplicar. Por outro lado, a utilização destas ferramentas permite que sejam desperdiçados menos protótipos na fase final do processo de desenvolvimento, contribuindo assim para uma rápida introdução do produto no mercado. De facto, desde a década de 80 do século de XX, é realizada esta abordagem no dimensionamento de quadros de bicicletas em alumínio [60].

5.3.1 Comportamento Estrutural do Quadro

No presente projeto, foi averiguado o comportamento estrutural do quadro da bicicleta [2] perante um determinado conjunto de condições de fronteira semelhantes aos testes de ensaio previstos na norma EN 14764.

Numa primeira fase são resumidos os ensaios normativos, sendo posteriormente demonstrada toda a metodologia adotada acompanhada de uma discussão de resultados.

[2] *Analysis & Simulation* - CATIA V5 ©

Solicitação Vertical

O teste designado por *Fatigue test with a vertical force* tem como objetivo estudar a ação do peso do condutor sobre o quadro da bicicleta. Deste modo, é utilizado um dispositivo de ligação similar ao tubo do selim entre o ponto de aplicação da força e o quadro, ao qual é aplicada uma força vertical de 1200 N que retrata a ação do peso do condutor. A fixação deste dispositivo no quadro deverá garantir uma distância (h) (Figura 5.17) igual à altura máxima do selim especificada pelo fabricante. Caso não seja especificada, a distância h deve ser igual a 250 mm.

A força deverá ser aplicada ciclicamente entre 0 e 1200 N, perfazendo 50.000 ciclos com uma frequência não superior a 25 Hz. Caso a bicicleta possua um sistema de suspensão no quadro, é necessário utilizar um dispositivo de bloqueio, o que não se verifica no presente estudo.

A fixação do quadro deve ser feita através de um apoio rígido no eixo da roda traseira, restringindo os deslocamentos e permitindo a rotação do eixo. No eixo da roda dianteira deve ser montado um apoio simples de modo a permitir a flexão do quadro (Figura 5.17).

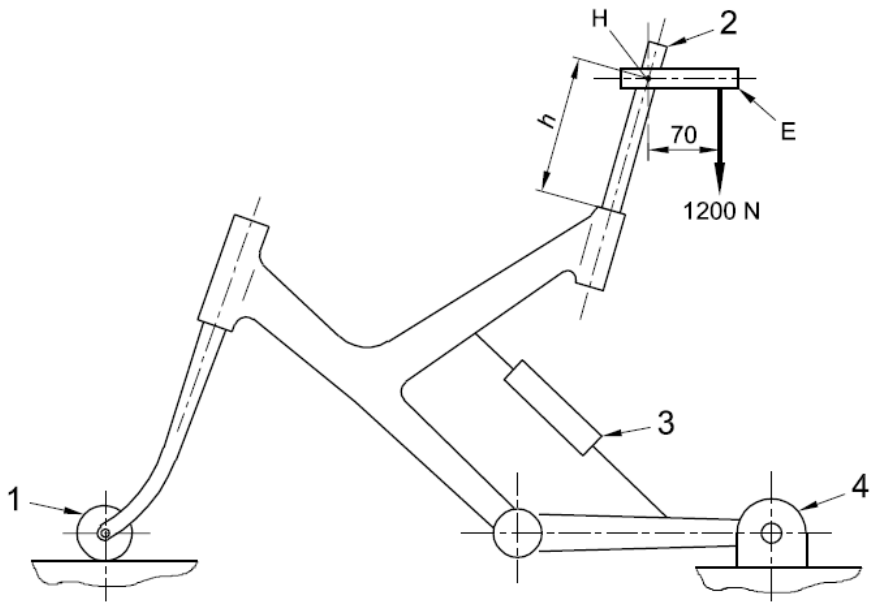


Figura 5.17: Solicitação vertical - dimensões em milímetros [61]. [**Legenda:** 1 - Apoio simples (deslocamento horizontal permitido); 2 - Tubo em aço; 3 - Sistema de bloqueio da suspensão; 4 - Apoio rígido (rotação permitida).]

Solicitação Horizontal

O teste designado por *Impact test* tem como objetivo estudar o comportamento do quadro da bicicleta quando são induzidos esforços provocados, por exemplo, pela circulação num piso degradado. Tal como no teste vertical, o quadro deverá suportar 50.000 ciclos de carga, sendo aplicada ciclicamente uma força horizontal compreendida entre 600 e 1200 N, conforme ilustrado na Figura 5.18 [61].

Neste teste o quadro é fixado na extremidade traseira através de um apoio rígido, onde são restringidos todos os deslocamentos. Já na extremidade frontal, é montado um apoio simples de modo a permitir o deslocamento horizontal do quadro.

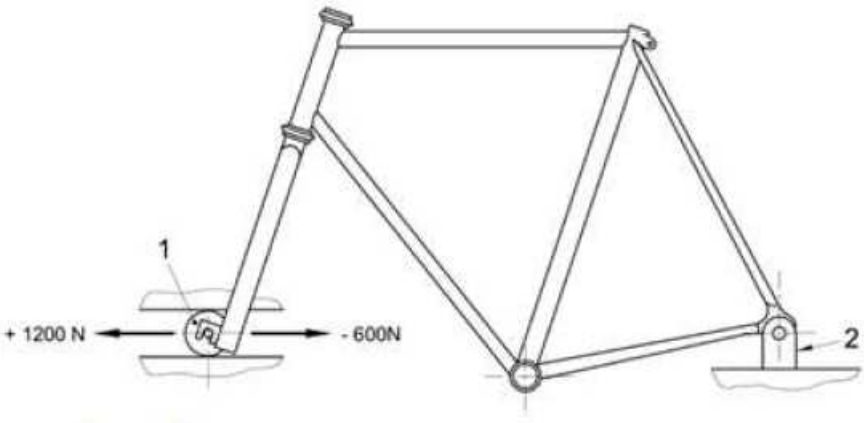


Figura 5.18: Solicitação horizontal - dimensões em milímetros [61]. [**Legenda:** 1 - Apoio simples que permite o deslocamento horizontal; 2 - Apoio rígido que restringe todos os deslocamentos.]

Em termos normativos, para efeitos de teste, é possível que seja utilizada uma barra em aço em substituição da forqueta da bicicleta. No entanto, em ambos os casos deve ser respeitada a variação do entre-eixos [20]:

a) 30 mm, caso seja utilizada a forqueta;

b) 10 mm, caso seja utilizada uma barra de aço em substituição da forqueta.

Materiais e Metodologia

No capítulo 4 decidiu-se que o material a ser utilizado na construção do quadro da bicicleta é o alumínio (6061-T6). Na Tabela 5.17 são resumidas as principais propriedades mecânicas consideradas.

Tabela 5.17: Propriedades mecânicas do alumínio 6061-T6 [62].

Alumínio 6061 T6	
Densidade (kg/m^3)	2700
Módulo de elasticidade (GPa)	68,9
Tensão de cedência (MPa)	275
Tensão de ruptura (MPa)	310
Tensão limite de fadiga (MPa)	96,5
Coeficiente de *Poisson*	0,33

Após a definição das propriedades mecânicas do material do quadro, é necessário analisar a sua geometria. No Apêndice G encontra-se o desenho de definição do quadro.

As imagens presentes na figura 5.19 ilustram as condições de fronteira utilizadas nas simulações numéricas para ambos os testes. A Figura 5.19(a) representa o ensaio horizontal e a Figura 5.19(b) representa o ensaio vertical.

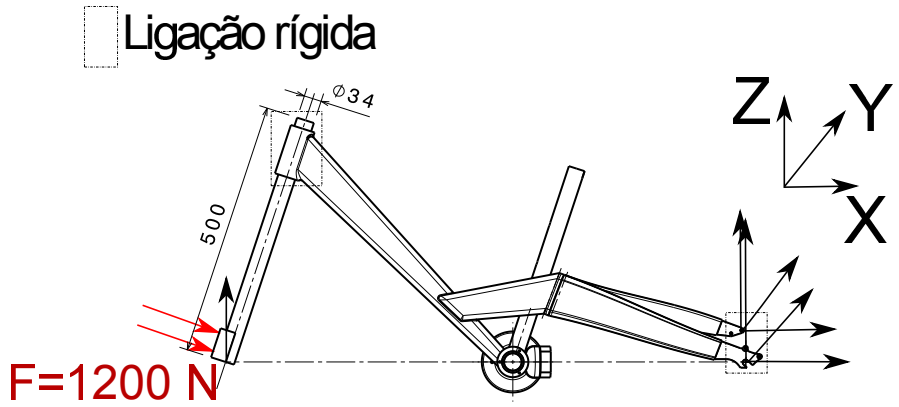
No ensaio horizontal foi utilizada uma barra de aço (34×500 mm) em substituição da forqueta da bicicleta, sendo admitida uma ligação rígida entre a barra e o quadro. Nas zonas de montagem da roda traseira foram bloqueados todos os deslocamentos (xyz). Já na base da barra, foi restringido o movimento vertical (segundo z), de modo a simular a presença de uma apoio simples. Posteriormente, foi aplicada uma carga de 1200 N na base da barra em aço.

Em relação ao ensaio vertical, Figura 5.19(b), tal como no ensaio horizontal, foi utilizada uma barra frontal em substituição da forqueta da bicicleta. Como é previsto em termos normativos, foi modelada uma barra em aço no tubo do selim da bicicleta. Posteriormente, foi aplicada uma força de 1200 N sobre este elemento. Em relação aos apoios, foram utilizados os mesmos que no ensaio horizontal.

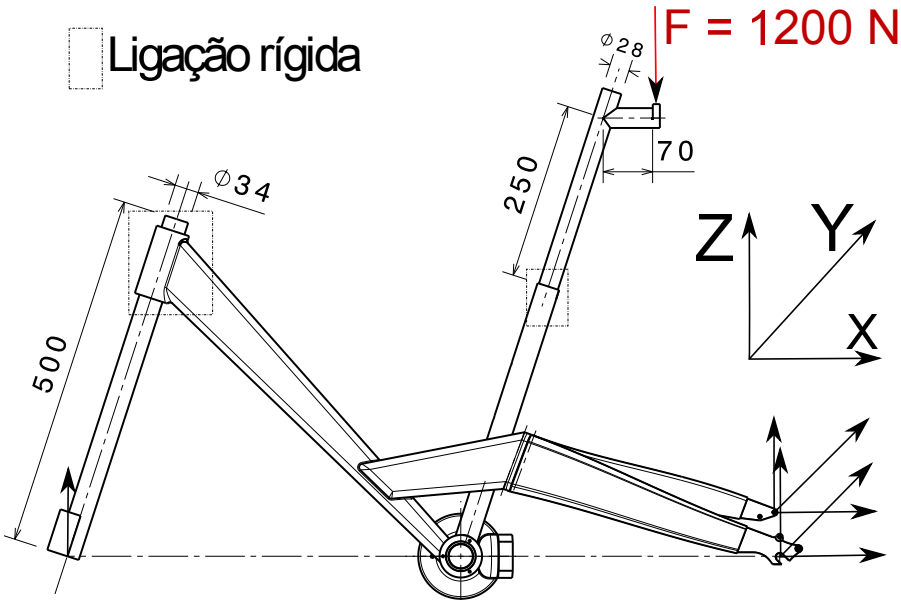
Em seguida, estando as condições de fronteira definidas, foi gerada uma malha tridimensional. Na Tabela 5.19 são resumidas as propriedades da malha usada em cada simulação, sendo ilustrado em pormenor a malha criada na Figura 5.19 (c).

Tabela 5.18: Propriedades da malha utilizada na averiguação estrutural do quadro da bicicleta.

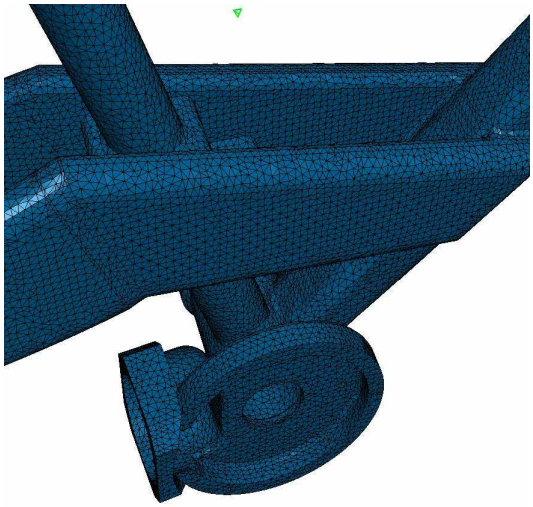
	Solicitação Vertical	Solicitação Horizontal
Tipo de elementos utilizados	Tetraedros	
Tamanho médio dos elementos (mm)		
Quadro	3,5 mm	
Tubo do selim	4 mm	-
Tubo frontal	4 mm	4 mm
Número de elementos do modelo	348590	325800
Número de nós do modelo	89347	83882
Ligação entre os elementos	Rígida	



(a) Condições de fronteira (solicitação horizontal)



(b) Condições de fronteira (solicitação vertical)

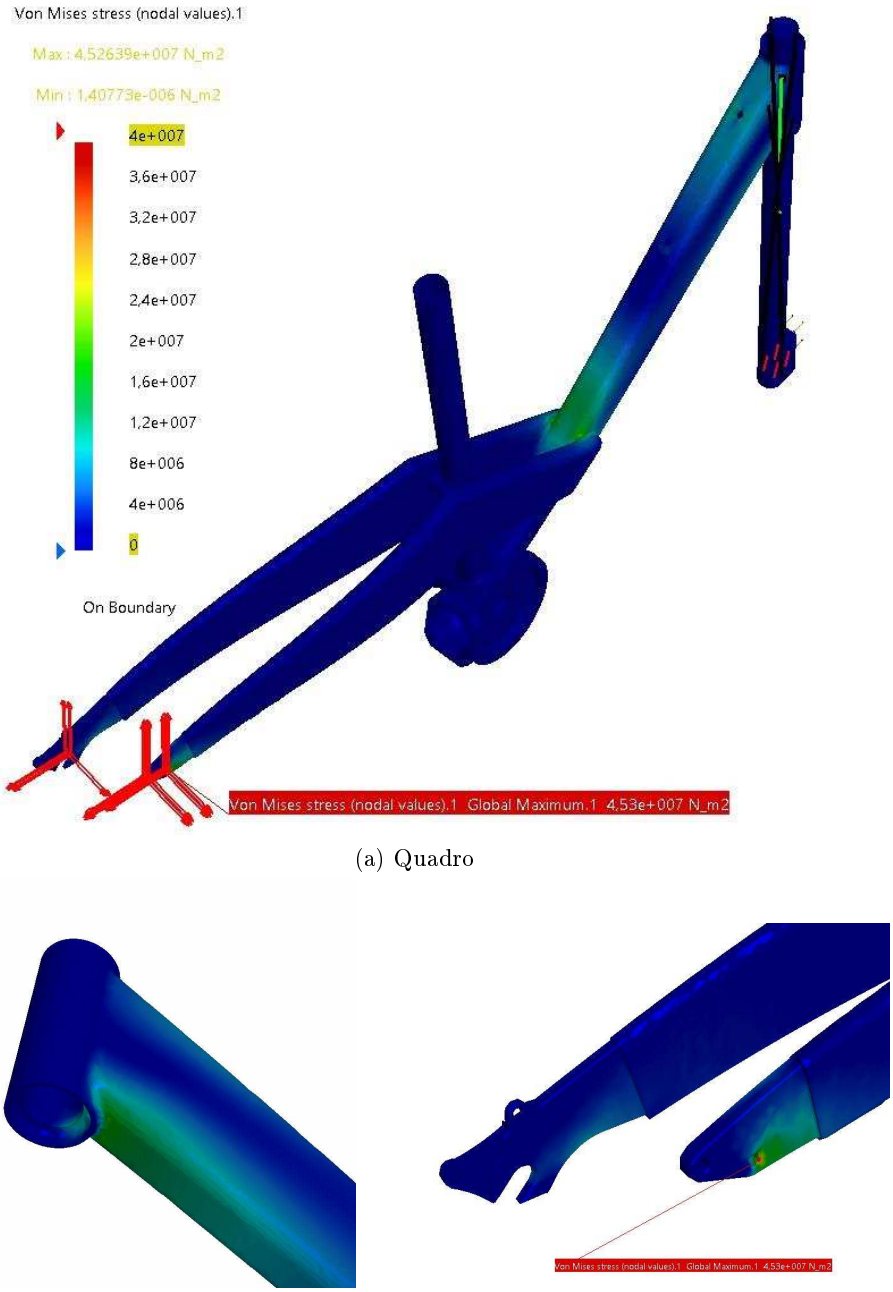


(c) Pormenor da malha de elementos finitos criada (zona central do quadro)

Figura 5.19: Condições de fronteira e malha de elementos finitos.

Resultados Obtidos

Na Figura 5.20 é ilustrado o gradiente de tensões de Von Mises, obtido na simulação horizontal.



(a) Quadro

(b) Tubo principal (zona inferior)

(c) Zona de montagem da roda traseira

Figura 5.20: Gradiente de tensões de Von Mises (solicitação horizontal).

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que o quadro suporta eficientemente o esforço imposto para as condições de fronteira definidas. De facto, as solicitações mais

significativas ocorrem no tubo principal do quadro (Figura 5.20 (a) e (b)), estando as zonas a verde associadas a valores de tensão compreendidos entre 12 e 24 MPa.

Como é possível observar, o valor máximo de tensão ocorre na zonas de apoio do quadro, tendo sido verificado um valor máximo igual a 45,3 MPa.

Em termos normativos, impõe-se que o deslocamento da barra em aço não exceda o valor de 10 mm. Analisando a figura 5.21, é possível constatar que é respeitada esta imposição normativa. De facto, o valor do deslocamento máximo verificado é de 0,2 mm.

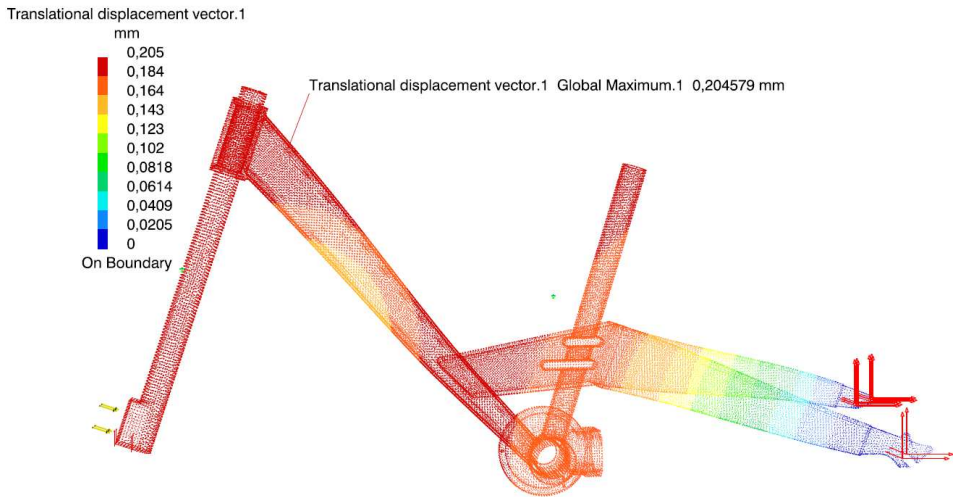


Figura 5.21: Gradiente de deslocamentos (solicitação horizontal).

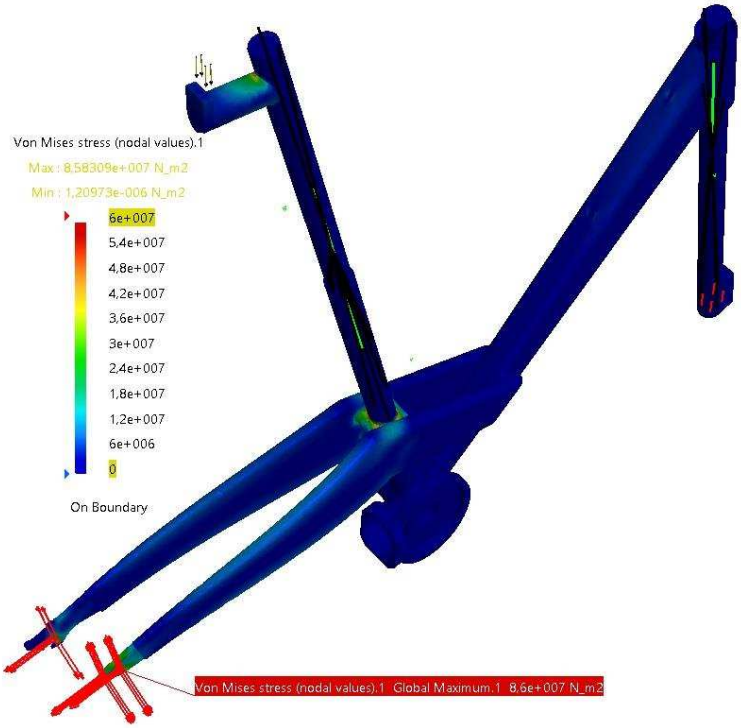
Em relação à simulação vertical, na Figura 5.22 é ilustrado o gradiente de tensões de Von Mises. Como se pode verificar, as condições de fronteira impostas induzem a flexão do quadro da bicicleta, verificando-se na zona central do quadro tensões entre os 30 e os 50 MPa (zona verde, amarela e laranja), Figura 5.22 (a) e (b). Também é possível observar que a flexão do quadro induz tensões entre 12 e 18 MPa (azul claro e verde) nos dois reforços do quadro. Por fim, e tal como sucedeu na solicitação horizontal, ocorre um valor máximo de tensão aproximadamente igual a 86 MPa num dos apoios do quadro (Figura 5.22 (c)).

Discussão dos Resultados

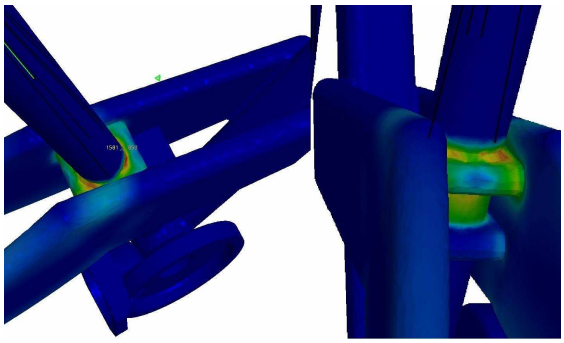
De um modo geral, e tendo em conta os resultados obtidos nas simulações numéricas, constata-se que o *design* concebido para o quadro da bicicleta apresentou uma resposta aceitável perante as condições de ensaio previstas na norma EN 14764. No entanto, as extremidades do quadro, nomeadamente a zona onde é fixa a roda traseira, constituem as zonas onde ocorrem tensões de maior magnitude. De facto, e tendo em conta os resultados obtidos nas duas simulações, é no teste vertical que se verifica um valor de tensão de 86 MPa, sendo este próximo do valor de limite de fadiga do material (96.5 MPa).

Considerando a dupla função de utilização da bicicleta numa vertente *indoor* e dinâmica, é compreensível que a forte utilização da bicicleta, possivelmente, possa provocar um desgaste precoce nestas zonas. Deste modo, é importante que seja feita uma aná-

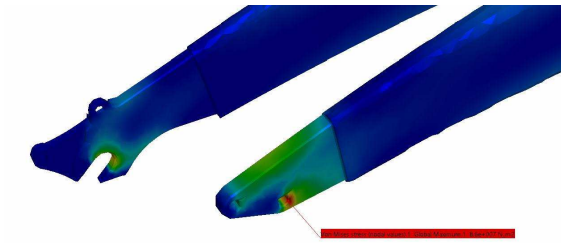
lise mais minuciosa nestas zonas ou até um *re-design* da geometria das extremidades do quadro.



(a) Quadro



(b) Zona central



(c) Zona de montagem da roda traseira

Figura 5.22: Gradiente de tensões de Von Mises (solicitação vertical).

5.3.2 Dimensionamento do Suporte Multifunções

Determinação da Largura Mínima

O conceito de bicicleta desenvolvido é dotado de um suporte multifunções, cujo principal objetivo é permitir uma utilização estática da bicicleta. É necessário determinar a largura mínima do suporte, de modo a conferir segurança e estabilidade durante a sua utilização *indoor*, prevendo possíveis movimentos oscilatórios do utilizador.

Deste modo, considerou-se uma análise simplificada num plano paralelo ao plano frontal[3]. Na Figura 5.23, ilustra-se o diagrama de forças numa situação em que o utilizador apresenta uma inclinação (α) em relação ao plano central da bicicleta.

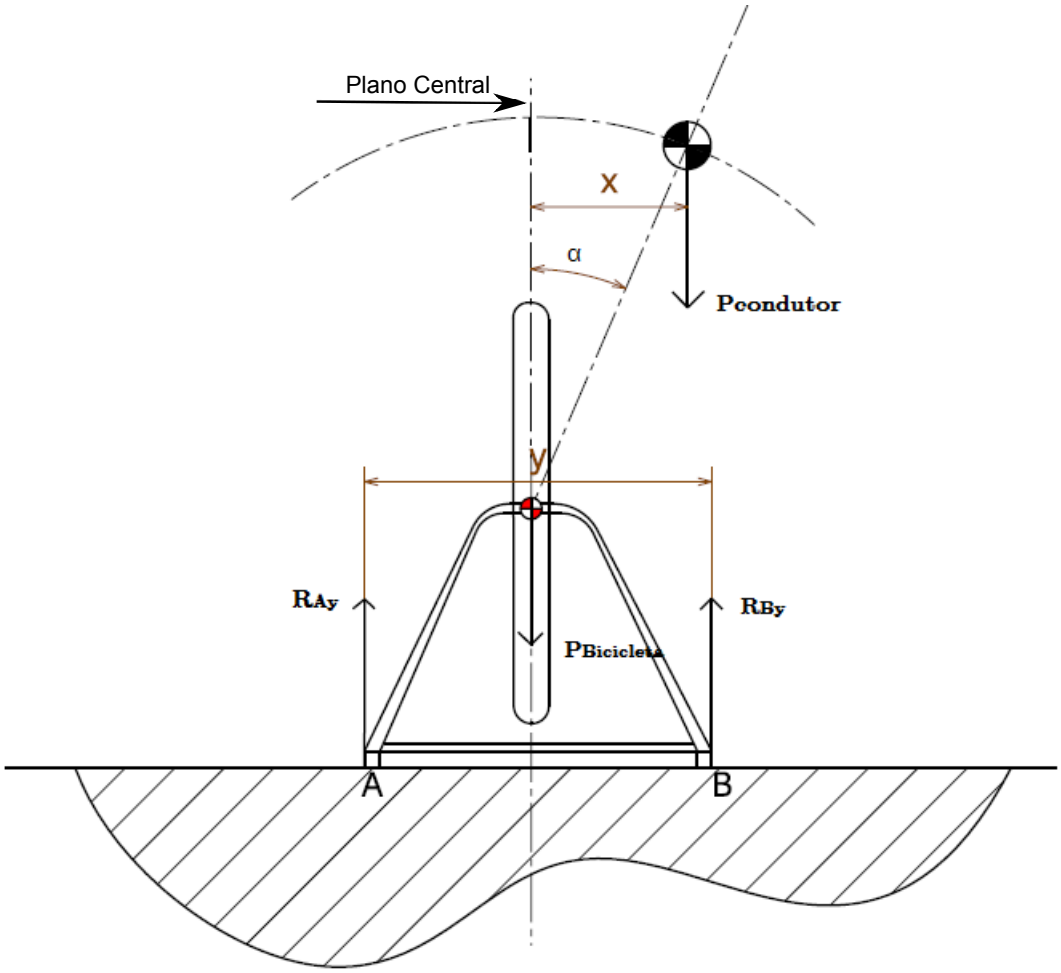


Figura 5.23: Esquema representativo do diagrama de forças no suporte. [**Legenda:** $\vec{R}_{Ay}$ e $\vec{R}_{By}$ - Reações nos apoios do suporte segundo y; $\vec{P}_{condutor}$ - Peso do condutor; $\vec{P}_{bicicleta}$ - Peso da bicicleta; x - Distância entre o centro de massa do condutor e o plano central da bicicleta; y - Largura da armação; α - Inclinação do condutor.]

[3]Plano frontal, tendo em conta a posição anatómica de referência.

Realizando um equilíbrio de forças, segundo y, resulta:

$$\sum_{y} \vec{F} = 0$$

$$\vec{R}_{Ay} + \vec{R}_{By} = \vec{P}_{condutor} + \vec{P}_{bicicleta} \tag{5.44}$$

Por outro lado, realizando um equilíbrio de momentos tendo como referência um dos pontos de apoio do suporte (ponto B),

$$\sum_{B} M = 0$$

$$-\vec{R}_{Ay} \times y + \vec{P}_{bicicleta} \times \frac{y}{2} + \vec{P}_{condutor} \times (y - x) = 0 \tag{5.45}$$

Conhecendo o valor das variáveis $\vec{P}_{bicicleta}$, $\vec{P}_{condutor}$, x e y, e com base nas equações deduzias, facilmente se obtém as reações nos pontos de apoios. Contudo, é percetível que a queda do utilizador é iminente quando deixa de existir reação num dos apoios do suporte (ponto A). Deste modo, anulando esta componente na equação (5.45), e resolvendo a equação (5.46) em ordem a y, o valor da largura mínima do suporte é dada em função da distância horizontal, medida entre o centro de gravidade do condutor e plano central da bicicleta (x), do peso do condutor ($P_{condutor}$) e do peso da bicicleta ($P_{bicicleta}$). Equação 5.47.

$$-\vec{R}_{Ay} = 0$$

$$\vec{P}_{bicicleta} \times \frac{y}{2} + \vec{P}_{condutor} \times (y - x) = 0 \tag{5.46}$$

$$y = \frac{\vec{P}_{condutor} \times x}{\frac{\vec{P}_{bicicleta}}{2} + \vec{P}_{condutor}} \tag{5.47}$$

Dado que não é conhecido o valor da inclinação do condutor (α) em relação ao plano central da bicicleta, admitiu-se que este possui um valor limite que se traduz numa distância máxima (x) de 300 mm.

O peso da bicicleta foi fixado em 12 kg, valor limite definido na construção da matriz QFD.

Relativamente ao peso do ciclista, considerou-se os valores representativos dos percentis 5, 50 e 95, para o género feminino e masculino, presentes na tabela seguinte.

Tabela 5.19: Peso dos utilizadores considerados na determinação da largura do suporte [46].

	Género Masculino			Género Feminino		
Percentil	**5**	**50**	**95**	**5**	**50**	**95**
Peso (kg)	56	75	92	45	64	80

Na Figura 5.24, ilustra-se os resultados obtidos para a largura mínima da armação em função da distância x para diferentes pesos do condutor da população analisada.

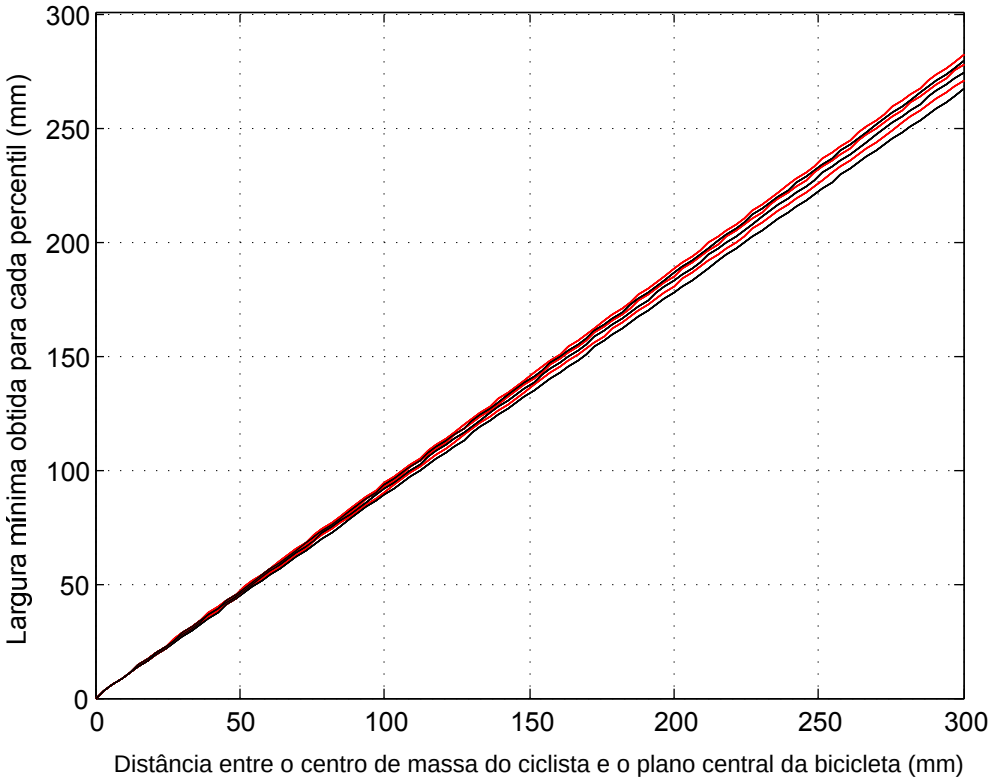


Figura 5.24: Cálculo da largura mínima do suporte multifunções. (Linhas representativas do género masculino - a vermelho; Linhas representativas do género feminino - a preto.)

De acordo com a Figura 5.24, a largura mínima do suporte é maior em todos os percentis do género masculino, apresentando um valor limite de aproximadamente 280 mm.

Face aos valores obtidos, decidiu-se que a armação deverá possuir uma largura de 280 mm acrescida de um fator de segurança de 1,5 (equação (5.48)).

$$L = 280 \times 1,5 = 420\ [mm] \tag{5.48}$$

Embora tenha sido considerada uma análise simplificada na determinação da largura admissível do suporte de bagagem, é possível afirmar que o valor de 420 mm é um resultado aceitável, caso se tenha em consideração a largura dos modelos de bicicletas *indoor*, $L_{indoor} = [55; 52; 49]$ cm, analisados na atividade de *benchmarking*.

Comportamento Estrutural

Tal como efetuado para o quadro da bicicleta, no presente projeto foi também alvo de estudo o comportamento estrutural do suporte multifunções através do método dos elementos finitos. Como referido anteriormente, este conjunto é constituído por um elemento principal em alumínio[4] no qual deslizam duas guias em aço que permitem alcançar uma dimensão máxima de 420 mm, sendo o sistema fixo na roda traseira da bicicleta.

Assumindo os pressupostos de uma análise linear estática, no presente contexto apenas foi estudado o comportamento estrutural do suporte (elemento principal), sendo os apoios deslizantes e os restantes elementos excluídos da análise.

Condições de Fronteira

Primeiramente, criou-se um modelo constituído pelo suporte multifunções e por um veio maciço em aço montado na zona dos apoios do suporte, sendo admitida uma ligação rígida entre estes dois elementos. Posteriormente, foi bloqueado o deslocamento axial do veio, simulando assim a ação dos elementos responsáveis pela fixação do suporte à bicicleta. No suporte multifunções restringiu-se o deslocamento segundo as três direções espaciais numa das suas periferias, sendo que na outra periferia foi restringido o movimento segundo a direção normal do suporte.

Por fim, aplicou-se uma força de 1354 N ao longo do veio, correspondendo este valor ao peso de um individuo pertencente ao percentil 95, do género masculino, acrescido de um coeficiente de segurança de 1,5 (equação (5.49)).

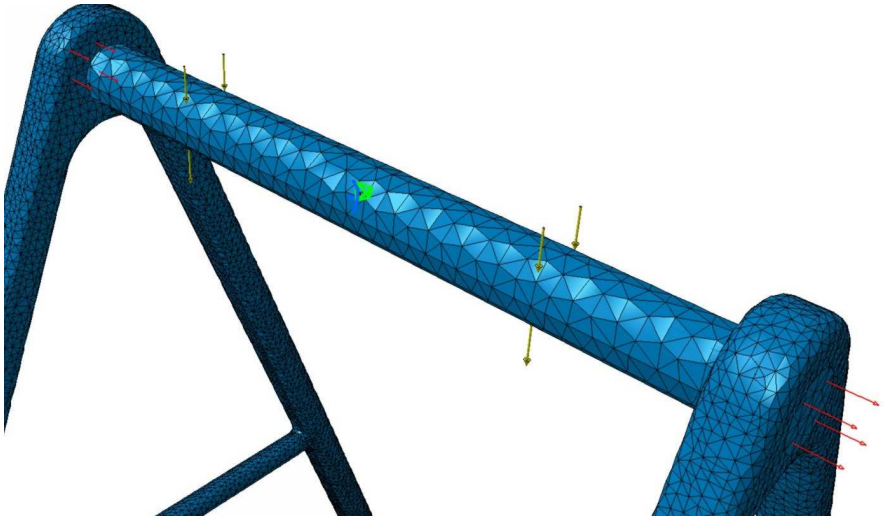
$$F_{suporte} = 92 \times 9,81 \times 1,5 \approx 1354 \ \ N \tag{5.49}$$

Após a definição das condições fronteira do modelo, criou-se uma malha tridimensional representativa do modelo criado. A Tabela 5.20 resume as propriedades utilizadas no modelo, sendo ilustrado em pormenor a malha criada e as condições de fronteira aplicadas (Figura 5.25).

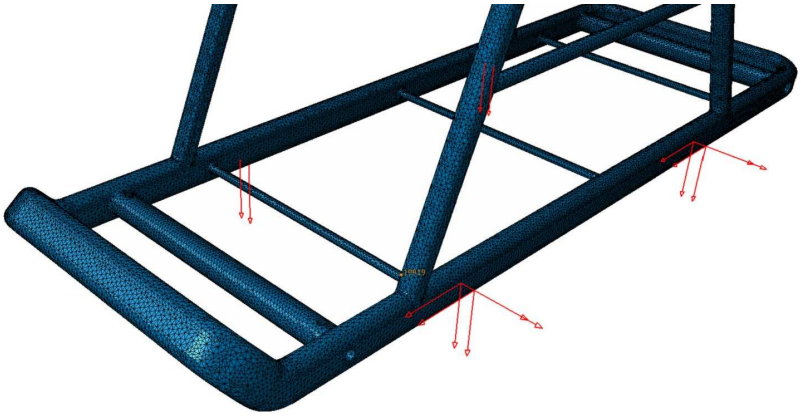
Tabela 5.20: Propriedades da malha utilizada na averiguação estrutural do suporte multifunções.

Tipo de elementos utilizados	Tetraedros
Tamanho médio dos elementos (mm)	
Suporte	2
Veio	4
Número de elementos do modelo	443586
Número de nós do modelo	106920
Ligação entre os componentes	Rígida

[4] Alumínio 6061-T6



(a) Veio



(b) Base do suporte

Figura 5.25: Condições de fronteira e malha de elementos finitos do suporte multifunções.

Análise e Discussão dos Resultados

A Figura 5.26 ilustra o gradiente de tensões de Von Mises, evidenciando a existência de uma zona crítica na variação de secção da base do suporte, obtendo-se um valor máximo de 4,92 MPa. Face a este resultado, é possível afirmar que a solução concebida para o suporte acomoda eficientemente a solicitação imposta. De facto, excluindo as zonas críticas, toda a zona a amarelo corresponde a valores de tensão compreendidos, entre 2,7 e os 3,3 MPa, sendo estes inferiores à tensão limite de fadiga (96,5 MPa) do material.

Em termos de deformações principais, na Figura 5.27, ilustra-se o perfil de deformações obtido perante as condições de fronteira definidas. Os resultados obtidos traduzem valores de deformação visivelmente baixos, sendo o valor máximo obtido de 0,04 % na zona de fixação do suporte na bicicleta.

Face aos resultados de tensões e deformações obtidos, verifica-se que a solução concebida para o suporte multifunções acomoda confortavelmente o peso de um indivíduo com 92 Kg, tendo em conta que o peso da estrutura é de 1,65 kg.

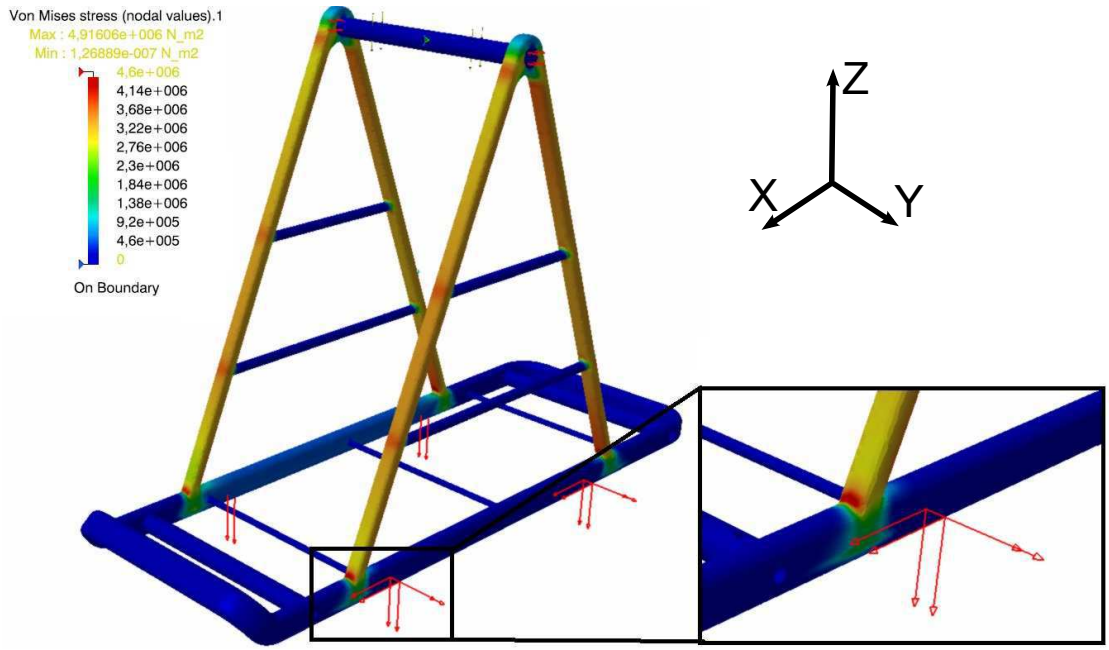


Figura 5.26: Perfil de tensões de Von Mises no suporte multifunções.

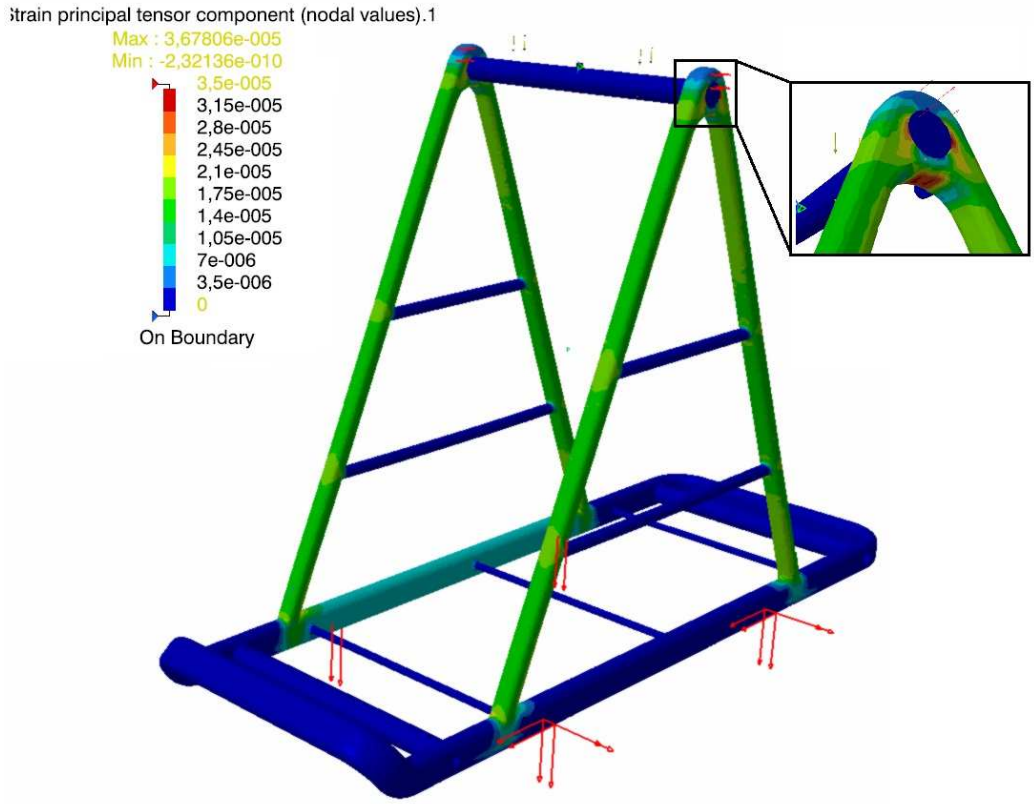


Figura 5.27: Perfil das deformações principais no suporte multifunções.

5.4 Desenho Técnico

Após a fase de desenvolvimento e projeto da bicicleta e dos seus sistemas, procedeu-se à elaboração dos desenhos técnicos, tendo como referência a bibliografia especializada [63].

Nesta fase, atribuiu-se um código para cada desenho elaborado, com vista a uma fácil interpretação dos elementos concebidos.

Cada desenho elaborado contempla um código constituído por oito dígitos, em que os quatro primeiros identificam o tipo de desenho presente, sendo:

DEF0 - Desenho de definição.

EXP0 - Desenho de montagem.

CON0 - Desenho de conjunto.

Os restantes quatro dígitos contêm um algarismo alfabético associado acompanhado de uma numeração numérica, Tabela 5.21.

Tabela 5.21: Codificação atribuída aos desenhos elaborados.

Dígito	Sistema designado
T	Transmissão
S	Suporte Multifunções
G	Guiador
B	Bicicleta (geral)
A	Assento

Por exemplo, o desenho **DEF0T001** corresponde a um componente do sistema de transmissão.

Desenhos de Conjunto

Os desenhos presentes no Apêndice E correspondem a um conjunto de desenhos elaborados em perspetiva da bicicleta, focando determinados pormenores importantes. É possível encontrar desenhos em corte da transmissão, características construtivas do suporte multifunções, assim como desenhos em que são identificadas as dimensões gerais da bicicleta.

Desenhos de Montagem

Os desenhos de montagem presentes no Apêndice F mostram os esquemas de montagem dos diversos conjuntos da bicicleta. Cada desenho é acompanhado com a respetiva lista de peças dos elementos constituintes do conjunto.

Desenhos de Definição

A elaboração dos desenhos de definição visam completar todo o trabalho de dimensionamento mecânico efetuado para os vários sistemas da bicicleta. Deste modo, foram executados desenhos com cotagem dimensional e geométrica para cada componente. No Apêndice G apresentam-se os desenhos de definição do quadro da bicicleta, do suporte-multifunções, do veio da pedaleira, do veio da transmissão, das tampas e dos apoios dos rolamentos, entre outros.

Capítulo 6

Conclusões Finais e Ações Futuras

6.1 Conclusões

Ao longo do tempo, a bicicleta estabeleceu com a sociedade uma relação de reciprocidade e de influência mútua. Por vezes, a bicicleta foi condicionada por razões de ordem social, económica, tecnológica e cultural, sendo também influenciada na composição dos espaços físicos, na cultura, na economia e na estruturação da sociedade. Nos dias de hoje, são cada vez mais as preocupações com o bem-estar físico e mental dos indivíduos. O aumento do preço dos combustíveis e as medidas de penalização do transporte automóvel conduzem à procura emergente de meios alternativos, tais como a bicicleta. De facto, a bicicleta para além de constituir um meio de transporte ecológico e de custos reduzidos, é cada vez mais utilizada como meio de manutenção física e de lazer.

O presente projeto teve como motivação e justificação o interesse no desenvolvimento de uma proposta de bicicleta que permitisse a sua utilização numa vertente dinâmica e *indoor*, ou seja, uma solução híbrida entre uma bicicleta estática e uma bicicleta convencional. Além da utilização *indoor*, e após uma recolha de um conjunto de opiniões, ficou claro que a mesma solução deveria permitir a utilização e o carregamento de dispositivos eletrónicos pessoais, como o telemóvel. Estando definido, em traços gerais, um novo conceito de bicicleta a desenvolver, foi iniciado um processo de desenvolvimento e engenharia de produto.

Este processo iniciou-se por uma observação das tendências atuais do setor das bicicletas, seguido por uma análise de mercado. Esta ação permitiu identificar as semelhanças entre as bicicletas convencionais e *indoor*, assim como a tecnologia atualmente presente no setor.

Sendo a bicicleta um produto de elevada interação com o utilizador, foi feito um estudo em termos de ergonomia, antropometria e biomecânica do ciclismo. Este estudo revelou-se de extrema importância, uma vez que permitiu orientar o desenvolvimento ergonómico da bicicleta, assim como identificar os parâmetros de projeto utilizados no dimensionamento do sistema de transmissão e do suporte multifunções.

A fase de desenvolvimento, propriamente dita, é caracterizada pela construção da matriz QFD e pela geração de conceitos para a bicicleta. Nesta etapa, foram introduzidos os resultados obtidos nos questionários, sendo também esboçados um conjunto de soluções técnicas.

Em termos de solução final, e tendo em conta os objetivos de utilização definidos, foram desenvolvidos quatro sistemas da bicicleta (transmissão, guiador, suporte multifunções e suporte de fixação dos dispositivos eletrónicos).

A transmissão por veio mecânico é justificada pela baixa manutenção e pelo facto de ser aproveitada a energia motora do utilizador para alimentar pequenos dispositivos eletrónicos. Tendo sido dimensionados a maioria dos elementos deste sistema, exceto os componentes eletrónicos, ficou claro que a transmissão por veio mecânico implica necessariamente um aumento significativo do custo da bicicleta, pelo menos para a produção unitária. Uma outra desvantagem deste sistema reside na pouca amplitude de relações de transmissão em relação ao sistema de corrente e carretos. No entanto, são claras as vantagens a nível de segurança, de limpeza e de manutenção.

Em relação à solução concebida para o guiador, esta poderá ser melhorada tendo em conta a sua exagerada complexidade mecânica e o número considerado de elementos. Tal como o sistema de transmissão, a solução do guiador irá implicar um aumento do custo final da bicicleta.

A solução concebida para o suporte multifunções é, possivelmente, o sistema de maior interesse no presente projeto. Sendo um sistema relativamente simples, este não confere um aumento substancial de peso à bicicleta, podendo ser facilmente adaptado a outros modelos.

Em relação ao sistema de fixação e carregamento dos dispositivos eletrónicos, apenas foi feita uma intervenção ao nível da geometria exterior, do posicionamento e a nível de aspeto visual.

No que diz respeito ao preço final da bicicleta, é percetível que os sistemas desenvolvidos representam obrigatoriamente um aumento do custo final da bicicleta. Deste modo, torna-se imperativo considerar formas de diminuir os custos de fabricação, tendo em conta a oferta da concorrência.

Ao nível de projeto mecânico, foram alvo de dimensionamento a maioria dos sistemas da bicicleta, tendo como base referências normativas. Para além dos fatores mecânicos não foram descorados aspetos como *design* e conforto, sendo essenciais para um produto como uma bicicleta.

Por fim, tendo em conta os objetivos de utilização definidos, é possível concluir que a nova bicicleta FHUE permite dar resposta aos principais objetivos de utilização estabelecidos, servindo todo o projeto como uma base de trabalho para um desenvolvimento futuro.

6.2 Ações Futuras

Dada a natureza do produto desenvolvido no âmbito desta dissertação, este não se encontra concluído. Deste modo, e tendo em conta todo o trabalho de projeto de engenharia já desenvolvido, é necessário um conjunto de trabalhos futuros que visam completar e possivelmente corrigir determinados aspetos deficitários.

Sendo assim, apresentam-se as seguintes propostas a desenvolver:

- Dimensionamento de todos os componentes eletrónicos, doravante não dimensionados no presente trabalho, assim como uma correta integração com os restantes sistemas mecânicos já dimensionados.
- Divulgação do projeto, acompanhado de uma recolha de opiniões e sugestões de forma a se proceder a possíveis melhoramentos.
- Otimização de todos os sistemas desenvolvidos que compõem a bicicleta, de modo a alcançar uma relação perfeita entre o desempenho, o peso e o custo.
- Estudo detalhado, ao nível do processo de fabrico, de todos os componentes que dão forma à bicicleta.
- Construção de um protótipo de aspeto ou até mesmo funcional de modo a averiguar a eficiência global da bicicleta e a satisfação de potenciais utilizadores. O protótipo deverá servir como meio de apresentação e promoção a potenciais interessados na sua fabricação e comercialização.
- Por fim, à semelhança de algumas marcas, propõe - se o desenvolvimento de uma *interface* gráfica para *smartphone* associada ao produto desenvolvido (Figura 6.1).

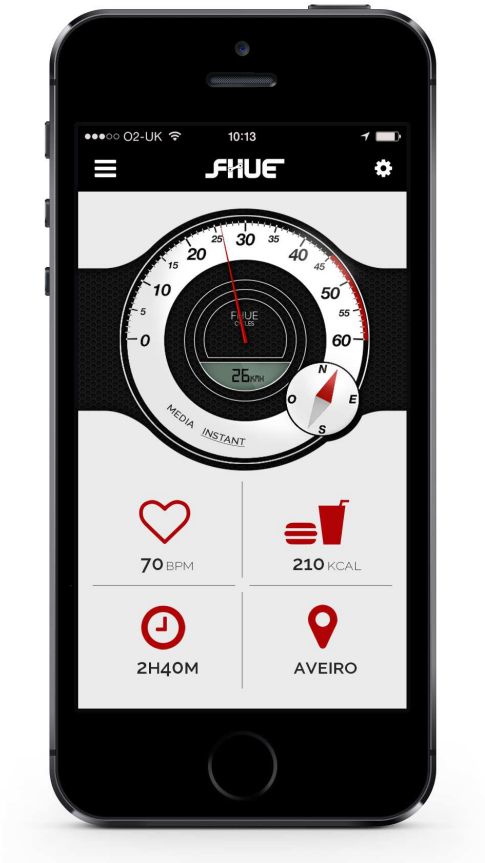


Figura 6.1: Proposta de trabalho a desenvolver no futuro.

Bibliografia

[1] Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho. Energia, mobilidade e transportes - impactes ambientais da energia. Universidade de Aveiro, 2012.

[2] I.P. Instituto Nacional de Estatística. *Estatísticas dos Transportes 2011*. 2012.

[3] D.A. Hensher and K.J. Button. *Handbook of Transport and the Environment*. Handbooks in transport. Elsevier, 2003.

[4] A Sanchez Vicente. Laying the foundations for greener transport-term 2011: transport indicators tracking progress towards environmental targets in europe. 2011.

[5] Álvaro Miguel Nunes Ferreira. Conceção de plataforma de mobilidade individual de locomoção manual. Master's thesis, Universidade de Aveiro, 2012.

[6] European Comission. Eu transport in figure. Statistical Pocketbook, 2012.

[7] Expresso Economia. Carro representa metade dos gastos dos portugueses em energia. **[on-line]:** `http://expresso.sapo.pt/carro-representa-metade-dos-gastos-dos-portugueses-em-energia=f681160`, Acedido em Março de 2013.

[8] S Mariño Pequini. *A evolução tecnológica da bicicleta e suas implicações ergonômicas para a máquina humana: problemas da coluna vertebral versus bicicletas dos tipos speed e mountain bike. 2000. 300 f.* PhD thesis, Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

[9] Bicicletas Portuguesas Lda Órbita. Bicicletas. **[on-line]:** `http://www.orbita-bicicletas.pt/bicicletas.php?lang=1`, Acedido em Março de 2013.

[10] Bicycle Design. **[on-line]:** `http://bicycledesign.net/`, Acedido em Março de 2013.

[11] PlanetAzul: O portal do ambiente e sustentabilidade. Bicicletas de uso público voltam às ruas de beja. **[on-line]:** `http://www.planetazul.pt/edicoes1/planetazul/index.aspx`, Acedido em Março de 2013.

[12] Associação Bandeira Azul da Europa. Zona de emissões reduzidas pretende melhorar a qualidade do ar de lisboa. **[on-line]:** `http://www.jra.abae.pt/portal/zona-de-emissoes-reduzidas-pretende-melhorar-a-qualidade-do-ar-de-lisboa/`, Acedido em Março de 2013.

[13] Answers. London congestion charge. **[on-line]:** `http://www.answers.com/topic/london-congestion-charge-large-image`, Acedido em Março de 2013.

[14] Better Health Channel. Cycling health benefits. **[on-line]:** `http://www.betterhealth.vic.gov.au/bhcv2/bhcarticles.nsf/pages/Cycling_health_benefits`, Acedido em Março de 2013.

[15] Rachel Holt, Catherine Kendrick, Kate McGlashan, Stephen Kirker, and Jumbo Jenner. Static bicycle training for functional mobility in chronic stroke: Case report. *Physiotherapy*, 87(5):257 – 260, 2001.

[16] Giselle Noceti Ammon Xavier, Milton Carlos Della Giustina, and Lorival José Carminatti. Promovendo o uso da bicicleta para uma vida mais saudável. *Revista Cinergis*, 1(2):51–58, 2000.

[17] COLIBI COLIPED. European bicycle market - industry and market profile. Brussels, Agosto de 2012.

[18] Aicep Portugal Global. Indústria portuguesa de bicicletas - sector e exportações em crescimento. Revista PortugalGlobal, Dezembro 2011.

[19] Instituito Português da Qualidade. Catálogo de normas. **[on-line]:** `http://www.iapmei.pt/iapmei-bmkartigo-01.php?temaid=2&subtemaid=2`, Acedido em Março de 2013.

[20] EN 14764:2005 - *European Standard.* City and trekking bicycles - safety requirements and test methods. Technical report, European Committee For Standardization, 2005.

[21] IAPMEI. Benchmarking e boas práticas. **[on-line]:** `http://www.ipq.pt/`, Acedido em Março de 2013.

[22] G.E. Dieter. *Engineering design: a materials and processing approach.* McGraw-Hill series in mechanical engineering. McGraw-Hill, 2000.

[23] Smart. Produtos/ ebike. **[on-line]:** `http://www.smart.pt/produtos-ebike/12bfd2a1-2244-566e-ac98-c890cbee8d09`, Acedido em Março de 2013.

[24] BMW Lifestyle. Coleções bmw sport. Catálogo 2012/2013.

[25] Specialized. Bicicletas. **[on-line]:** `http://www.specialized.com/pt/pt/bikes`, Acedido em Março de 2013.

[26] Renato André Sousa da Silva. Construção e calibração de uma bicicleta de ciclismo indoor com graduação de carga. *Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho Hum*, 8(2):85–91, 2006.

[27] EN 957-10:2005 - *European Standard.* Stationary training equipment - part 10: Exercice bicycles with a fixed wheel or without freewheel, additional specific safety requirements and test methods. Technical report, European Committee For Standardization, 2005.

[28] Sport Zone. Ciclismo indoor. **[on-line]:** `http://www.sportzone.pt/store/desporto/ginasio-fitness/aparelhos/ciclismo-indoor`, Acedido em Março de 2013.

[29] Iuri Cordeiro Schroeder. Biomecânica do ciclismo. Master's thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande Do Sul - Faculdade de Educação Física e Ciências Do Desporto, Porto Alegre, 2005.

[30] Thiago Ayala Melo Di Alencar, Karinna Ferreira de Sousa Matias, and Franassis Barbosa de Oliveira. Cinesiologia e biomecânica do ciclismo: Uma revisão. *Revista Movimenta; Vol*, 3(1), 2010.

[31] S.J. Hall. *Biomecânica Básica*. Guanabara Koogan, 2000.

[32] Thiago Ayala Melo Di Alencar. Studio bike fit - cinética do ciclismo. **[on-line]:** `http://studiobikefit.com.br/texto3.html`, Acedido em Maio de 2013.

[33] Cal Stone and M.L. Hull. The effect of rider weight on rider-induced loads during common cycling situations. *Journal of Biomechanics*, 28(4):365 – 375, 1995.

[34] Sudhanshu K. Semwal and Michael J. Parker. An animation system for biomechanical analysis of leg motion and predicting injuries during cycling. *Real-Time Imaging*, 5(2):109 – 123, 1999.

[35] Cassiano Pinzon, Eduardo Nabinger, Jamil Silva Brites, and Ney Francisco Ferreira. Proposta metodológica para determinação da posição do selim aplicada ao ciclismo indoor: Estudo de caso.

[36] Raymond C.H. So, Joseph K.-F. Ng, and Gabriel Y.F. Ng. Muscle recruitment pattern in cycling: a review. *Physical Therapy in Sport*, 6(2):89 – 96, 2005.

[37] Edgar Martins Neto. Apostila de ergonomia, 2011.

[38] Henri H.C.M. Christiaans and Angus Bremner. Comfort on bicycles and the validity of a commercial bicycle fitting system. *Applied Ergonomics*, 29(3):201 – 211, 1998.

[39] Suzi Mariño, Anamaria Moraes, and Paolo Pequini. Bicicletas para uso personalizado: Recomendações antropométricas.

[40] Julio Francisco Kleinpaul, Luana Mann, Fernando Diefenthaeler, Antônio Renato Pereira Moro, and Felipe Pivetta Carpes. Aspects determinants of body positioning for cycling: a systematic review. *Motriz: Revista de Educação Física*, 16(4):1013–1023, 2010.

[41] Malcolm Firth. How to set up your road bike. **[on-line]:** `http://www.abcc.co.uk/how-to-set-up-your-road-bike/`, Acedido em Maio de 2013.

[42] Humpert. The guide to cycling ergonomics. **[on-line]:** `http://humpert.com/en/bikeparts/downloads/anzeigen/`, Acedido em Maio de 2013.

[43] Juliane Neuss. Bike ergonomics for all people, 2007.

[44] Richard Drake, A Wayne Vogl, and Adam WM Mitchell. *Gray's anatomy for students*. Elsevier Health Sciences, 2009.

[45] F. Fonseca and A. Completo. *Fundamentos de Biomecânica: Músculo, Esquelética e Ortopédica*. Publindústria.

[46] Pedro M Arezes, Mónica P Barroso, Patrício Cordeiro, Luís Gomes da Costa, and A Sérgio Miguel. Estudo antropométrico da população portuguesa. *Lisboa: ISHST*, 2006.

[47] Itiro Iida. Ergonomia. *Projeto e Produção. São Paulo: Edgard Blücher*, 1997.

[48] K.T. Ulrich and S.D. Eppinger. *Product design and development*. Irwin/McGraw-Hill, 2000.

[49] J.M. Csillag. *Análise do valor: metodologia do valor*. Atlas, 1985.

[50] Yu-Cheng Lee and Sheng-Yen Huang. A new fuzzy concept approach for kano´s model. *Expert Systems with Applications*, 36(3, Part 1):4479 – 4484, 2009.

[51] LCS Pinheiro, CE da Silva, AM Freitas, and AJ Santiago. Uso de diodos emissores de luz (led) de potência em laboratório de óptica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 31(1), 2014.

[52] CA(US); Dewey Robert Lucero CA (US) Lewis Dale Peterson, CA(US); Benjamin John Matthias. Bicycle trainer. US 20050209064A1, Sep. 2005.

[53] FL. (US) Ricardo Hernandez, Miami. Bicycle mounted exercise and training device. US 20080234112A1, Sep. 2008.

[54] WI (US); Chang Shin Pin Taipei (TW); Zhu Zhao Hua Nanjing (CN) Clint D. Kolda, Cottage Grove. Variable magnetic resistance unit for an exercise device. US 7,011,607 B2, Mar. 2006.

[55] Alfredo Balacó de Morais. Sistemas mecânicos - textos de apoio. Universidade de Aveiro, 2010.

[56] Matbase. 42crmo4 (high grade steel). **[on-line]:** `http://www.matbase.com/material-categories/metals/ferrous-metals/high-grade-steel/material-properties-of-high-grade-steel-42crmo4.html#properties`, Acedido em Outubro de 2013.

[57] Rolamentos FAG Ltda. Catálogo WL 41 520/3 PB, 1999.

[58] FABORY. D6885a - chaveta paralela. **[on-line]:** `http://www.fabory.pt/pt/product/d6885a-aço-chavet-paralela-6x6x16mm/39250066016.html`, Acedido em Outubro de 2013.

[59] *Método dos Elementos Finitos Técnicas de Simulação Numérica em Engenharia*. ETEP, 2007.

[60] Thomas Jin-Chee Liu and Huang-Chieh Wu. Fiber direction and stacking sequence design for bicycle frame made of carbon/epoxy composite laminate. *Materials & Design*, 31(4):1971–1980, 2010.

[61] Paulo Jorge Birlo Machado. Avaliação da resistência estrutural de juntas soldadas de um quadro de uma bicicleta. Master's thesis, Instituito Politécnico de Setúbal, 2010.

[62] ASM. Aerospace Specification Metals. Aluminum 6061-t6. **[on-line]:** `http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6061t6`, Acedido em Outubro de 2013.

[63] Simões Morais. Desenho técnico básico 3. *Porto Editora*, 2006.

[64] Diário da República - *I Série-B*. Portaria nº311-b/2005 de 24 de março. Nº 59 - 24 de Março de 2005.

Apêndice A

Legislação

A.1 Norma Europeia EN 14764

A norma EN 14764 especifica um conjunto de requisitos de segurança, desempenho e "*design*", para bicicletas passíveis de serem utilizadas na via pública. Na tabela seguinte, encontram-se resumidos os requisitos considerados na fase de desenvolvimento.

Tabela A.1: Principais requisitos da norma EN 14764 [20].

Módulo/ Área de atuação	**Requisitos**
Arestas vivas	"Arestas expostas que poderão entrar em contacto com as mãos do condutor, pernas, etc., durante a utilização, manuseamento e manutenção da bicicleta, não deverão ser afiadas."
Guiador - Dimensões gerais	"O guiador deve apresentar um comprimento total entre *350 mm e 1000 mm.*" "As extremidades do guiador devem possuir punhos ou tampas." "A distância vertical medida entre o topo dos punhos do volante, quando montados na posição mais alta permitida pelo fabricante, e a superfície do assento na sua posição mais baixa, não deverá exceder *400 mm.*"
Sistema de travagem - Requisitos gerais	"A bicicleta deve possuir dois sistemas de travagem independentes. Um dos sistemas deverá atuar na roda dianteira e o outro na roda traseira. Os sistemas de travagem deverão ser capazes de cumprir os requisitos de travagem."

Continua na próxima página...

Tabela A.1 – Continuação

Módulo/ Área de atuação	**Requisitos**
Sistema de travagem - Requisitos de desempenho	"O desempenho dos sistemas de travagem é determinado em função da distância de paragem." "A bicicleta deverá cumprir com os requisitos de travagem presentes na tabela A.2." "A massa combinada do condutor, bicicleta,..., não deverá ser superior a *100 kg*"(para efeitos de teste). "A força aplicada na manete do travão não deverá exceder os *180 N*."
Sistema de travagem - Dimensões das manetes	"A região da manete em contacto com os dedos do condutor, deverá apresentar uma dimensão superior a *40 mm*." "A distância d não deve ultrapassar os 90 mm para bicicletas cuja altura mínima do assento ao solo é igual ou superior a *635 mm*, e *75 mm* para bicicletas cuja altura do assento ao solo é inferior a *635 mm*." Ver figura A.2.
Sistema de travagem - Posicionamento das manetes	"As manetes dos travões dianteiro e traseiro deverão ser posicionadas de acordo com a legislação do país em que a bicicleta será vendida. O fabricante deverá indicar qual das manetes atua o sistema travagem dianteiro e traseiro, respetivamente."
Direção - Desempenho geral	"A direção deverá ser livre de rodar pelo menos 60° para cada lado, em relação ao ponto neutro." "Um valor mínimo 25 % da massa do complexo bicicleta e condutor, deve atuar na roda dianteira, quando o condutor está a segurar no guiador e sentado no assento, com este numa posição o mais recuada possível."
Geometria da direção	"O ângulo de topo de direção não deve ultrapassar os 75° e não deve ser inferior a 65°, relativamente à linha do solo." "O eixo de direção interseta uma linha perpendicular no solo, que passa no centro da roda, num ponto não abaixo de 15% nem acima de 60% do raio da roda, quando medido a partir do solo (figura A.3)."
Pedais - Espaço livre admissível em relação ao solo	"Com a bicicleta sem qualquer tipo de carga, o pedal na posição mais baixa possível e a com uma inclinação paralela ao solo, a bicicleta poderá inclinar-se 25° em relação à vertical sem que qualquer parte do pedal entre em contacto com o solo."
Pedais - Espaço livre admissível em relação à roda dianteira	"As Bicicletas deverão possuir um espaço livre entre os pedais e o pneu frontal ou guarda-lamas (quando virado em qualquer posição)" Figura A.4.

Continua na próxima página...

Tabela A.1 – Continuação

Módulo/ Área de atuação	**Requisitos**
Assento - Limitações	"Nenhuma parte do assento, incluindo os suportes ou acessórios deverá ser superior que *125 mm*, em relação ao topo da superfície do assento no ponto onde a superfície do assento é intersetada pelo eixo do espigão."
Sistemas de iluminação - Luzes e refletores	"Sistemas de iluminação e refletores podem não ser necessários em bicicletas citadinas ou de turismo, mas o fabricante deve informar o utilizador da legislação nacional aplicada no país onde a bicicleta irá ser comercializada." (Requisitos de iluminação - Apêndice A.2.)
Saliências expostas	"Qualquer saliência exposta com mais de *8 mm*, após montagem exceto: a) Mecanismo dianteiro de troca de mudanças montado na cremalheira; b) Mecanismo de troca de mudanças montado na roda traseira; c) Mecanismo de travagem, montado na roda traseira e dianteira; d) Dispositivos de fixação de iluminação; e) Refletores; f) Encaixes no pedal; g) Mecanismos de encaixe no pedal; h) Cremalheiras e carretos; i) Suporte para garrafa de água. Tais saliências devem possuir uma dimensão principal, A, não inferior a *12,7 mm* e uma dimensão secundária, B, não inferior a *3,2 mm*." (Figura A.1)

Continua na próxima página...

Tabela A.1 – Continuação

Módulo/ Área de atuação	**Requisitos**
Instruções do fabricante	"Cada bicicleta deverá possuir com um conjunto de instruções, redigidas na língua materna do país onde a bicicleta irá ser comercializada, contendo as seguintes informações: a) Tipo de uso recomendado para qual a bicicleta foi concebida (p.e tipo de terreno), alertando os perigos decorrentes de uma utilização incorreta; b) Preparação do condutor - como medir e ajustar o assento em altura de acordo com a fisionomia do condutor; ... e) Recomendações de segurança - uso de capacete, inspeção regular aos sistemas de travagem, pneus, direção, etc. f) Peso máximo do complexo (condutor + bicicleta + bagagem); ... l) Lubrificação - onde e com que frequência lubricar os componentes mecânicos. Recomendar os lubrificantes apropriados; ... n) Ajustamento nos travões e recomendações de substituição de componentes de desgaste; o) Recomendações de manutenção gerais; p) A importância de usar apenas peças de substituição genuínas para componentes críticos para a segurança; ... r) Recomendação de componentes apropriados (p.ex. pneus, jantes, calços dos travões); s) Nota de alerta para chamar a atenção ao condutor dos possíveis danos causados decorrentes do uso excessivo, assim como recomendações de inspeções periódicas ao quadro, forqueta e suspensão (caso exista). Qualquer tipo de informação relevante deverá ser incluída nas instruções do fabricante".

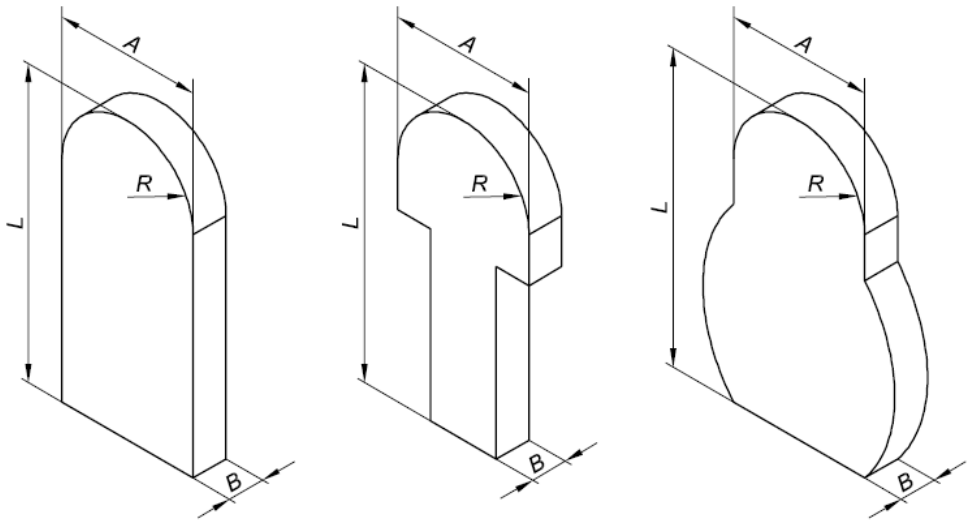


Figura A.1: Saliências expostas EN-14764 [20].[**Legenda:** $R \geq 6,3$;$A \geq 12,7$;$B \geq 3,2$.]

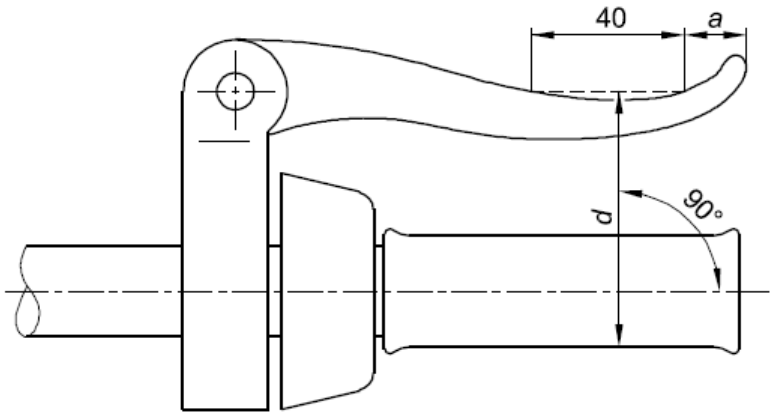


Figura A.2: Manete do travão EN-14764 [20].

Tabela A.2: Requisitos de travagem EN 14764 [20].

Condição	**Velocidade** ($km \setminus h$)	**Travões em uso**	**Distância de travagem** (m)
Seco	25	Ambos	7
		Apenas o traseiro	15
Molhado	16	Ambos	5
		Apenas o traseiro	10

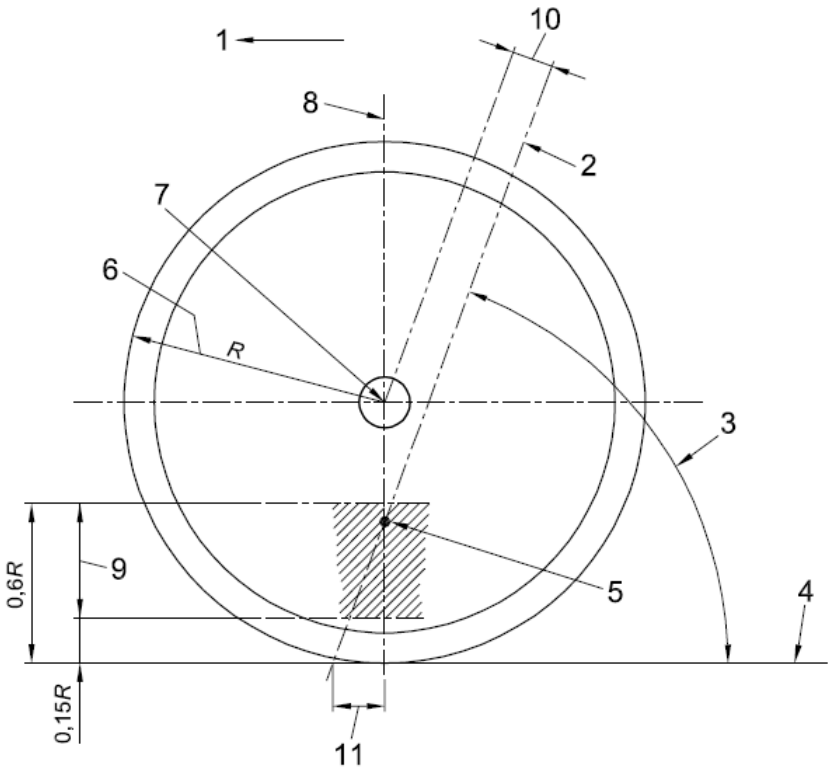


Figura A.3: Ângulo da direção EN-14764 [20]. [**Legenda: 1** - Direção de viagem; **2**- Eixo da direção; **3** - Ângulo de topo da direção; **4** - Linha do solo; **5** - Ponto de interseção; **6** - Raio da roda; **7** - Centro da roda; **8** - Perpendicular à linha do solo; **9** - Tolerância; **10** - Offset; **11** - Distância.]

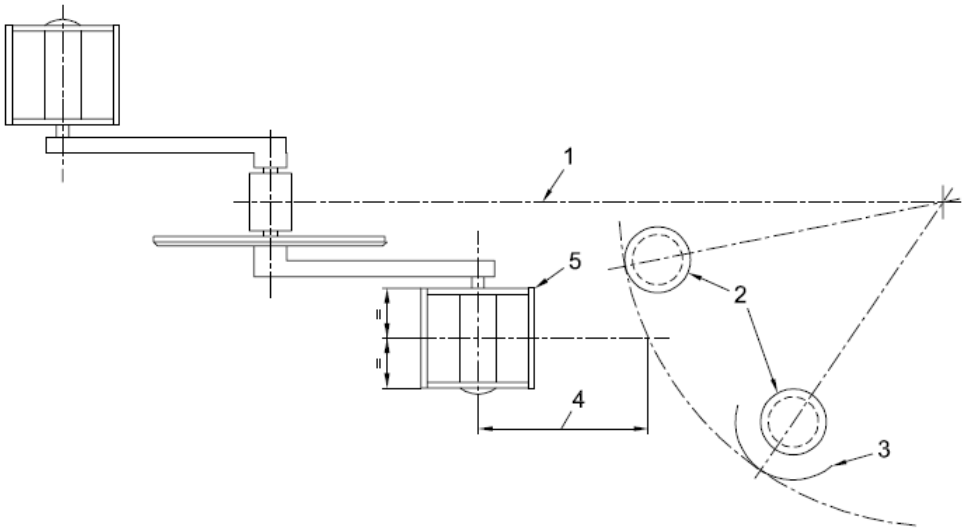


Figura A.4: Espaço livre admissível entre o pedal e o pneu EN-14764.[**Legenda**: **1** - Eixo longitudinal; **2** - Pneu dianteiro; **3** - Guarda-lamas; **4** - Espaço livre admissível; **5** - Pedal.]

A.2 Portaria nº.311-B/2005 de 24 de Março

Nas tabelas A.3 encontram-se resumidas as principais características das luzes de presença definidas segundo a **portaria nº.311-B/2005 de 24 de Março**.

Tabela A.3: Características das luzes de presença.*Adaptado de* [64].

Característica:	**Luz de presença da frente**	**Luz de presença da retaguarda**
Número:	Uma	Uma
Cor:	Branca	Vermelha
Posicionamento:	"Largura: deve estar situada no plano longitudinal médio do veículo;" "Comprimento: deve estar colocada na zona frontal do veículo;" "Altura: deve estar colocada a uma altura do solo compreendida entre *350 mm* e *1500 mm*."	"Largura: deve estar situada no plano longitudinal médio do veículo;" "Comprimento: deve estar colocada à retaguarda do veículo;" "Altura: deve estar colocada a uma altura do solo compreendida entre *350 mm* e *1200 mm*."
Intensidade:	"Feixe luminoso contínuo tal que a luz seja visível de noite e por tempo claro a uma distância mínima de *100 m*."	"Feixe luminoso contínuo ou intermitente de frequência regular, tal que a luz seja visível de noite e por tempo claro a uma distância mínima de *100 m*."
Orientação:	Para a frente	Para a retaguarda

Apêndice B

Resultados Obtidos nos Questionários Realizados

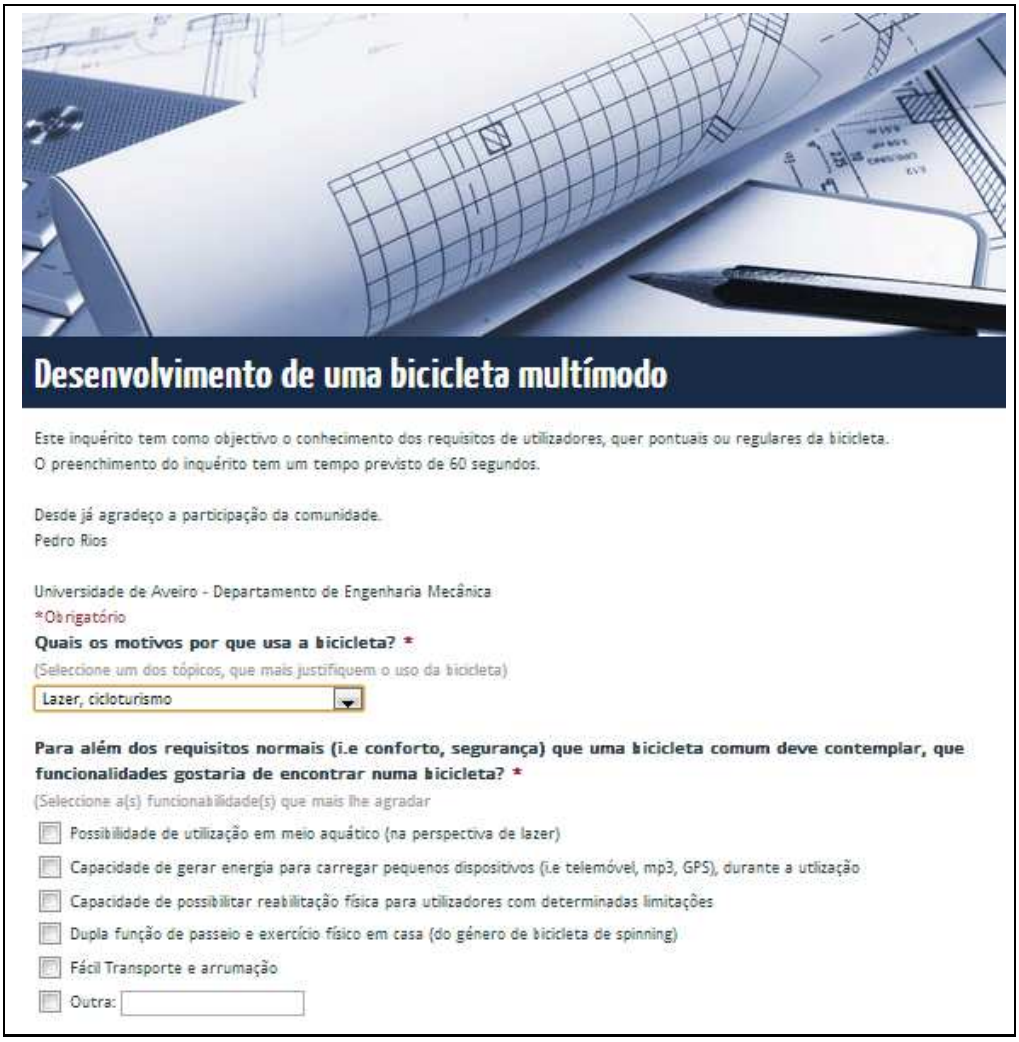
B.1 Primeiro Questionário

Tabela B.1: Resumo de respostas obtidas no primeiro questionário, referentes à primeira questão.

Motivos pelos quais utiliza a bicicleta:	**Nº de respostas:**
Manutenção física	19
Ciclismo de estrada	29
Prática de BTT	5
Lazer, cicloturismo	25
Como meio de transporte no quotidiano	6
Total	**84**

Tabela B.2: Resumo de respostas obtidas no primeiro questionário, referentes à segunda questão.

Funcionalidades que gostaria de encontrar numa bicicleta:	**Manutenção física**	**Ciclismo de estrada**	**Gosto pela prática de btt**	**Lazer, cicloturismo**	**Como meio de transporte no quotidiano**	**Total:**
Capacidade para gerar energia, para carregar pequenos dispositivos durante a sua utilização	6	14	2	12	3	**37**
Dupla função de passeio e exercício físico em casa	11	17	4	13	3	**48**
Fácil transporte e arrumação	2	1	0	2	2	**7**
Capacidade de possibilitar reabilitação física a utilizadores, com determinadas limitações	5	10	1	7	3	**26**
Possibilidade de utilização em meio aquático (na perspectiva de lazer)	1	1	0	2	0	**4**
Total:	**25**	**43**	**7**	**36**	**11**	



Desenvolvimento de uma bicicleta multímodo

Este inquérito tem como objectivo o conhecimento dos requisitos de utilizadores, quer pontuais ou regulares da bicicleta.
O preenchimento do inquérito tem um tempo previsto de 60 segundos.

Desde já agradeço a participação da comunidade.
Pedro Rios

Universidade de Aveiro - Departamento de Engenharia Mecânica
*Obrigatório

Quais os motivos por que usa a bicicleta? *

(Seleccione um dos tópicos, que mais justifiquem o uso da bicicleta)

Lazer, cicloturismo

Para além dos requisitos normais (i.e conforto, segurança) que uma bicicleta comum deve contemplar, que funcionalidades gostaria de encontrar numa bicicleta? *

(Seleccione a(s) funcionabilidade(s) que mais lhe agradar

- [ ] Possibilidade de utilização em meio aquático (na perspectiva de lazer)
- [ ] Capacidade de gerar energia para carregar pequenos dispositivos (i.e telemóvel, mp3, GPS), durante a utlização
- [ ] Capacidade de possibilitar reabilitação física para utilizadores com determinadas limitações
- [ ] Dupla função de passeio e exercício físico em casa (do género de bicicleta de spinning)
- [ ] Fácil Transporte e arrumação
- [ ] Outra:

Figura B.1: *Layout* do primeiro questionário realizado.
`https://docs.google.com/spreadsheet/viewform?formkey=dDdwbnlrRnhWN2JLTjFPNnNXNOw2NkE6MQ`

B.2 Segundo Questionário

Projecto e Desenvolvimento de uma bicicleta multímodo

Este inquérito tem objectivo o conhecimento das necessidades dos utilizadores, quer pontuais ou regulares, de bicicleta.
O preenchimento do inquérito tem uma duração prevista de 3 minutos.

Desde já agradeço a participação de toda a comunidade.
(Um principal abraço à comunidade do Fórum Ciclismo);

Pedro Rios

Universidade de Aveiro
Departamento de Engenharia Mecânica.
*Obrigatório

Que factores consideraria na compra de uma bicicleta, e quanto estaria disposto a pagar por uma ?
(Exemplo de Resposta: Bom amortecimento vibratório, leveza, aspecto; 800€)

Que funções ou melhorias aplicava na sua bicicleta?
(Exemplo de Resposta: Sistema de iluminação)

Indique a sua idade e sexo. *
(Exemplo de Resposta: 22; Masculino)

Por favor indicar o nível de importância, numa escala de 1 (pouco importante) a 5 (muito importante), que atribuí para as seguintes características. *

	1	2	3	4	5
Durabilidade, robustez;					
Leveza, Conforto;					
Segurança, Fácil manutenção;					
Design apelativo, Arrumação fácil;					
Uso de materiais recicláveis;					
Baixo custo;					
Ajustável, Adaptável;					
Multi-uso (ex.Carregar dispositivos electrónicos);					

Figura B.2: *Layout* do segundo questionário realizado.
`https://docs.google.com/spreadsheet/viewform?formkey=dG5UcjhkN3I2UVp2QkJiZTlFVEpuekE6M%20Q`

Tabela B.3: Quadro das respostas obtidas no segundo questionário.

Período de análise: 1-24-2013, a 2-18-2013.			Por favor indicar o nível de importância, numa escala de 1 (pouco importante) a 5 (muito importante), que atribuí para as seguintes características:							
Que fatores consideraria na compra de uma bicicleta, e quanto estaria disposto a pagar por uma? *(⋆ Resposta Facultativa)*	**Que funções ou melhorias aplicava na sua bicicleta?** *(⋆ Resposta Facultativa)*	**Indique a sua idade e género:**	**Durabilidade, robustez;**	**Leveza, Conforto;**	**Segurança, Fácil manutenção;**	***Design* apelativo, Arrumação fácil;**	**Uso de materiais recicláveis;**	**Baixo custo;**	**Ajustável, Adaptável;**	**Multiuso (ex.Carregar dispositivos eletrónicos);**
Leveza, Durabilidade; 500 €;	Sistema de iluminação;	22, Masculino;	5	4	5	3	2	3	4	3
	Melhor transmissão, melhores rodas;	37, Masculino;	5	5	5	5	4	5	3	3
Desempenho, estética; 1500 €;	Rodas mais leves;	38, Masculino;	5	3	5	4	3	4	3	1
Design, robustez, sistema de amortecimento; 2000 €;	Marcha auxiliada por um motor elétrico;	24, Masculino;	5	5	4	5	1	5	4	3
Leveza; 300 €;	Iluminação sem recurso a baterias;	22, Masculino;	5	5	4	3	1	5	4	3
		22, Masculino;	1	2	2	2	4	3	2	2
Leveza e aspecto robustez	Leveza;	33, Masculino;	5	5	5	5	2	5	2	3
Segurança; 2500 €;	"ABS"	35, Masculino;	5	4	5	4	2	3	3	3
Bom amortecimento; 1000 €;	Amortecimento;	43, Masculino;	4	5	5	3	2	4	4	4
		41, Masculino;	3	4	3	5	1	3	4	1
Peso, estética; 700 €;	Sensor de potencia;	24, Masculino;	5	5	5	3	1	5	5	1
leveza, durabilidade; 3000 €;	Sistema de transmissão;	24, Masculino;	5	4	4	3	2	4	1	1
		21,Masculino;	5	5	3	5	1	3	4	1
Design, peso e rigidez;	Menos peso, mais rigidez;	21, Masculino;	4	5	3	5	2	2	3	1
Peso, fiabilidade; 2000 €;	Sistema de iluminação;	23, Masculino;	5	4	3	2	1	2	1	1
Material usado, estética; 3000 €;	Rodas em carbono;	32, Masculino;	4	5	4	2	1	5	3	1
Qualidade dos componentes, *Design*, peso e preço; 600 €;	Conta *km*, pulsómetro e iluminação;	42, Masculino;	4	3	4	4	3	4	3	3
Modernidade ; conforto e eficácia; 2500 €;	11 velocidades;	46, Masculino;	5	5	3	4	5	3	3	3
Rigidez do quadro /peso, até 4000 €;	Sistema de iluminação lateral/rodas;	40, Masculino;	5	5	5	2	1	5	3	4
Quadro, "Groupset"	Rodas;	22, Masculino;	5	5	5	4	3	4	4	1
Boa relação qualidade/preço, conforto; 1500 €;	Iluminação, rodas, pedais;	30, Masculino;	4	5	4	3	3	4	5	5
Aspecto; Valor depende do equipamento entre 2000 a 3000 €;	Luzes;	28, Masculino;	5	4	5	5	1	5	5	4
Conforto		60, Masculino;	3	5	4	3	2	3	2	1
Relação preço componentes; 1000 €;	"GroupSet"	36, Masculino	4	4	3	3	2	3	2	2
Conforto, eficácia de pedalada; 3500 €;	Quadro e forqueta mais leve;	29, Masculino;	5	5	5	3	3	4	4	2
			5	5	5	5	1	5	5	5
Leitura de terreno; 1200 €;	Rodas;	23, Masculino;	4	3	4	4	2	5	3	2
Equipamento, peso, aspecto; 1000 €;	melhoria de equipamento e por consequência maior leveza;	23, Masculino;	4	5	5	4	4	4	4	4
Garantir que está disponível quando é precisa, pouca manutenção e avarias. 4000 €;	Rodas, capacidade de carga vs. estabilidade para usar no dia-a-dia;	24, Masculino;	4	2	3	4	1	2	3	3
O preço é sempre muito subjetivo, pois depende sempre do equipamento pretendido. Os fatores, sempre a qualidade e resistência dos materiais.	Rodas/pneus, pois é por aqui que começa a segurança e todas as "pancadas";	47, Masculino;	5	3	5	4	5	5	2	3
Leveza, pneus, sistema de mudanças; 2500 €;	Rodas;	29, Feminino;	5	5	5	5	2	3	2	2
Equipamento 2000 €;	Melhor quadro;	51, Masculino ;	5	5	5	5	4	5	1	1
Peso, rigidez, componentes, estética; 2.500 €;	Travões;	31, Masculino;	5	5	3	3	3	3	1	1
Leveza e preço;	Transmissão;	14, Masculino;	4	5	4	3	3	4	2	2
Aspecto, rigidez; 3000 €;	Anti-furo;	29, Masculino;	5	5	2	5	3	1	3	4
Qualidade, conforto	Travões;	44, Masculino;	4 5	4	3	2	1	4	2	
Relação Qualidade/Preço	Aerodinâmica;	23, Masculino;	5	5	5	5	1	4	1	1
Leveza, aspecto, acabamento e robustez; 900 €;	Sistema de iluminação;	30, Masculino;	4	2	4	4	2	3	4	1

N^0 de respostas	**Durabilidade, robustez;**	**Leveza, Conforto;**	**Segurança, Fácil manutenção;**	***Design* apelativo, Arrumação fácil;**	**Uso de materiais recicláveis;**	**Baixo custo;**	**Ajustável, Adaptável;**	**Multiuso (ex.Carregar dispositivos eletrónicos);**
Ranking 5	23	24	17	12	2	12	4	2
Ranking 4	7	7	11	10	4	10	11	5
Ranking 3	4	4	8	12	8	11	11	10
Ranking 2	2	2	2	4	12	3	7	7
Ranking 1	1	1	0	0	12	2	5	14

Apêndice C

Logótipo - Versões Alternativas

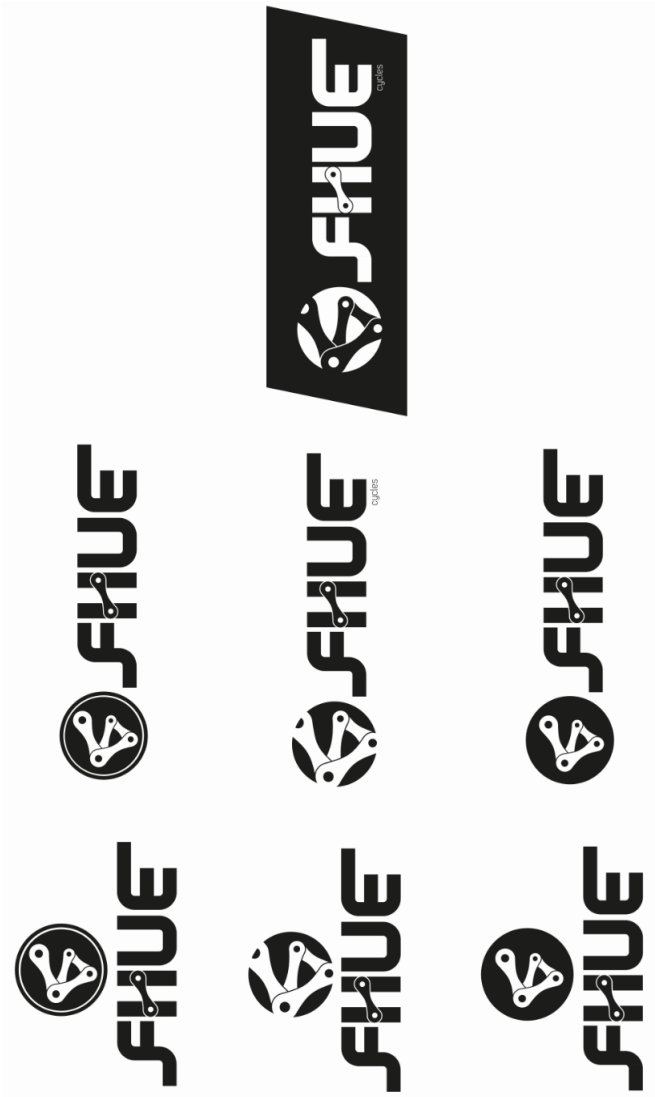


Figura C.1: Versões alternativas do logótipo criado.

Apêndice D

Matriz QFD

Primeira Matriz da Qualidade (casa da qualidade)

Correlação entre requisitos de cliente e de produto		
◉	Forte	9
⬭	Moderado	3
△	Fraco	1

Correlação	
+ +	Posit. Forte
+	Posit. Fraco
	Inexistente
-	Neg. Fraca
- -	Neg. Forte

Direcionador de melhoria	
⬭	não importa a variação do valor
▲	quanto maior o valor melhor
▼	quanto menor o valor melhor

As células marcadas dessa cor são calculadas automaticamente

	Altura do selim	Comprimento do quadro	Altura do selim	Distância entre o centro da transmissão e a roda dianteira	Distância entre o centro da transmissão e a roda traseira	Inclinação do tubo do selim	Recuo do selim	Comprimento da pedaleira	Comprimento do guiador	Desnível entre o guiador e o assento	Distância entre o centro da transmissão e o solo	Ângulo de topo da direção	Nº de velocidades (rel. Transmissão)	Diâmetro das rodas	Rigidez do quadro	Curso da suspensão	Nº de manutenções	Potência necessária	Nº de dispositivos de iluminação	Dimensões máximas dos dispositivos eletrónicos	Peso da bicicleta	Peso máximo do condutor	Peso máximo da bagagem a transportar	Volume máximo da bagagem a transportar	Preço de aquisição de cada unidade	Escala de *design* da bicicleta
Altura do quadro																										
Comprimento do quadro																										
Altura do selim	+ +																									
Distância entre o centro da transmissão e a roda dianteira		+ +																								
Distância entre o centro da transmissão e a roda traseira																										
Inclinação do tubo do selim																										
Recuo do selim	+		+ +			+ +																				
Comprimento da pedaleira																										
Comprimento do guiador																										
Desnível entre o guiador e o assento	- -					-																				
Distância entre o centro da transmissão e o solo							+	-																		
Ângulo de topo da direção																										
Nº de velocidades (rel. Transmissão)					+																					
Diâmetro das rodas				+	+								+	+												
Rigidez do quadro																										
Curso da suspensão															+ +											
Nº de manutenções																										
Potência necessária																										
Nº de dispositivos de iluminação																			-	- -						
Dimensões máximas dos dispositivos eletrónicos																				-						
Peso da bicicleta	-	-		-	-										-	+ +					-					
Peso máximo do condutor																		-								
Peso máximo da bagagem a transportar																	+									
Volume máximo da bagagem a transportar																								- -		
Preço de aquisição de cada unidade													- -	-	- -	-	- -		-	- -	- -					
Escala de *design* da bicicleta														+					+	-	-				-	
Direcionador de melhoria >>>>	⬭	⬭	⬭	⬭	⬭	⬭	⬭	⬭	⬭	⬭	▼	⬭	▲	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▼	▲	▲	▲	▼	▲

RC: Requisitos do Cliente			Altura do quadro	Comprimento do quadro	Altura do selim	Distância entre o centro da transmissão e a roda dianteira	Distância entre o centro da transmissão e a roda traseira	Inclinação do tubo do selim	Recuo do selim	Comprimento da pedaleira	Comprimento do guiador	Desnível entre o guiador e o assento	Distância entre o centro da transmissão e o solo	Ângulo de topo da direção	Nº de velocidades (rel. Transmissão)	Diâmetro das rodas	Rigidez do quadro	Curso da suspensão	Nº de manutenções	Potência necessária	Nº de dispositivos de iluminação	Dimensões máximas dos dispositivos eletrónicos	Peso da bicicleta	Peso máximo do condutor	Peso máximo da bagagem a transportar	Volume máximo da bagagem a transportar	Preço de aquisição de cada unidade	Escala de *design* da bicicleta	Cliente	Kano (interno)	Grau de importância (geral)	Benchmarking de Mercado: Nosso Produto	Órbita (Strada 26 ")	Smart ebike	Bmw (Touring 2012)	Specialized (Expedition)	Sport Zone (Strom 5,0)	Plano	Índice de melhoria	Argumento de vendas	Peso absoluto	Peso relativo
	Conforto, desempenho e segurança	Amortecimento vibratório																	△ 1	◉ 9					⬭ 3	⬭ 3			⬭ 3		1	L	1	2	1	1	2	4	1	2	1,00	1,00	1,00	1,52
		Configuração ergonómica	◉ 9	◉ 9	◉ 9	△ 1	△ 1	◉ 9	◉ 9	△ 1	◉ 9	◉ 9				△ 1															3	O	3	4	3	4	3	3	5	3	0,75	1,00	2,25	3,43
		Fácil armazenamento e transporte	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3				⬭ 3					9							⬭ 9							1	L	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	1,00	1,00	1,52
		Segurança do usuário	◉ 9	◉ 9	◉ 9	3	3					◉ 9	⬭ 3	⬭ 3			⬭ 3	△ 1			◉ 9									5	O	5	4	3	4	4	2	4	4	1,00	1,20	6,00	9,15
		Robustez															9						⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3	◉ 9	⬭ 3		5	O	4	3	4	4	4	3	5	3	1,00	1,00	4,00	6,10
		Pouca manutenção												△ 1					◉ 9				⬭ 3	⬭ 3			△ 3			3	O	3	4	3	5	3	3	4	4	1,00	1,50	4,50	6,86
		Peso reduzido	△ 1	△ 1	△ 1	△ 1	△ 1										◉ 9						◉ 9	◉ 9			◉ 9	⬭ 3		3	O	3	3	3	1	3	3	1	3	1,00	1,00	3,00	4,57
		Eficiência/Performance	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3			⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3	◉ 3	◉ 9	◉ 9	⬭ 3		⬭ 3				◉ 9	◉ 9	⬭ 3	⬭ 3				4	O	3	3	3	5	3	3	3	3	1,00	1,00	3,00	4,57
		Fácil Utilização	⬭ 3	⬭ 3	◉ 9								⬭ 3										⬭ 3		△ 1	△ 1				2	L	3	3	3	4	3	1	3	3	1,00	1,00	3,00	4,57
	Versatilidade	Multiuso (utilização dinâmica e *indoor*)	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3		◉ 9	◉ 9	◉ 9				△ 1							◉ 9	◉ 9			◉ 9	⬭ 3		5	E	5	4	1	1	1	1	1	5	1,25	1,50	9,38	14,29
		Multifunção (carregar dispositivos eletrónicos)																		◉ 9		◉ 9					⬭ 9	△ 1		5	E	5	4	1	4	1	1	1	5	1,25	1,50	9,38	14,29
		Adaptável a usuários c/ limitações físicas	◉ 9	◉ 9	◉ 9	△ 1	△ 1	⬭ 3	⬭ 3		⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3		⬭ 3	⬭ 3							⬭ 3				⬭ 3			4	E	5	3	2	3	3	3	3	3	1,00	1,00	5,00	7,62
		Adaptável/Ajustável	⬭ 3	⬭ 3	◉ 9	⬭ 3	⬭ 3	△ 1	⬭ 3														⬭ 3	△ 1						2	L	2	3	2	2	3	3	4	3	1,00	1,00	2,00	3,05
		Transporte de objetos																							◉ 9	◉ 9	⬭ 3	△ 1		2	L	3	4	4	3	3	3	1	3	0,75	1,20	2,70	4,12
	Aparência	*Design*/ Aspeto apelativo	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3				⬭ 3	⬭ 3	⬭ 3			◉ 9	△ 1					△ 1					⬭ 3	◉ 9		3	O	4	3	3	5	5	3	3	4	1,33	1,20	6,40	9,76
	Custo	Preço acessível													⬭ 3		⬭ 3		△ 1	△ 1		◉ 3	◉ 9				◉ 9	⬭ 3		4	L	3	3	5	1	3	4	4	3	1,00	1,00	3,00	4,57
		Grau de importância (req. produto)	299,7	299,7	345,4	142,6	142,6	99,66	105,8	17,15	229,9	307,7	221,9	54,88	84,6	183,3	162,2	22,87	80,03	133,2	82,32	152,1	355	257,4	73,63	73,63	484,1	194,8	4606,059														65,60	100,00
		Percentual	6,5	6,5	7,5	3,1	3,1	2,2	2,3	0,4	5,0	6,7	4,8	1,2	1,8	4,0	3,5	0,5	1,7	2,9	1,8	3,3	7,7	5,6	1,6	1,6	10,5	4,2	100															
		Unidade	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	graus	unidade	*in*	*GPa*	mm	unidade	*W*	unidade	mm	kg	kg	kg	cm3	€	1-10															

Benchmarking de Mercado	Altura do quadro	Comprimento do quadro	Altura do selim	Distância entre o centro da transmissão e a roda dianteira	Distância entre o centro da transmissão e a roda traseira	Inclinação do tubo do selim	Recuo do selim	Comprimento da pedaleira	Comprimento do guiador	Desnível entre o guiador e o assento	Distância entre o centro da transmissão e o solo	Ângulo de topo da direção	Nº de velocidades (rel. Transmissão)	Diâmetro das rodas	Rigidez do quadro	Curso da suspensão	Nº de manutenções	Potência necessária	Nº de dispositivos de iluminação	Dimensões máximas dos dispositivos eletrónicos	Peso da bicicleta	Peso máximo do condutor	Peso máximo da bagagem a transportar	Volume máximo da bagagem a transportar	Preço de aquisição de cada unidade	Escala de *design* da bicicleta
Órbita (Strada 26 ")	-	457	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	26	200	-	-	-	-	-	19,7	-	-	-	239	6
Smart ebike (M)	560	572	-	500	500	-	-	-	-	-	288	-	3	26	70	-	-	-	2	124x59	26	95	20	-	3000	10
Bmw (Touring 2012) (M)	460	460	-	-	-	-	-	170	580	-	-	-	27	22	70	75	-	-	2	-	16,3	-	-	-	1299	8
Specialized (Expedition) (M)	425	625	-	569	569	-	-	170	-	-	-	68,5	21	26	70	63	-	-	-	-	-	-	-	-	539	7
Sport Zone (Strom 5,0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38,7	110	-	-	299	4

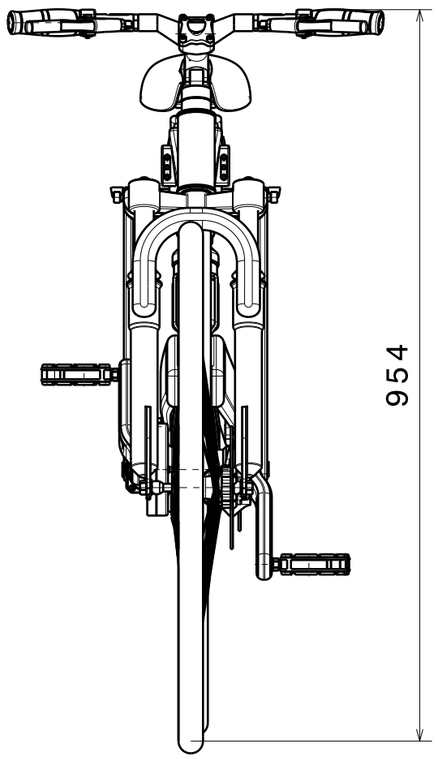
M - Tamanho médio do quadro;

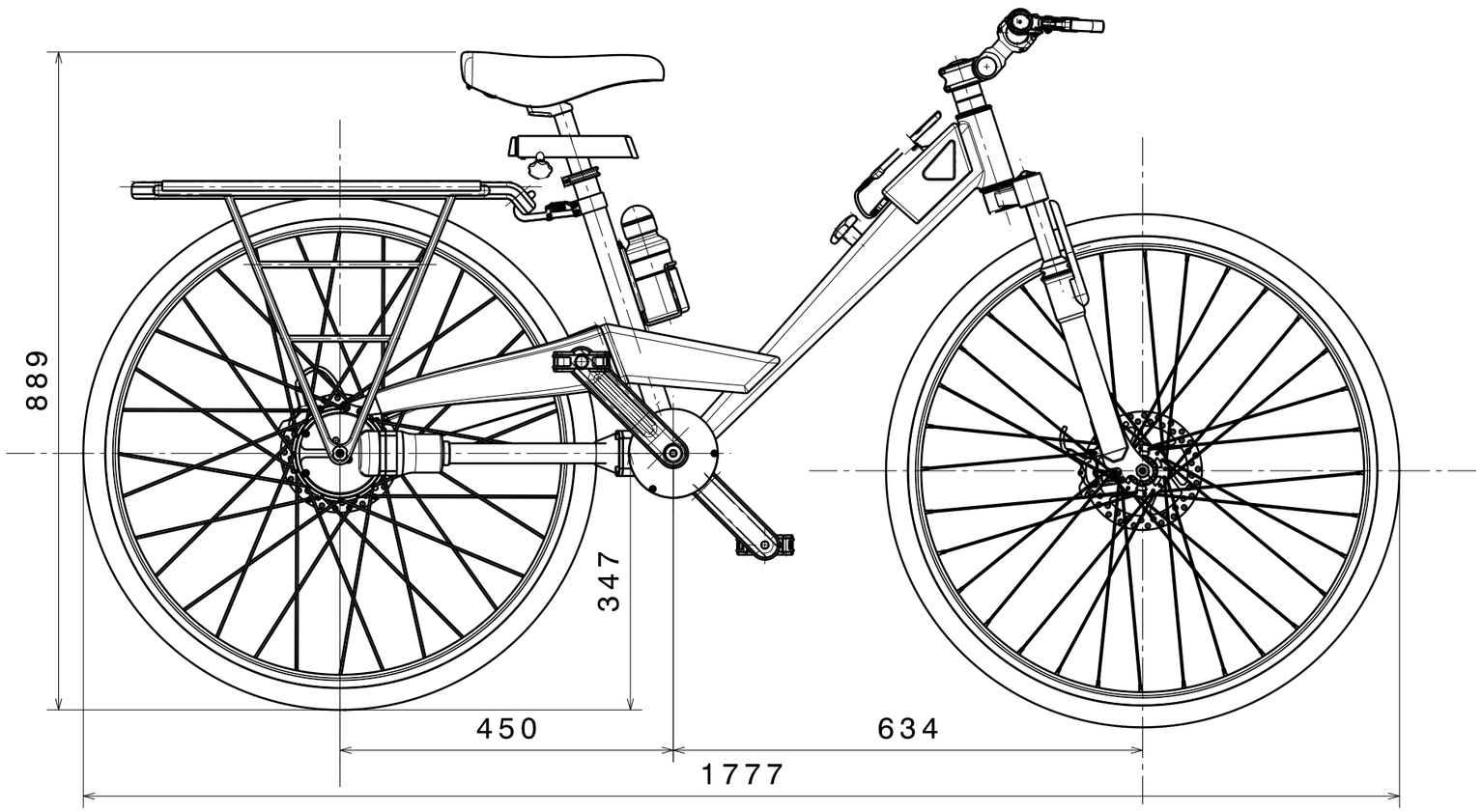
RP: Requisitos do Produto (Qualidade Projetada / Características Técnicas do Produto)

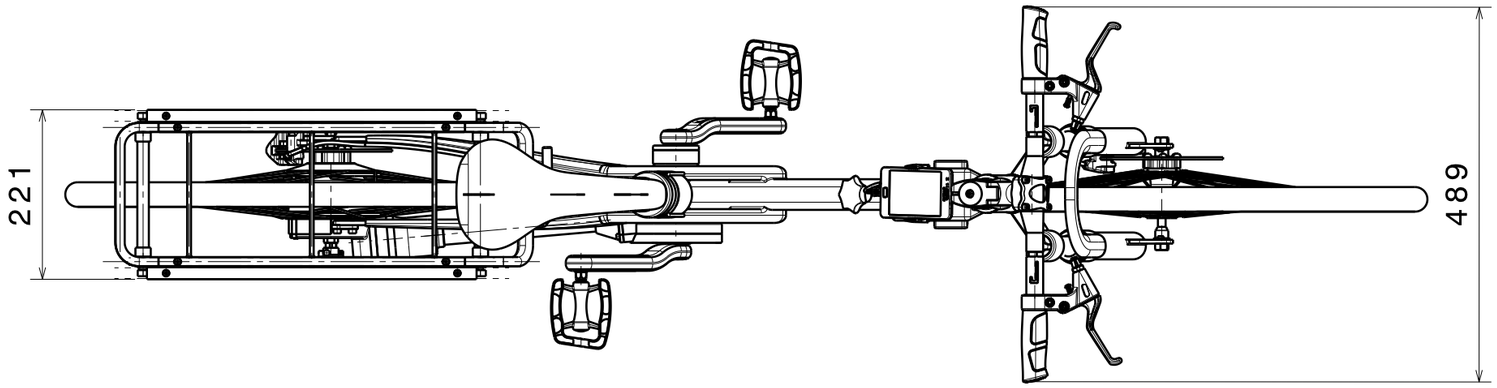
Escala Likert	1	2	3	4	5
Critério de Kano	L	O	E		
Argumento de venda	1	1,2	1,5		

Apêndice E

Desenhos de Conjunto



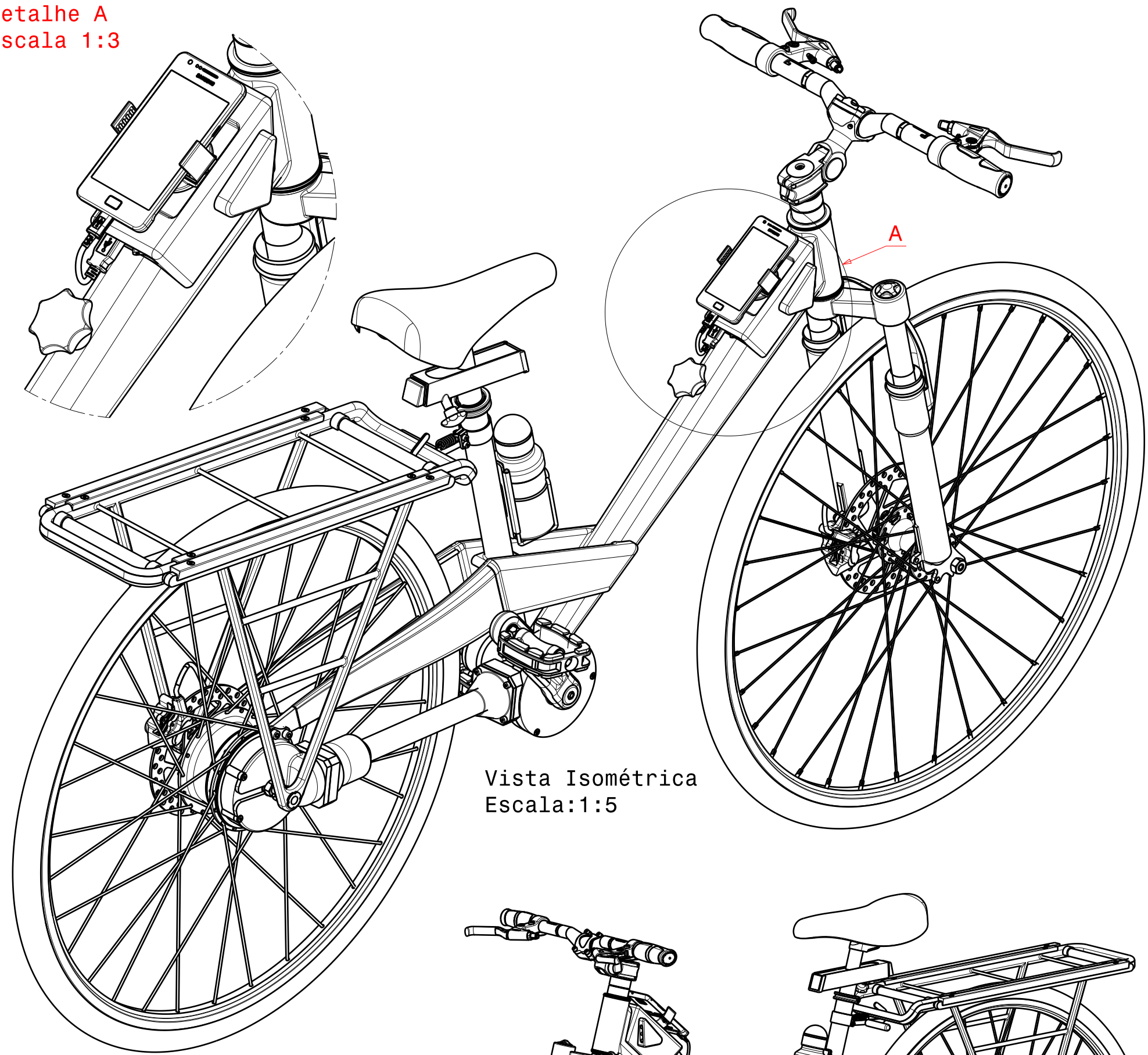




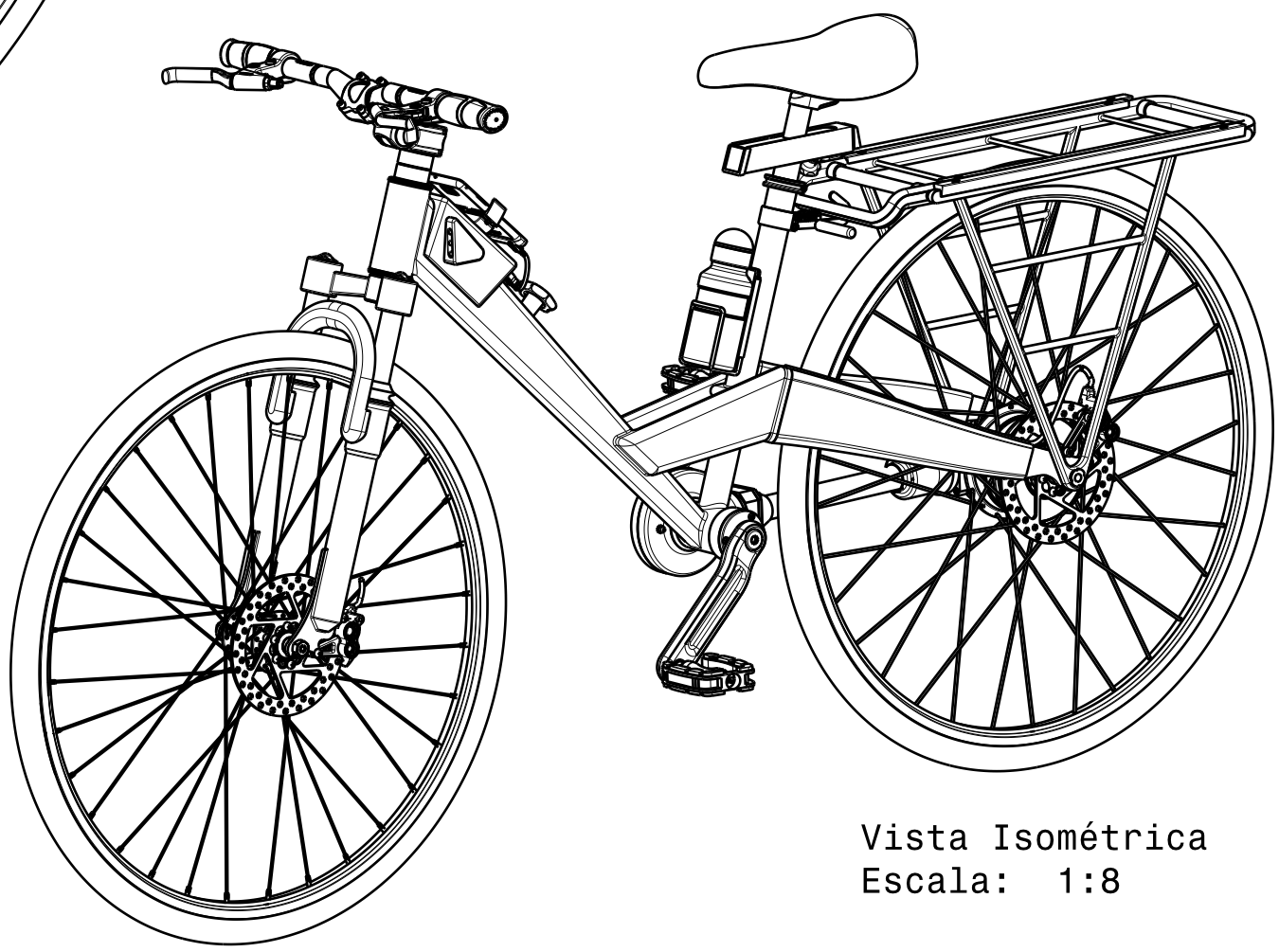
DESIGNED BY: Pedro Rios		FHUE cycles	
Material: -			
SIZE A3		Bicicleta Fhue	
Escala 1:6	Peso (kg) -	Código Desenho: CONOB001	SHEET 1/2
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

Detalhe A
Escala 1:3



Vista Isométrica
Escala:1:5



Vista Isométrica
Escala: 1:8

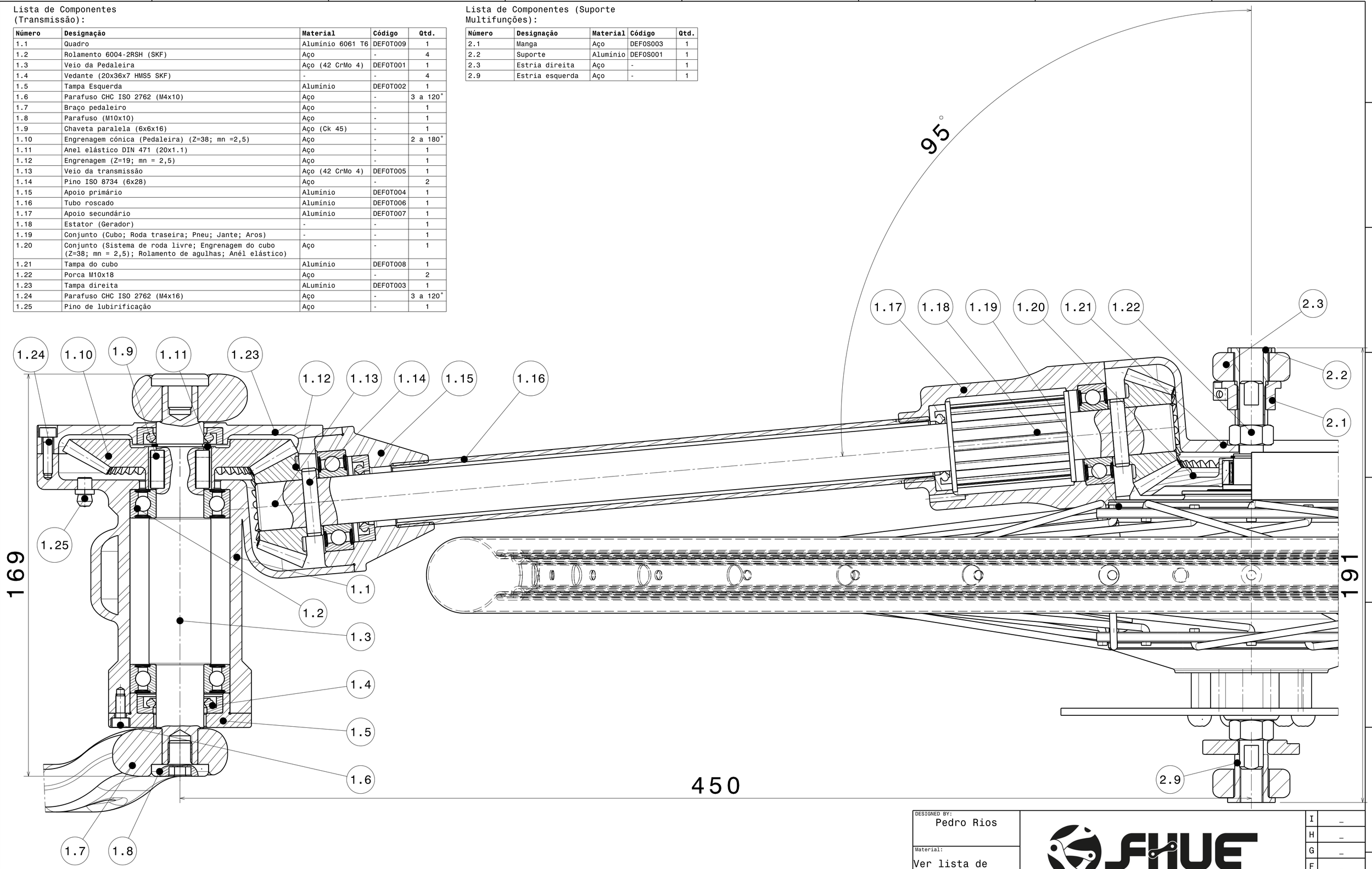
DESIGNED BY: Pedro Rios	FHUE cycles			I _
Material: -				H _
				G _
				F _
				E _
SIZE A3	Bicicleta Fhue			D _
				C _
Escala 1:6	Peso (kg) -	Código Desenho: CONOB002	SHEET 2/2	B _
Dissertação de Mestrado Pedro Rios				A _

Lista de Componentes (Transmissão):

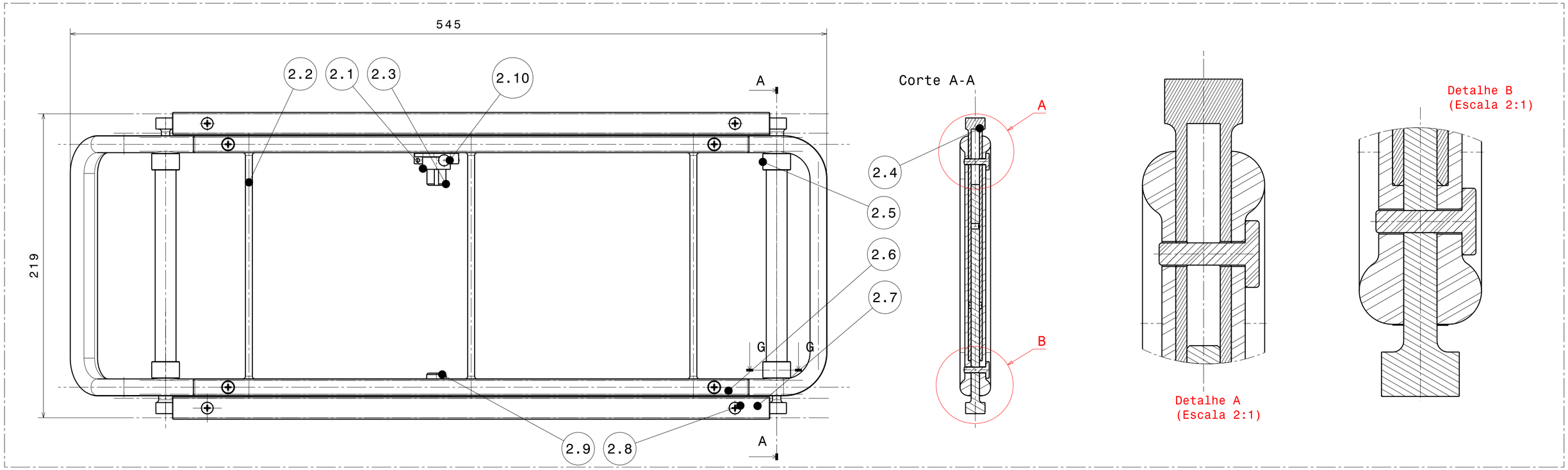
Número	Designação	Material	Código	Qtd.
1.1	Quadro	Alumínio 6061 T6	DEFOT009	1
1.2	Rolamento 6004-2RSH (SKF)	Aço	-	4
1.3	Veio da Pedaleira	Aço (42 CrMo 4)	DEFOT001	1
1.4	Vedante (20x36x7 HMS5 SKF)	-	-	4
1.5	Tampa Esquerda	Alumínio	DEFOT002	1
1.6	Parafuso CHC ISO 2762 (M4x10)	Aço	-	3 a 120°
1.7	Braço pedaleiro	Aço	-	1
1.8	Parafuso (M10x10)	Aço	-	1
1.9	Chaveta paralela (6x6x16)	Aço (Ck 45)	-	1
1.10	Engrenagem cónica (Pedaleira) (Z=38; mn =2,5)	Aço	-	2 a 180°
1.11	Anel elástico DIN 471 (20x1.1)	Aço	-	1
1.12	Engrenagem (Z=19; mn = 2,5)	Aço	-	1
1.13	Veio da transmissão	Aço (42 CrMo 4)	DEFOT005	1
1.14	Pino ISO 8734 (6x28)	Aço	-	2
1.15	Apoio primário	Alumínio	DEFOT004	1
1.16	Tubo roscado	Alumínio	DEFOT006	1
1.17	Apoio secundário	Alumínio	DEFOT007	1
1.18	Estator (Gerador)	-	-	1
1.19	Conjunto (Cubo; Roda traseira; Pneu; Jante; Aros)	-	-	1
1.20	Conjunto (Sistema de roda livre; Engrenagem do cubo (Z=38; mn = 2,5); Rolamento de agulhas; Anél elástico)	Aço	-	1
1.21	Tampa do cubo	Alumínio	DEFOT008	1
1.22	Porca M10x18	Aço	-	2
1.23	Tampa direita	ALumínio	DEFOT003	1
1.24	Parafuso CHC ISO 2762 (M4x16)	Aço	-	3 a 120°
1.25	Pino de lubirificação	Aço	-	1

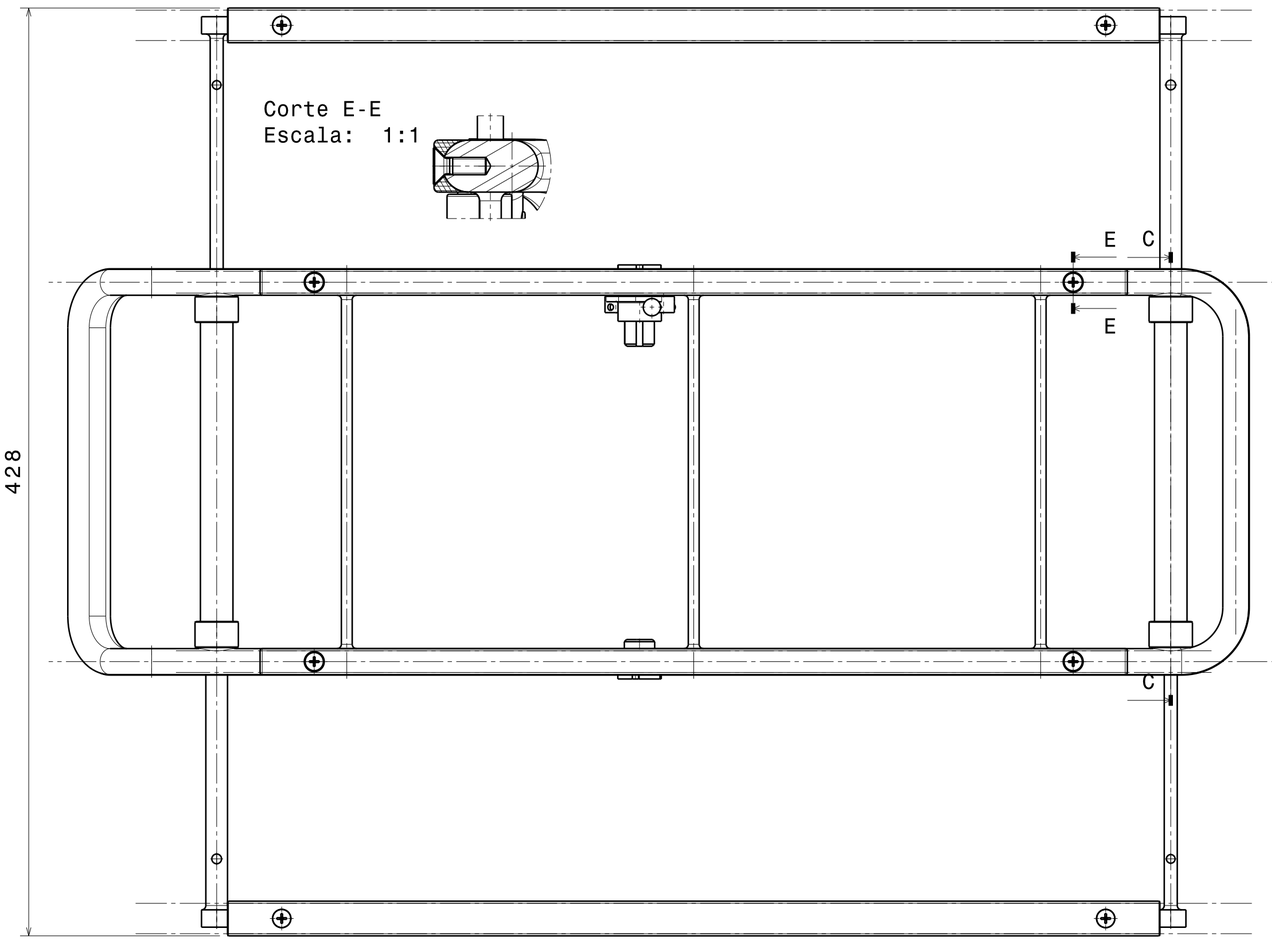
Lista de Componentes (Suporte Multifunções):

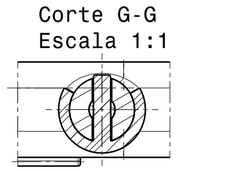
Número	Designação	Material	Código	Qtd.
2.1	Manga	Aço	DEFOS003	1
2.2	Suporte	Alumínio	DEFOS001	1
2.3	Estria direita	Aço	-	1
2.9	Estria esquerda	Aço	-	1

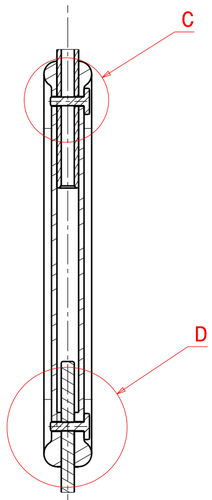


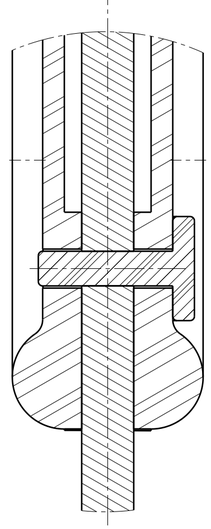
DESIGNED BY: Pedro Rios		FHUE cycles	
Material: Ver lista de Peças			
SIZE A2		Transmissão	
Escala 1:1	Peso (kg) -	Código Desenho: CONOT001	Sheet: 1/1
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			





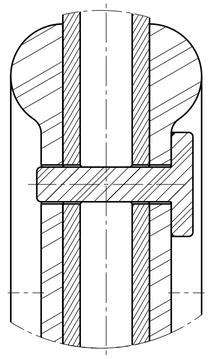




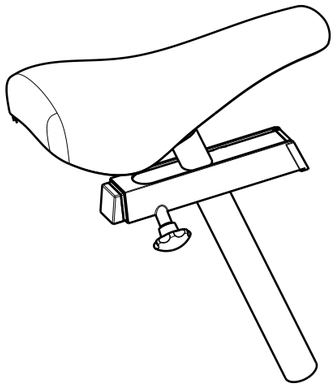


Lista de componentes (suporte multifunções):

Número	Designação	Material	Código	Qtd.
2.1	Manga	Aço	DEF0S003	1
2.2	Suporte	Alumínio	DEF0S001	1
2.3	Estria Direita	Aço	-	1
2.4	Guias	Aço	DEF0S002	2
2.5	Fixador	Plástico	-	4
2.6	Borracha Suporte	Borracha	-	2
2.7	Borracha Guias	Borracha	-	2
2.8	Parafuso ISO 7046 M4x12	Aço	-	6
2.9	Estria Esquerda	Aço	-	1
2.10	Pino	Aço	-	1

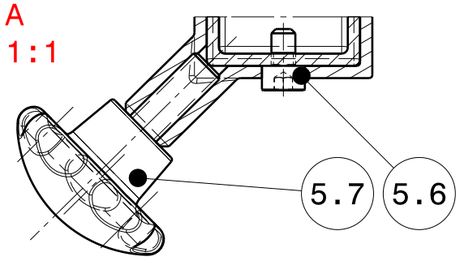


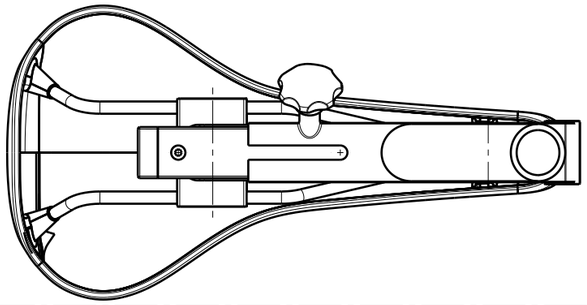
DESIGNED BY: Pedro Rios	FHUE cycles		
Material: Ver Lista de Peças			
SIZE A2	Suporte Multifunções		
Escala 1:2	Peso (kg) -	Código Desenho: CONOS001	SHEET 1/1
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			

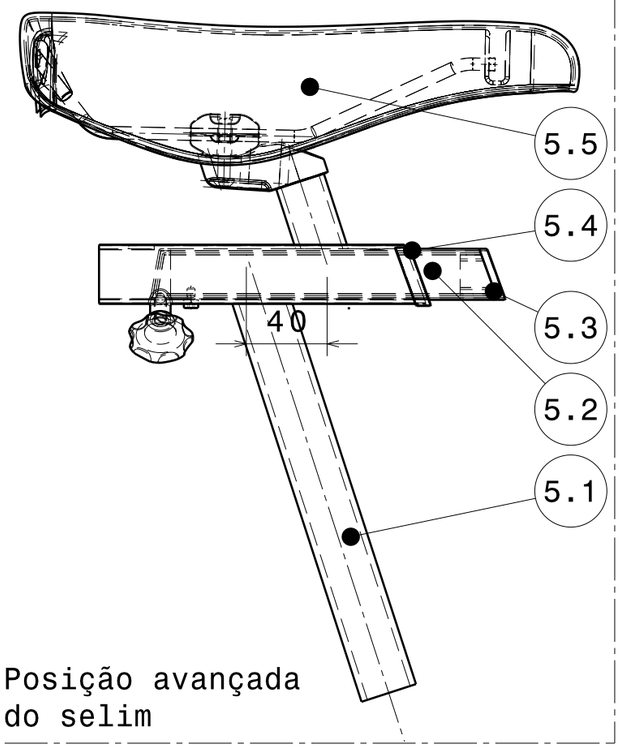


Vista Isométrica
Escala: 1:5

Detalhe A
Scale: 1:1

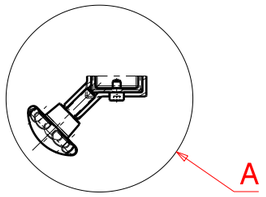


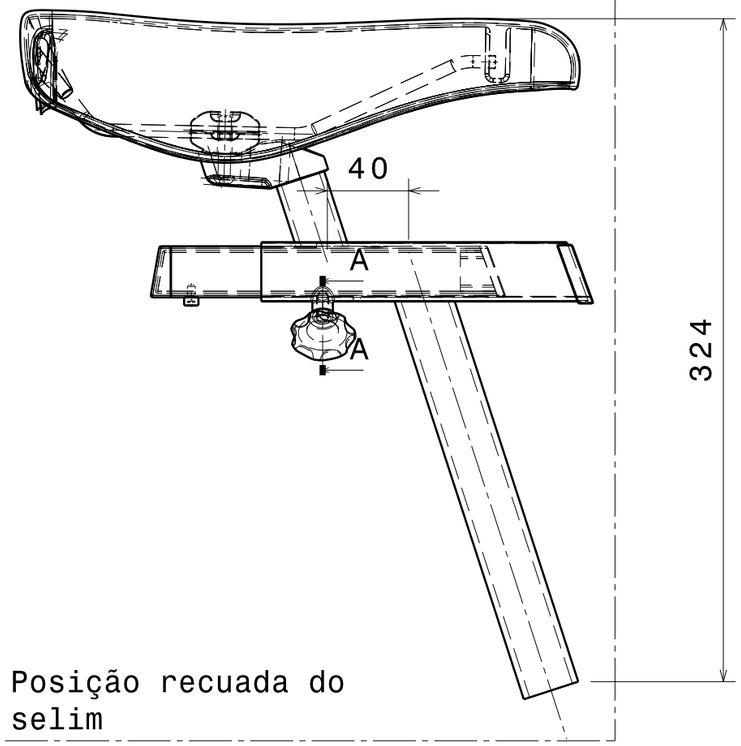




Posição avançada do selim

Corte A-A
Scale: 1:3





Posição recuada do selim

Lista de componentes (Assento):

Número	Designação	Material	Código	Qtd.
5.1	Tubo do selim	Aço	-	1
5.2	Tubo móvel	Aço	-	1
5.3	Tampa	Plástico	-	1
5.4	Borracha	Borracha	-	1
5.5	Assento	-	-	1
5.6	Parafuso ISO 7380 M6x30	Aço	-	1
5.7	Regulador (M6x30)	Aço	-	1

DESIGNED BY: Pedro Rios

Material: Ver lista de peças

SIZE: A3

Escala: 1:3

Peso (kg): -

Assento

Código Desenho: CON0A001

SHEET: 1/1

Dissertação de Mestrado Pedro Rios

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

Apêndice F

Desenhos de Montagem

Lista de Componentes
(Transmissão):

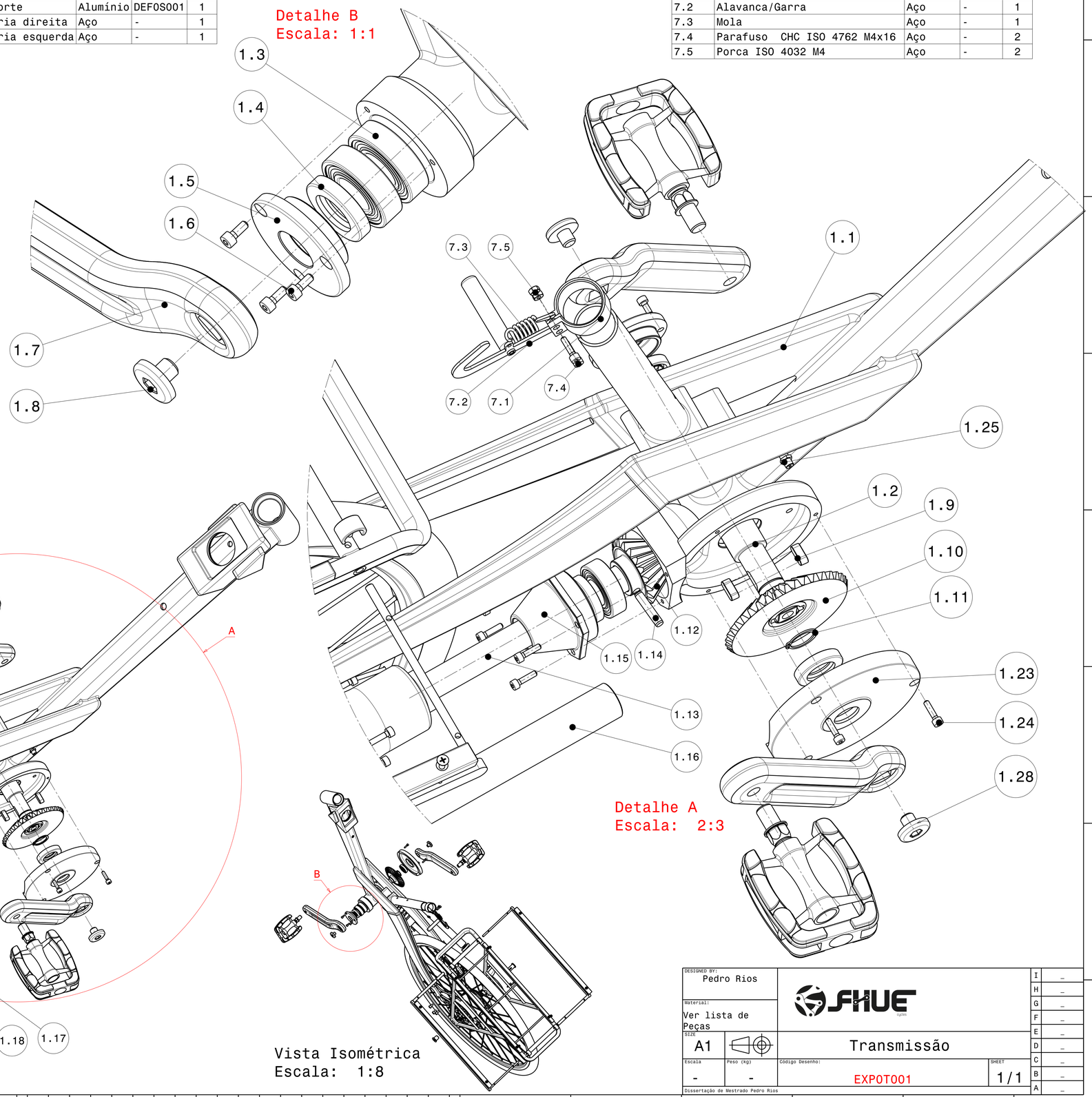
Número	Designação	Material	Código	Qtd.
1.1	Quadro	Alumínio 6061 T6	DEF0T009	1
1.2	Rolamento 6004-2RSH (SKF)	Aço	-	4
1.3	Veio da Pedaleira	Aço (42 CrMo 4)	DEF0T001	1
1.4	Vedante (20x36x7 HMS5 SKF)	-	-	4
1.5	Tampa Esquerda	Alumínio	DEF0T002	1
1.6	Parafuso CHC ISO 2762 (M4x10)	Aço	-	3 a 120°
1.7	Braço pedaleiro	Aço	-	1
1.8	Parafuso (M10x10)	Aço	-	1
1.9	Chaveta paralela (6x6x16)	Aço (Ck 45)	-	1
1.10	Engrenagem cónica (Pedaleira) (Z=38; mn =2,5)	Aço	-	2 a 180°
1.11	Anel elástico DIN 471 (20x1.1)	Aço	-	1
1.12	Engrenagem (Z=19; mn = 2,5)	Aço	-	1
1.13	Veio da transmissão	Aço (42 CrMo 4)	DEF0T005	1
1.14	Pino ISO 8734 (6x28)	Aço	-	2
1.15	Apoio primário	Alumínio	DEF0T004	1
1.16	Tubo roscado	Alumínio	DEF0T006	1
1.17	Apoio secundário	Alumínio	DEF0T007	1
1.18	Estator (Gerador)	-	-	1
1.19	Conjunto (Cubo; Roda traseira; Pneu; Jante; Aros)	-	-	1
1.20	Conjunto (Sistema de roda livre; Engrenagem do cubo (Z=38; mn = 2,5); Rolamento de agulhas; Anél elástico)	Aço	-	1
1.21	Tampa do cubo	Alumínio	DEF0T008	1
1.22	Porca M10x18	Aço	-	2
1.23	Tampa direita	ALumínio	DEF0T003	1
1.24	Parafuso CHC ISO 2762 (M4x16)	Aço	-	3 a 120°
1.25	Pino de lubirificação	Aço	-	1
1.26	Parafuso CHC ISO 4762 M4x16	Aço	-	8
1.27	Parafuso CHC ISO 4762 M6x12	Aço	-	2
1.28	Pedais	-	-	2

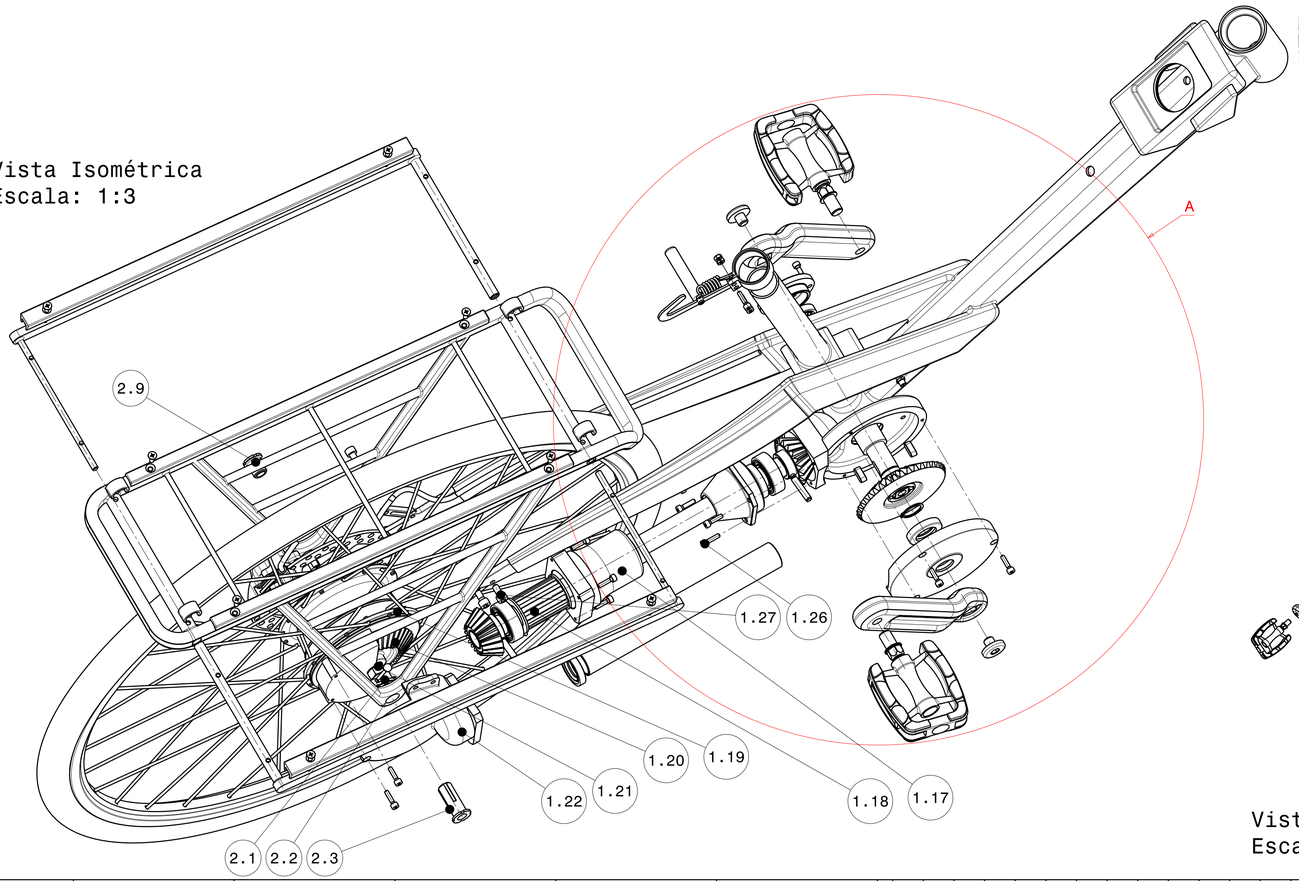
Lista de Componentes
(Suporte Multifunções):

Número	Designação	Material	Código	Qtd.
2.1	Manga	Aço	DEF0S003	1
2.2	Suporte	Alumínio	DEF0S001	1
2.3	Estria direita	Aço	-	1
2.9	Estria esquerda	Aço	-	1

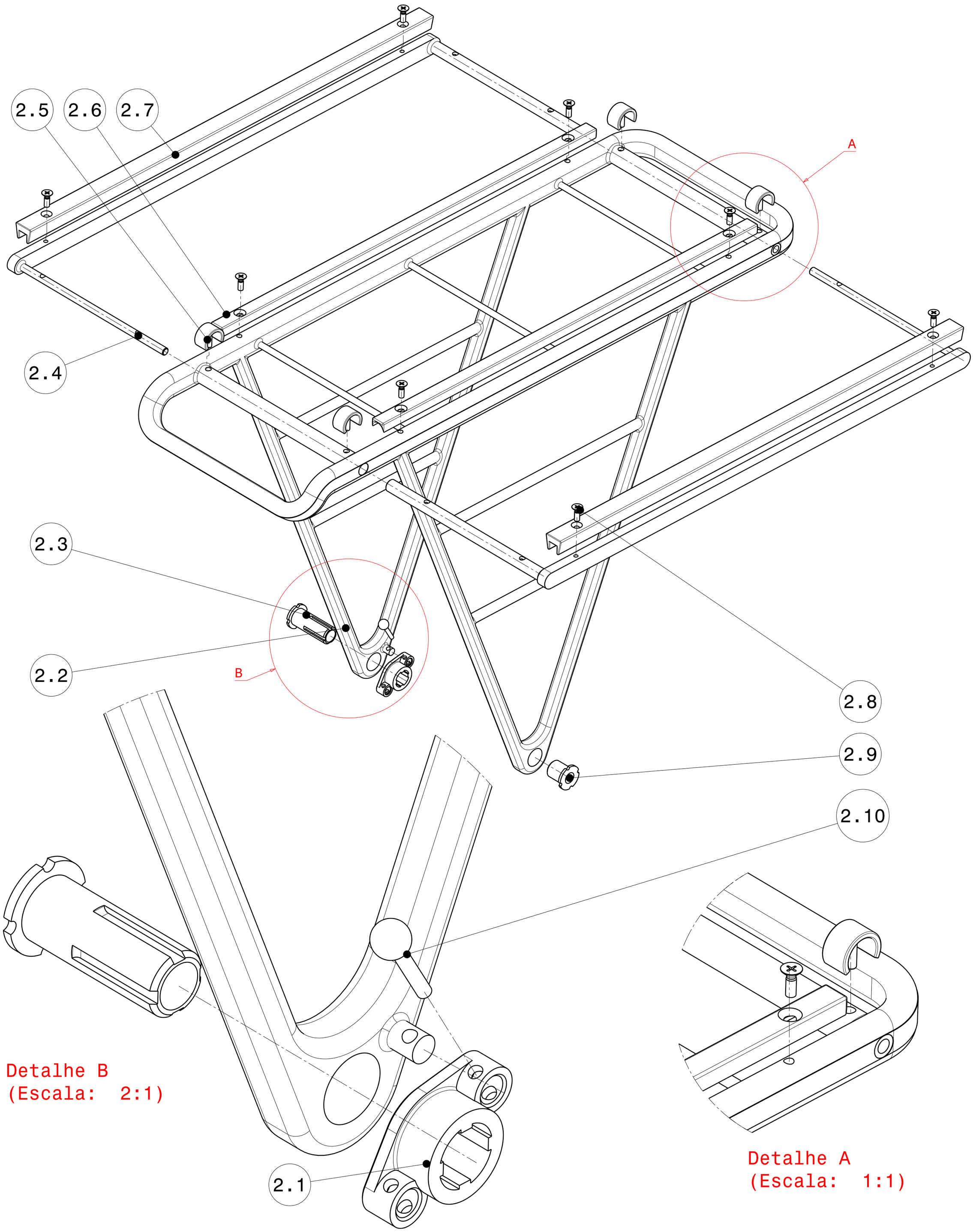
Lista de Componentes
(Sistema de Bloqueio):

Número	Designação	Material	Código	Qtd.
7.1	Suporte	Aço	-	1
7.2	Alavanca/Garra	Aço	-	1
7.3	Mola	Aço	-	1
7.4	Parafuso CHC ISO 4762 M4x16	Aço	-	2
7.5	Porca ISO 4032 M4	Aço	-	2





DESIGNED BY: Pedro Rios		
Material: Ver lista de Peças		
SIZE A1	Transmissão	
Escala -	Peso (kg) -	Código Desenho: EXP0T001
SHEET 1/1		
Dissertação de Mestrado Pedro Rios		



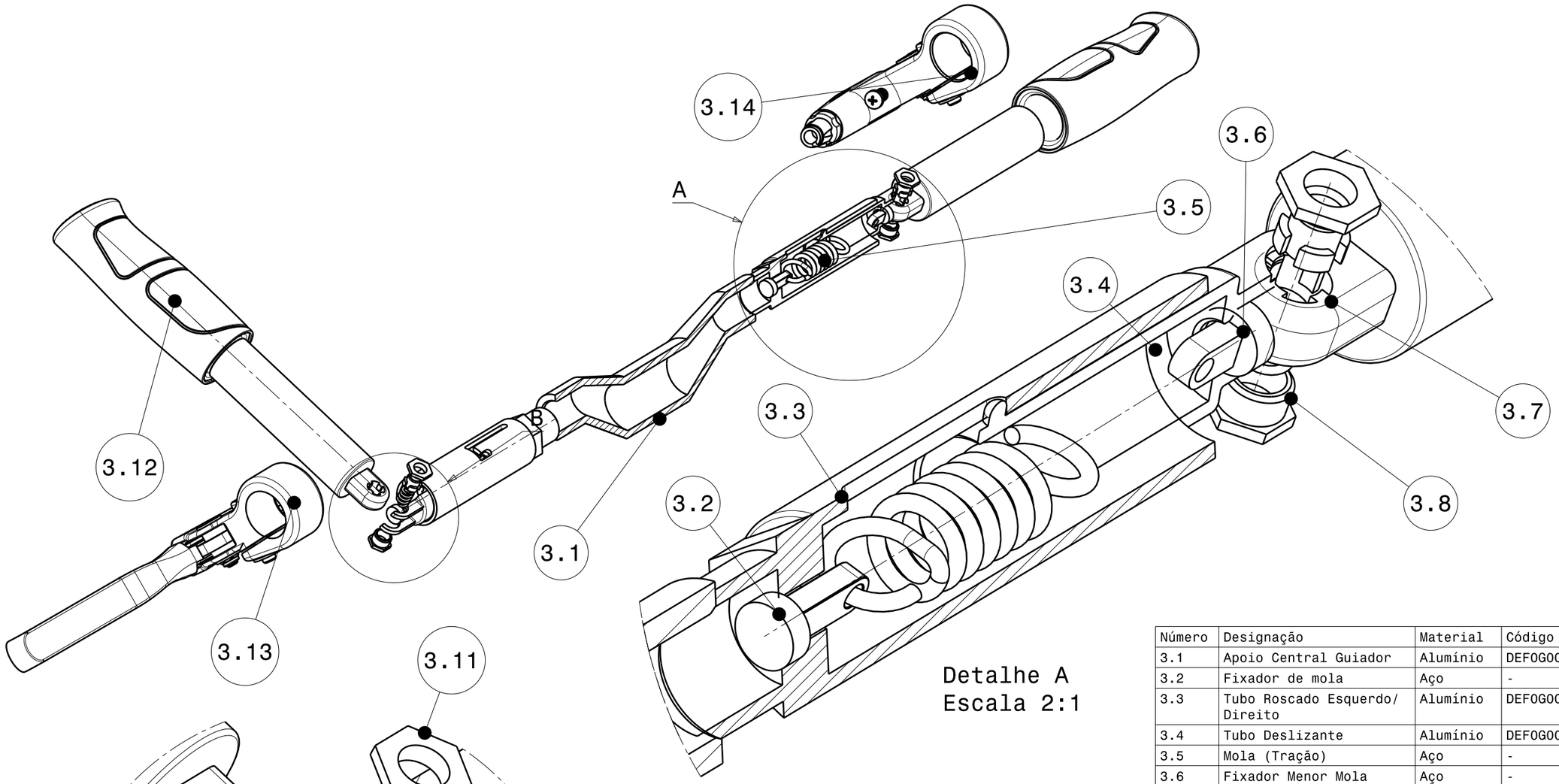
Detalhe B
(Escala: 2:1)

Detalhe A
(Escala: 1:1)

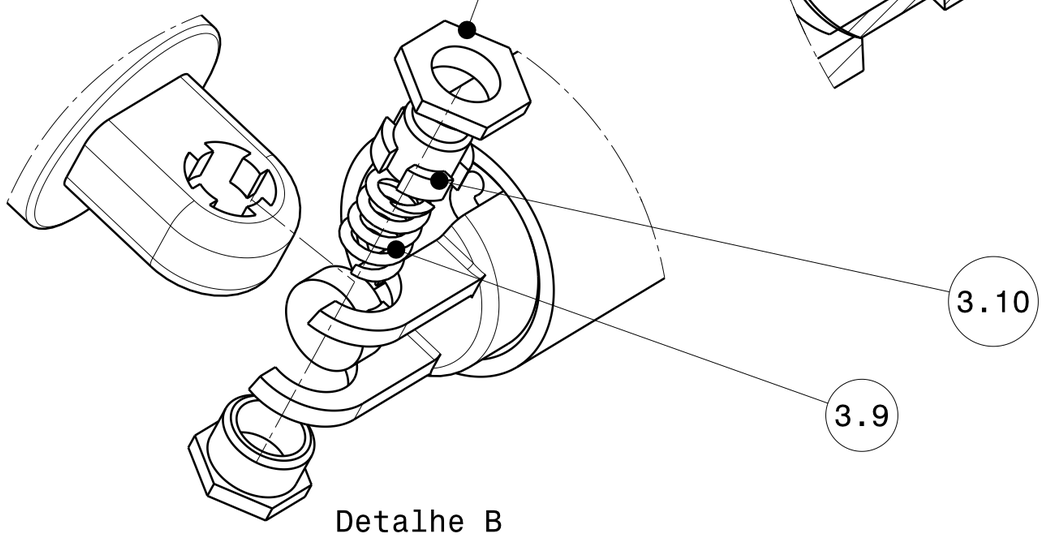
Lista de componentes (suporte multifunções):

Número	Designação	Material	Código	Qtd.
2.1	Manga	Aço	DEF0S003	1
2.2	Suporte	Alumínio	DEF0S001	1
2.3	Estria Direita	Aço	-	1
2.4	Guias	Aço	DEF0S002	2
2.5	Fixador	Plástico	-	4
2.6	Borracha Suporte	Borracha	-	2
2.7	Borracha Guias	Borracha	-	2
2.8	Parafuso ISO 7046 M4x12	Aço	-	6
2.9	Estria Esquerda	Aço	-	1
2.10	Pino	Aço	-	1

DESIGNED BY: Pedro Rios
-
Materrial: Ver lista de peças
SIZE A2
Escala: 1:2
Peso (kg) -
Suporte Multifunções
Código Desenho: EXP0S001
SHEET 1/1
Dissertação de Mestrado



Detalhe A
Escala 2:1



Detalhe B
(Escala 2:1)

Número	Designação	Material	Código Desenho:	Qtd.
3.1	Apoio Central Guiador	Alumínio	DEFOG001	1
3.2	Fixador de mola	Aço	-	2
3.3	Tubo Roscado Esquerdo/ Direito	Alumínio	DEFOG002	2
3.4	Tubo Deslizante	Alumínio	DEFOG003	2
3.5	Mola (Tração)	Aço	-	2
3.6	Fixador Menor Mola	Aço	-	2
3.7	Apoio Punho	Alumínio	-	2
3.8	Porca Mola	Aço	-	2
3.9	Mola (Compressão)	Aço	-	2
3.10	Botão Estriado	Aço	-	2
3.11	Porca Botão	Aço	-	2
3.12	Punho Ergonómico	Borracha	-	2
3.13	Travão Esquerdo	-	-	1
3.14	Travão Direito	-	-	1

DESIGNED BY: Pedro Rios
DATE:

Material: Ver Lista de Peças

SIZE: A3

Escala 1:2: 1:1

Peso (kg): -

Montagem Guiador

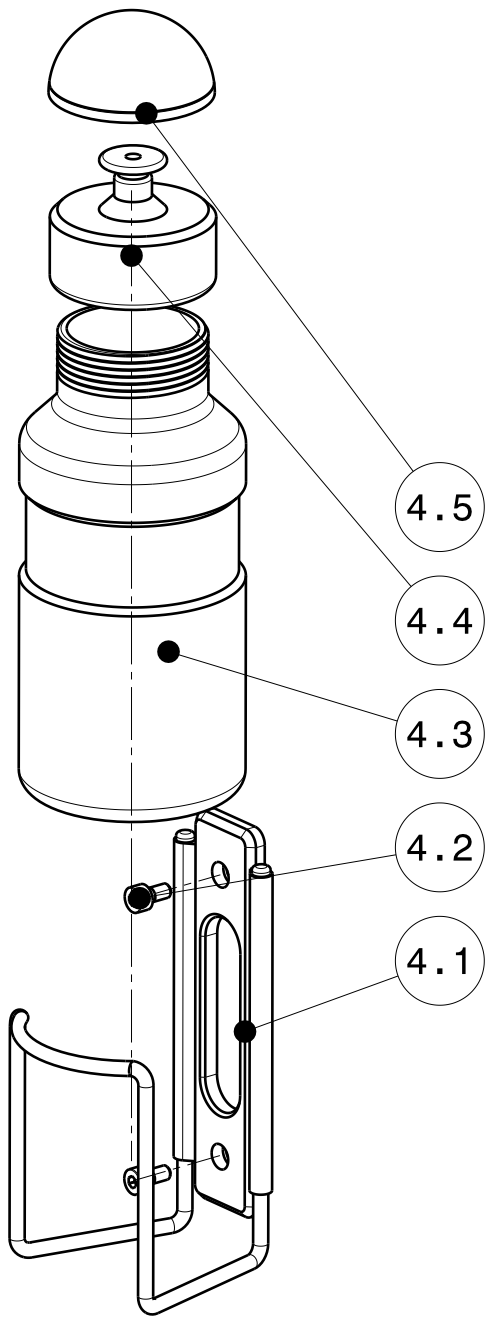
Código do Desenho: EXPOG001

Folha: 1/1

Pedro Rios Dissertação De Mestrado

Lista de componentes (suporte e garraga de água):

Número	Designação	Material	Qtd.
4.1	Suporte	Alumínio	1
4.2	Parafuso ISO 4762 M4x8	Aço	2
4.3	Garrafa	Plástico	1
4.4	Tampa	Plástico	
4.5	Proteção	Plástico	1



DESIGNED BY: Pedro Rios

Material: Ver Lista de Peças

Tamanho: A4

Escala 1:2

Peso (kg)

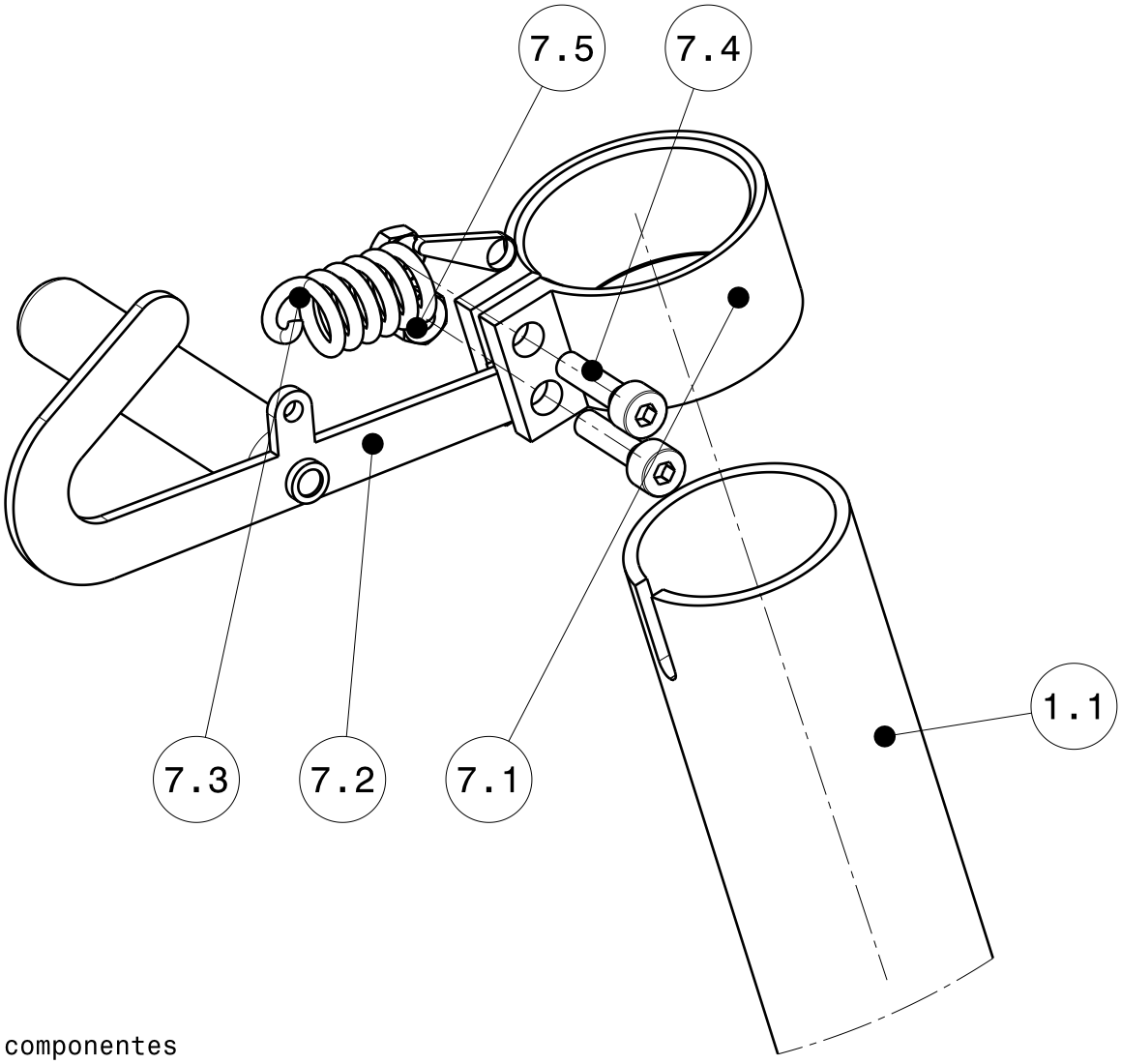
Suporte e garrafa de água

Código Desenho: EXP0B002

SHEET 1/1

Pedro Rios - Dissertação de Mestrado

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_



Lista de componentes
(Sistema de Bloqueio):

Número	Designação	Material	Código	Qtd.
7.1	Suporte	Aço	-	1
7.2	Alavanca/Garra	Aço	-	1
7.3	Mola	Aço	-	1
7.4	Parafuso CHC ISO 4762 M4x16	Aço	-	2
7.5	Porca ISO 4032 M4	Aço	-	2
-	-	-	-	-
1.1	Quadro	Alumínio 6061 T6	DEF0T001	1

DESIGNED BY: Pedro Rios

Material: Ver lista de peças

SIZE A4

Sistema de bloqueio

Escala 1:1

Peso (kg) -

Código Desenho: EXP0B003

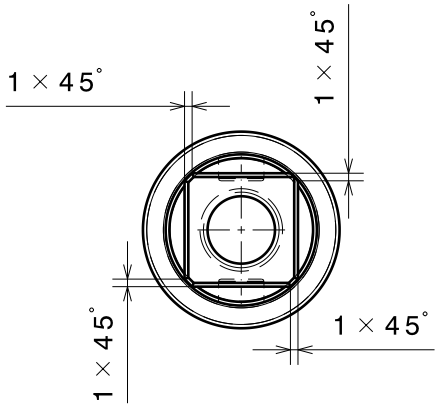
SHEET 1/1

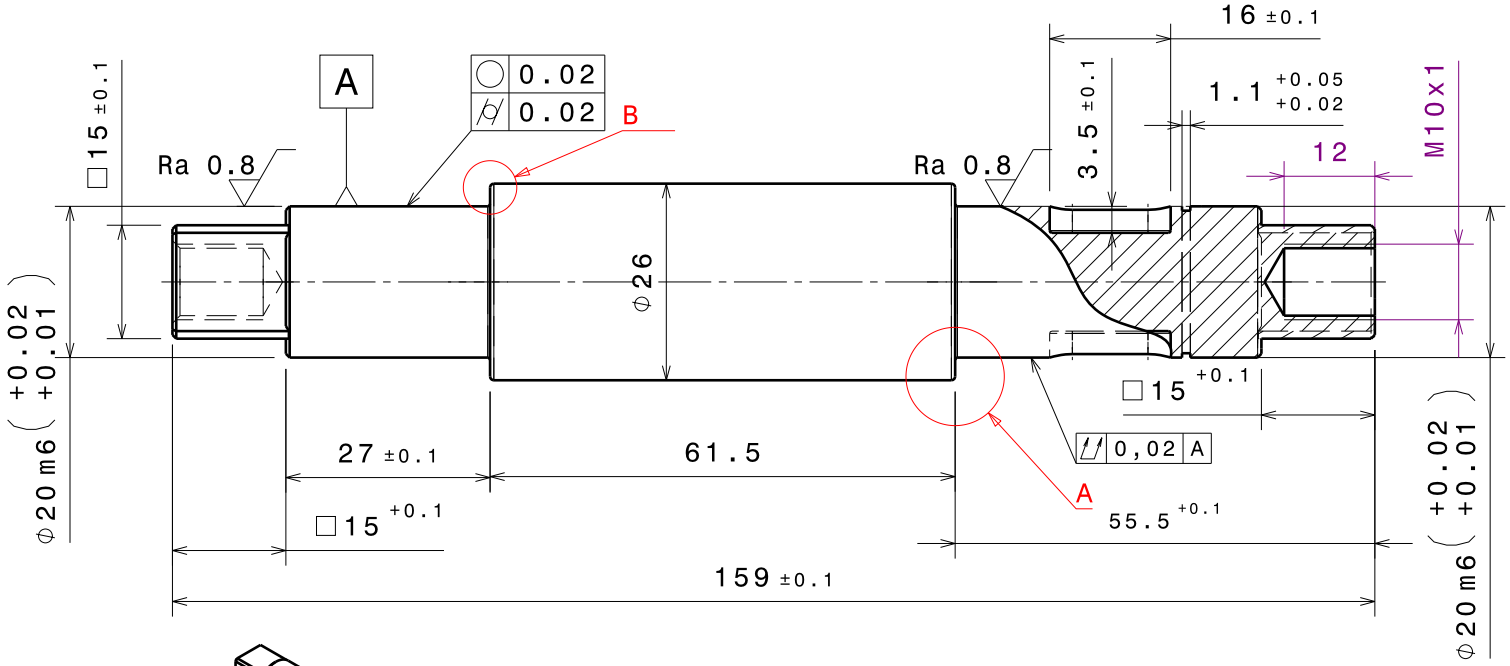
Dissertação de Mestrado Pedro Rios

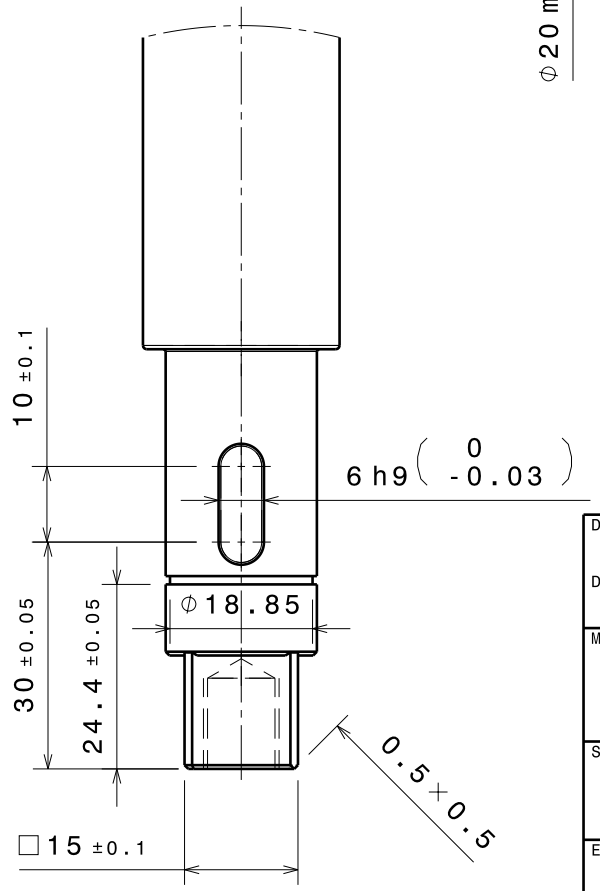
I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

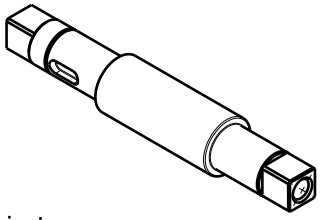
Apêndice G

Desenhos de Definição

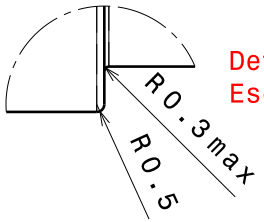








Vista
Isométrica
(Escala 1:3)



Detalhe A e B
Escala 2:1

Ra max 6.3

Chanfros não cotados: 0,5x45°

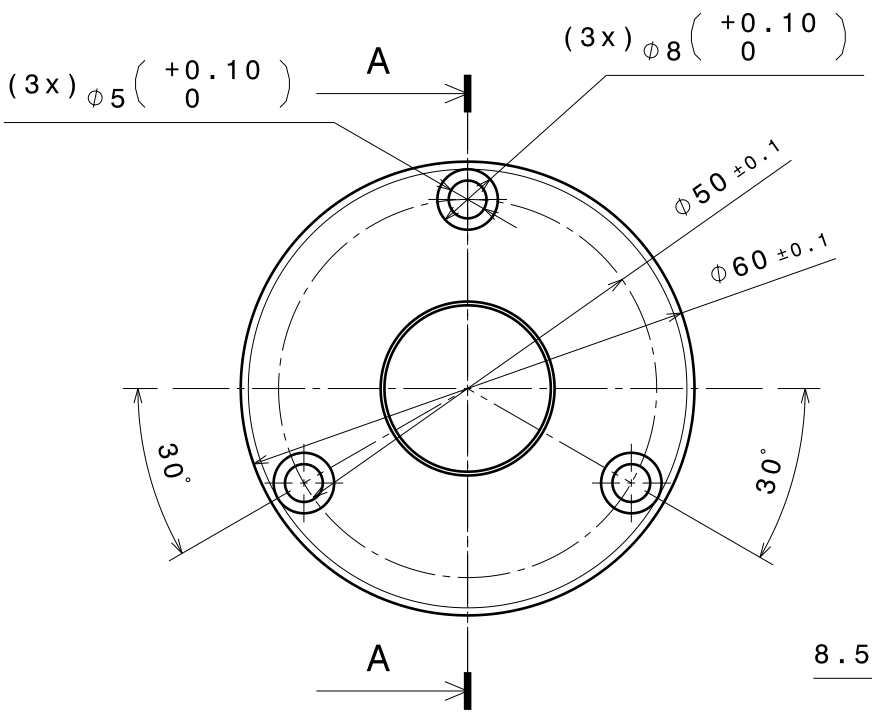
Tolerâncias Gerais
ISO 2768-mk
ISO 8015

DESIGNED BY: Pedro Rios	
DATE: -	
Material: Aço 42 CrMo 4	
SIZE A4	
Escala 1:1	Peso (kg) 0,46
Código Desenho: DEF0T001	SHEET 1/9

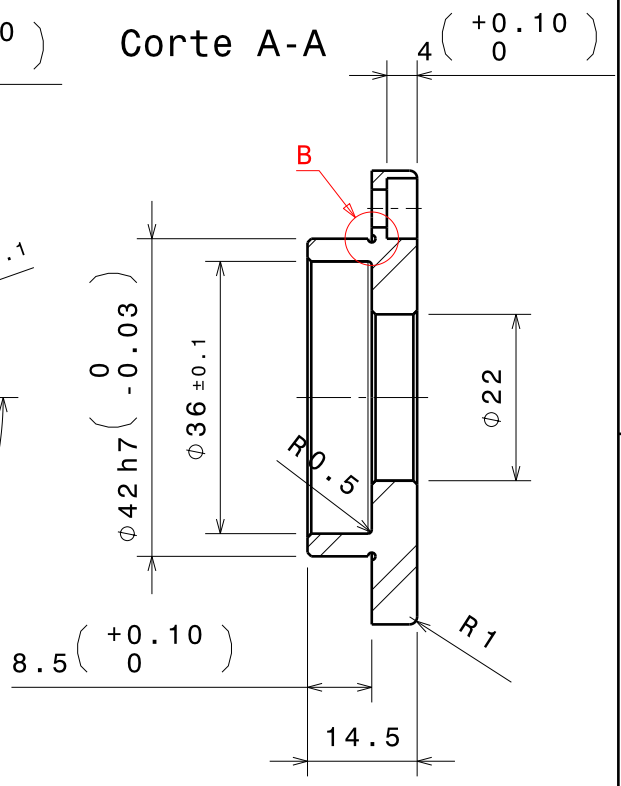
Veio da Pedaleira

Dissertação de Mestrado Pedro Rios

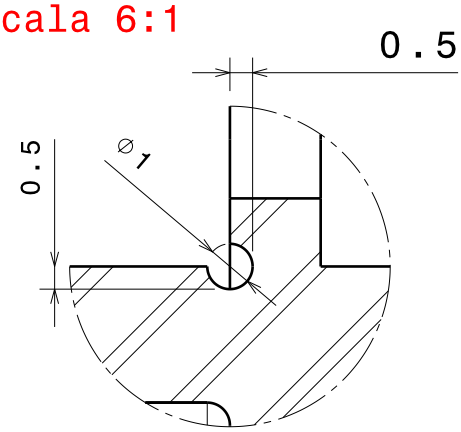
I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

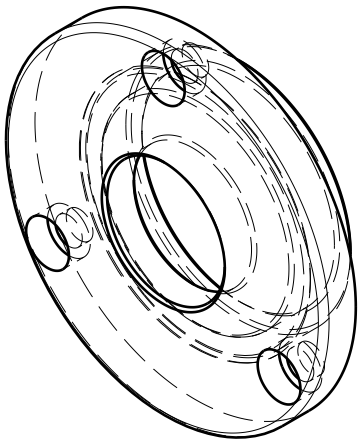


Corte A-A



Detalhe B
Escala 6:1

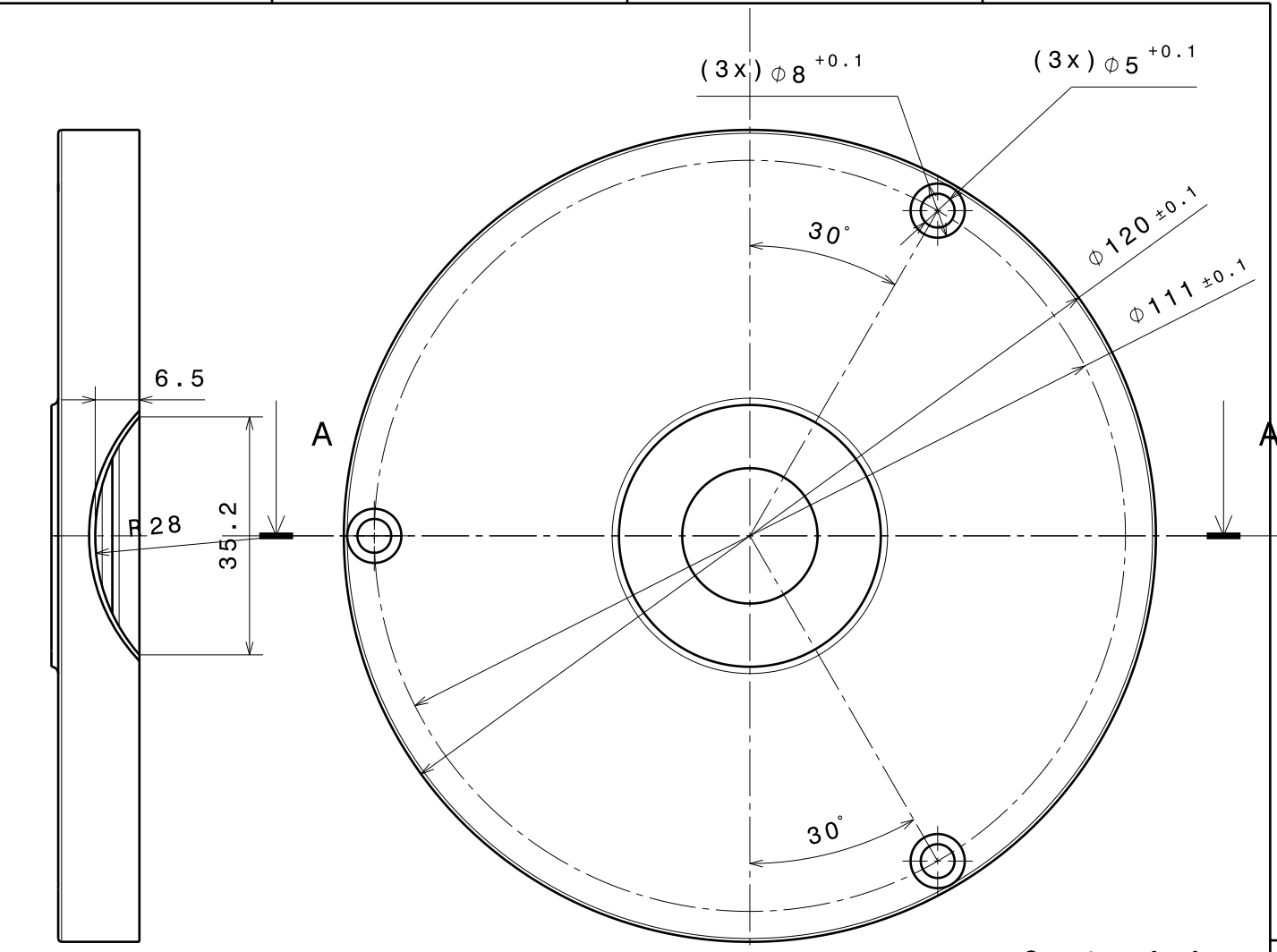




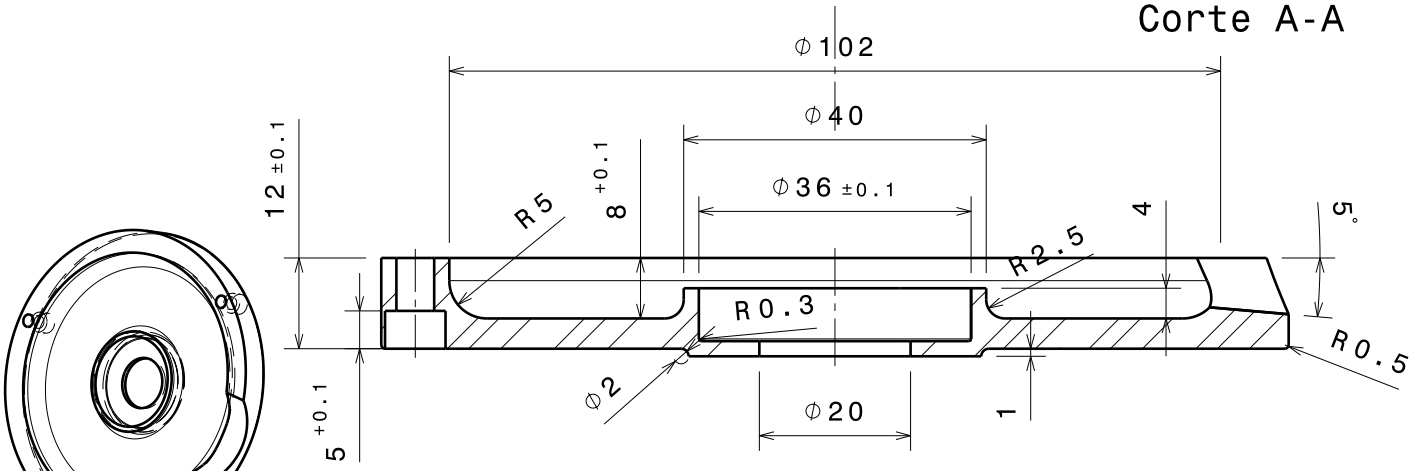
Vista Isométrica

Ra max 6.3

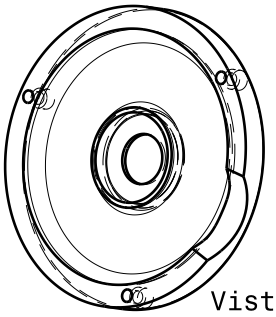
DESIGNED BY: Pedro Rios DATE: -	Chanfros não cotados: 0,5x45° Tolerâncias Gerais ISO 2768-mk ISO 8015		I _
Material: Alumínio			H _
			G _
			F _
SIZE A4	Tampa Esquerda		E _
			D _
Escala 1:1	Peso (kg) 0,05	Código Desenho: DEFOT002	SHEET 2/9	C _
			B _
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			A _



Corte A-A

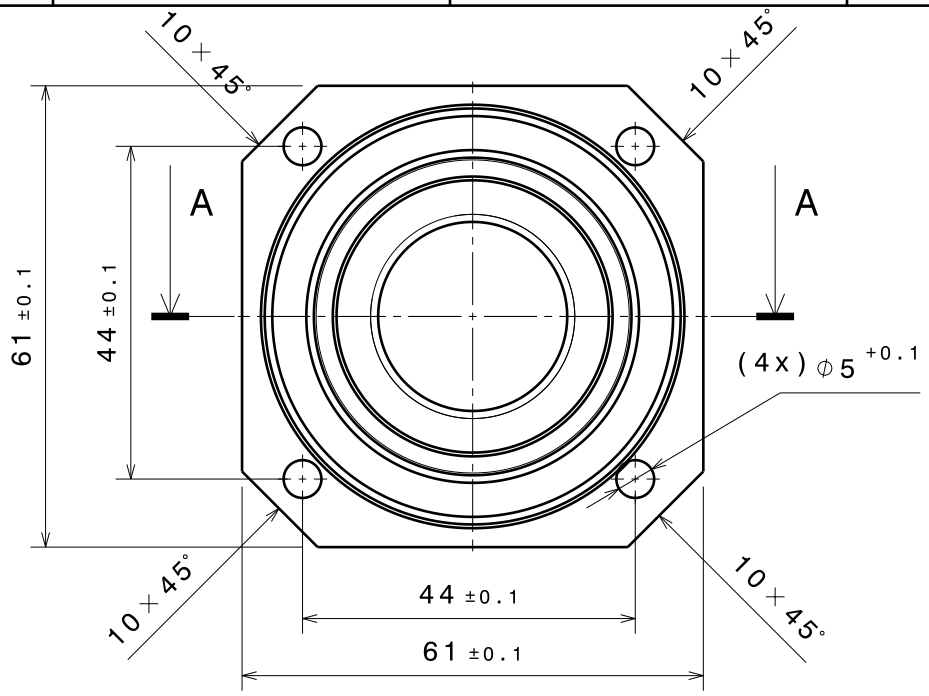


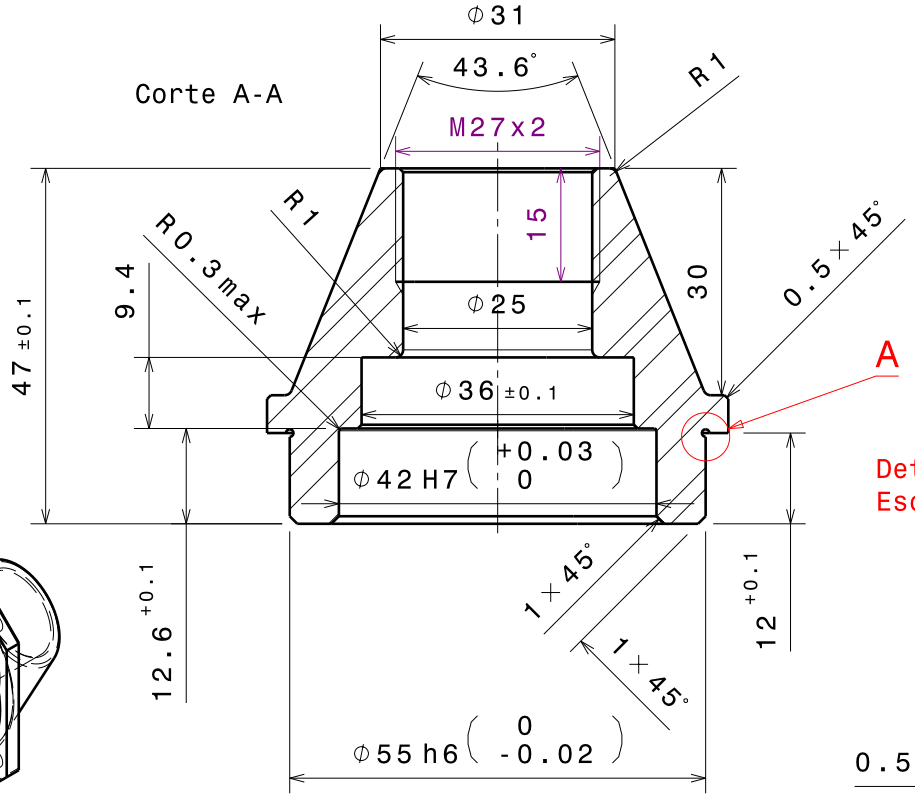
Ra max 6.3

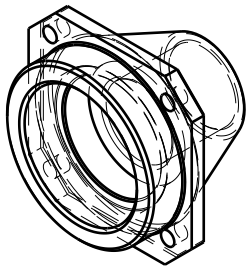


Vista Isométrica
Escala: 1:3

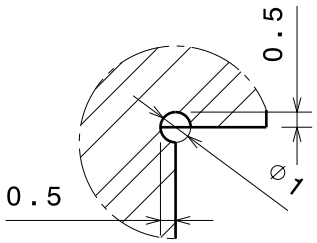
DESIGNED BY: Pedro Rios DATE: -	FHUE cycles	Tolerâncias Gerais ISO 2768-mk ISO 8015	I _ H _ G _ F _ E _ D _ C _ B _ A _
Material: Alumínio			
SIZE A4		Tampa Direita	
Escala 1:1	Peso (kg) 0,184	Código Desenho: DEF0T003	SHEET 3/9
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			





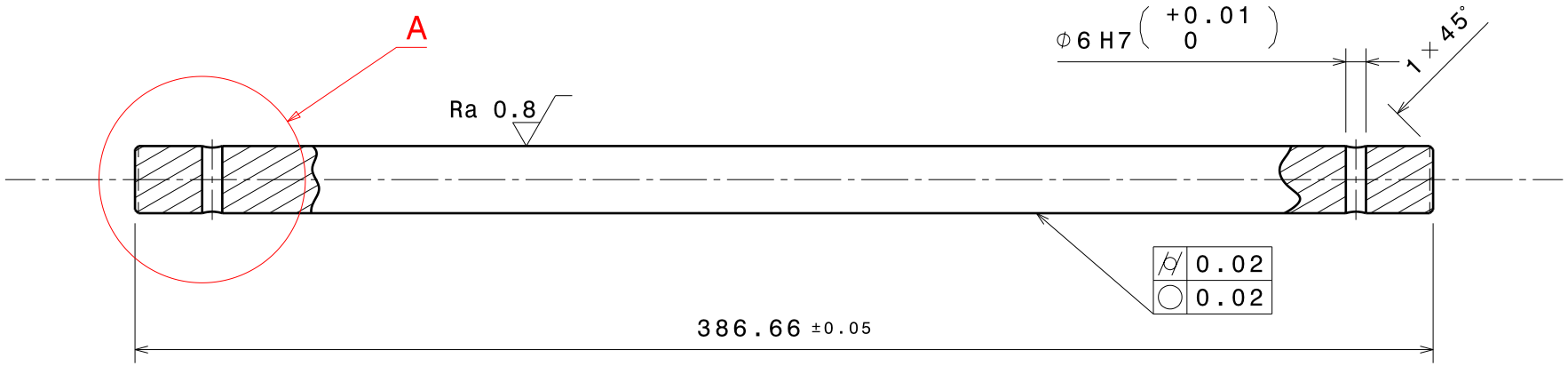


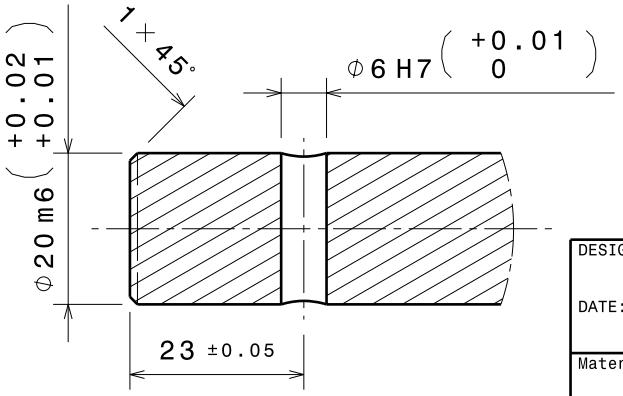
Vista Isométrica
Escala: 1:2



Ra máx 6.3

DESIGNED BY: Pedro Rios DATE: -		Tolerâncias Gerais ISO 2768-mk ISO 8015	I _
Material: Alumínio			H _
			G _
			F _
			E _
SIZE A4		Apoio Primário	D _
Escala 1:1	Peso (kg) 0,042	Código Desenho: DEFOT004	SHEET 4/9
			C _
			B _
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			A _



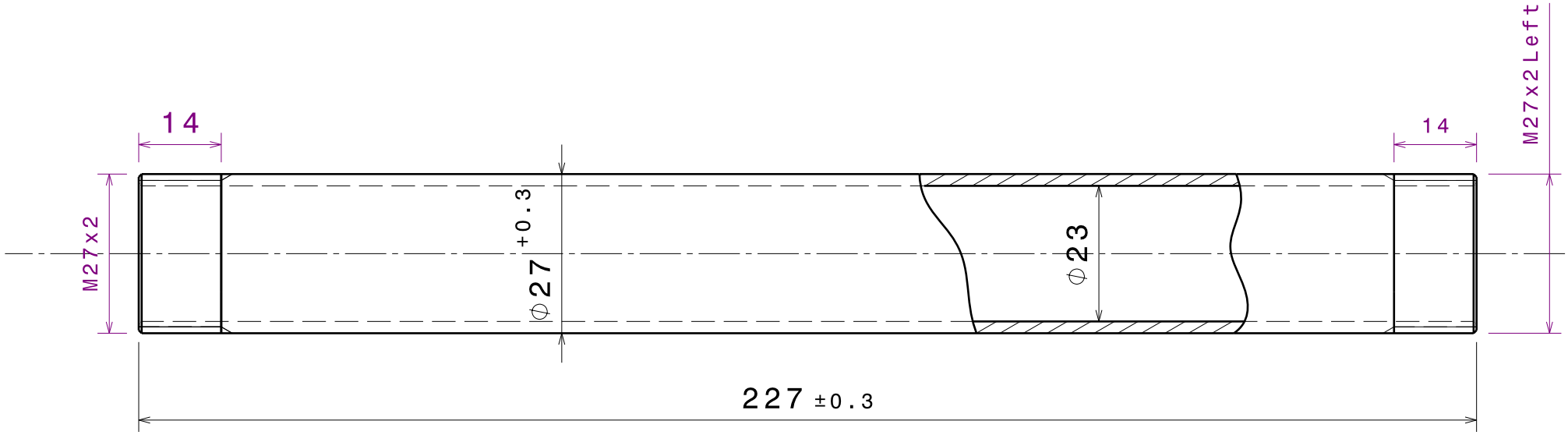


Detalhe-A
Escala: 1:1

Ra máx 6.3

DESIGNED BY: Pedro Rios	Tolerâncias Gerais ISO 2768-mk
DATE: -	ISO 8015
Material: Aço 42 Cr Mo 4	
SIZE A4	Veio da Transmissão
Escala 1:2	Peso (kg) 0,241
Código Desenho: DEFOT005	SHEET 5/9
Dissertação de Mestrado Pedro Rios	

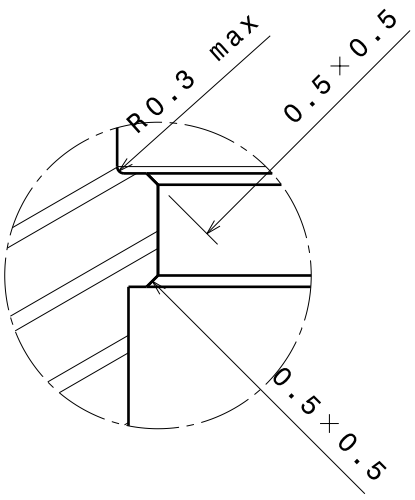
I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

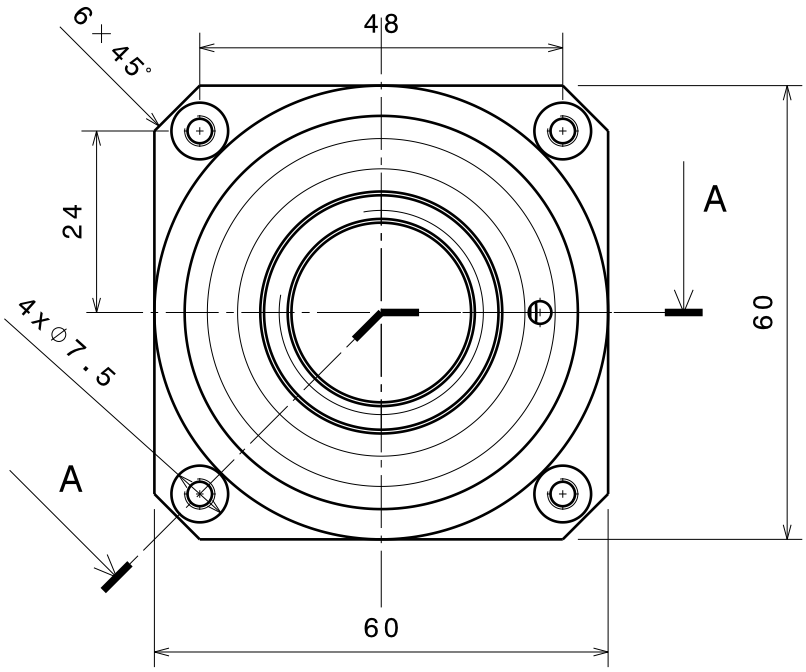


DESIGNED BY: Pedro Rios DATE: - Material: Alumínio		Tolerâncias Gerais ISO 2768-mk ISO 8015	
SIZE A4		Tubo Roscado	
Escala 1:1	Peso (kg) 0,095	Código Desenho: DEF0T006	SHEET 6/9
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			

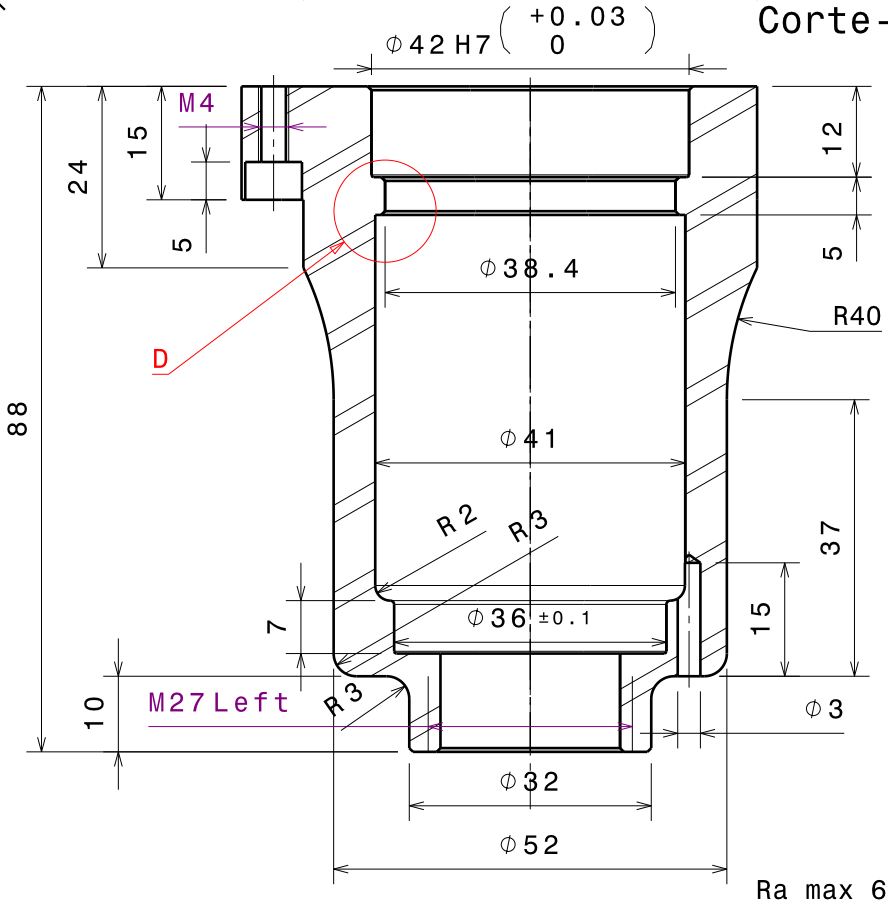
I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

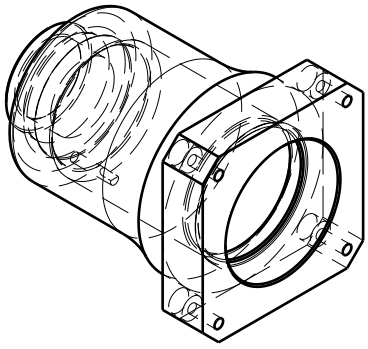
Detalhe D
(Escala 3:1)





Corte-A-A



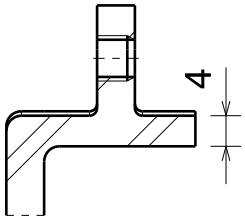


Vista Isométrica
(Escala 1:2)

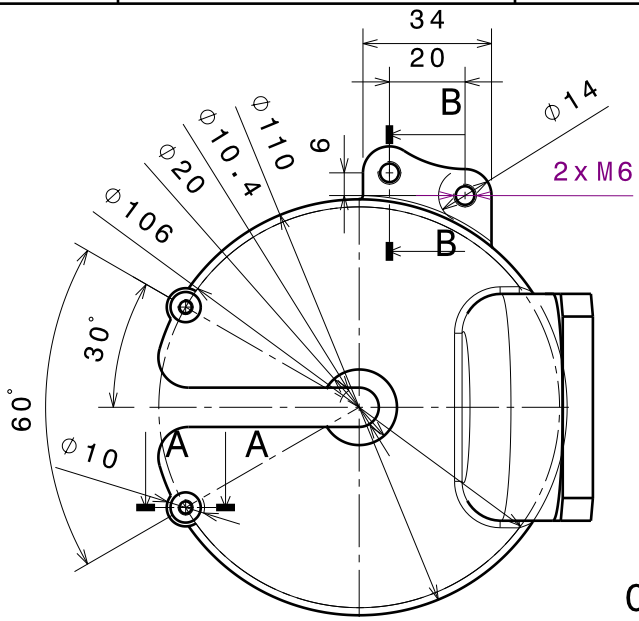
Ra max 6.3

DESIGNED BY: Pedro Rios DATE: -		Tolerâncias Gerais ISO 2765-mk ISO 8015	
Material: Alumínio			
SIZE A4		Apoio Secundário	
Escala 1:1	Peso (kg) 0,274	Código Desenho: DEFOT007	SHEET 7/9
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			

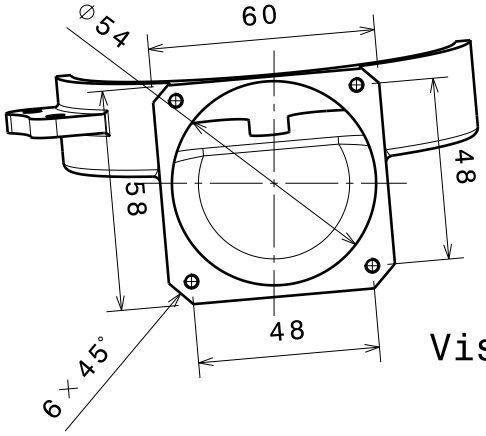
I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

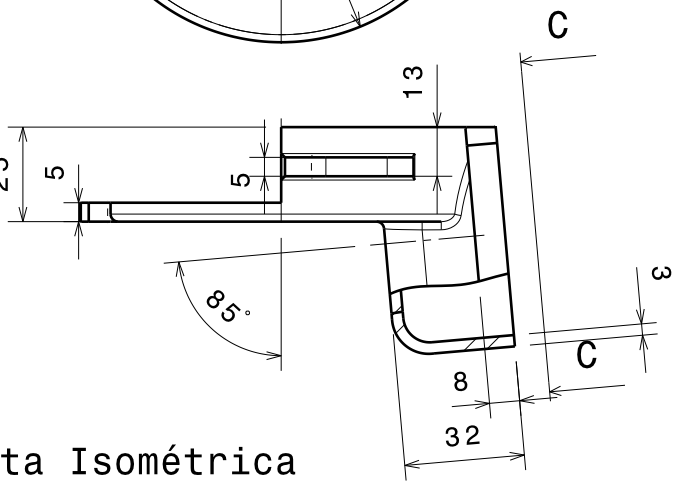


Corte B-B
Escala: 1:1

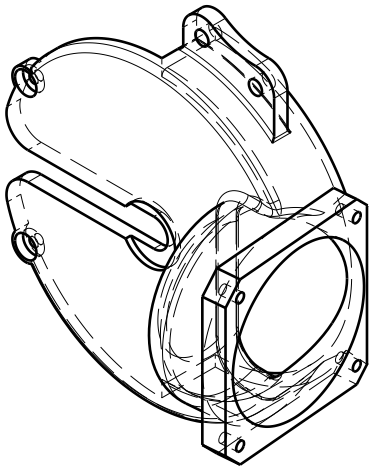


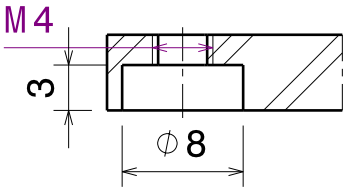
Vista Auxiliar C





Vista Isométrica

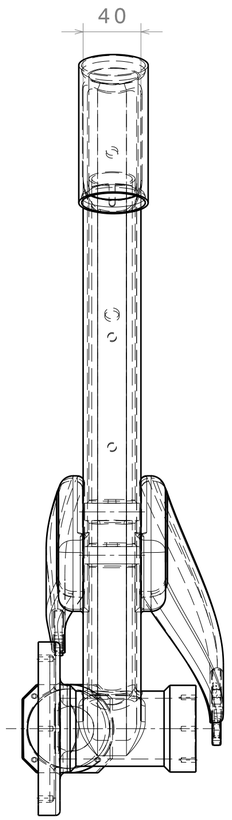


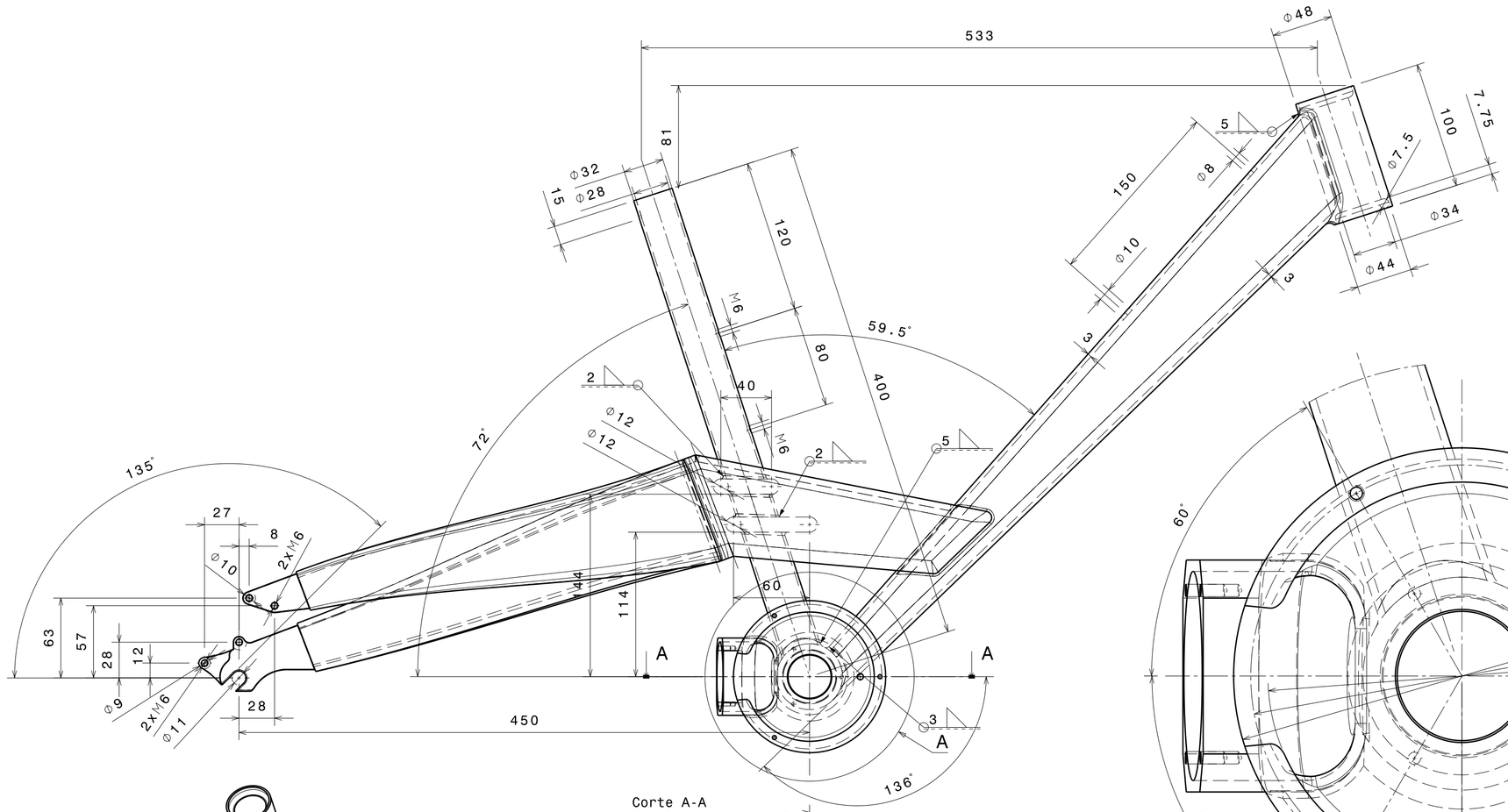


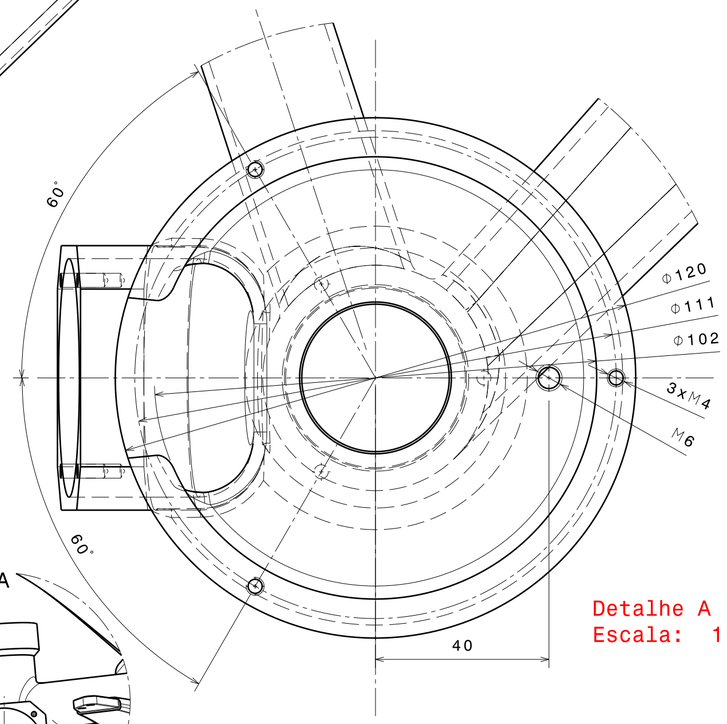
Corte A-A
(Escala 2:1)

Ra max 6.3

DESIGNED BY: Pedro Rios DATE: -	FHUE cycles	Tolerâncias Gerais ISO 2768-mk ISO 8015	I _ H _ G _ F _ E _ D _ C _ B _ A _
Material: Alumínio			
SIZE A4		Tampa do cubo	
Escala 1:2	Peso (kg) 0,188	Código Desenho: DEFOT008	SHEET 8/9
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			

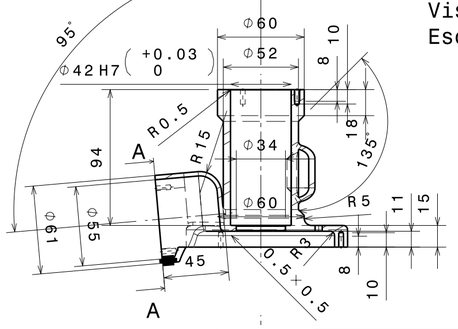




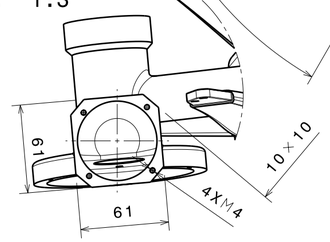


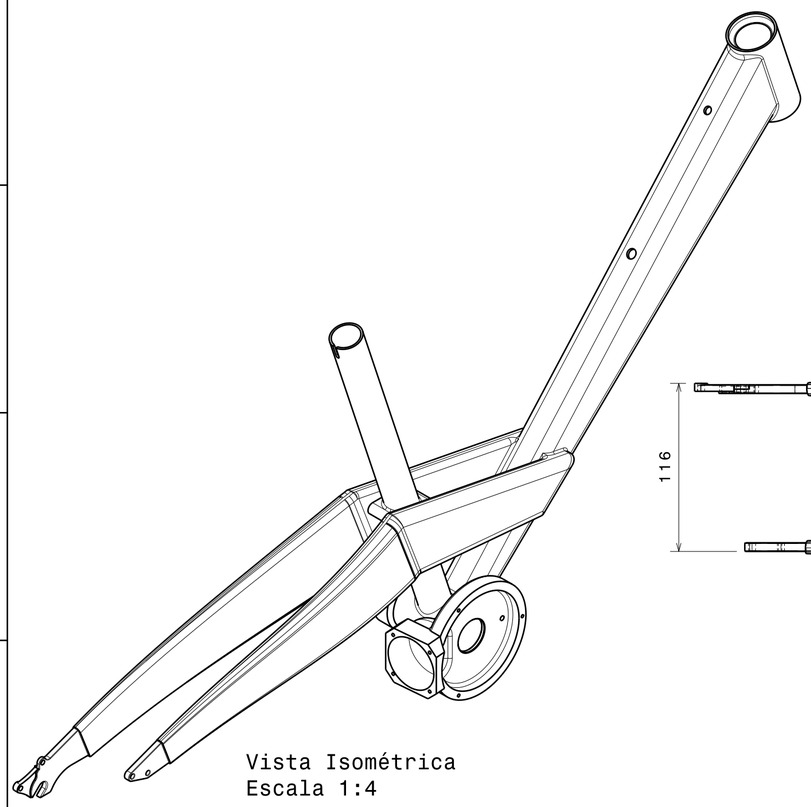
Detalhe A
Escala: 1:1

Corte A-A
Escala: 1:3

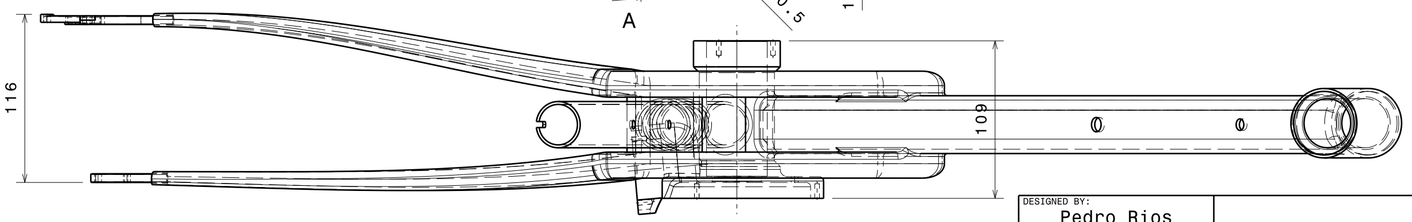


Vista Auxiliar A
Escala: 1:3





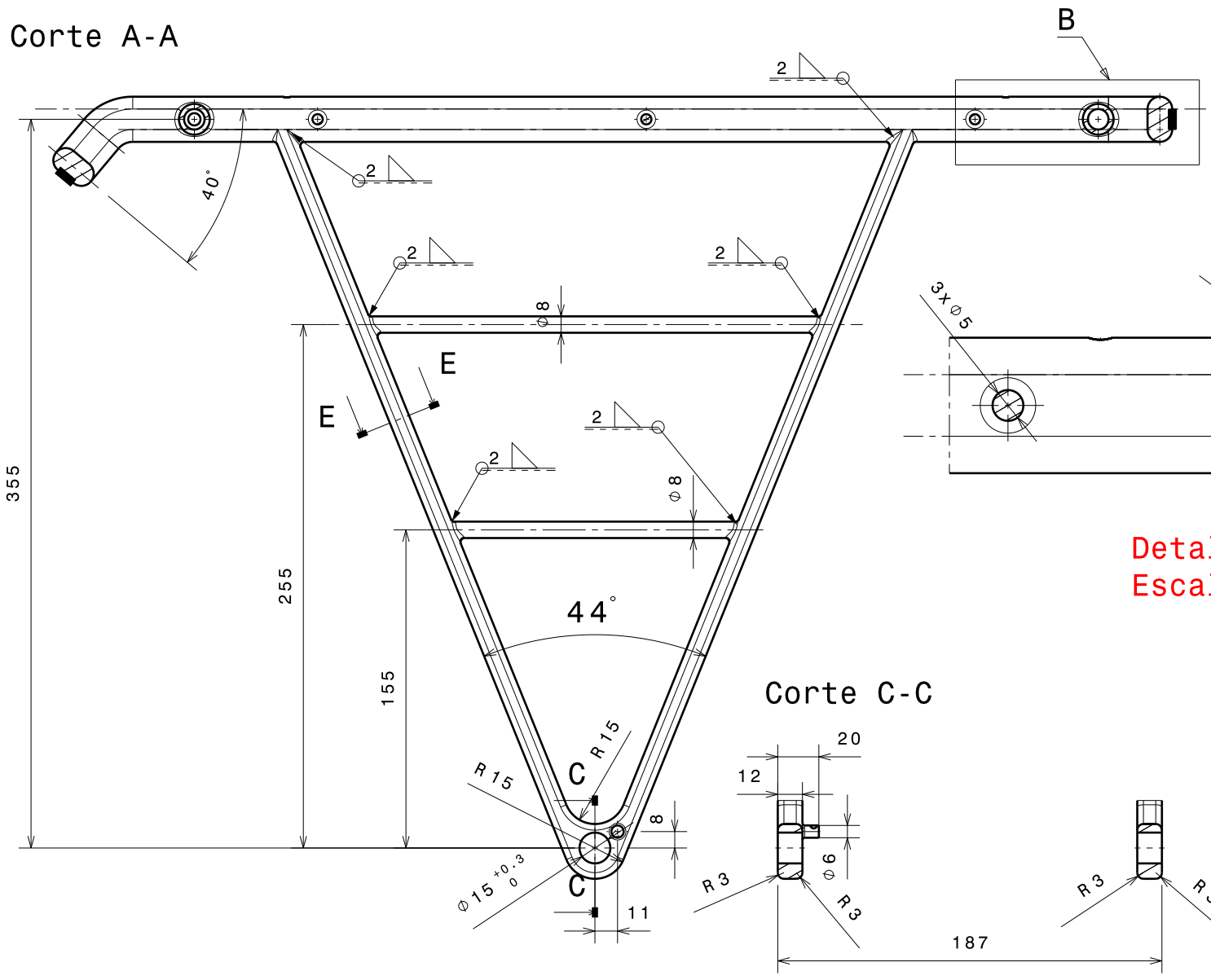
Vista Isométrica
Escala 1:4

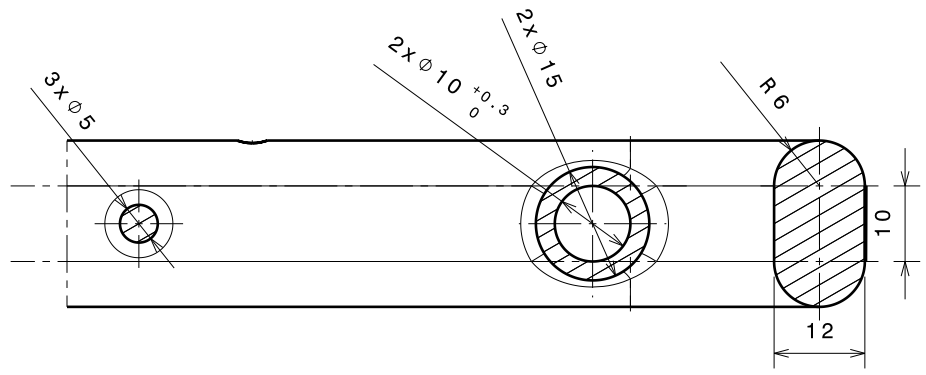


DESIGNED BY: Pedro Rios		FHUE cycles	Tolerâncias Gerais ISO 2768-mk ISO 8015
DATE: -			
Material: Alumínio 6061-T6			
SIZE A2		Quadro	
Escala 1:3	Peso (kg) 4,577	Código Desenho: DEF0T009	SHEET 9/9
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

Corte A-A

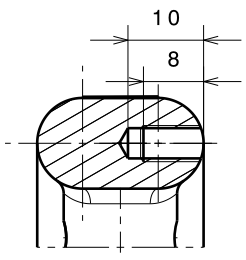


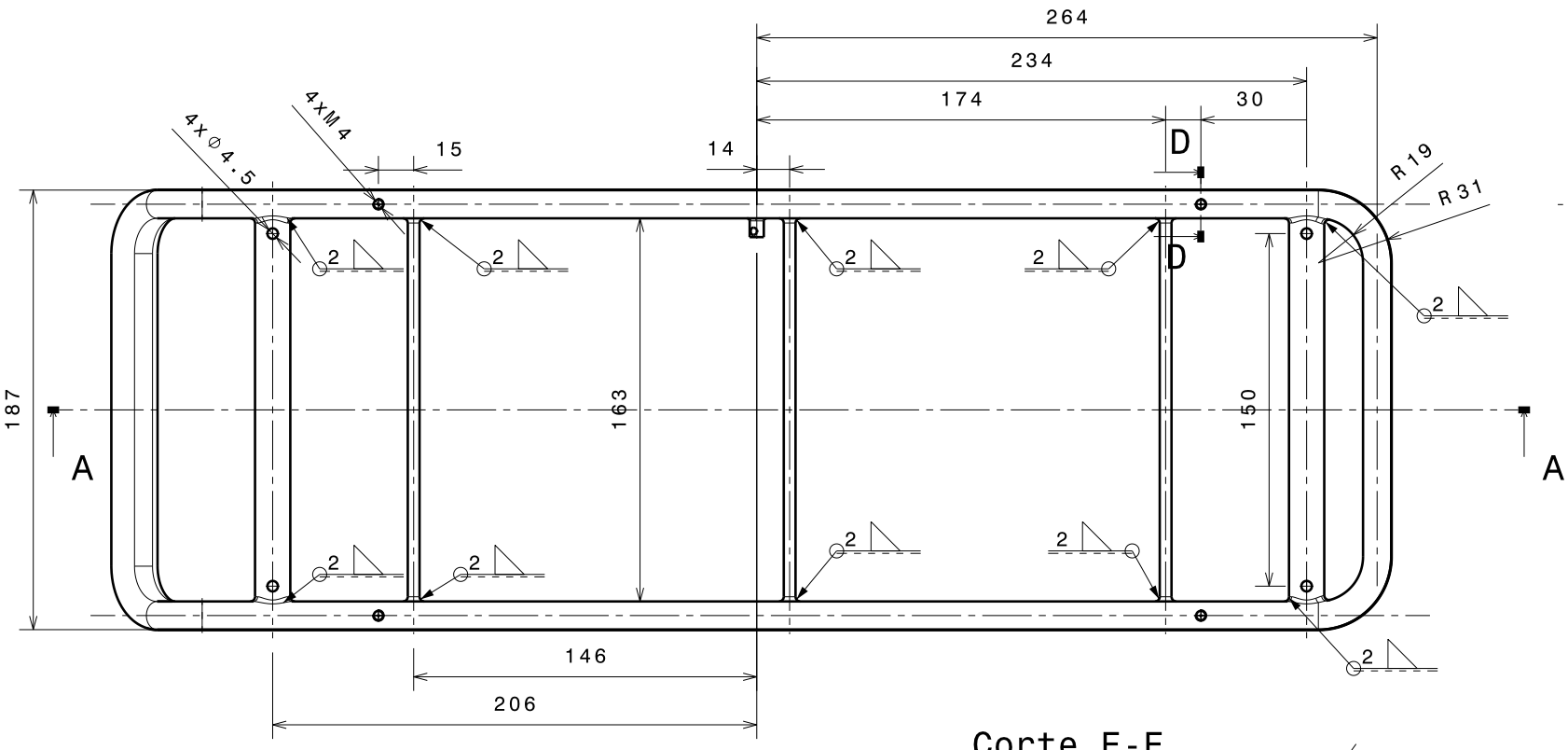


Detalhe B
Escala 1:1

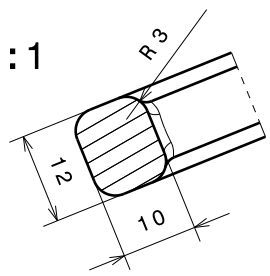
Corte C-C

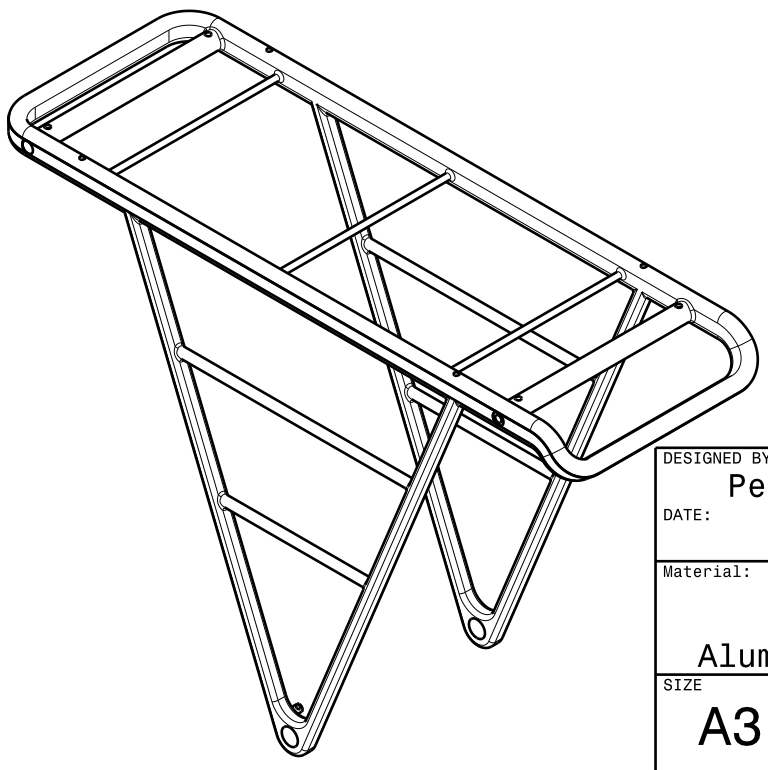
Corte D-D
Escala 1:1





Corte E-E
Escala 1:1



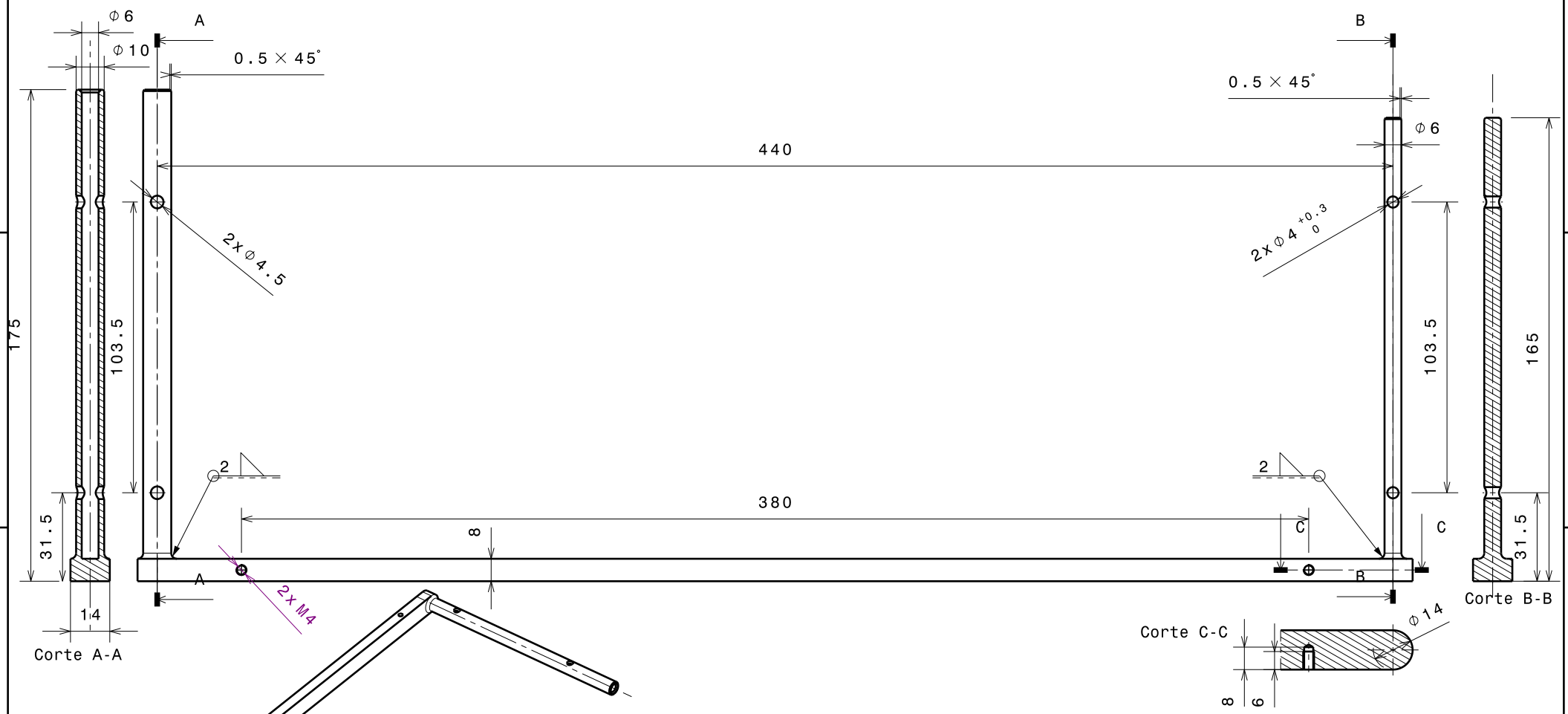


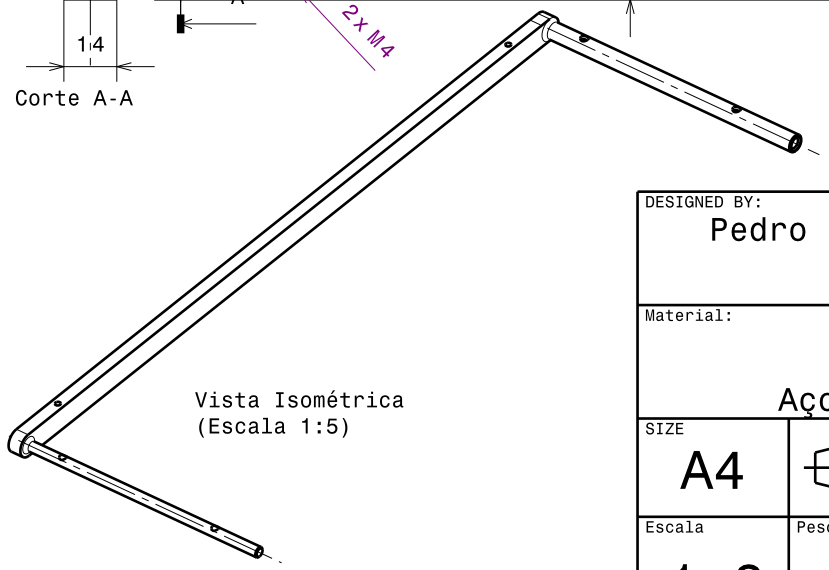
Vista Isométrica
Escala 1:5

DESIGNED BY: Pedro Rios		Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mk	
DATE: -		ISO 8015	
Material: Alumínio 6061			
SIZE A3		Suporte Multifunções	
Escala 1:3	Peso (kg) 1,665	Código Desenho: DEF0S001	SHEET 1/3

Dissertação de Mestrado Pedro Rios

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

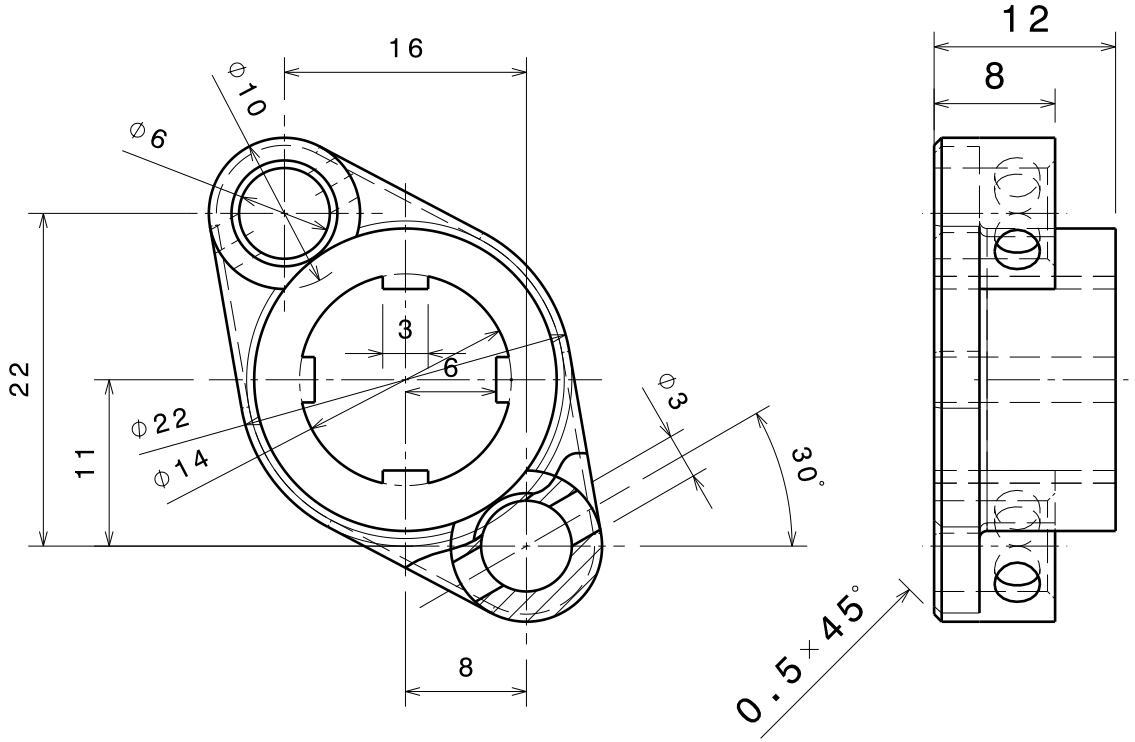


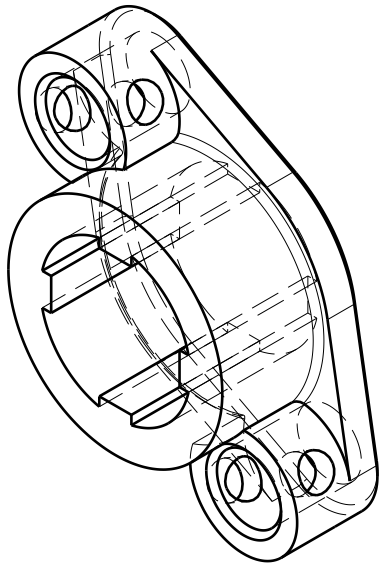


Vista Isométrica
(Escala 1:5)

DESIGNED BY: Pedro Rios		Tolerâncias Gerais: ISO 2768 - mk ISO 8015	
Material: Aço			
SIZE A4		Guias	
Escala 1:2	Peso (kg) 0,8	Código Desenho: DEF0S002	SHEET 2/3
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_



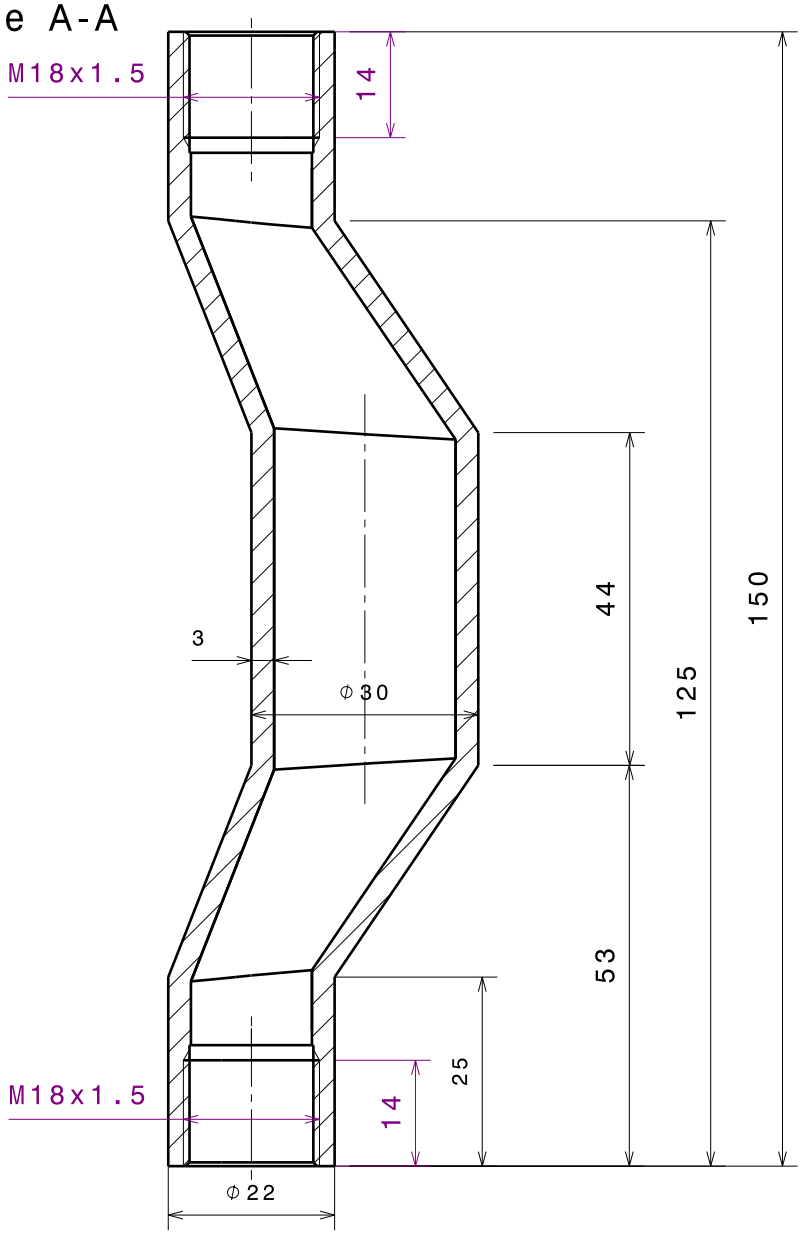


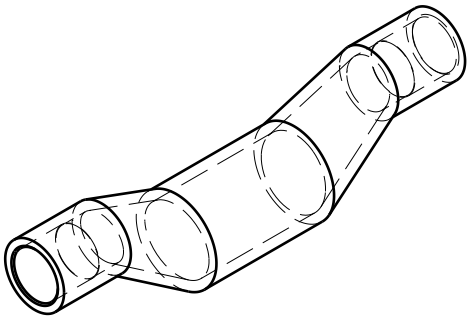
Vista Isométrica
Escala: 2:1

DESIGNED BY: Pedro -		Tolerâncias Gerais ISO 2768-mk ISO 8015	
Material: Aço			
SIZE A4		Manga	
Escala 2:1	Peso (kg) 0,024	Código Desenho: DEF0S003	Folha 3/3
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			

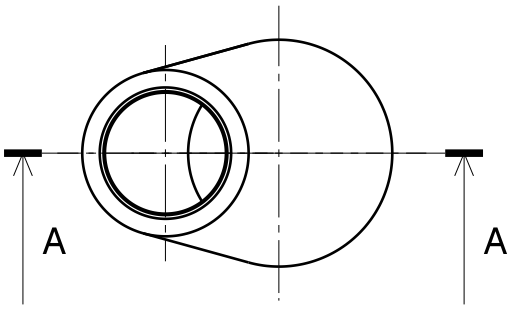
I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

Corte A-A

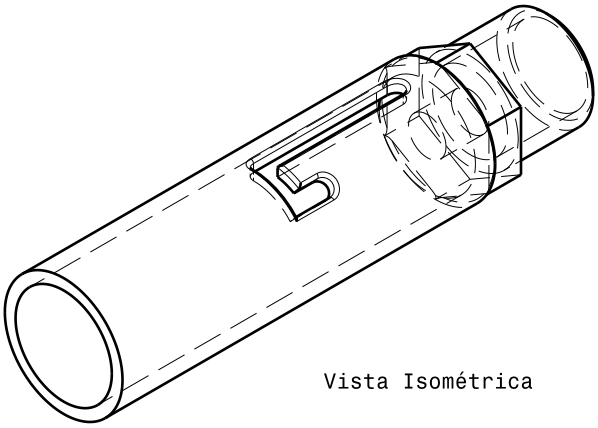




Vista Isométrica
(Escala 1:2)

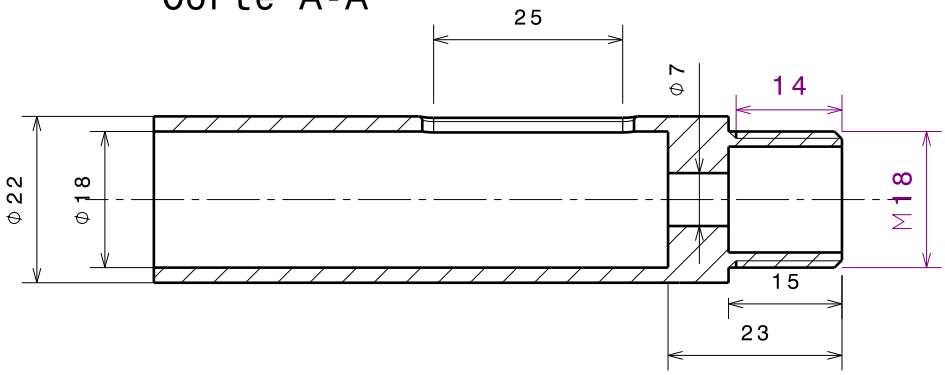


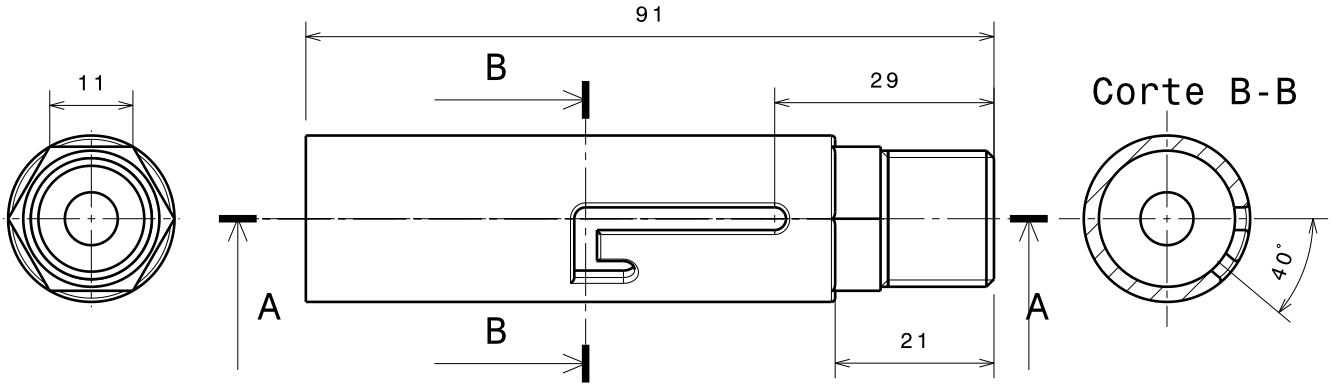
DESIGNED BY: Pedro Rios DATE:		Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mk ISO 8015	I _ H _ G _ F _ E _ D _ C _ B _ A _
Material: Alumínio			
Tamanho A4		Apoio Central Guiador	
Escala 1:1	Peso (kg) 0,281	Código desenho: DEFG001	SHEET 1/3
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			



Vista Isométrica

Corte A-A



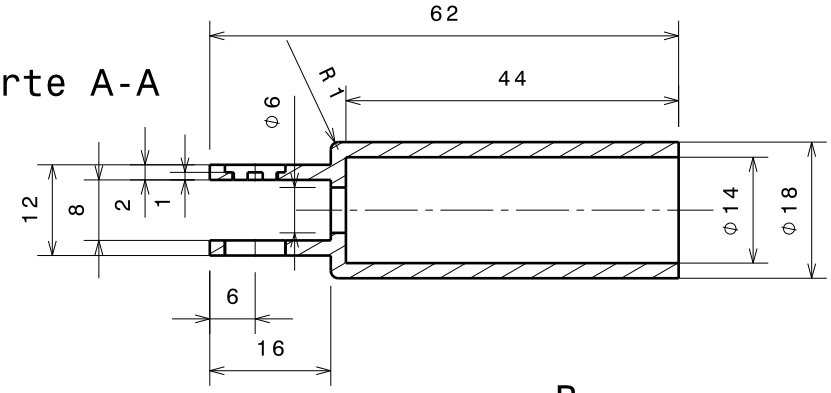


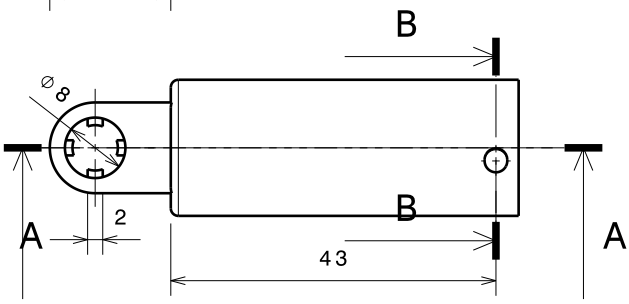
Corte B-B

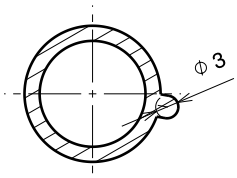
DESIGNED BY: Pedro Rios DATE:	FHUE cycles	Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mk ISO 8015	I _
Material: Alumínio			H _
			G _
			F _
SIZE A4	Tubo Roscado		E _
			D _
Escala: 1:1	Peso (kg) 0,032	Código Desenho: DEF0G002	SHEET 2/3
			C _
			B _
Pedro Rios Dissertação de Mestrado			A _

Vista Isométrica

Corte A-A







Corte B-B

DESIGNED BY: Pedro Rios DATE:			
Material: Alumínio		Tolerâncias Gerais ISO 2768 - mk ISO 8015	
SIZE A4		Tubo Deslizante	
Escala 1:1	Peso (kg) 0,015	Código do Desenho: DEF0G004	SHEET: 1/3
Dissertação de Mestrado Pedro Rios			

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_