



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia
Mecânica
2012

João Pedro Coelho
Aça de Matos

Projeto para a Mobilidade Sustentável



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia
Mecânica
2012

João Pedro Coelho
Aça de Matos

Projeto para a Mobilidade Sustentável

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários á obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica dos Professores Doutores Carlos Alberto Moura Relvas e António Manuel Godinho Completo, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Dedico esta tese à minha família, que sempre me apoiou em tudo.

O Júri

Presidente

Prof. Doutor António Manuel de Amaral Monteiro Ramos
Professor auxiliar convidado, Departamento de Engenharia Mecânica,
Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Mário Augusto Pires Vaz
Professor associado com agregação do Departamento de Engenharia
Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor Carlos Alberto Moura Relvas
Professor associado, Departamento de Engenharia Mecânica,
Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António Manuel Godinho Completo
Professor associado, Departamento de Engenharia Mecânica,
Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores Professor Doutor Carlos Alberto Moura Relvas e Professor Doutor António Manuel Godinho Completo, a disponibilidade para me aceitarem como aluno deste projeto e por toda a orientação e apoio no decurso deste trabalho. A mobilidade sustentável é uma das áreas mais importantes da engenharia contemporânea, e participar neste trabalho, é para mim sem dúvida um privilégio.

Agradeço á minha família pelo apoio em todas as etapas do meu percurso, desde sempre.

Palavras-chave

Mobilidade sustentável, Boas práticas, Design para todos, Eficiência Energética, Transportes, Universalidade.

Resumo

Hoje em dia, não se pode pensar em desenvolvimento económico e social sem transporte. As pessoas precisam de se deslocar para estudar, trabalhar, fazer compras, viajar e possuem cada vez mais a necessidade de estar em movimento.

Esta necessidade crescente de circulação de pessoas e bens traduz-se atualmente numa necessidade de mais soluções ligadas à mobilidade urbana, onde o desenvolvimento de projeto na área da mobilidade pode constituir um fator de progresso e de crescimento económico.

A procura de novas ideias e novas experiências conjuntamente com a análise de outras soluções douradoras são o primeiro passo para promover o desenvolvimento do conhecimento nesta área. O apoio técnico e científico no desenvolvimento e consolidação de um manual de boas práticas para a mobilidade sustentável, que possa integrar diversas experiências, de sucesso, na área do transporte coletivo e individual, permitirá uma atuação projetual mais eficaz, na criação das soluções de mobilidade.

Após o estudo das tendências da mobilidade apresentadas na primeira parte deste trabalho, será desenvolvida uma plataforma de mobilidade como forma de ilustrar como os conceitos abordados podem resultar no desenvolvimento de soluções de mobilidade concretas, adaptadas às necessidades atuais e futuras da mobilidade económica e de lazer.

Keywords

Sustainable mobility, good practices, Design-for-all, Energy Efficiency, Transportation, Universality.

Abstract

Today, economic and social development cannot be conceived without transportation. People need to move between schools, workplaces, to go shopping, to travel, having an increased need to be in motion.

This increasing mobility needed for people or goods, currently renders the need for further solutions regarding urban mobility. For this reason, the development of a project in the urban mobility area may be a factor of economic growth.

The search for new ideas and experiences, along with the analysis of other long-lasting solutions, is the first step to promote knowledge advancement in this area. The technical and scientific support in the development and actualization of a best-practice manual for sustainable mobility, that can accommodate several success experiments in the collective and individual transportation areas, will allow a more efficient project undertaking, in the upbringing of tomorrow's mobility solutions.

Following the study of contemporary mobility tendencies, shown on the first part of the thesis, a mobility platform will be developed, as a means to illustrate how these concepts can yield actual mobility solutions, well adapted to today's and future's economic and leisure mobility demands.

Índice

Índice	i
Índice de Figuras	v
Índice de tabelas	viii
Lista de símbolos, acrónimos e siglas	x
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação da dissertação	1
1.2. Objetivos globais	2
1.3. Estrutura da dissertação	3
2. Estado da Arte	5
2.1. Mobilidade	5
2.2. Modos de transporte.....	6
2.2.1. Transporte rodoviário	6
2.2.2. Transporte ferroviário.....	7
2.2.3. Transporte marítimo	7
2.2.4. Transporte aéreo	8
2.2.5. Transporte intermodal.....	9
2.3. Escolha modal.....	10
2.4. Transporte sustentável	11
2.5. Importância económica.....	12
2.6. Formação das geografias urbanas	15
2.7. Mobilidade urbana	17
2.8. Mobilidade de lazer	21
2.8.1. Utilização do tempo livre	21
2.8.2. Dimensões da mobilidade de lazer	22
2.8.3. Benefícios da mobilidade de lazer.....	27
2.9. Problemáticas do transporte urbano.....	28
2.10. Problemáticas da mobilidade de lazer	29
2.11. Insustentabilidade energética	30
2.11.1. Consumo energético no setor dos transportes.....	30
2.11.2. Emissões poluentes no setor dos transportes	32
2.11.3. Aspetos particulares de consumo e emissões modais	33
2.11.4. Insustentabilidade energética no contexto dos transportes urbanos	34

2.12.	Perspetivas futuras.....	38
2.13.	Soluções de Mobilidade Urbana - Análise de mercado	40
2.14.	Casos de estudo	60
2.14.1.	Curitiba <i>Bus Rapid Transit</i>	61
2.14.2.	<i>Personal Rapid Transit</i>	66
2.14.3.	Bicing.....	77
2.14.4.	Veículos Inclinaáveis.....	86
2.14.5.	Transportes Intermodais do Porto.....	91
3.	Ergonomia.....	101
3.1.	Limitações de mobilidade.....	102
3.1.1.	Limitações de mobilidade de crianças.....	102
3.1.2.	Limitações de mobilidade de idosos.....	104
3.1.3.	Limitações de mobilidade de portadores de deficiências	107
3.2.	<i>Design para Todos</i>	107
3.2.1.	Definição	107
3.2.2.	Porque o <i>Design para Todos</i> ?.....	108
3.2.3.	Exemplos de práticas de <i>Design para Todos</i> em veículos de transporte	109
3.2.4.	Estado de implementação do <i>Design para Todos</i>	110
3.3.	Fatores ergonómicos	112
3.3.1.	Dados antropométricos	112
3.3.2.	Utilização de dados antropométricos em projeto	112
3.3.3.	Antropometria estática.....	114
3.3.4.	Antropometria dinâmica	116
3.3.5.	Alcance dinâmico dos membros anteriores	118
3.3.6.	Alcance dinâmico dos membros posteriores	118
3.3.7.	Forças máximas	119
3.4.	Ergonomia de bicicletas.....	122
3.4.1.	Coluna Vertebral.....	122
3.4.2.	Posição de condução.....	123
3.4.3.	Formato do selim.....	126
3.4.4.	Características dimensionais de bicicletas.....	127
4.	Análise funcional.....	131
4.1.	Diagrama funcional.....	131

4.2.	Análise das funções principais.....	133
4.3.	Seleção de capacidade, meio e acionamento da proposta de mobilidade.	134
5.	Planeamento concetual.....	137
5.1.	Clarificação de objetivos	137
5.2.	Estabelecimento de funções.....	139
5.3.	Estabelecimento de especificações	139
5.3.1.	Estabelecimento de especificações técnicas.....	139
6.	Desenvolvimento concetual	155
6.1.	Análise morfológica.....	155
6.1.1.	Posição de condução.....	157
6.1.2.	Travagem.....	159
6.1.3.	Locomoção motorizada	161
6.1.4.	Locomoção não motorizada.....	162
6.1.5.	Amortecimento	164
6.1.6.	Proteção climatérica.	165
6.1.7.	Configuração do chassis	166
6.1.8.	Direção.....	167
6.1.9.	Transmissão de potência.....	168
6.2.	Geração de conceitos	169
7.	Solução Final.....	171
7.1.	Integração de subsistemas de produto.....	171
7.1.1.	Posição de condução.....	171
7.1.2.	Ajustabilidade do assento	171
7.1.3.	Tamanho do quadro	172
7.1.4.	Travagem.....	173
7.1.5.	Locomoção motorizada	173
7.1.6.	Locomoção não motorizada.....	175
7.1.7.	Transmissão	175
7.1.8.	Direção.....	176
7.1.9.	Amortecimento de vibrações	176
7.1.10.	Proteção climatérica.....	177
7.1.11.	Configuração do chassis.	178
7.1.12.	Compartimento para transporte de objetos	179

7.1.13.	Elementos de iluminação e sinalização	179
7.1.14.	Auxiliares de visão.....	181
7.1.15.	Dimensões máximas	182
7.2.	Análise estrutural	183
7.2.1.	Refinamento da malha	183
7.2.2.	Análise estrutural dos elementos	183
7.3.	Análise de modos de falha	184
7.4.	Solução final	187
8.	Conclusões	193
8.1.	Estado da arte.....	193
8.2.	Ergonomia.....	195
8.3.	Análise funcional	196
8.4.	Planeamento conceptual	197
8.5.	Desenvolvimento conceptual.....	197
8.6.	Solução final	198
8.7.	Conclusão global.....	198
9.	Referências Bibliográficas	200
9.1.	Páginas Web	204
10.	Anexos.....	206

Índice de Figuras

Figura 2.1.- Gráfico performance de transporte de passageiros, por meios de transporte motorizados.EU-27.....	6
Figura 2.2. Gráfico transporte de passageiros por modo, km por passageiro, EU-27.....	9
Figura 2.3. Estruturas de custo por tipo de transporte, em função da distância.	10
Figura 2.4. Gráfico escolha modal em função da distância de viagem..	11
Figura 2.5. Gráfico tempo de viagem/pessoa (min) ao longo das décadas	12
Figura 2.6. Gráfico rácio de crescimento das várias evoluções nos vários modos de transporte.	14
Figura 2.7. Gráfico de crescimento da distância viajada nos Estados Unidos da América, desde 1880.....	14
Figura 2.8. Gráfico comprimento de autoestrada per capita nas cidades mundiais, 1995.	16
Figura 2.9. Gráfico densidade urbana nas cidades mundiais, 1995..	17
Figura 2.10. Gráfico rácio de escolha do modo de transporte individual versus densidade de zonas urbanizadas urbana em duas capitais europeias.....	19
Figura 2.11. Gráfico utilização do automóvel de passageiros nas cidades mundiais....	20
Figura 2.12. Gráficos de distribuição de tempos livres na cidade de Bönn, no contexto urbano, suburbano e rural	22
Figura 2.13. Variação modal de utilização de transportes consoante estilos de mobilidade distintos.....	26
Figura 2.14. Consumo de energia por setor, na EU-27 2006.	30
Figura 2.15. Consumo de energia por modo, na EU-27 2006.....	30
Figura 2.16. Utilização de biocombustíveis na EU-27.....	31
Figura 2.17. Emissão de gases com efeito de estufa, EU-27, 2006.....	32
Figura 2.18. Emissões de gases com efeito de estufa por modo de transporte, EU-27, 1990-2006.....	33
Figura 2.19. Gráfico milhas de passageiro por quantidade standard de combustível, EUA.....	35
Figura 2.20. Gráfico consumo de energia por transportes públicos e privados nas cidades mundiais, 1995.	36
Figura 2.21. Gráfico emissão de dióxido de carbono por transporte público e privado <i>per capita</i>	36
Figura 2.22. Gráfico consumo energético vs Densidade urbana em cidades mundiais, 1995.	37
Figura 2.23. Gráfico emissão CO2 vs Densidade urbana em cidades mundiais, 1995.	37
Figura 2.24. Níveis de mobilidade consoante estilos de mobilidade distintos.....	38
Figura 2.25. Autocarro urbano.	41
Figura 2.26. Volvo 7900, autocarro urbano mais recente da Volvo. Configuração interior.	41
Figura 2.27. Interior de um Volvo 8900, autocarro interurbano moderno..	42
Figura 2.28. Transmilénio <i>Bus Rapid Transit</i> , em Bogotá, Colômbia.	42
Figura 2.29. Trolleybus.	43

Figura 2.30. Miniautocarro.....	43
Figura 2.31. Veículo partilhado.....	44
Figura 2.32. Comboio de trânsito.....	44
Figura 2.33. Comboio urbano pesado	45
Figura 2.34. Interior do metropolitano de Toronto, Canadá	46
Figura 2.35. Comboio ligeiro de trânsito.	46
Figura 2.36. Interior de um comboio ligeiro de trânsito.....	47
Figura 2.37. Ferryboat.	47
Figura 2.38. Automóvel de passageiros.	48
Figura 2.39. Conceito virtual <i>Personal Rapid Transit</i>	48
Figura 2.40. Sistema PRT em Okinawa, Japão, 1975	49
Figura 2.41. Gráfico de crescimento de passageiros no PRT de <i>Masdar City</i> , Dezembro 2010 até Fevereiro 2012.	50
Figura 2.42. Motociclo.	50
Figura 2.43. Motociclo BMW com estrutura de topo e cinto de segurança.....	51
Figura 2.44. Bicicleta	52
Figura 2.45. Gráfico percentagem de viagens feitas em bicicleta, Ocidente.	52
Figura 2.46. Comparação do espaço urbano necessário para o transporte de 60 pessoas; Automóvel vs Autocarro vs Bicicleta.	53
Figura 2.47. Bicicletas de aluguer em Londres, Reino Unido.....	53
Figura 2.48. Bicicleta urbana dobrável.	54
Figura 2.49. Bicicleta assistida por motor elétrico.	54
Figura 2.50. <i>Segways</i> em movimento.....	55
Figura 2.51. Trotineta	55
Figura 2.52. Veneza, Itália	56
Figura 2.53. Táxi marítimo em Veneza, Itália.....	57
Figura 2.54. Andarilho	58
Figura 2.55. <i>Scooter</i> elétricas.	58
Figura 2.56. Veículo com rampa de entrada para cadeiras de rodas.	59
Figura 2.57. Controlos especiais no volante.....	59
Figura 2.58. Transporte sob procura especializado.	60
Figura 2.59. BRT Curitiba.....	61
Figura 2.60. Autocarros biarticulados	62
Figura 2.61. Estações de embarque	62
Figura 2.62. Sistema Rodoviário Ternário.	63
Figura 2.63. Maquete virtual do Ultra PRT.....	66
Figura 2.64. Mapa do sistema GRT em <i>Morgantown</i>	69
Figura 2.65. Estação <i>Morgantown</i> GRT.....	71
Figura 2.66. Berço de embarque Ultra PRT	72
Figura 2.67. Representação virtual do interior do Ultra PRT.....	76
Figura 2.68. Sistema <i>Bicing</i> em Barcelona.	77
Figura 2.69. Bicicleta utilizada no sistema <i>Bicing</i>	79
Figura 2.70. Estação <i>Bicing</i>	80
Figura 2.71. Mapa de estações <i>Bicing</i> , 2012.....	80

Figura 2.72 BUGA	85
Figura 2.73 Estação de bicicletas BUGA	86
Figura 2.74 Volkswagen L1	87
Figura 2.75 <i>Lean Machine</i>	87
Figura 2.76 <i>Carver One</i>	88
Figura 2.77 Piaggio MP3.....	89
Figura 2.78 <i>BMW Clever</i>	89
Figura 2.79 <i>Nissan Land Glider</i>	90
Figura 2.80 Interior do <i>Nissan Land Glider</i>	90
Figura 2.81 comboio ligeiro trânsito da Metro do Porto	92
Figura 2.82 Comboio de trânsito dos Caminhos de Ferro Portugueses	93
Figura 2.83 Autocarro da Sociedade de Transportes Coletivos do Porto.....	93
Figura 2.84 Máquina de venda de títulos de transporte Andante	94
Figura 2.85 Validação do andante	95
Figura 2.86 Validações totais de títulos de transporte intermodal vs. Monomodal.	96
Figura 2.87 Validações intermodais por zona.	97
Figura 2.88 Zonas intermodais Andante.	97
Figura 2.89 Validações intermodais por operador	98
Figura 3.1. Percentis de estatura por idade, população masculina e população feminina	102
Figura 3.2. Força de aperto com o punho, população feminina e masculina.	103
Figura 3.3. Gráfico de percentagem de pessoas que comunicam problemas de mobilidade de qualquer tipologia, Reino Unido 2001.....	106
Figura 3.4. Medidas antropométricas	114
Figura 3.5. Planos triortogonais.	117
Figura 3.6. Rotações limite de articulações corporais.....	117
Figura 3.7. Alcance dinâmico dos membros anteriores no plano sagital e transversal.	118
Figura 3.8. Alcance dinâmico dos membros posteriores no plano sagital e frontal.	119
Figura 3.9. Tabela de resultados de teste puxar ou empurrar.	120
Figura 3.10. Força de pressão vertical de barra com o pé	121
Figura 3.11. Coluna vertebral	123
Figura 3.12. Bicicleta desportiva/de turismo e bicicleta urbana tradicional	124
Figura 3.13. Posições de condução de bicicleta desportiva/de turismo e bicicleta urbana tradicional.	124
Figura 3.14. Postura recomendada para bicicletas urbanas tradicional.....	125
Figura 3.15. Altura ideal do assento.....	126
Figura 3.16. Efeito da concavidade do assento na redução de pressão na pélvis feminina	127
Figura 3.17. Dimensões fixas do quadro	128
Figura 3.18. Dimensões para cálculo da altura do selim.....	128
Figura 4.1. Análise funcional de sistemas de transporte	132
Figura 5.1. Espaço para disposição de comandos do veículo.....	144
Figura 5.2. Bicicleta <i>Autovelo</i>	148

Figura 6.1. Geração de conceitos para o produto.....	169
Figura 7.1. Posição de condução.....	171
Figura 7.2. Intervalo de ajustabilidade do assento.....	172
Figura 10.10.1. Saliência expostas EN-14764.....	210
Figura 10.10.2. Zona restrita a saliências 16 CFR <i>Part</i> 1512.....	210
Figura 10.10.3. Manete do travão EN-14764.....	211
Figura 10.10.4. Ângulo de direção EN-14764.....	211
Figura 10.10.5. Espaço livre pedal-pneu EN-14764.....	211
Figura 10.10.6. Diâmetro mínimo de proteção da cremalheira EN-14764.....	212
Figura 10.10.7. Proteção de corrente e cremalheira EN-14764.....	212
Figura 10.10.8. Carregamento vertical do tubo do selim.....	216
Figura 10.9. Carregamento vertical nos apoios do motor.....	217
Figura 10.10. Carregamento vertical nos pontos de apoio do braço traseiro e amortecedor.....	218
Figura 10.11. Carregamento vertical nos pontos de apoio das travessas dianteiras....	219
Figura 10.12. Carregamento vertical na travessa dianteira.....	220
Figura 10.13. Carregamento horizontal na travessa dianteira.....	221
Figura 10.14. Árvore de função: Assegurar posição do condutor.....	224
Figura 10.15. Árvore de função: Suportar o utilizador.....	224
Figura 10.16. Árvore de função: Garantir boa visibilidade do meio.....	225
Figura 10.17. Árvore de função: Sinalizar ações do condutor.....	225
Figura 10.18. Árvore de função: Assegurar travagem num espaço reduzido.....	226
Figura 10.19. Proteger utilizador do meio envolvente.....	226
Figura 10.20. Árvore de função: Circular em todo o terreno.....	227
Figura 10.21. Árvore de função: Permitir transporte de pequenos objetos.....	227
Figura 10.22. Árvore de função: Permitir locomoção.....	228

Índice de tabelas

Tabela 2.1. Propriedade automóvel nos estados unidos 1960-2000.....	16
Tabela 2.2. Veículos e milhas percorridas <i>per capita</i> por veículo 1950-2000.....	16
Tabela 2.3. Estatística de viagens por propósito, Estados Unidos da América 2009.....	20
Tabela 2.4. Modelo de posicionamento social.....	25
Tabela 2.5. Consumo energético nos transportes por tipo de combustível.....	31
Tabela 2.6. Lista de soluções de mercado contemporâneas na área da mobilidade urbana.....	40
Tabela 2.7. Comparação de custos por km entre vários modos de transporte.....	75
Tabela 2.8. Fatores de sucesso de sistemas de partilha de bicicletas e observações sobre o <i>Bicing</i>	82
Tabela 2.9. Percentagem de substituição de viagem noutros modos pelo <i>Bicing</i>	84
Tabela 3.1. Limitações cognitivas das crianças.....	104

Tabela 3.2. Condições debilitantes mais comuns ao longo do processo de envelhecimento.....	105
Tabela 3.3. Top 10 condições associadas a impedimentos na população com mais de 65 anos, nos EUA, 2001.....	106
Tabela 3.4. Normas e documentos de boas práticas para desenvolvimento de veículos de transporte.....	111
Tabela 3.5. Fatores para cálculo de percentis.....	114
Tabela 3.6. Medidas antropométricas DIN-33042.....	115
Tabela 3.7. Medidas antropométricas ANSUR II.....	116
Tabela 3.8. Cálculo das dimensões principais de uma bicicleta.....	129
Tabela 4.1. Análise funcional de um sistema de transporte.....	133
Tabela 4.2. Descrição de plataforma de mobilidade a ser desenvolvida.....	134
Tabela 5.1. Necessidades do cliente.....	137
Tabela 5.2. Clarificação de objetivos do produto.....	138
Tabela 5.3. Funções do produto final.....	139
Tabela 5.4. Especificações técnicas.....	140
Tabela 5.5. Plataformas de mobilidade para análise competitiva.....	141
Tabela 5.6. Especificações para refletores com base nos requisitos 16 C.F.R. <i>Part</i> 1512.....	142
Tabela 5.7. Matriz de decisão para seleção do número de rodas.....	143
Tabela 5.8. Operações de comando do veículo.....	146
Tabela 5.9. Regulação de elementos ajustáveis.....	147
Tabela 5.101. Especificações das normas Europeias e Americanas para motores elétricos.....	149
Tabela 5.112. Especificações das normas Europeias e Americanas para velocidade máxima motorizada.....	149
Tabela 5.123. Dimensões máximas do veículo.....	152
Tabela 5.134. – Relações de transmissão típicas em diferentes tipos de bicicletas	153
Tabela 5.145. Especificações técnicas alvo.....	154
Tabela 6.1. Subsistemas do produto.....	156
Tabela 6.2. Tipos, vantagens e desvantagens de posição de condução alternativas....	157
Tabela 6.3. Matriz de decisão para seleção de posição de condução.....	158
Tabela 6.4. Tipos, vantagens e desvantagens de sistemas de travagem alternativos....	159
Tabela 6.5. Matriz de decisão para seleção do tipo de sistema de travagem.....	160
Tabela 6.6. Tipos, vantagens e desvantagens de sistemas de motorização alternativos.....	161
Tabela 6.7. Matriz de decisão para seleção do tipo de sistema de motorização.....	162
Tabela 6.8. Tipos, vantagens e desvantagens de sistemas de locomoção não motorizada alternativos.....	162
Tabela 6.9. Matriz de decisão para seleção do tipo de sistema de locomoção não motorizada.....	163
Tabela 6.10. Tipo, vantagens e desvantagens de sistemas de amortecimento.....	164
Tabela 6.11. Matriz de decisão para seleção de sistema de amortecimento.....	164

Tabela 6.12. Tipos, vantagens e desvantagens de configurações alternativas para a proteção climatérica.....	165
Tabela 6.13. Matriz de decisão para seleção da configuração da proteção climatérica.....	165
Tabela 6.14. Tipos, vantagens e desvantagens de configurações alternativas do chassis.....	166
Tabela 6.15. Matriz de decisão para seleção de configuração do chassis	166
Tabela 6.16. Tipos, vantagens e desvantagens de sistemas de direção alternativos....	167
Tabela 6.17. Matriz de decisão para seleção de sistema de direção.	167
Tabela 6.18. Tipos, vantagens e desvantagens modos de transmissão de potência alternativos.	168
Tabela 6.19. Matriz de decisão para seleção de sistema de transmissão de potência..	168
Tabela 6.20. Soluções admissíveis para subsistemas do produto final.....	169
Tabela 6.21. Seleção de conceito de produto	170
Tabela 7.2. Resultados da análise estrutural	184
Tabela 7.3. Funções da bicicleta em desenvolvimento.....	185
Tabela 10.1. Requisitos principais das normas EN-15194, EN-14764 e 16 CFR <i>Part</i> 1512.	207
Tabela 10.2. Requisitos de travagem EN-14764.	210
Tabela 10.3. Requisitos de travagem 16 CFR <i>Part</i> 1512	210
Tabela 10.4. Quadro de análise morfológica	213
Tabela 10.5. Critérios de avaliação da gravidade	222
Tabela 10.6. Critério de avaliação da ocorrência	222
Tabela 10.7. Critérios de avaliação da deteção.....	222

Lista de símbolos, acrónimos e siglas

PRT – Persona Rapid Transit (Transporte rápido pessoal)

GRT – Group Rapid Transit (Transporte rápido em grupo)

BRT – Bus Rapid Transit (Transporte rápido por autocarro)

EUA – Estados Unidos da América

EPAC – *Electrically Powered Assisted Cycles* (bicicletas de potência elétrica assistida)

EU-27 – União Europeia a 27 estados

GPS – Global positioning system (sistema de localização global)

LRT – Light rail transit (Comboio ligeiro de trânsito)

CAPÍTULO 1

1. Introdução

1.1. Motivação da dissertação

Hoje em dia, não se pode pensar em desenvolvimento económico sem transporte. Desde o motivo inicial de permitir a expansão para novos territórios para permitir o ganho de vantagens económicas, até á necessidade constante de estar em movimento, implicado pela nova geografia das atividades económicas dentro e fora das grandes cidades, cuja extensão a Ocidente tem sido constante desde a segunda metade do século XX, verifica-se que a evolução económica traz consigo a necessidade de mais soluções ligadas á mobilidade urbana.

Este novo tipo de geografia suburbanizada encorajou o uso do transporte individual, que tem sido o maior contribuinte para os problemas de mobilidade dentro das cidades. A utilização de veículos com taxas de ocupação baixas como o automóvel significam uma elevada ineficiência energética e uma grande ocupação de espaço desnecessária, tanto em movimento como em estacionamento. Essa ocupação de espaço traduz-se também numa elevada congestão de tráfego e dificuldades para o transporte não motorizado, como bicicletas e peões, cuja segurança de circulação tem vindo a diminuir á medida que o automóvel tem vindo a ganhar destaque como meio de transporte.

Estes problemas sendo graves, têm um fator acrescido que é a sua repetibilidade. Quanto mais se agravam, maior é a tendência para a extensão territorial da cidade, aliviando inicialmente algum do prejuízo, mas que tem historicamente causado ainda maiores danos, já que a extensão territorial fornece o incentivo a uma maior utilização do transporte individual.

Os transportes públicos estão também limitados na sua participação na resolução do problema á medida que a cidade se expande. As menores taxas de ocupação resultantes da maior diversificação de destinos, e os custos financeiros muito elevados, resultantes de operar frotas de dimensão e cobertura crescente, a longo prazo tornam o transporte coletivo insustentável.

Raras são as exceções de sistemas de transporte coletivo de sucesso, como o *Bus Rapid Transit* em Curitiba, analisado no capítulo dos casos de estudo. Será então explicado o que permite a este sistema prosperar em contexto de expansão urbana, mas também porque ele é um caso isolado, não sendo uma solução rápida, passível de ser adaptada a qualquer cidade e situação. Por outro lado será também visto um sistema nacional de transporte intermodal de sucesso, os Transportes Intermodais do Porto, onde se verá o que foi feito para integrar uma rede de transportes ferroviários com uma rede de transporte rodoviário de uma grande área urbana. Será também analisada uma solução análoga, na vertente do transporte individual, o *Personal Rapid Transit*, que embora conceptualizado desde os anos 50 e visto por muitos como tendo capacidade para ser uma solução de fundo aos problemas da mobilidade urbana, nunca foi implementado em extensão em cidades reais, de forma poder avaliar o conceito.

A mobilidade tem também hoje em dia um aspeto recreativo, que não pode ser desligado da busca das soluções futuras. O crescente tempo livre de obrigações económicas e consequentes estilos de vida requerem uma abordagem de desenvolvimento de produto que não se limite a desenvolver um transporte que possa ir o mais eficientemente possível de A para B, considerando os aspetos não utilitários da futura plataforma de mobilidade, como o *design* ou o potencial de divertimento proporcionado pelo seu uso.

Existe portanto a necessidade de desenvolvimento de novas plataformas de mobilidade individual, adaptadas aos problemas contemporâneos da mobilidade urbana, que contribuam para a sustentabilidade energética e ambiental do planeta e que, tendo uma forte componente utilitária que seja competitiva com os atuais sistemas de transporte coletivos e individuais, exiba ainda potencial lúdico e um elevado grau de facilidade de utilização, adequando-se à evolução demográfica da população mundial e aos estilos de vida modernos.

1.2. Objetivos globais

O objetivo do trabalho visou a elaboração de um Manual de Boas Práticas para a Mobilidade Sustentável, que incluiu a análise alargada da temática do transporte no contexto atual, incluindo a análise de algumas das melhores propostas formuladas nesta área. Pretendeu-se que fosse um documento técnico e pragmático, permitindo a todos os potenciais interessados, engenheiros e *designers* uma atuação mais eficaz no âmbito da

mobilidade sustentável. O trabalho foi acompanhado pela conceção e desenvolvimento de um projeto detalhado de uma plataforma individual de mobilidade sustentável, um veículo equivalente a uma bicicleta elétrica e que proporcione condicionamento físico, além de que deve exibir capacidades adicionais que a tornem mais atrativa para o lazer e desporto.

O trabalho tem portando dois objetivos principais: O desenvolvimento de um manual de boas práticas para a mobilidade sustentável, e a validação do mesmo através do desenvolvimento de uma plataforma concreta de mobilidade urbana individual.

1.3. Estrutura da dissertação

Este trabalho iniciou-se com o enquadramento do problema da mobilidade sustentável, nomeadamente a mobilidade urbana, e a sua relação com as estruturas geográficas urbanas, políticas de transporte adotadas, a hegemonia do automóvel, o declínio do transporte público e a evolução demográfica, particularmente a ocidente. As principais consequências da evolução do transporte urbano do século XX foram analisadas segundo uma perspetiva histórica, para que o projetista atual se possa guiar para novas soluções benéficas sempre ciente do contexto de mobilidade onde está inserido.

Em seguida foram enumeradas as plataformas de mobilidade urbana contemporâneas, assim como algumas das suas características principais.

Foram posteriormente analisadas em detalhe cinco propostas de vanguarda na área da mobilidade, no capítulo de Casos de Estudo: Os veículos individuais inclináveis, o *Bus Rapid Transit*, o *Personal Rapid Transit*, o *Bicing* e os Transportes Intermodais do Porto. Estes sistemas e conceitos permitiram observar com mais detalhe os seus fatores de sucesso e fracasso, servindo então para compreender algumas direções e questão a ser consideradas na tentativa de mitigar os problemas da mobilidade urbana.

No capítulo sobre ergonomia, apresentaram-se as principais condicionantes, soluções e fatores relativos ao projeto ergonómico. O projetista deve ter conhecimento destes aspetos ergonómicos de forma a poder desenvolver plataformas de mobilidade inclusivas e confortáveis, que sejam amplamente aceites no atual mercado alargado.

Após o estudo dos sistemas de transporte urbano contemporâneos e alguns dos sistemas e direções de vanguarda, foi desenvolvido um novo veículo de transporte, seguindo uma metodologia própria para desenvolvimento de produto, partindo das necessidades do

cliente e chegando a um conceito para uma plataforma de mobilidade concreta, que foi modelado e projetado com o auxílio de um *software* CAD 3D.

CAPÍTULO 2

2. Estado da Arte

2.1. Mobilidade

A mobilidade pode ser definida como o movimento de passageiros ou carga entre diferentes localizações, através de meios de transporte. O aumento na magnitude da mobilidade que os meios de transporte permitem, foi desde as civilizações antigas um facilitador de progresso, permitindo a exploração económica de novos territórios, com vista á acumulação, produção e venda de recursos e bens, permitindo o crescimento económico das comunidades e países que deles faziam uso.

A mobilidade, que é e sempre foi na sua função principal utilizada para obtenção de vantagens económicas, recentemente encontrou outra aplicação, o lazer. Após a massificação do transporte automóvel e do transporte aéreo, e também fruto das condições de vida favoráveis nos países desenvolvidos, a mobilidade de lazer passou a constituir uma parte significativa do mercado da mobilidade, havendo hoje em dia duas vertentes, económica e lazer, cujas características específicas, analisadas no primeiro capítulo.

Nos tempos atuais, a mobilidade encontra-se no pico de crescimento. Este rápido crescimento no século XX mostra hoje as suas consequências nefastas, sendo as principais o congestionamento de tráfego e insustentabilidade energética, particularmente em ambientes compactos como é o caso das cidades.

Em pleno século XXI, torna-se evidente a necessidade de novos meios de transporte, que possam conciliar os atuais níveis de mobilidade, exigidos para manter o nível de vida atual, com um combate ativo aos problemas contemporâneos da mobilidade.

2.2.Modos de transporte

2.2.1. Transporte rodoviário

Este é o modo em que os passageiros e carga são transportados em veículos que circulam sobre estradas. É um modo de transporte que possui uma elevada flexibilidade de escolha de destinos e rotas, uma velocidade relativamente elevada tanto no transporte como no *handling* e um baixo custo de aquisição. As suas maiores desvantagens são a pouca escalabilidade de transporte e os elevados custos ambientais, energéticos e de congestão de tráfego, crescentes no último meio século por via de uma expansão sem precedentes da popularidade deste modo de transporte, em particular do automóvel. A grande maioria de passageiros e bens são hoje transportados por meio rodoviário, como se pode ver na seguinte figura, que regista o transporte de passageiros na Europa a 27.

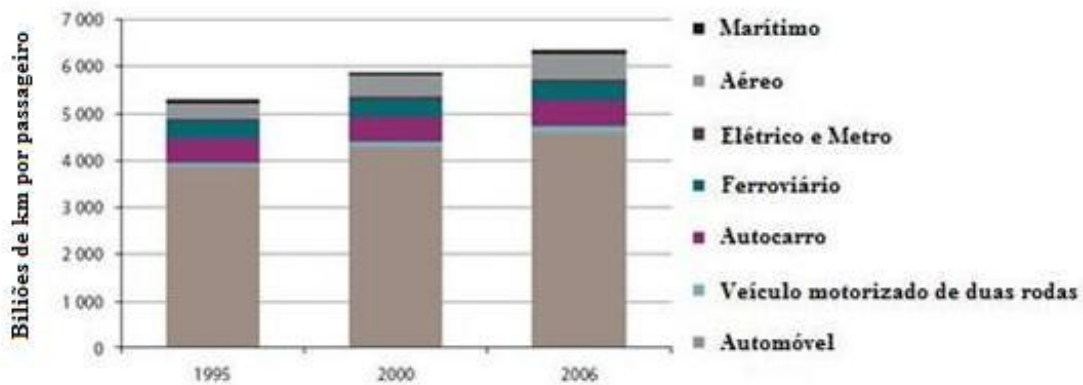


Figura 2.1.- Gráfico performance de transporte de passageiros, por meios de transporte motorizados.EU-27. Adaptado de Eurostat, 2009.

O acesso ao automóvel, a par do crescimento da aviação, também permitiu a massificação da mobilidade de lazer, durante a última metade do séc. XX.

No transporte rodoviário de passageiros são utilizados veículos de pequenas dimensões, especialmente em contexto urbano, como os automóveis, motociclos e bicicletas. Há também transportes coletivos, que servem as rotas principais de circulação de passageiros. Exemplos destes veículos são os autocarros, miniautocarros e mais recentemente o *Bus Rapid Transit*. Estes veículos de transporte coletivo têm uma utilização substancialmente inferior á do automóvel, realizando aproximadamente um décimo da quantidade média viajada por passageiro relativamente ao automóvel.

2.2.2. Transporte ferroviário

O transporte ferroviário é um tipo de transporte coletivo de passageiros e carga, que opera em trajetos rígidos, utilizando para isso vários tipos de veículos, denominados comboios. No transporte ferroviário a via-férrea serve não só de meio de suporte, como uma estrada, mas também como guia do veículo, estando a circulação de veículos ferroviários restrita à existência, trajetória e destinos proporcionados pelas vias férreas. Na sua generalidade, é um transporte rápido e de elevada capacidade. Devido ao custo elevado de aquisição de veículos e de construção de infraestrutura, a maioria destes sistemas são de propriedade Pública.

Este modo de transporte, cuja motorização é na sua maioria elétrica, evoluindo do vapor e do gásóleo, é energeticamente eficiente, sendo também responsável por baixos níveis de poluição, o que resulta num “consumo de energia por unidade de carga por km mais baixo que os modos rodoviários” (Rodrigue, J-P *et al.* 2009).

As maiores restrições deste meio de transporte são a inflexibilidade de destinos, já que o comboio só pode percorrer rotas previamente estabelecidas e, presentemente, uma dificuldade em efetuar transporte internacional entre países, caso estes tenham bitolas de diferentes tamanhos, o que acontece com frequência na Europa e Ásia.

Na Europa a utilização do comboio tem aumentado, muito por influência das linhas de alta velocidade para passageiros. No entanto, a quantidade média de quilómetros por passageiro viajada é apenas 8.3% relativamente ao automóvel.

2.2.3. Transporte marítimo

O transporte marítimo é o movimento ao longo da superfície marítima, incluindo mares, rios e demais afluentes, de navios construídos especificamente para desempenhar variadas tarefas, como o transporte de passageiros, ou o transporte de carga. Atualmente, a grande maioria do transporte marítimo é relativo a carga, sendo “a partir de 2006, o comércio (transporte) por via marítima responsável por 89.6% do comércio global em termos de volume e de 70.1% em termos de valor” (Rodrigue, J-P *et al.* 2009). Em termos de transporte de passageiros, na EU-27, os navios de cruzeiro transportam cerca de “2% de todos os passageiros em portos europeus” (Eurostat, 2009), sendo que embarcações de dimensões mais reduzidas como ferries transportam os restantes 98%.

A principal vantagem do transporte marítimo é o seu baixo custo garantido tanto por baixos consumos energéticos e baixos custos de contexto, aliados a uma elevada capacidade de passageiros e carga.

2.2.4. Transporte aéreo

O transporte aéreo emprega aeronaves no transporte de pessoas e cargas, em transportes nacionais, internacionais e intercontinentais. A vantagem principal do transporte aéreo é a velocidade a que é feito, com a maioria dos aviões comerciais contemporâneos a ultrapassar a barreira dos 900km/h, transportando até 845 passageiros a distâncias de 14800km, no caso de um dos mais recente aviões de passageiros Airbus, o A380. A nível geral, a capacidade e autonomia dos aviões tem sido crescente desde a sua introdução como meio de transporte, sensivelmente a metade do século XX.

A escolha de destinos está relacionada a compatibilidade do avião á pista de aterragem na origem e no destino. Existindo aviões dos mais variados tamanhos e capacidades, a escolha de destinos, geralmente capitais e cidades principais, é de um modo geral bastante flexível, havendo uma boa cobertura de destinos por parte das variadas companhias de transporte aéreo.

O transporte aéreo tem como desvantagens os elevados consumos energéticos e os elevados níveis de poluição gerados na estratosfera, zona onde se torna mais prejudicial á camada do ozono.

Mais recentemente a mobilidade aérea tem um grande contributo para o turismo, tanto a nível nacional como a internacional, em que cerca de metade dos passageiros aéreos atualmente deslocam-se para fins de lazer. Com uma dimensão crescente a 4.7% ao ano na EU, maior que o crescimento dos restantes modos e sem expectativa de diminuição, o tráfego aéreo “já é o segundo transporte relativamente a quilómetros por passageiro a nível da EU-27” (Eurostat, 2009, *Panorama of transportation 2009 Edition*, p.101). Este crescimento pode ser visto na seguinte figura2.2.

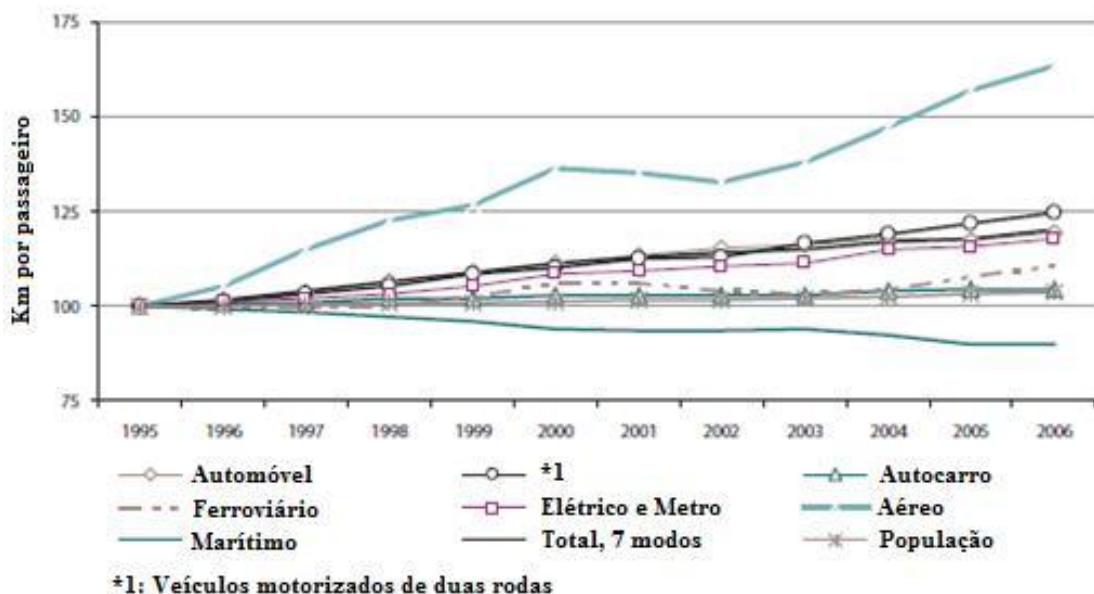


Figura 2.2. Gráfico transporte de passageiros por modo, km por passageiro, EU-27 (índice 1995 = 100). Adaptado de Eurostat, 2009.

2.2.5. Transporte intermodal

O transporte intermodal é o transporte de pessoas ou bens através de dois ou mais modos de transporte diferentes que perfazem no entanto uma única viagem, com uma tarifa única e pontos de troca de passageiros ou carga comuns. Esta modalidade permite um melhor uso dos transportes, pois utiliza as vantagens de cada meio no contexto próprio.

Um exemplo pode ser o transporte intermodal de passageiros entre duas cidades: Um sistema de autocarros recolhe os passageiros em diversos pontos na cidade A e leva-os para uma estação central ferroviária, onde todos os passageiros se dirigem a um comboio de trânsito que os transporta até à estação central da cidade B, onde estes podem novamente utilizar o serviço de autocarros para se dirigirem a diferentes pontos dispersos ao longo da cidade B, pagando apenas uma tarifa de trânsito genérica que incluía o serviço de autocarro-comboio-autocarro sob uma única tarifa.

Segundo Rodrigue, J-P *et al.* 2009, este modo de transporte surgiu primeiro como inovação tecnológica no transporte de carga, nomeadamente com a introdução da carga contentorizada, tendo mais recentemente sido objeto de políticas governamentais para a sua introdução no transporte público de passageiros.

Esta intermodalidade tornou os outrora sistemas de transporte multimodo de uma lógica ponto-a-ponto, substituindo-os com o transporte entre bases de distribuição principais,

os *hubs*, e as bases secundárias, um sistema que utiliza os transportes disponíveis de uma forma muito mais eficiente, aumentando as taxas de ocupação e diminuindo as distâncias viajadas por cada veículo.

2.3. Escolha modal

A escolha modal faz-se principalmente em função da distância da viagem, tendo como critério dominante o custo. Outro critério, importante na mobilidade de lazer é o estilo de mobilidade preferencial, como se verá mais á frente.

Relativamente aos custos do transporte em função da distância, pode ser observado na seguinte figura 2.3. que os modos se tornam mais rentáveis com o aumento das distâncias viajadas proporcionalmente á sua capacidade, i.e., veículos de pequena capacidade como automóveis e autocarros são rentáveis a curtas distâncias, D1 representa o ponto onde o transporte ferroviário se torna mais lucrativo, tornando-se o transporte marítimo, de maior capacidade, o mais rentável a partir de D2.

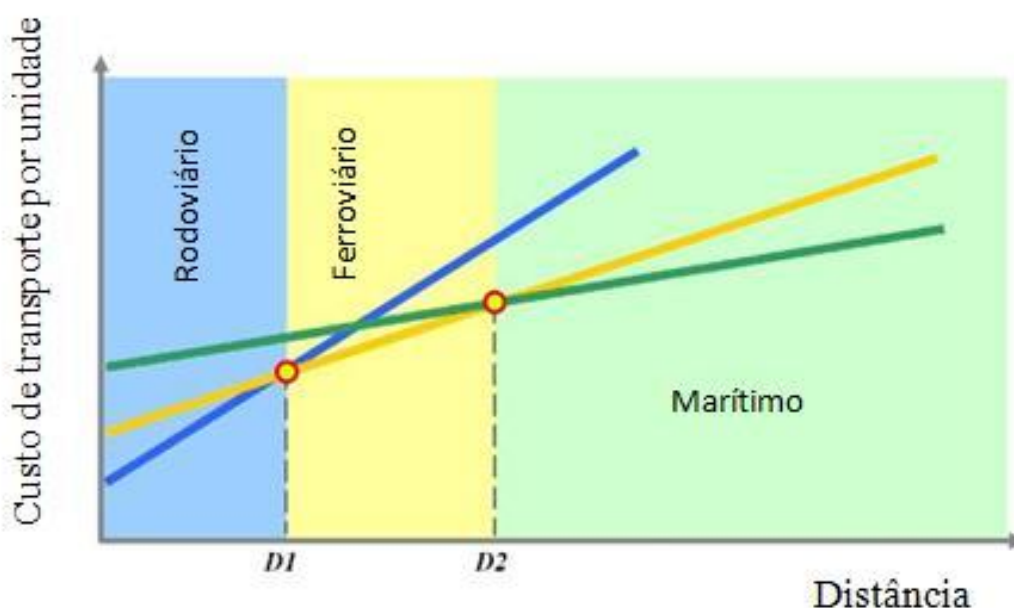


Figura 2.3. Estruturas de custo por tipo de transporte, em função da distância. Adaptado de Rodrigue, J-P et al. 2009.

Em resultado desta estrutura de custos, o modo preferencial em função da distância viajada distribui-se de acordo com a seguinte figura 2.4.

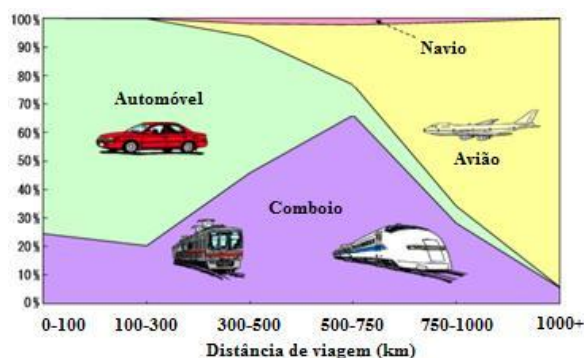


Figura 2.4. Gráfico escolha modal em função da distância de viagem. Adaptado de Tanemura, M., 2010.

Como pode ser visto nas viagens com menos de 300 km, aproximadamente 80% das viagens são feitas por transporte individual, entre os 300 e os 750km, a escolha predominante é o comboio, havendo também já um crescimento na utilização do avião, que é o modo dominante a maiores distâncias. No transporte de passageiros, os navios operam em todas as distâncias sendo no entanto um modo com uma escolha residual por parte dos utilizadores.

2.4. Transporte sustentável

Transporte sustentável “para garantir que os nossos sistemas de transporte cumprem as necessidades económicas, sociais e ambientais ao mesmo tempo que minimizam os impactos na economia, sociedade e ambiente.” (Eurostat, 2011, *Sustainable Development in the European Union - Monitoring report of the EU sustainable development strategy*)

Esta é a definição de transportes sustentáveis dada pela Comissão Europeia, presente no tratado de Lisboa, assinado em 2007 pelos membros da EU27, que define o transporte sustentável como uma direção para o futuro da política de transportes Europeia.

Mas esta não é uma política que acaba no âmbito da União Europeia. É uma visão e estratégia global. Ela assenta na premissa que os sistemas de transporte atuais não conseguem responder às necessidades correntes e futuras de mobilidade das populações em número crescente e em envelhecimento acelerado, que provocam uma forte dependência energética das nações e que são largamente prejudiciais para o ambiente, já que são um contribuidor crescente na emissão de gases poluentes.

Neste capítulo inicial serão demonstradas as razões para esta nova abordagem aos sistemas de transporte particularmente a Ocidente.

2.5.Importância económica

Os transportes foram desde cedo um veículo para o desenvolvimento económico das populações. Na era pedonal, anterior aos transportes, o ser humano estava restringido pela sua capacidade física ao espaço territorial que ocupava, o que limitava os recursos a que este podia aceder.

Os tempos de deslocação das pessoas em torno das suas habitações foram estudados nos anos 70 por Yakov Zahavi, onde foi descoberto que o tempo médio de trânsito humano nas suas atividades diárias é de aproximadamente uma hora, como é possível observar na figura 2.5., tendo este tempo médio mantendo-se inalterado a nível global até aos dias de hoje.

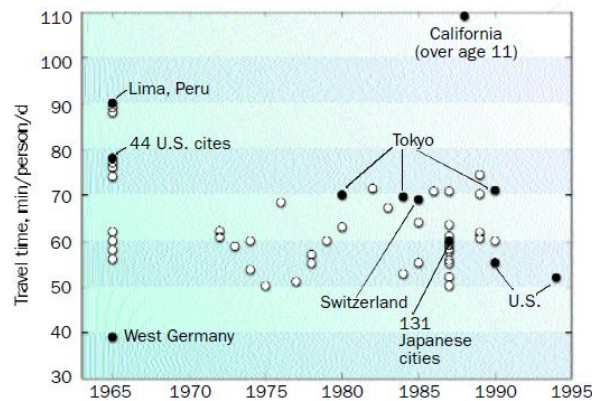


Figura 2.5. Gráfico tempo de viagem/pessoa (min) ao longo das décadas. Fonte: Ausubel, J.H. e Marchetti, C., 1998.

Uma hora de trânsito corresponde a uma distância percorrida a pé igual ao diâmetro médio das antigas cidades vitorianas, de 5km. Segundo Este fator limitava a zona de recursos alcançáveis a 20 Km² em redor de cada habitante, situação que limitava a mobilidade, crescimento e portanto a prosperidade destas populações, sendo o acesso a recursos mais longínquos o principal motivador do desenvolvimento dos sistemas de transporte até aos dias de hoje. Este tempo médio de viagem pouco mudou até aos dias de hoje, onde “Globalmente, as pessoas gastam cerca de 1.2 horas por dia em trânsito” (Rodrigue, J-P *et al* 2009).

O transporte marítimo foi o primeiro a ser usado como tal, desde 3200 A.C., sendo adequado, tal como hoje ao transporte de carga e pessoas a longas distâncias, havendo posteriormente um impulso nos transportes terrestres com a utilização de animais de tração e o surgimento dos veículos ferroviários na revolução industrial no Séc. XIX.

Estas evoluções revolucionárias nos transportes podem ser distinguidas nas seguintes fases (Adaptado de Rodrigue, J-P *et al.* 2009, *The Geography of Transport Systems*):

- **Portos marítimos:** ligados á expansão da Europa desde o séc. XVI ao séc. XVIII, suportando o comércio com as colónias
- **Utilização de rios e canais:** A revolução industrial, do fim do séc. XVIII está ligada ao surgimento de canais na Europa Ocidental e Estados Unidos da América, onde era possível o transporte de cargas pesadas. Associados a estes transportes marítimos surgiram os primeiros sistemas de transporte e distribuição terrestre organizados, para redistribuir a mercadoria vinda por via marítima.
- **Rede ferroviária:** A segunda fase da revolução industrial, no séc. XIX foi potenciada por melhores sistemas de distribuição terrestre, pelo meio ferroviário.
- **Estradas:** no séc. XX houve uma massificação da rede rodoviária de transportes e o surgimento do automóvel, acessível agora á maior parte da população no período pós guerra. Este processo foi influenciado politicamente pela construção das redes de autoestradas, a ligar as principais cidades dos países.
- **Transporte aéreo:** surgimento do transporte aéreo na segunda metade do século XX. Este método reduziu drasticamente os tempos de viagem e foi um fator decisivo na globalização das atividades económicas

Esta evolução dos transportes obedeceu sempre a um padrão: uma velocidade média dos veículos em crescendo. Cada uma destas fases de evolução tecnológica durou aproximadamente “50 a 100 anos até saturar o seu nicho” (Ausubel, J.H. e Marchetti, C., 1998), momento em que surge um novo meio de transporte que permite novamente o aumento da velocidade média de trânsito, padrão que é possível observar na seguinte figura.

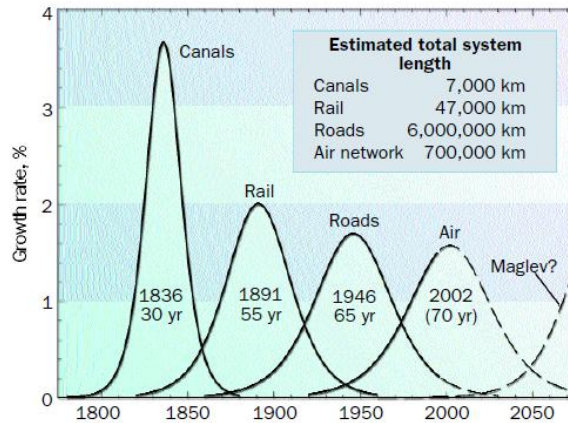


Figura 2.6. Gráfico rácio de crescimento das várias evoluções nos vários modos de transporte. Fonte: Ausubel, J.H. e Marchetti, C., 1998.

Tendo em conta que o tempo padrão de duração de viagem se manteve praticamente inalterado, a velocidade foi o fator que permitiu o acesso aos novos territórios e recursos.

Esta melhoria contínua resulta num crescimento de mobilidade. Tomando como exemplo os Estados Unidos, “desde 1800 até aos dias de hoje, a mobilidade tem crescido em média 2.7% ao ano, duplicando a cada 25 anos” (Ausubel, J.H. e Marchetti, C., 1998). Esta percentagem está patente na linha de regressão na seguinte Figura.

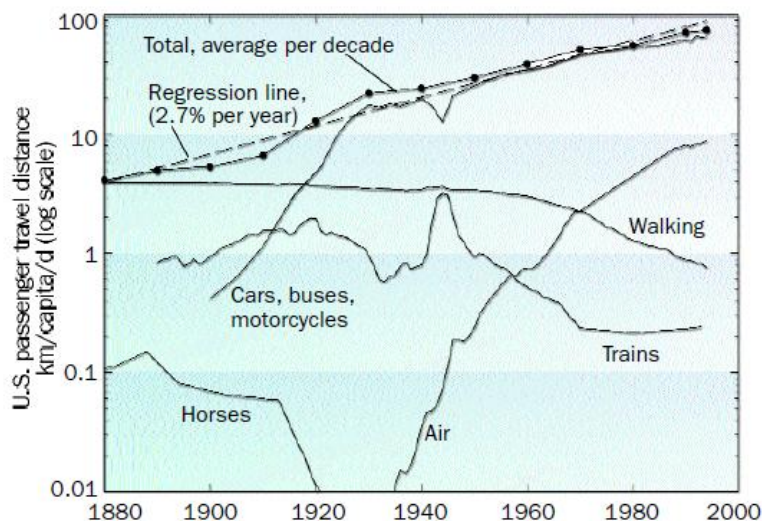


Figura 2.7. Gráfico de crescimento da distância viajada nos Estados Unidos da América, desde 1880. Fonte: Ausubel, J.H. e Marchetti, C., 1998.

Os benefícios económicos proporcionados por este aumento de mobilidade que os transportes proporcionam podem ser medidos concretamente em melhorias:

- **Especialização geográfica**, que permite a uma região/país focar os seus recursos num determinado tipo de produção, aumentando a eficiência do processo e por isso o seu valor acrescentado.
- **Produção e distribuição a grande escala**, essencial ao aumento de margens em produção.
- **Aumento da competição e competitividade**, nas oportunidades de negócio e eficiência de transporte proporcionados.
- **Aumento do valor do território**.

(Adaptado de Rodrigue, J-P *et al* 2009, *The Geography of Transport Systems*).

Os transportes geram também outros benefícios indiretos como melhoria de acesso a recursos e oportunidades para a maioria da população, melhoria do nível de vida através do trânsito não económico como o das atividades sociais e recreativas, e criação de empregos especializados, geralmente de grande valor acrescentado, á volta de toda indústria e serviços dos transportes.

2.6. Formação das geografias urbanas

Não foi só a nível económico e social que os transportes revolucionaram o modo de vida das populações. No mundo pré-revolução industrial, as populações dependiam da agricultura como meio de subsistência. Com o advento da mesma, durante o Séc. XIX, as máquinas progressivamente libertaram a população do trabalho agrícola rural e estas, aproveitando a mobilidade conferida pelos transportes, migraram para as cidades, onde a concentração de pessoas melhorava as oportunidades económicas e de qualidade de vida. Os próprios transportes ferroviários, devido á sua natural inflexibilidade de rotas, também favoreciam a concentração das populações que deles pretendiam usufruir.

Esta concentração da população durou até ao aparecimento do automóvel, em 1920, que lentamente começou a inverter essa tendência, que cresceu abruptamente na década de 50, eventualmente passando a ser o meio de transporte dominante, num crescimento de popularidade que lhe permite em 2008 uma taxa de veículos *per capita* de 82.2%, como se pode observar na seguinte tabela.

Tabela 2.1. Propriedade automóvel nos estados unidos 1960-2000. Adaptado de Davis, S.C. *et al*, 2010.

Propriedade automóvel nos lares Americanos, Censos 1960-2000					
Ano	Sem veículos (%)	Um veículo (%)	Dois veículos (%)	Três ou mais veículos (%)	Total de veículos
1960	21.53	56.94	19.00	2.53	54,766,718
1970	17.47	47.71	29.32	5.51	79,002,052
1980	12.92	35.53	34.02	17.52	129,747,911
1990	11.53	33.74	37.35	17.33	152,380,479
2000	9.35	33.79	38.55	18.31	179,417,526

A referida crescente popularidade do automóvel pode ser vista ver na tabela 2.2.

Tabela 2.2. Veículos e milhas percorridas *per capita* por veículo 1950-2000. Adaptado de Davis, S.C. *et al*, 2010.

Veículos e milhas por capita por veículo 1950-2008			
Ano	Veículos <i>per capita</i>	Milhas de veículo <i>per capita</i> (milhares)	Veículos por pessoa empregada
1950	0.286	3.017	0.74
1960	0.377	3.994	1.03
1970	0.481	5.440	1.25
1980	0.615	6.722	1.41
1990	0.717	8.573	1.51
2000	0.755	9.728	1.56
2008	0.822	9.766	1.72

A partir desta data, os países adotaram abordagens distintas ao investimento em transportes, quer pelo investimento no transporte público tendo a Europa e Japão como exemplos principais, versus a abordagem Americana, Canadiana e Australiana que investiram em redes de estradas e autoestradas, facto que resultou na dimensão variável na rede de autoestradas observável na figura 2.8.

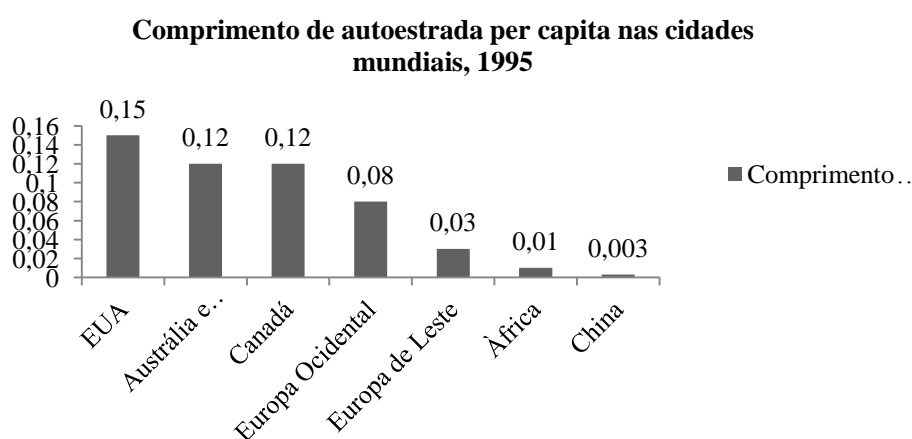


Figura 2.8. Gráfico comprimento de autoestrada per capita nas cidades mundiais, 1995. Adaptado de Kenworthy, J., 2003.

Esta diferença nestas direções levou ao longo do tempo á formação das geografias urbanas contemporâneas, com as suas densidades médias de cidades características em alguns países e continentes, como mostra a seguinte figura.

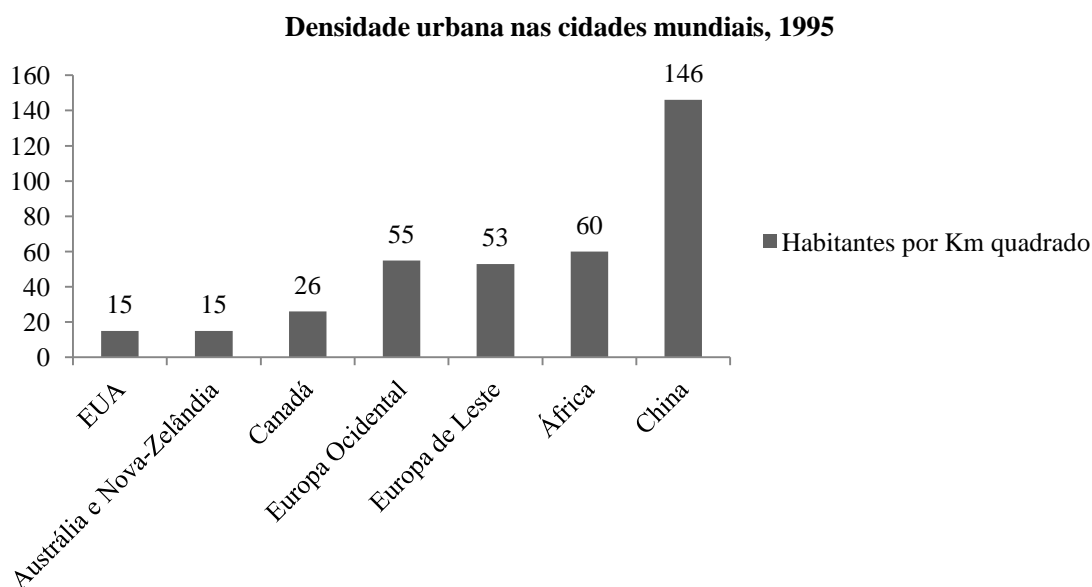


Figura 2.9. Gráfico densidade urbana nas cidades mundiais, 1995. Adaptado de Kenworthy, J., 2003.

2.7. Mobilidade urbana

A população das cidades, desde o êxodo rural provocado pela mecanização da agricultura tem sido crescente, nos países desenvolvidos. Este fenómeno ganhou particular importância nos anos seguintes á Segunda Guerra mundial, onde não só a concentração urbana de pessoas se continuou a dar, mas em que a própria população cresceu a um ritmo elevado. Rodrigue, J.P. *et al.* refere que (2009) “Desde 1950, a população urbana mais do que duplicou, até chegar quase dos 3.5 biliões em 2010, cerca de 50.6% da população mundial” e que “Em 2050, 6.4 biliões de pessoas, cerca de dois terços da humanidade, serão provavelmente residentes urbanos”, portanto, um crescimento que tenderá a manter-se a longo prazo. Consegue-se assim perceber a importância da mobilidade urbana no contexto do próprio conceito de mobilidade.

A mobilidade urbana teve eras distintas, com o seu início nas deslocações pedonais, nas antigas cidades com diâmetros de 5km até às extensas cidades do presente, que acompanharam e provocaram as mudanças geográficas que foram faladas neste capítulo. As eras são separadas por evoluções revolucionárias nos meios de locomoção, sendo por ordem cronológica:

- **Era pedonal** – carruagem: (1800-1890): aproveitando a estrutura das cidades da época, compactas e com diâmetros de menos de 5km, era possíveis deslocações a pé até qualquer ponto de interesse. As carruagens, veículos de tração animal, eram também utilizadas como transportes pessoais dos grupos sociais mais abastados e para transporte de carga como suporte às atividades económicas.
- **Era do elétrico**: (1890-1920): revolucionou o transporte citadino e permitiu a extensão das cidades para novos diâmetros de 20-30kms, acompanhando o desenvolvimento dos traçados de elétrico, usualmente em estrela a partir do centro da cidade.
- **Era do automóvel**: (a partir de 1920): com o surgimento da produção em massa da Ford, o automóvel ganhou a capacidade de se massificar como meio de transporte individual e familiar. Esta evolução reduziu significativamente o incómodo de percorrer grandes distâncias, o que em conjunto com o desenvolvimento da rede rodoviária, permitiu a suburbanização das áreas urbanas, beneficiando de novos espaços verdes, com pouca poluição, congestão e preços mais baixos agora disponíveis para desenvolvimento urbano e industrial.

(Adaptado de: Rodrigue, J-P *et al* 2009, *The Geography of Transport Systems*)

As cidades, por via dos variados desenvolvimentos económicos no sentido da descentralização ou centralização de atividades económicas ou pelo urbanismo adotado, motivo político, divergem no seu ordenamento geográfico segundo quatro tipologias:

- **Tipo 1**: Completamente motorizada: Representando uma cidade dependente do automóvel, com centralismo limitado e atividades dispersas.
- **Tipo 2**: Centro fraco: Representando a estrutura espacial de muitas cidades Americanas, onde muitas atividades estão localizadas na periferia
- **Tipo 3**: Centro forte: Representando centros urbanos de grande densidade com sistemas de trânsito público bem desenvolvidos, particularmente na Europa e Ásia.
- **Tipo 4**: Tráfego limitado: Representando áreas urbanas que tenham implementado controlo de tráfego e preferências modais na sua estrutura espacial. Com regularidade, a área central é dominada pelo trânsito público.

(Adaptado de: Rodrigue, J-P *et al* 2009, *The Geography of Transport Systems*)

Podendo-se construir dois grandes grupos, o das cidades suburbanizadas, e o das cidades compactas com centros fortes. Esta diferença na organização geográfica de cidades menos densas e mais densas, respetivamente, afetam os modos preferenciais dos utilizadores para nela se deslocarem, representados na figura 2.10., e conseqüentemente todos os aspetos da mobilidade urbana como os problemas de congestão e demora nas deslocações, problemas de poluição ambiental e sonora, problemas relacionados com a ansiedade e *stress* provocado nos cidadãos pela confusão e problemas energéticos, que serão tratados mais á frente neste capítulo.

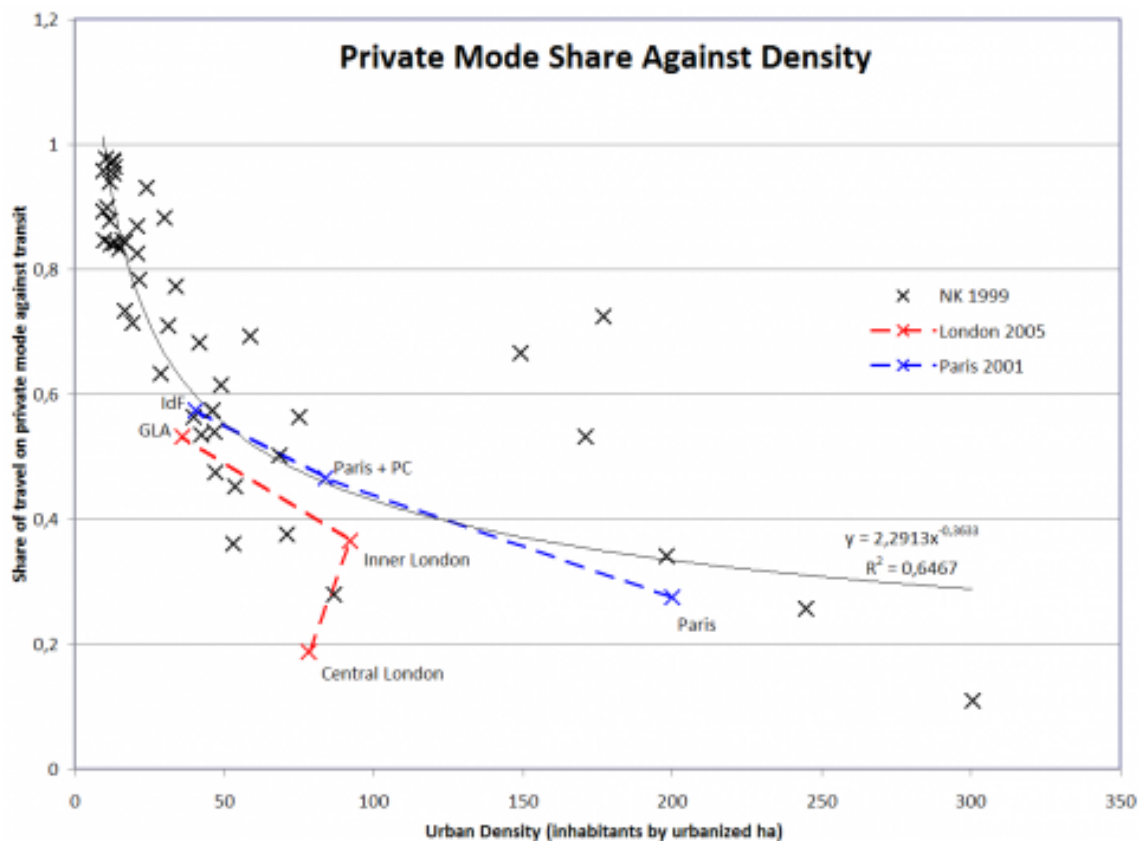


Figura 2.10. Gráfico rácio de escolha do modo de transporte individual versus densidade de zonas urbanizadas urbana em duas capitais europeias. Fonte: Le Néchet, F., 2012.

Esta tendência verificada em pequena escala em duas cidades, também se verifica a nível global, tendo os países com desenvolvimento mais suburbanizado uma taxa de uso do veículo privado em relação ao público maior do que nos países de cidades de centro forte, como mostra a seguinte figura.

Utilização de automóvel de passageiros nas cidades mundiais, 1995

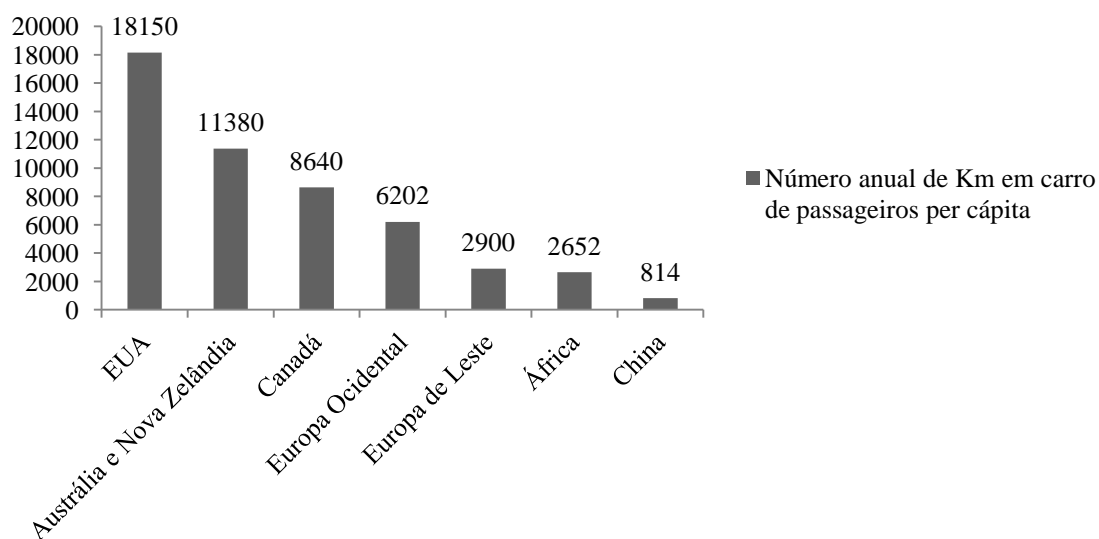


Figura 2.11. Gráfico utilização do automóvel de passageiros nas cidades mundiais. Adaptado de Kenworthy, J., 2003.

Os movimentos urbanos efetuados pelas populações podem dividir-se segundo os seus variados propósitos. A seguinte tabela apresenta as categorias e uma estatística de ocorrência das mesmas:

Tabela 2.3. Estatística de viagens por propósito, Estados Unidos da América 2009. Adaptado de Davis, S.C. *et al*, 2010.

Estatística de viagens por propósito, Estados Unidos da América 2009	
Propósito	Quota de viagens (%)
De/para o local de trabalho	27.1
Viagens de trabalho	8.4
Compras	16.5
Assuntos familiares/pessoais	16.7
Escola/Igrejas	3.7
Cuidados de saúde	2.2
Férias	1.8
Visitas a amigos/familiares	9.1
Recreio/Sociais	13.6
Outras	0.8

Esta escolha modal nestes movimentos faz-se a partir de dois grandes grupos de modos de transporte, o transporte individual/privado e o transporte coletivo/público.

- **Transporte Individual/Privado:** Qualquer meio que ao utilizador exercer a sua escolha individual na operação e destino. Dois exemplos disso são o automóvel e a bicicleta.
- **Transporte Coletivo/Público:** Os transportes coletivos, em oposição ao transporte individual visam a partilha, sem pré arranjo, do meio de transporte por um grande número de passageiros. Eles privilegiam o trânsito em rotas com pontos de interesse fixos. Eles fornecem um serviço, de baixo custo no caso dos transportes públicos, que visa promover a mobilidade a grande escala de todos os segmentos da população, operando em rotas fixas ou variáveis (*demand responsive*) privilegiando o volume de transporte em detrimento da flexibilidade de destinos. Exemplos destes meios de transportes são os autocarros, metropolitanos, elétricos, aviões comerciais e ferries.

2.8. Mobilidade de lazer

A mobilidade de lazer é a vertente de mobilidade que é realizada por decisão do utilizador tendo como objetivo responder aos seus desejos, e não às suas necessidades, no seu tempo livre de compromissos económicos e de subsistência.

Este tipo de mobilidade “contabiliza cerca de 50% da distância viajada anualmente pelas pessoas nos países desenvolvidos” (Grubbe, M. e Otto, S., 2011), sendo por isso uma componente significativa no contexto da mobilidade atual.

2.8.1. Utilização do tempo livre

No estudo de Engler, M. e Staubli, S., 2008, *Distribution of Leisure Time Across Countries and Over Time*, em que é comparada a utilização de tempo entre os Estados Unidos da América, Canadá, Reino Unido, Noruega e Holanda, é referido que os padrões de utilização de tempo de lazer convergem entre esses vários países. Este fato significa que é possível generalizar os modos de utilização de tempos livres nos países ocidentais a partir de observações locais, sem incorrer em erros significativos para a maioria das situações.

A distribuição de tempo livre num caso particular, do estudo de Föbker,S. e Grotz,R., *Leisure-related mobility of elderly people: ways to sustainability*, da cidade alemã de Bonn e seus arredores, pode ser visto na seguinte figura.

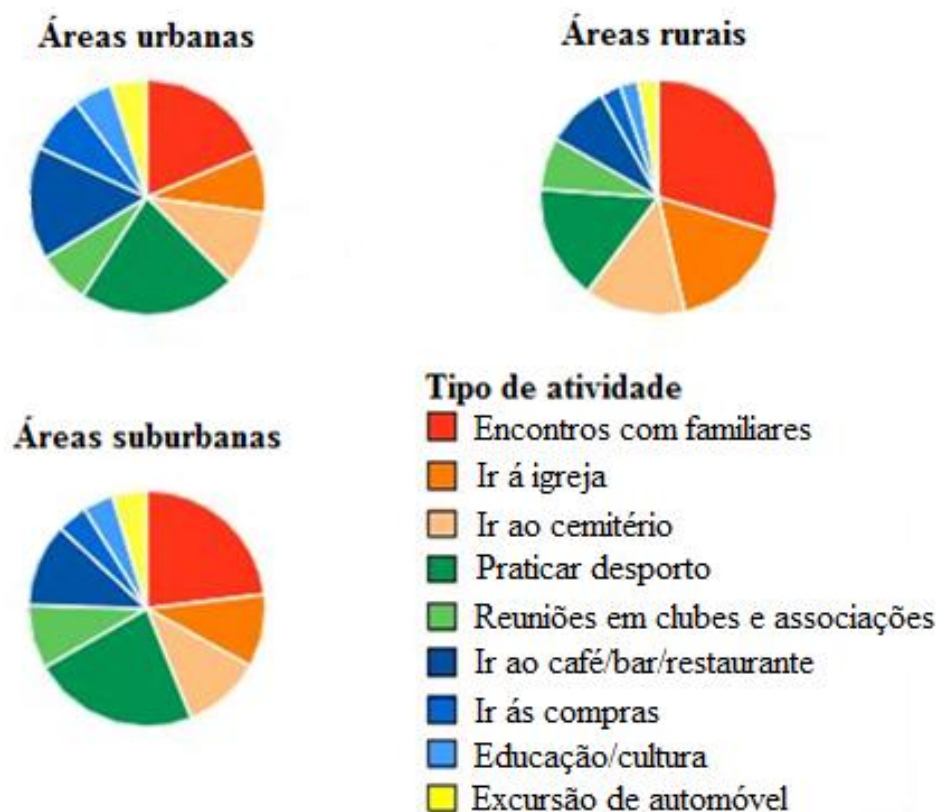


Figura 2.12. Gráficos de distribuição de tempos livres na cidade de Bönn, no contexto urbano, suburbano e rural. Adaptado de Föbker,S. e Grotz,R., 2003.

Como pode ser observado a ocupação de tempo livre é bastante variada, mantendo um certo grau de distribuição equitativa, sendo as atividades inerentes ao preenchimento deste tempo livre realizadas em diversos espaços físicos.

Esta variação continuada de espaços físicos implica que também na mobilidade de lazer o ser humano beneficia de crescentes níveis de mobilidade, que pode ser tornados realidade a partir do desenvolvimento de plataformas de mobilidade, tão necessárias no contexto da mobilidade de lazer como, conforme visto anteriormente, na mobilidade económica.

2.8.2. Dimensões da mobilidade de lazer

A mobilidade de lazer não tem os mesmos constrangimentos e necessidades relacionadas com aspetos utilitários que caracterizam a mobilidade económica. Como

resultado as necessidades e a racionalidade económica deixam de ser os fatores dominantes, dando lugar às vontades e a expressão do estilo de vida dos utilizadores.

A mobilidade de lazer realiza-se em três dimensões principais (Schubert, S., 2004):

- Movimento de indivíduos e objetos dentro de um espaço físico geográfico.
- A existência de oportunidades dentro de um espaço social para preencher necessidades: espaços para comer, dormir, trabalhar, etc.
- Mas a mobilidade é também é relacionada com o posicionamento no espaço simbólico: onde e como um se move é também um sinal de posicionamento social.

Em termos de geometria urbana, os principais indicadores que permitem prever a escolha modal predominante são a densidade e a forma como o espaço é utilizado, variando a disposição das zonas comerciais, residenciais, industriais e de lazer. Estes indicadores são válidos não apenas na mobilidade de lazer, mas também na mobilidade em termos gerais.

Em vários estudos em geografias urbanas, suburbanas e rurais sintetizados por Curtis, C. e Perkins, T., 2006, *Travel Behaviour: A review of recente literature* é referido que “A forma urbana pode ter um papel significativo nos padrões de deslocação e comportamentos. A pesquisa mostra que as zonas de uso singular, de baixa densidade, produzem as viagens mais longas e produzem a maior dependência do automóvel como meio principal de transporte. Utilização de terreno em maior densidade com zonas mistas e um maior acesso a modos de transporte sustentáveis são mais passíveis de promover comportamentos de viagem sustentáveis” (Curtis, C. e Perkins, T., 2006)

A mobilidade no espaço social está dependente do nível de desenvolvimento de infraestruturas onde os utilizadores possam preencher os seus tempos livres com atividades sociais e recreativas, e o tipo de meios de transporte existentes no espaço geográfico para satisfazer as vontades dos utilizadores.

No estudo *Leisure-related mobility of elderly people: ways to sustainability*, é referido que “em todos os espaços geográficos, pode ser observada uma tendência para o aumento do número de viagens a curtas distancias com o aumento da qualidade do lazer (disponibilidade de infraestruturas de lazer)” (Föbker, S. e Grotz, R., 2003).

É ainda notado que “a influência de oferta local (nas distâncias de viagem) é particularmente notada nos subúrbios” (Föbker, S. e Grotz, R., 2003). Isto deve-se a dois fatores dos espaços sociais urbano e rural:

- No espaço social rural, as motivações principais de viagem estão ligadas á vida em comunidade destas zonas, o que leva á maioria das viagens serem internas as mesmas.
- No espaço urbano existe uma grande oferta de infraestruturas de lazer, facilmente acessíveis a pé ou por transporte público, não exercendo assim uma particular importância nas distâncias de viagem.

Para além das componentes sociogeográficas, existe também a mobilidade no espaço simbólico, como forma de explicar a variação de preferências dentro de níveis económicos definidos, i.e., a capacidade financeira e posição social dos utilizadores não é suficiente para explicar as preferências de viagem observadas durante os períodos de lazer.

Segundo Schubert, S., 2004, *Mobility-Styles in Leisure-Time – a lifestyle-approach for a better understanding and shaping of leisure-mobility*, existem 5 grupos de Estilos de Mobilidade, cuja posição socioeconómica aliada a diferentes vontades e expressões de estilo de vida determinam as preferências de mobilidade (Schubert, S., 2004):

- **Orientados á diversão:** Os representantes deste grupo gostam de divertimento individualista, aventura, atividades arriscadas e mostram uma grande afinidade para com a tecnologia moderna. Eles são caracterizados por uma ‘egocentricidade’ e uma elevada afinidade a grupos de pares e distanciam-se de relações íntimas e vizinhos.
- **Exclusivos modernos:** Os membros deste grupo são caracterizados por fortes orientações profissionais. Eles têm afinidade a modas e apreciam um certo nível de exclusividade, e são fortemente orientados á família. Mostram um nível de empenho na justiça social e ecologia; isto sem os fazer hostis á tecnologia. Longe disso, este grupo diverte-se a trabalhar com computadores e a navegar na internet.
- **Orientação familiar sobrecarregado:** Este grupo estima valores familiares e tem uma orientação caseira e pro-vizinhança. A combinação de trabalho, casa e família põe-nos sob pressão e eles sentem-se sobre preocupados e esgotados.

Mas também mostram uma disponibilidade acima da normal em gastar dinheiro em produtos ecológicos.

- **Desfavorecidos:** É outro grupo com uma atitude instrumental perante o trabalho; quaisquer outras orientações-estilo de vida estão neles escassamente desenvolvidas. O que forma este aspeto é a sua condição social desfavorecida.
- **Tradicionais-domésticos:** neste grupo, a necessidade de segurança e a evasão ao risco demarcam-se. Em termos de consumo, há uma preferência pela durabilidade e pela proximidade à natureza. Eles enfatizam os valores tradicionais e têm sérias reservas face às tecnologias de comunicação e informação modernas.

Para Schubert, S., (2004), estes grupos podem ser enquadrados segundo o estado em que se encontram na vida e posicionamento social, como se pode ver na seguinte tabela.

Tabela 2.4. Modelo de posicionamento social. Adaptado de Schubert, S., 2004.

Estilo de Mobilidade	Estágio de vida/Circunstâncias pessoais	Posicionamento Social
Orientado á diversão	<ul style="list-style-type: none"> • Fase adolescente; • Fase ativa <ul style="list-style-type: none"> ○ Solteiro(a) ou casal sem filhos. 	8% Na classe média alta e classe alta. 14% Na classe média.
Exclusivo moderno	<ul style="list-style-type: none"> • Fim da fase adolescente; • Fase ativa completa; • Início da terceira idade. 	17% Na classe média, classe média alta e classe alta.
Orientação familiar sobrecarregado	<ul style="list-style-type: none"> • Fase ativa; <ul style="list-style-type: none"> ○ Famílias e pais sozinhos, com filhos pequenos ou grandes em casa. 	24% Na classe média e classe média alta.
Desfavorecido	<ul style="list-style-type: none"> • Fase adolescente; • Fase ativa <ul style="list-style-type: none"> ○ Solteiro(a) ou casal sem filhos; ○ Famílias e pais sozinhos, com filhos pequenos; ○ Famílias e pais sozinhos, sem filhos em casa. 	13% Na classe média e abaixo da classe média.
Tradicional doméstico	<ul style="list-style-type: none"> • Fase da terceira idade. • Fase ativa <ul style="list-style-type: none"> ○ Famílias e pais sozinhos, sem filhos em casa; • Fase de terceira idade. 	25% Na classe média alta e classe média.

A variação modal do uso de transporte nestes grupos está representada na figura 2.13.

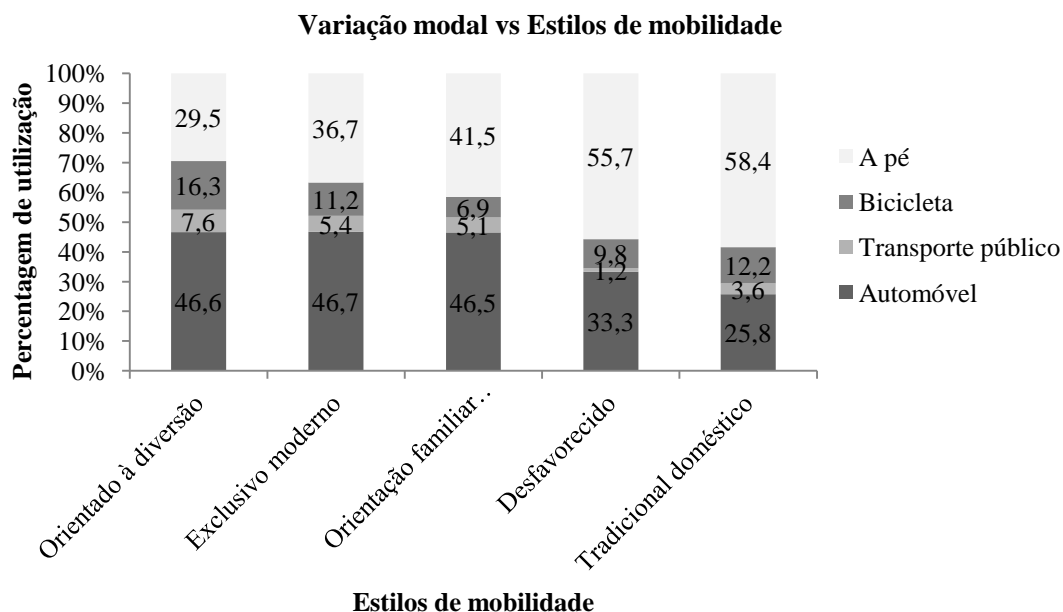


Figura 2.13.Variação modal de utilização de transportes consoante estilos de mobilidade distintos. Adaptado de Schubert, S., 2004.

Como pode ser observado, a variação modal está bastante relacionada com a necessidade de utilização do automóvel, seja pela sua praticabilidade, capacidade de cobertura de território e acessório de *status*, que as três classes orientação familiar sobrecarregado, exclusivo moderno e orientado á diversão apreciam, respetivamente. Nestas classes, a variação modal faz-se não á custa do automóvel, mas entre os outros meios restantes, sendo o grupo orientado á diversão o que menos aprecia andar a pé, e o que tem a maior utilização modal da bicicleta e transportes coletivos, meios que permitem um maior alcance de território no menor espaço de tempo, preocupação decrescente no grupo exclusivo moderno e no grupo de orientação familiar sobrecarregado.

O grupo desfavorecido não pode ser analisado em termos de preferências, uma vez que a sua condição económica dita um impedimento geral á plena satisfação das suas necessidades nos termos em que o mesmo as satisfaria caso não fosse economicamente desfavorecido.

O grupo tradicional doméstico tem a deslocação pedonal como modo preferencial, o que explica, em conjunto com as suas preferências de estilo de vida conservador, as baixas distâncias percorridas semanalmente.

Todos os grupos, á exceção do desfavorecido por motivos económicos, mostram nas suas preferências espaço para o desenvolvimento de novos meios de transporte de lazer, ou que possam servir para lazer, desde que desenvolvidos para estes nichos específicos, pois existem claras incompatibilidades entre os desejos de inovação tecnológica *versus* conservadorismo funcional, desejos de praticabilidade *versus* imagem e até diferentes capacidades económicas, que fazem com que um produto desenvolvido para agradar a todos os grupos não agrade especialmente a nenhum.

2.8.3. Benefícios da mobilidade de lazer

Os benefícios da mobilidade de lazer estão ligados ao preenchimento dos desejos dos utilizadores, permitindo a capacidade de se deslocarem para realização das suas atividades de socialização, recreação e consumo, podendo também a viagem ser em si própria um fim e não exclusivamente um meio para alcance de território. A mobilidade de lazer é por isso essencial para cumprir os desígnios de realização pessoal de cada indivíduo.

Outro benefício da mobilidade de lazer é esta ser mais propícia ao condicionamento físico do utilizador, devido á maior flexibilidade temporal em que esta é realizada. Devido a serem menos restritas, as deslocações relacionadas com o lazer podem ser efetuadas nos meios de transporte de carácter lúdico e/ou desportivo em que o meio de propulsão seja o próprio utilizador. Os benefícios para a saúde para os utilizadores que daí advém são significativos, como por exemplo:

- Controlo de peso
- Redução do risco de doenças cardiovasculares
- Redução do risco de diabetes e de meta síndrome
- Redução do risco de alguns cancros
- Fortalecer ossos e músculos
- Melhorar a saúde mental e a disposição
- Melhorar a capacidade de realizar as tarefas diárias e prevenir quedas, quando se é um adulto com idade mais avançada
- Aumento das hipóteses de viver mais tempo

(CDC, *Physical Activity and Health*, 2011)

2.9. Problemáticas do transporte urbano

A maioria dos problemas que ocorrem a nível de mobilidade nas cidades está relacionada com o crescimento das cidades para além da capacidade dos seus sistemas de transporte coletivos, em conjunto com a associada dependência do automóvel. Alguns problemas como a congestão de tráfego são antigos e verificavam-se já na antiga Roma, havendo também outros problemas novos como as dificuldades logísticas e os problemas ambientais:

- **Congestão de tráfego e problemas de estacionamento;**
- **Tempos de trânsito mais elevados;** devido a maiores distâncias de viagem e congestão de tráfego;
- **Inadequabilidade dos sistemas públicos de transporte;** a maioria dos transportes não tem uma procura constante ao longo dos horários de funcionamento, estando demasiado vazios ou demasiado cheios, dependendo das horas de operação. A maior parte dos sistemas de transporte não consegue gerar receitas para cobrir os custos independentemente dos vários instrumentos de financiamento, o que lhe são afetos. Os défices nacionais também tendem a colocar o grande público contra os sistemas de transporte, sendo este mais um fator o desinvestimento e degradação destes serviços;
- **Dificuldades do transporte não motorizado;** devido ao volume intenso de tráfego, grandes distâncias a percorrer e falta de prudência dos condutores no estacionamento, que prejudica a mobilidade das pessoas nos passeios e bicicletas;
- **Perda de espaço público;** devido às infraestruturas de circulação ou de estacionamento
- **Impactos ambientais e consumo energético;** tanto da poluição gerada pelos veículos em circulação como pelo consumo quase exclusivo de um recurso energético não renovável, o petróleo, por uma tecnologia de motorização bastante ineficiente, o motor de combustão interna;
- **Acidentes e segurança;** devido ao elevado volume de tráfego e congestão resultante;
- **Logística de distribuição urbana;** cujo volume de distribuições nos centros urbanos aumentou consideravelmente com a globalização, que partilham infraestruturas com os transportes de passageiros e sofrem assim demoras, ao

mesmo tempo que com a sua necessidade de paragem constante são também uma grande fonte de congestão do tráfego.

(Adaptado de Rodrigue, J-P *et al.* 2009, *The Geography of Transport Systems*)

Resultante da inadequação dos sistemas de transporte público aos modelos de desenvolvimento adotados e às preferências emancipatórias dos consumidores que também se verificam ao nível dos transportes, existe na atualidade uma forte dependência do automóvel em alguns países do ocidente. A percentagem de “88% nas recentes décadas” (Rodrigue, J-P *et al.* 2009) de todo o trânsito ser feito de automóvel nos EUA é um bom indicador desse fato. Algumas cidades adotaram medidas de forma a resolver os problemas associados ao automóvel, pondo em prática medidas restritivas á circulação destes veículos, como portagens, impedimentos de circulação e estacionamento por períodos limitados de tempo. No tempo presente, o automóvel é ainda o meio de transporte de eleição para médias e curtas distâncias, embora essa situação tenda a não ter crescimento no futuro previsível devido ao preço dos combustíveis e mobilidade limitada pela congestão de tráfego.

A congestão e dependência do automóvel são fatores “bola de neve”, pois quando são construídas mais infraestruturas para aliviar os níveis de congestão atuais, é fornecido um incentivo para o uso do automóvel mesmo para quem não o utilizava, havendo um período de melhoria que passa e o nível de congestão anterior regressa, sendo novamente aplicada a mesma solução, perpetuando o ciclo.

Este problema é particularmente grave nas grandes cidades, especialmente em torno dos seus centros, o que não só prejudica individualmente cada condutor como prejudica em todo os restantes sistemas de transporte da cidade, que partilham as mesmas vias de circulação. Este fato verifica-se tanto na congestão do trânsito em circulação, como na dificuldade em encontrar lugares de estacionamento, onde os veículos passam a esmagadora maioria do tempo, ocupando espaço urbano que poderia ter outros fins.

2.10. Problemáticas da mobilidade de lazer

Os problemas verificados na mobilidade de lazer são os mesmos que se verificam na mobilidade de não-lazer, visto que o automóvel é o modo preferencial para a maioria dos utilizadores.

2.11. Insustentabilidade energética

2.11.1. Consumo energético no setor dos transportes

Em termos de consumo energético, a totalidade de sistemas de transporte no mundo consomem cerca de um quarto de toda a energia produzida. Dado que este valor é uma média, inclui tanto países desenvolvidos como países em vias de desenvolvimento, o que não permite uma leitura correta da situação onde o problema de insustentabilidade dos transportes é mais grave, a Ocidente. Tomando como exemplo a União Europeia, podemos aproximar o consumo de energia nos transportes a um terço da energia produzida, como se pode ver na seguinte figura.

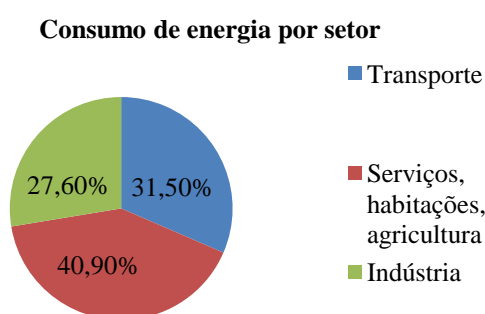


Figura 2.14. Consumo de energia por setor, na EU-27 2006. Adaptado de Eurostat, 2009.

Em termos de consumo modal, o transporte rodoviário é claramente o consumidor principal de energia, seguido do transporte aéreo, e por fim dos meios de transporte energeticamente mais eficientes, o transporte ferroviário e o transporte marítimo, como pode ser observado na seguinte figura.

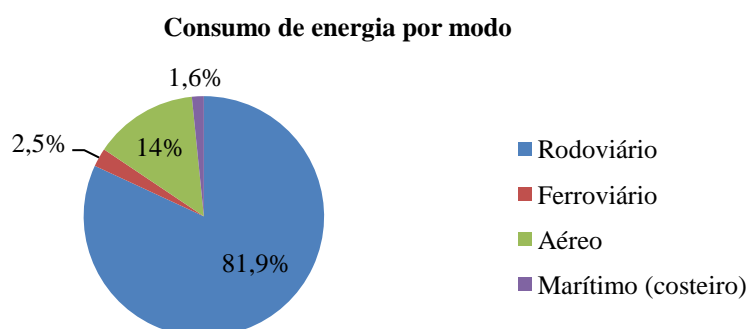


Figura 2.15. Consumo de energia por modo, na EU-27 2006 (100% por modo equivalente a 31.5% consumido no setor dos transportes). Adaptado de Eurostat, 2009.

Os tipos de combustível mais utilizados nos transportes são os derivados do petróleo, particularmente no meio rodoviário e aéreo, já que no meio ferroviário utilizam-se maioritariamente locomotivas elétricas, e no meio marítimo onde também são utilizados

combustíveis fósseis, a procura seja reduzida. Na União Europeia, em 2006, “os transportes consumiam 72% da produção total de produtos petrolíferos” (Eurostat, 2009). O consumo total de combustíveis derivados do petróleo também tem sido crescente, independentemente do aumento da eficiência da motorização de todos os meios de transporte, por via do aumento da procura total.

A predominância dos produtos petrolíferos pode ser vista recorrendo ao exemplo do consumo na EU-27 em 2006, representada na seguinte tabela.

Tabela 2.5. Consumo energético nos transportes por tipo de combustível, Adaptado de Eurostat, 2009, Panorama of Transport 2009 Edition, p.157.

Consumo energético nos transportes por tipo de combustível (%)	
Derivados do petróleo	96.7
Gás	0.2
Eletricidade	1.7
Energias renováveis	1.5

Na década de 90 assistiu-se á introdução dos biocombustíveis, que embora tenham um mercado muito reduzido têm vindo a ganhar uma popularidade acentuada a partir do ano 2000, como pode ser visto na figura 2.16, representando “em 2010 2.7% do mercado dos combustíveis” (REN21, 2011)

Utilização de biocombustíveis na EU-27

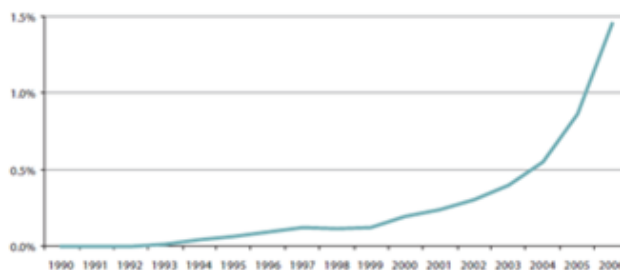


Figura 2.16. Utilização de biocombustíveis na EU-27. Adaptado de Eurostat, 2009.

Exemplos de biocombustíveis são o bio álcool, atualmente o biocombustível mais popular, o biodiesel, o óleo vegetal, bio éter, biogás. Os biocombustíveis têm como principal objetivos a geração de combustíveis por meios alternativos á extração e posterior refinamento de petróleo, um bem não renovável e escasso, e minimizar a emissão de poluentes.

A maior parte dos biocombustíveis tem uma maior incidência sobre o transporte rodoviário, havendo uma pequena incursão nos transportes marítimos, e mais recentemente nos transportes aéreos após a sua aprovação para uso em 2011.

2.11.2. Emissões poluentes no setor dos transportes

Devido á utilização predominante de combustíveis fósseis nos transportes, este setor é também responsável pela emissão em grande escala de gases nefastos para a saúde e para o ambiente, em particular o dióxido de carbono. Este é também parte significativa dos gases com efeito de estufas, que para além dos seus efeitos negativos na qualidade do ar, provocam o fenómeno reconhecido como aquecimento global, um problema ambiental prejudicial á estabilidade dos ecossistemas na Terra.

Na europa, em 2006, “o setor dos transportes contribuiu para 19% da emissão total de gases com efeitos de estufa” (Eurostat, 2009). O transporte rodoviário, sendo o modo dominante de transporte, é também o maior contribuinte para este nível de emissões, perfazendo 93.1% das emissões. A distribuição por modo pode ser observada na seguinte figura.

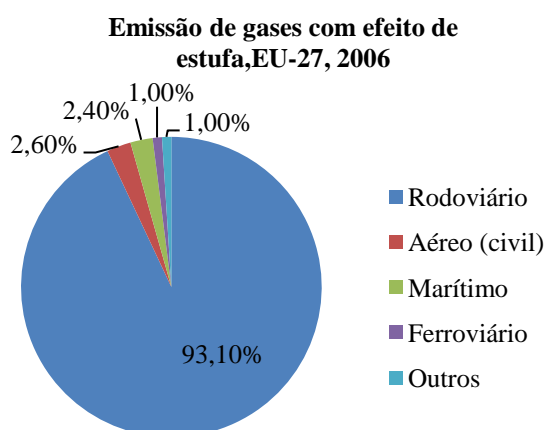


Figura 2.17.Emissão de gases com efeito de estufa, EU-27, 2006. Adaptado de Eurostat, 2009.

O setor dos transportes foi também “o único que não efetuou uma redução das emissões, registando um crescimento anual médio de 1.5%” (Eurostat, 2009) no período de 1990 a 2006. Responsáveis principais por esse aumento são os transportes rodoviários e os aéreos, como mostra a Figura 2.18, devido á sua popularidade, cujas melhorias técnicas que contribuem para uma diminuição efetiva de poluição gerada por km por veículo, não conseguem compensar o aumento da procura. No caso do transporte aéreo, a sua crescente popularidade é já um fator preocupante, pois não só os números totais de poluição do mesmo continuarão a aumentar, como o facto de a poluição ser emitida na

parte superior da troposfera/inferior da estratosfera, o seu efeito é “aproximadamente o dobro de emissões provenientes de modos terrestres” (Eurostat, 2009).

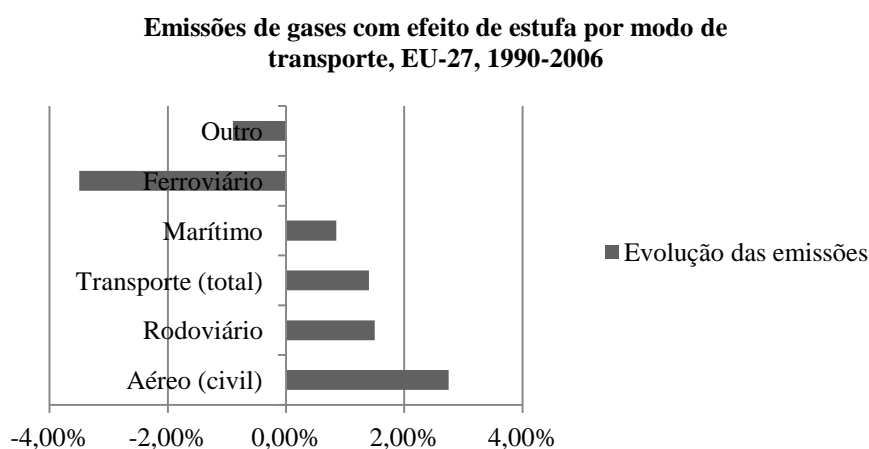


Figura 2.18. Emissões de gases com efeito de estufa por modo de transporte, EU-27, 1990-2006. Adaptado de Eurostat, 2009.

2.11.3. Aspetos particulares de consumo e emissões modais

Rodoviário

Desde 1990 a 2006, tanto o consumo energético como a emissão de poluentes tem aumentado a um rácio anual de 1,6% e 1,5%, respetivamente, não obstante o aumento de eficiência dos veículos ao longo do mesmo período. Em termos de consumo, os veículos de passageiros como os de carga tiveram aumentos de eficiência anuais na ordem dos 0,7% e 0,8% respetivamente.

Há que destacar a particular importância da emissão de Monóxido de carbono, CO, que contribuem cerca de 36% do total de emissões deste poluente a nível da Europa a 27, que já foi reduzida em cerca de um terço de 1990 até 2006.

Estes números mostram que independentemente da melhoria técnica significativa dos veículos motorizados mais recentes, a procura por este meio de transporte ainda suplanta os ganhos de eficiência, não sendo por isso na atualidade um modo de transporte sustentável.

Ferroviário

O transporte ferroviário mostra uma melhoria continuada de eficiência, na medida em que reduziu a sua dependência de combustíveis para a sua locomoção a um ritmo de 2%

ao ano, passando a utilizar energia elétrica como fonte primária de locomoção. É no presente o modo de transporte que mais energia elétrica consome, que a um ritmo crescente de 0.9% ao ano para ter em 2006 uma presença de 67.8%.

Estes aumentos de eficiência foram acompanhados de um aumento de passageiros e carga a um ritmo de 1% ao ano. Comparando este valor com o aumento de eficiência no consumo, por um lado, e na diminuição drástica de emissões poluentes visível na Figura 2.18., é possível ver a vantagem da motorização elétrica para este modo de transporte na direção da sustentabilidade energética.

Aéreo

A energia consumida pelos transportes aéreos tem vindo a aumentar a um ritmo anual de 3.7%, independentemente dos ganhos de eficiência conseguidos nas aeronaves mais recentes. Em paralelo com esta elevada taxa de crescimento do consumo energético, este modo de transporte tem também a contribuição de gases de efeito de estufa em crescimento acelerado, com um crescimento anual de 2.7%. Tal como no transporte rodoviário, os ganhos de eficiência não conseguem acompanhar a procura por este meio de transporte, que tem vindo a crescer em número total de aeronaves e em distâncias percorridas.

Marítimo

No transporte marítimo, se por um lado o consumo energético na navegação costeira e nos rios tem vindo a diminuir a uma taxa anual de 1%, o transporte transoceânico tem registado um aumento de consumo a uma taxa anual de 2.6%. Também este modo de transporte, em particular os navios de grande porte, tem sido alvo de evolução tecnológica que propiciou ganhos de eficiência, sendo em 2006 consumidor de apenas 1.6% da totalidade de energia dedicada ao setor dos transportes, e é “em setores em que compete diretamente com outros meios de transporte...de longe a forma de transporte mais eficiente” (Eurostat, 2009), tanto pela sua eficiência energética como pela elevada capacidade de carga, inigualável por outros meios de transporte, o que origina um consumo por unidade de carga extremamente baixo.

2.11.4. Insustentabilidade energética no contexto dos transportes urbanos

Como se viu anteriormente, a configuração do espaço urbano é um fator determinante para a escolha dos modos preferenciais de transporte, e é possível no presente analisar o

efeito das diferentes estruturas de desenvolvimento urbanas no nível de sustentabilidade dos sistemas de transporte citadinos.

Pode-se observar na figura 2.19. a comparação entre a distância que é possível percorrer com o equivalente a galão U.S. de gasóleo, de transportes coletivos como o autocarro e comboio *light rail*, utilizado nas cidades mais densas, e o automóvel, utilizado nas cidades mais suburbanizadas.

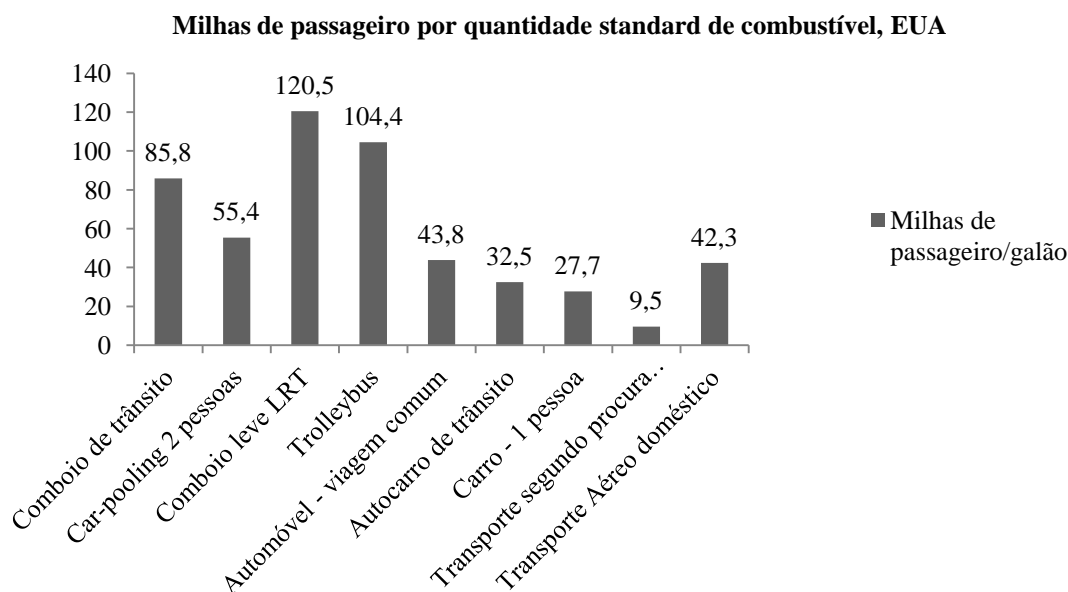


Figura 2.19. Gráfico milhas de passageiro por quantidade standard de combustível, EUA. Adaptado de M.J. Bradley & Associates, 2007.

É possível com estes dados prever que nas cidades mais suburbanizadas, em que as pessoas fazem maior uso do automóvel durante distâncias de viagem mais longas, sejam observados maiores gastos energéticos e maiores níveis de poluição gerados, do que em cidades densas onde existe maior utilização de transportes coletivos e de transporte não motorizado, o que é confirmado pelas figuras 2.20 e 2.21.

Consumo de energia por transportes públicos e privados nas cidades mundiais, 1995

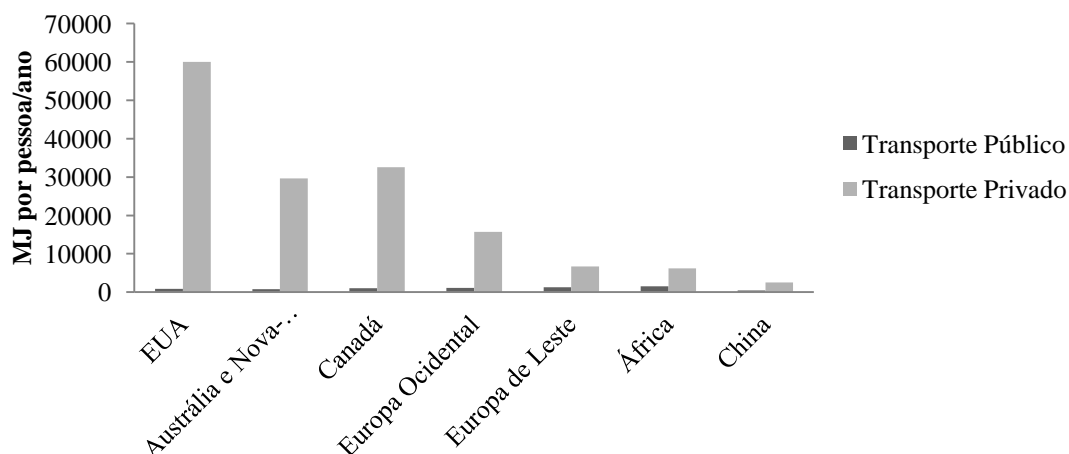


Figura 2.20. Gráfico consumo de energia por transportes públicos e privados nas cidades mundiais, 1995. Adaptado de Kenworthy, J., 2003.

Emissão de dióxido de carbono por transporte público e privado per capita, 1995.

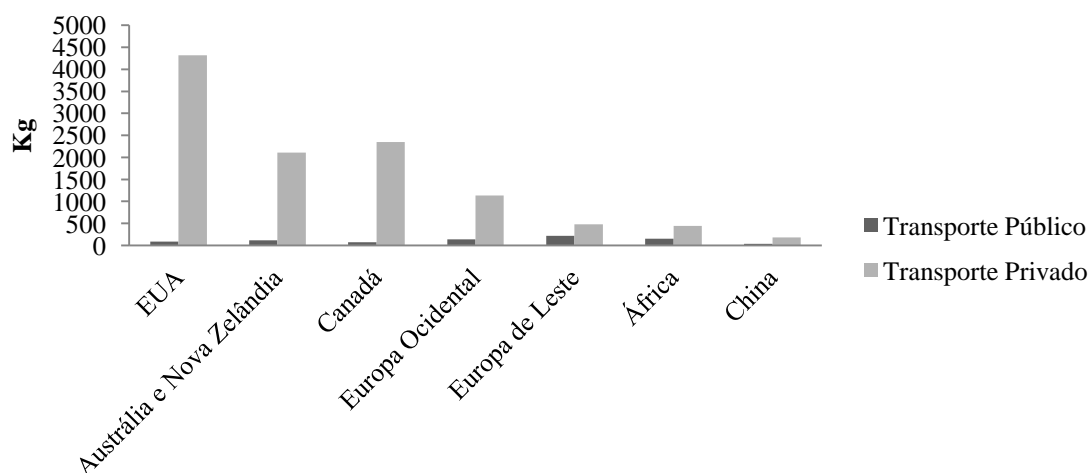


Figura 2.21. Gráfico emissão de dióxido de carbono por transporte público e privado *per capita*. Adaptado de Kenworthy, J., 2003.

Valores que quando comparados com as densidades urbanas médias das cidades nos respectivos continentes, resultam nos gráficos presentes nas figuras 2.22 e 2.23.

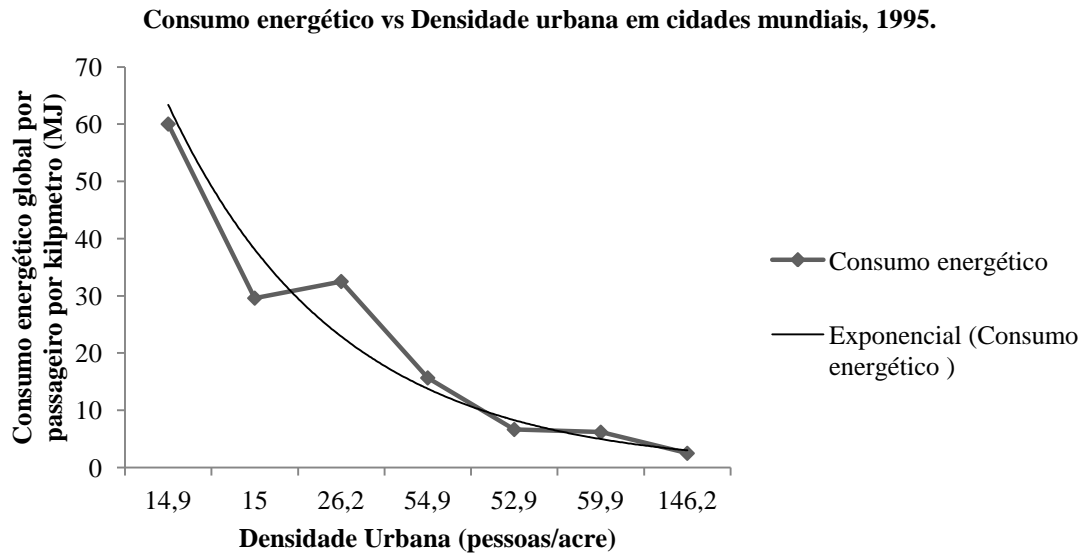


Figura 2.22. Gráfico consumo energético vs Densidade urbana em cidades mundiais, 1995.

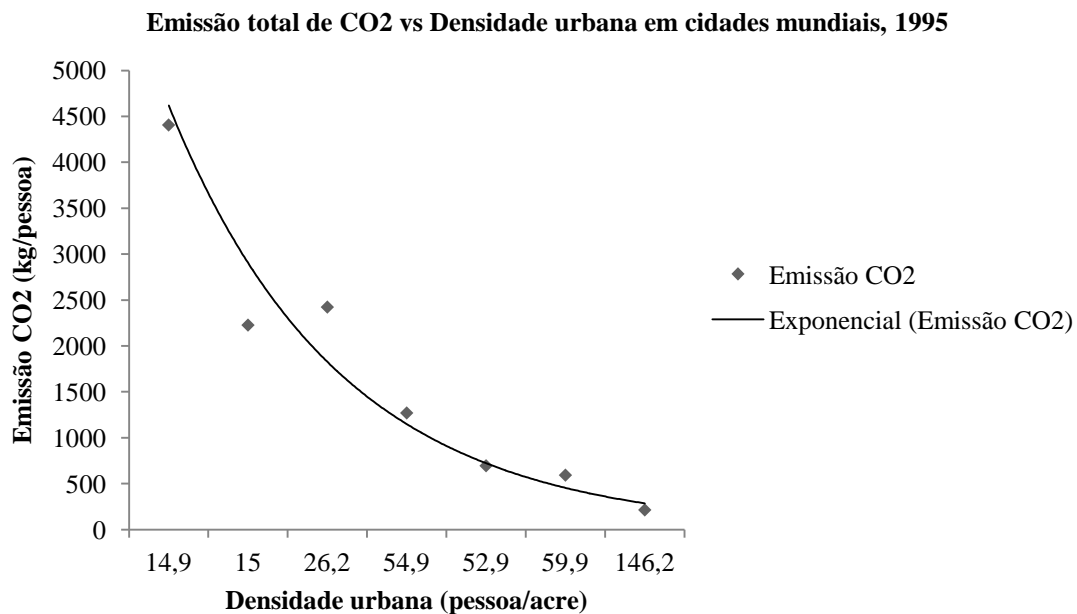


Figura 2.23. Gráfico emissão CO2 vs Densidade urbana em cidades mundiais, 1995.

É observável a clara tendência para um maior consumo energético quadraticamente proporcional ao decrescimento na densidade das cidades, fator diretamente ligado á suburbanização e ao uso do transporte individual. Como é possível concluir, a política de expansão geográfica das cidades pela via da suburbanização, ligada ao incentivo do uso do automóvel, tem hoje custos pesadíssimos ao nível energético.

Em termos da mobilidade de lazer, o seu impacto ambiental está também relacionado com os estilos de mobilidade, como se pode ver na seguinte figura.

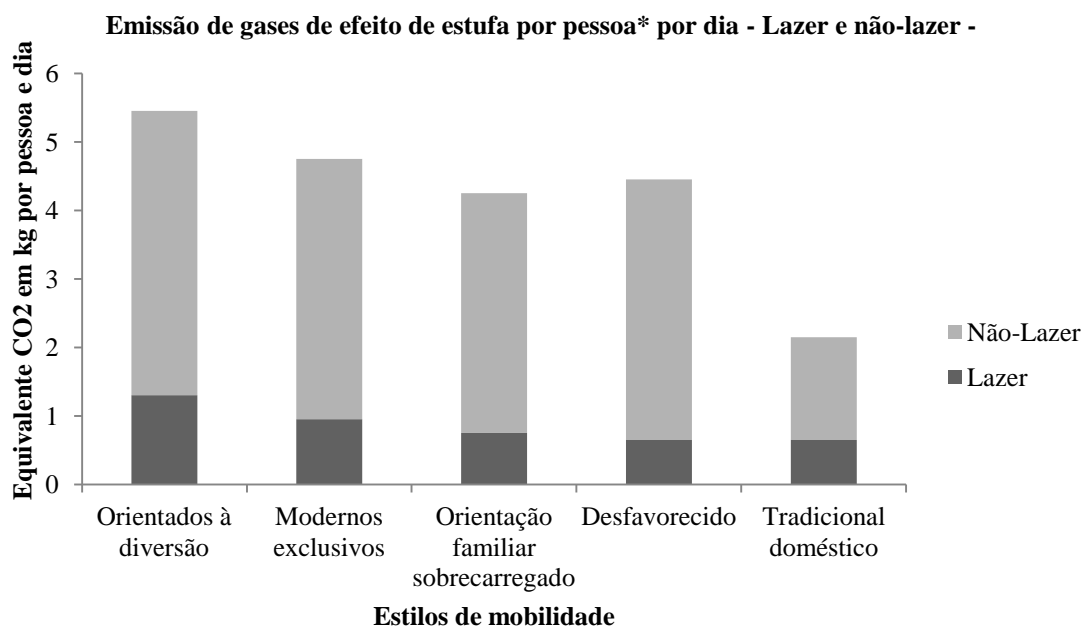


Figura 2.24. Níveis de mobilidade consoante estilos de mobilidade distintos. Adaptado de Schubert, S., 2004.

A emissão de poluentes nas viagens feitas por necessidade não varia significativamente entre grupos, exceto no grupo Tradicional doméstico. Este grupo é constituído maioritariamente por pessoas já fora da idade ativa, ou seja., que não tem necessidade de viagens diárias casa-trabalho. No caso das viagens preferenciais, i.e. na mobilidade de lazer, as variações de poluição emitida estão de acordo com as preferências modais de transporte e níveis de mobilidade apresentados nas anteriores tabelas, e como pode ser visto, os níveis de poluição gerados pela mobilidade de lazer estão significativamente abaixo dos gerados pela mobilidade sem ser de lazer, o que significa que embora seja uma componente da poluição gerada que seja importante de combater, iniciativas e avanços tecnológicos com vista a redução de níveis de poluição ainda devem ter como foco a mobilidade relacionada com o trabalho e serviços.

2.12. Perspetivas futuras

Dadas estas fortes dependências energéticas, ao facto de o preço da energia estar em crescendo acelerado por via da globalização, e às vantagens comerciais de produzir transportes mais eficientes, todos os meios de transporte têm sofrido alterações ao longo dos anos com o objetivo de os tornar mais eficientes.

Estes avanços tecnológicos, não estão porém a acompanhar a procura de petróleo a nível mundial desde que o processo de globalização começou, e é portanto de prever que os custos energéticos com o transporte aumentem substancialmente nos próximos anos, a menos que uma nova fonte de energia renovável ou revolucionária seja passível de adaptação a curto prazo aos transportes atuais; ou não havendo este aumento de oferta, que o equilíbrio se faça pelo lado da procura, através da racionalização do uso de transportes, em que haja um maior uso de transportes marítimos e ferroviários que são energeticamente mais eficientes, e desaceleração do processo de globalização económica das atividades produtivas, quebrando a lógica do transporte e produção global permitida pelo *supply chain management* (gestão de um produto ao longo de uma rede de produção e distribuição), voltando o desenvolvimento económico a ser feito com uma maior predominância no território local. A hipótese de mera transferência do acréscimo dos custos do transporte para o consumidor final será feita numa fase inicial, embora a ocidente não seja uma prática sustentável. Esta prática que seria uma solução rápida num contexto de crescimento económico não será possível a médio prazo, devido á perda da hegemonia económica ocidental, que na prática vai reduzir o poder de compra, trazendo consigo a pressão para a baixa de custos e preços.

Neste caso é possível dizer que as soluções antigas baseadas na abundância não vão funcionar durante muito mais tempo. O ganho de sustentabilidade terá inevitavelmente de vir ou de uma solução técnica de propulsão que consiga resolver o problema oferta-procura energética ou de conseguir reformular o paradigma atual de mobilidade terrestre, que no mundo ocidental, e concretamente na mobilidade urbana, está ainda fortemente dependente do uso do automóvel, baseado em estruturas urbanas em grande parte ineficientes e cuja retroatividade do desenvolvimento expansionista suburbanizado não é possível.

Em termos de sustentabilidade, os países e cidades que apostaram nas suas redes de transportes coletivos como o metro, comboio leve de trânsito (*LRT*), o autocarro e a bicicleta, construindo ciclovias próprias para a sua circulação, estão hoje com maiores vantagens de independência energética de combustíveis fósseis, que tendem a aumentar continuamente de preço, vantagens económicas pela competitividade reforçada que meios de transporte abrangentes e acessíveis trazem às populações e benefícios sociais permitindo uma melhor integração de todos os membros na vida em sociedade, como

pode ser observado em quase todos os índices socioeconómicos dos países de geometria urbana compacta que fazem extensivo uso de transportes coletivos e não motorizados.

2.13. Soluções de Mobilidade Urbana - Análise de mercado

Neste capítulo serão enumeradas as soluções de mobilidade urbana contemporâneas de maior difusão, e cuja categorização é observável na seguinte tabela.

Tabela 2.6. Lista de soluções de mercado contemporâneas na área da mobilidade urbana

Soluções de mobilidade urbana no mercado		
Meio	Tipologia	Plataforma de mobilidade
Terrestre Rodoviário	- Mobilidade Coletiva	<ul style="list-style-type: none"> • Autocarro • <i>Minibus</i> • Van-pool
	Mobilidade Individual	<ul style="list-style-type: none"> • Automóvel • <i>Personal Rapid Transit</i> • Motociclo • Bicicleta • <i>Skates</i> • Trotinetas • <i>Trikes</i> • Patins
Terrestre Ferroviário	- Mobilidade Coletiva	<ul style="list-style-type: none"> • Comboio de trânsito • Comboio pesado urbano • Comboio ligeiro de trânsito
Marítimo	Mobilidade coletiva	<ul style="list-style-type: none"> • Ferryboat
	Mobilidade individual	<ul style="list-style-type: none"> • Barco • Táxi marítimo
Soluções no mercado para utilizadores com limitações de mobilidade		
Rodoviário e Pedonal		<ul style="list-style-type: none"> • Moletas • Andarilho • Cadeira de rodas • <i>Scooters</i> • Automóveis adaptados • Veículos de transporte adaptados

De seguida faz-se a descrição das plataformas enumeradas na tabela anterior.

Autocarro

O autocarro, ilustrado na seguinte figura, é um meio rodoviário de transporte coletivos de passageiros.



Figura 2.25. Autocarro urbano. Fonte: <http://www.volvobuses.com>.

Estes veículos têm uma capacidade média de 100 passageiros, podendo no entanto chegar aos 300 passageiros, fazendo do autocarro a plataforma rodoviária de maior capacidade.

Os autocarros urbanos modernos possuem características próprias, que os separam das restantes variantes: Chão baixo, suspensão rebaixável, várias entradas e saídas dotadas de portas largas, espaço amplo de circulação no seu interior com um número de lugares sentados inferior e um maior número de corrimões verticais e horizontais para facilitar o movimento e viagem de passageiros no seu interior. O interior típico de um autocarro urbano pode ser observado na figura 2.26.



Figura 2.26. Volvo 7900, autocarro urbano mais recente da Volvo. Configuração interior. Fonte: <http://www.volvobuses.com>.

Nos sistemas mais modernos, o pagamento por via de cartão no autocarro ou na paragem tem vindo a ser adotado como forma de agilizar o embarque de passageiros, operação que leva em média 2.5 vezes mais tempo por passageiro caso o pagamento seja feito por dinheiro ao motorista.

No transporte de maior distância, como entre os centros urbanos e a periferia, os autocarros usados têm uma configuração interior diferente, com mais lugares sentados e sem algumas das características como chão baixo e suspensão rebaixável. A seguinte figura representa o interior de um autocarro interurbano moderno.



Figura 2.27. Interior de um Volvo 8900, autocarro interurbano moderno. Fonte: <http://www.volvobuses.com>.

Um novo conceito de transporte por meio de autocarros surgiu em 1974 no Brasil, onde são utilizados autocarros de elevada capacidade, normalmente articulados ou multiarticulados, em faixas exclusivas. Este meio de transporte pretende concorrer com o trânsito por comboio ligeiro de trânsito, *Light Rail Transit*, sendo o seu custo capital de implementação significativamente menor. Este sistema está atualmente presente em algumas cidades mundiais como Curitiba no Brasil, representado na seguinte figura, e em Brisbane na Austrália.



Figura 2.28. Transmilenio *Bus Rapid Transit*, em Bogotá, Colômbia. Fonte: <http://www.thefabweb.com>.

Outra variante do autocarro é o trolleybus, representado na figura 2.29. Este veículo é propulsionado eletricamente, e é semelhante ao comboio leve urbano na medida em que a sua energia é fornecida por linhas elétricas sobre os trajetos.



Figura 2.29. Trolleybus. Fonte: <http://www.web.ncf.ca>.

Por necessitar desta infraestrutura de fornecimento de eletricidade, o trolleybus é menos flexível no seu percurso que o autocarro, embora seja energeticamente mais eficiente e não poluente. As suas características de propulsão elétrica são o elevado binário, rápida aceleração e desaceleração, que fazem dele um transporte mais rápido que o autocarro a combustão interna convencional.

– ***Minibus***

O *minibus* é um autocarro de pequena dimensão, como o representado na seguinte figura.



Figura 2.30. Miniautocarro. Fonte: <http://www.mercedes-benz.co.uk>.

Estes veículos são regularmente utilizada em ambientes urbanos, onde devido á sua agilidade e manobrabilidade em espaços mais congestionados, e capacidade até 40 passageiros, podem fazer serviços especializados, em rotas ou horários com menor afluência mantendo taxas de ocupação rentáveis, o que não seria possível num autocarro convencional, que leva quatro vezes mais passageiros. Estas rotas especializadas podem incluir hospitais, centros comerciais, zonas onde as ruas sejam mais compactas como nos centros históricos das cidades, etc. Os miniautocarros podem ser veículos adaptados a esta função, ou construídos de origem já com algumas características dos modernos autocarros urbanos, como chão baixo, entradas e corredores largos, e suportes que permitam a viagem de pé.

– Veículo partilhado

Este modo de transporte consiste no aluguer conjunto de um transporte de baixa capacidade para percorrer uma determinada rota, representado na figura 2.31. São regularmente utilizados nas viagens de e para os locais de trabalho, recolhendo os utilizadores em variados pontos pré-determinados. A operação destes sistemas é na sua maioria feita por privados.

Os veículos empregues são por norma carrinhas de passageiros com várias filas de lugares, sem qualquer adaptação ou preocupação especial por requisitos de mobilidade que não se apliquem também aos automóveis, tornando estes meios de transporte em grande parte inacessíveis a pessoas com limitações de mobilidade.



Figura 2.31. Veículo partilhado. Fonte: <http://www.commuteseattle.com>.

– Comboio de trânsito

Os comboios de trânsito, como o representado na figura 2.32, são veículos ferroviários elétricos ou a *diesel* de grande capacidade, aproximadamente “48000 passageiros por hora por sentido” (Cervero, R, 1998), utilizados regularmente no transporte de pessoas entre os centros urbanos e os subúrbios.



Figura 2.32. Comboio de trânsito Fonte: <http://www.wikitavel.org>.

Estes veículos partilham a linha com os restantes comboios de passageiros pesados e de carga.

Estes comboios operam nas maiores distâncias no espaço metropolitano entre os 30 e 70km, circulando a velocidades até aos 200km/h. Recentemente têm sido introduzidos comboios de trânsito de alta velocidade, i.e. velocidades sustentadas até 250km/h.

– Comboio urbano pesado

Este tipo de veículo ferroviário, representado na figura 2.33. é também um comboio de grande capacidade, transportando “aproximadamente 40000 passageiros por hora por sentido” (Cervero, R, 1998), mas que opera em linhas segregadas do restante trânsito ferroviário. São transportes rápidos, com uma elevada frequência de paragens, tipicamente a cada 10 minutos, e que percorrem distâncias curtas, dentro do espaço urbano.



Figura 2.33. Comboio urbano pesado. Fonte: <http://marcel-marchon.com>

Os seus custos de implementação são elevados devido á necessidade da infraestrutura segregada de outros transportes e transeuntes.

Em termos de *design* interior, há variações no número de lugares sentados mas a direção dominante é a mesma do autocarro urbano, com apoios verticais e horizontais á viagem em pé, elevado número de acessos e espaço interior amplo, como pode ser visto na seguinte figura.



Figura 2.34. Interior do metropolitano de Toronto, Canadá. Fonte: <http://multimedia.files.wordpress.com>

– Comboio ligeiro de trânsito

O comboio ligeiro de trânsito é um meio de transporte elétrico de pequena capacidade que opera em ambiente urbano, ilustrado na figura 2.35, transportando aproximadamente 7000-18000 passageiros por hora no mesmo sentido (Cervero, R, 1998). A sua circulação pode ser segregada ou conjunta com o restante trânsito, percorrendo trajetos curtos com paragens frequentes, a velocidades semelhantes às do restante trânsito rodoviário.



Figura 2.35. Comboio ligeiro de trânsito. Fonte: <http://improve-public-transport.wikispaces.com>.

Os custos de implementação e alteração de traçados são elevados, sendo necessárias obras para a colocação de carris e catenárias ao longo de todo o trajeto, tornando este meio de transporte menos flexível que o transporte equivalente rodoviário.

Em termos de espaço interior os atuais comboios ligeiros de trânsito de chão baixo e amplo espaço interior dando preferência aos lugares em pé para uma maior capacidade e rapidez de todos os movimentos efetuados no seu interior, como pode ser visto na seguinte figura.



Figura 2.36. Interior de um comboio ligeiro de trânsito. Fonte: <http://flickr.com>

– Ferry

O ferry, representado na figura, é um veículo marítimo para transporte de pessoas ou carga sobre a água, em trânsito contínuo entre duas docas. É utilizado frequentemente em transporte entre subúrbios e a cidade principal, caso seja possível e vantajoso, como em Lisboa e Nova Iorque. Alguns dos maiores *ferrys* existentes na europa têm capacidades até 3000 passageiros.



Figura 2.37. Ferryboat. Fonte: <http://blogs.1037themountain.com>.

Existem inúmeras variantes de ferryboat de acordo com tamanho e formato de casco, para passageiros, veículos ou mistos, e também várias formas de propulsão, sendo no entanto todos dependentes de combustíveis fósseis.

– Automóvel

O automóvel, representado na figura 2.38., é um veículo de transporte rodoviário de pequena capacidade, geralmente entre 2 e 7 ocupantes, com mais de duas rodas, tendo como finalidade geral o transporte do condutor e passageiros.



Figura 2.38. Automóvel de passageiros. Fonte: <http://www.newemotion.it>.

Os primeiros veículos de que há registo foram desenvolvidos nos últimos anos do século XIX, contudo foi só a partir de 1914 com os ganhos de eficiência do método linha de montagem aplicado pela Ford, que o automóvel pode ser produzido em quantidades significativas. A fórmula base para o automóvel pouco mudou, mantendo desde o Ford modelo T as mesmas 4 rodas, lugares para ocupantes num compartimento fechado e motor de combustão interna.

Existiram no entanto avanços na performance, segurança e habitabilidade dos veículos, traduzindo-se numa melhoria continuada de performance, incluindo a recente eclosão de motorizações híbridas e sistemas de recuperação de energia na travagem, adição continuada de múltiplos sistemas de segurança passiva e ativa, um esforço contínuo para a melhoria da ergonomia interior, e recentemente avançou-se também na direção de sistemas de realidade aumentada visuais e/ou áudio, como sistemas de posicionamento global e planeamento de rotas (GPS), sensores e câmaras de estacionamento, sistemas de controlo de velocidade

– *Personal Rapid Transit*

O veículo rápido de trânsito é uma plataforma de transporte por procura, que emprega veículos de pequena dimensão que circulam de forma automatizada em vias segregadas e exclusivas, como representação do sistema da seguinte figura.



Figura 2.39. Conceito virtual *Personal Rapid Transit*. Fonte: <http://lostinthecities.files.wordpress.com>

A mudança de trajeto do veículo é feita a partir de bifurcações nos corredores, e o embarque e desembarque feito em estações paralelas fora da linha principal de circulação, fatores que permitem uma viagem sem paragens entre a origem e qualquer destino na rede.

Na maioria dos conceitos, e no PRT Ultra implementado no aeroporto de *Heathrow*, os veículos são propulsionados eletricamente; o que conjugado com o baixo peso dos mesmos significa um baixo consumo energético, de uma energia não renovável;

O veículo circula automaticamente no seu trajeto, “removendo a causa mais frequente de acidentes: o condutor humano” (*Buchanan, M. et al, 2005*), fator que aumenta a segurança do conceito relativamente a outros modos onde possa haver interação com o utilizador.

Outra das características gerais nos conceitos e projetos PRT é a preocupação com a acessibilidade universal, sendo os veículos e infraestrutura projetados conforme os princípios de Design para Todos.

Este conceito surgiu nos anos 50, e das várias experiências iniciais de implementação feitas resta apenas o sistema de *Morgantown*, embora não tenha todas as características que definem um sistema PRT foi até á introdução do Ultra o sistema comercial mais similar ao conceito, nos EUA. Estes tipos de sistemas não foram desenvolvidos muito para além de conceitos e protótipos, como o da figura 2.40., sendo por isso um conceito que nunca foi validado em relação ao seu principal competidor, o automóvel.



Figura 2.40. Sistema PRT em Okinawa, Japão, 1975. Fonte: <http://faculty.washington.edu>.

Atualmente existem um sistema PRT de pequena dimensão no Reino Unido, e outros dois na Holanda, para além de outros projetos em variadas fases de desenvolvimento ou implementação.

O sistema mais recente, com implementação faseada em *Masdar* onde é parte fundamental do sistema de transportes da cidade, está já em uso há 16 meses, com um número de utilizadores crescente, como se pode ver na seguinte figura, linha de tendência verde. O único ponto em que houve quebra de procura coincidiu com o ramadão de 2011, período que foi aproveitado para realizar obras para melhoria do sistema, que em qualquer outra altura conta com uma disponibilidade de 99%.

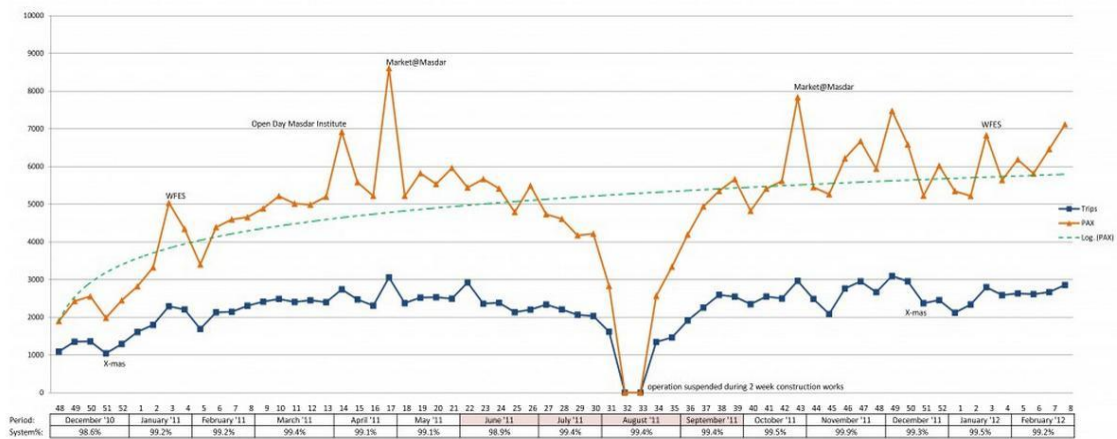


Figura 2.41. Gráfico de crescimento de passageiros no PRT de *Masdar City*, Dezembro 2010 até Fevereiro 2012. Fonte: <http://www.2getthere.eu>.

– Motociclo

O motociclo, representado na figura 2.42., é um veículo motorizado de duas rodas, ocasionalmente com três rodas, onde as rodas estão alinhadas longitudinalmente.



Figura 2.42. Motociclo. Fonte: <http://wikimedia.org>.

O primeiro motociclo foi o *Steamer Cycle*, construído em 1868, e desde aí a configuração funcional geral do veículo não se alterou substancialmente, havendo evoluções técnicas análogas às dos veículos automóveis, com a melhoria de motores,

chassis e suspensões e sistemas de segurança. Tal como nos veículos automóveis a célula de combustível também está a ser estudada, e recentemente começaram a surgir alguns modelos a gasóleo e elétricos.

Em termos energéticos, os motociclos têm consumos mais baixos por km que os automóveis, devido a maiores rácios peso-potência, mas são no entanto mais poluidores devido a sistemas de escape sem conversores catalíticos, e também ao facto de muitos motociclos serem ainda a 2 tempos, um sistema de combustão com uma eficiência reduzida.

A segurança é menor relativamente aos restantes transportes devido à falta de estruturas de proteção, aliada às elevadas velocidades que estes transportes podem atingir. Os fabricantes têm introduzido novas tecnologias de segurança análoga às dos veículos automóveis, como travões anti bloqueio, controlos de estabilidade, e em casos ainda raros, estruturas de topo, airbags e cintos de segurança, como se pode ver no motociclo da figura 2.43.



Figura 2.43. Motociclo BMW com estrutura de topo e cinto de segurança. Fonte: <http://www.minhamoto.info>.

Relativamente à facilidade de utilização e ergonomia, os motociclos apresentam variadas geometrias que variam fundamentalmente sob os valores da distância vertical do assento ao solo, distância vertical do guiador ao assento e distância horizontal do guiador ao assento.

Devido á necessidade de perícia para a condução, força física e boa flexibilidade do corpo, este meio de transporte não é de utilização facilitável, não sendo por isso um meio de transporte universalmente acessível.

– Bicicleta

A bicicleta surgiu nos finais do século XIX, e desde então têm sido um meio popular de transporte e recreação por todo o mundo. Existem tal como nos motociclos inúmeros estilos e variantes de bicicleta. Exemplo de uma regularmente usada no trânsito urbano é a representada na figura 2.44.



Figura 2.44. Bicicleta. Fonte: <http://topdesign72.com>.

Este meio de transporte é tecnologicamente simples e sem custo de utilização, o que faz dele um meio de transporte muito popular nos países em desenvolvimento e até em alguns países desenvolvidos, onde a topografia urbana permite deslocações de curta distância, em segurança e sem esforço acrescido por parte do utilizador. Estas condições estão reunidas fundamentalmente nas estruturas de cidade compactas Europeias, ao contrário dos países que optaram pela suburbanização como modelo de desenvolvimento urbano, o que se reflete nas taxas de utilização por país mostradas na figura 2.45.

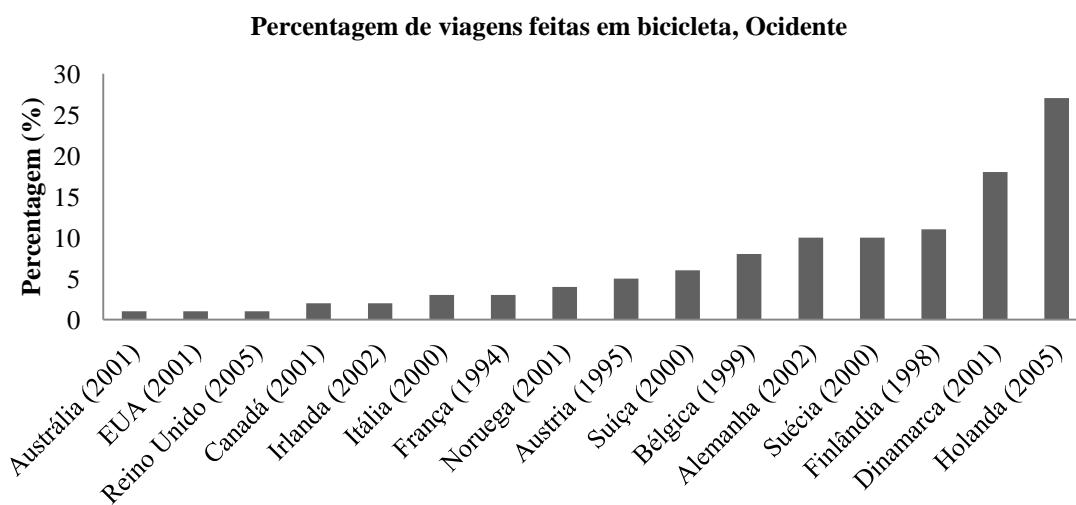


Figura 2.45. Gráfico percentagem de viagens feitas em bicicleta, Ocidente. Fonte: Pucher, J. and Buehler, R., 2008.

As bicicletas são um meio de transporte ecológico e compacto, havendo já iniciativas a nível local para integrá-las nas redes de transportes públicos, e tentar com isso reduzir os impactos da utilização preferencial do automóvel nas deslocações urbanas, que ocupam um espaço na via significativamente maior, como se pode ver na figura 2.46.

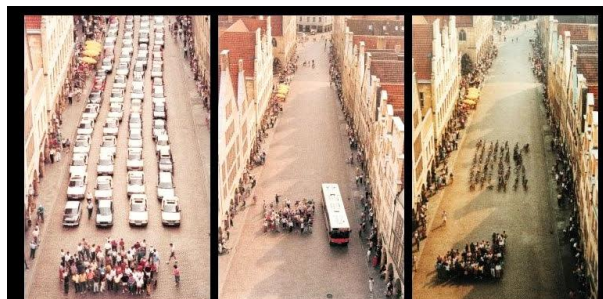


Figura 2.46. Comparação do espaço urbano necessário para o transporte de 60 pessoas; Automóvel vs Autocarro vs Bicicleta. Fonte: <http://4.bp.blogspot.com>.

A integração é feita por adaptação dos meios de transporte coletivos para receberem passageiros ciclistas de forma a poder realizar-se trânsito intermodal, ou pelo estabelecimento de redes de bicicletas de aluguer, que podem ser utilizadas por qualquer pessoa, estando distribuídas em parqueamentos próprios ao longo das cidades, como o da figura 2.47. em Londres. Alguns exemplos deste sistema são as bicicletas BUGA em Aveiro, Portugal, e o *Velo 'v* em Lyon, França, e o *Bycing* em Barcelona, Espanha.



Figura 2.47. Bicicletas de aluguer em Londres, Reino Unido. Fonte: <http://wikimedia.org>.

Em termos de ergonomia, as bicicletas urbanas clássicas, têm uma posição de condução alta e vertical, com guiadores, pedais, assentos sobredimensionados e controlos simples. Os quadros destas bicicletas têm também o tubo principal do quadro baixo de forma a melhorar a acessibilidade às mesmas.

Os conceitos mais recentes de bicicletas urbanas, como a representada na figura 2.48, têm na sua grande maioria estruturas dobráveis ou desmontáveis, para aumentar a conveniência de arrumação e inclusivamente transporte em outros meios de transporte, melhorando a capacidade de intermodalidade.



Figura 2.48. Bicicleta urbana dobrável. Fonte: [Fonte: http:// www.keetsa.com](http://www.keetsa.com).

A inovação mais recente neste meio de transporte é a introdução de bicicletas completa, ou parcialmente elétricas como a da figura 2.49 Esta melhoria torna a circulação em bicicleta mais adequada para localidades com topografia desfavorável á pedalada, ou auxílio para percorrer maiores distâncias.



Figura 2.49. Bicicleta assistida por motor elétrico. Fonte: <http://www.ashlandeletricalbikes.com>.

– Outras plataformas de mobilidade urbana

Existem também outras plataformas de mobilidade, menos utilizadas, para as deslocções em meio urbano como *Segways*, patins, trotinetas, *skates* e derivados.

As *Segways*, representadas na figura 2.50., são veículos elétricos cuja tecnologia se baseia no pêndulo invertido. O utilizador guia a *Segway* através da inclinação do corpo longitudinalmente e movimento do guiador para a rotação lateral do veículo. As *Segways* foram pensadas para o transporte urbano, sendo de pequena dimensão, elevada agilidade, silenciosas, não poluentes, com uma velocidade máxima de 20km/h e autonomia de 38km., estando aprovadas para utilização na maior parte dos países ocidentais, podendo circular em ciclovias e passeios públicos. As *Segways* não estão massificadas no grande público principalmente pelo seu elevado preço, na casa dos 8000 euros, preço significativamente mais elevado que todos os outros transportes citadinos, excluindo o automóvel.



Figura 2.50. *Segways* em movimento. Fonte: <http://www.nerdsociety.com>.

Outros meios de transporte que na prática são usados mais para recreação do que para transporte utilitário, são os patins, *skates*, trotinetas, figura 2.51, triciclos e demais equipamentos semelhantes.



Figura 2.51. Trotineta. Fonte: <http://www.thegreenhead.com>

Todas estas plataformas permitem o transporte individual em ambientes urbanos, embora tenham uma aplicação muito limitada devido a necessitarem de competências motoras elevadas para a sua operação, não serem confortáveis, e não serem em muitos casos fáceis de conduzir, especialmente no *skate*, que é quase exclusivamente utilizado para fins de lazer.

Estes meios têm no entanto uma grande vantagem quanto á sua intermodalidade. Tomando como exemplo a micro *scooter*, cuja capacidade de dobragem permite ao utilizador fazer a transição desta para um qualquer outro meio de transporte rapidamente e sem nenhum transtorno em termos do espaço que o veículo ocupa quando armazenado/dobrado. É portanto uma forma eficiente de transporte intermodal, que outros veículos menos compactos como a bicicleta não permitem com a mesma facilidade.

– **Barco a motor**

O barco utilizado como transporte pessoal urbano tem a sua utilização limitada a cidades construídas em território predominantemente aquático, como em Veneza, Itália, onde a circulação por outros modos está severamente restrita, como se pode ver na figura 2.52.



Figura 2.52. Veneza, Itália. Fonte: <http://www.concierge.com>

As cidades com estas características são raras, a utilização de barcos como meio de transporte também o é, sendo a esmagadora maioria utilizados para atividades profissionais ou lúdicas, como a pesca.

Existem três formas principais de propulsão nos barcos de recreio, havendo barcos a remos, á vela ou a motor de combustão interna. Em termos energéticos os barcos tem consumos muito elevados quando comparados com qualquer outro modo de transporte com a mesma potência, devido aos seus motores serem tecnologicamente pouco avançados e nas velocidades de cruzeiro circularem a rotações elevadas, na ordem das 4000-5000 rotações por minuto.

No que refere á sua ergonomia os barcos, na sua maioria dotados apenas de um volante/leme e um acelerador, têm poucos controlos que no entanto exigem um elevado nível de força física para operar. A maior dificuldade reside na entrada e saída para o barco, devido às elevadas alturas entre os elementos que fazem o fundo do barco e as suas bordas, e á instabilidade inerente ao movimento de pesos, neste caso o utilizador, do centro do barco para a sua borda.

– **Táxi marítimo**

Os táxis marítimos, como o ilustrado na figura 2.53, são um tipo de transporte segundo a procura, que operam transportando passageiros em canais ou rios. Estes veículos têm capacidades aproximadas de uma dezena de passageiros, e no meio urbano operam em situações muito específicas, na inexistência de outros meios de transporte apropriados, como por exemplo em Veneza.



Figura 2.53. Táxi marítimo em Veneza, Itália. Fonte: <http://www.housesinvenice.com>.

– **Soluções de mobilidade individual para utilizadores com limitações**

Pessoas com limitações de mobilidade necessitam atualmente de acessórios próprios ou de modificações nas plataformas que usam para se deslocarem. Como meio primário de locomoção, muitas destas pessoas utilizam moletas, andarilhos, como da figura 2.54, ou cadeiras de rodas manuais ou elétricas.



Figura 2.54. Andarilho. Fonte: [http:// www.mobilitychoices.com](http://www.mobilitychoices.com).

Estes têm sido os principais meios de transporte la locomoção de pessoas com limitações, permitindo o transporte a curtas distâncias, em tempo útil, o que na prática apenas facilita a mobilidade a curta distância, não permitindo só por si, uma integração completa na sociedade.

Fazendo de intermédio entre os acessórios de mobilidade e os transportes individuais convencionais existem as scooters eléctricas de três ou quatro rodas, como as da seguinte figura.



Figura 2.55. Scooter eléctricas. Fonte: <http://www.supplierlist.com>.

Estas plataformas de transição movem-se a velocidades reduzidas de 5-10km/h e são uma alternativa para transporte urbano às cadeiras de rodas elétricas, que são mais caras.

A maioria dos meios de transporte e edificações urbanas obedecem a critérios de mercado na sua construção, onde as pessoas sem dificuldades especiais estão em larga maioria, o que resulta em haver pouca ou nenhuma adequação destas estruturas e veículos às necessidades deste grupo de utilizadores com limitações. Por outro lado, existem também hipótese de conversão de veículos, dotando-os de estruturas que permitem a entrada, saída e comandos facilitado do veículo, como mostram as seguintes figuras 2.56 e 2.57, respetivamente.



Figura 2.56. Veículo com rampa de entrada para cadeiras de rodas. Fonte: <http://www.angelvehiclehire.co.uk>.



Figura 2.57. Controlos especiais no volante. Fonte: [http:// www.unitedaccess.com](http://www.unitedaccess.com)

Em termos de transporte coletivo, complementando os serviços regulares de autocarros, existem em alguns países outros transportes segundo procura. Estes serviços operam em zonas com baixa densidade de trânsito, ou no transporte de pessoas com baixos níveis de mobilidade pessoal, utilizando veículos de transporte convencionais, ou especializados, em que a facilidade de embarque, desembarque, movimento e suporte enquanto o transporte se move são as principais preocupações. Estes últimos têm frequentemente chão baixo, rampas para cadeiras de rodas, suportes adicionais, cintos de segurança nos lugares e motorista com formação para prestar assistência no embarque e desembarque de passageiros que necessitem, como ilustra o exemplo da figura 2.58. (Enoch, M. *et al*, 2004)



Figura 2.58. Transporte sob procura especializado. Fonte: [http:// www.gwtd.org](http://www.gwtd.org).

2.14. Casos de estudo

Nesta secção serão analisadas em detalhe cinco propostas de vanguarda na área da mobilidade, no capítulo de Casos de Estudo: Os veículos individuais inclináveis, uma possível direção para o futuro do automóvel, o *Bus Rapid Transit*, um conceito de transporte coletivo económico e bem-sucedido, o *Personal Rapid Transit*, um conceito de transporte individual desenvolvido nos anos 50, que ainda hoje é controverso, o *Bicing*, um sistema de partilha de bicicletas de sucesso na cidade espanhola de Barcelona, e por fim os Transportes Intermodais do Porto, um caso de sucesso na intermodalidade rodoviária e ferroviária. Desta análise mais profunda, o projetista poderá tomar consciência não só da direção que está a ser tomada no desenvolvimento de novos transportes coletivos e individuais, assim como dos seus fatores de sucesso ou fracasso, para que os bons aspetos destas novas tendências possam servir de guia, e para que os aspetos menos sucedidos possam ser elucidados de forma a não se repetirem erros de julgamento na conceptualização de novas plataformas de transporte.

2.14.1. Curitiba Bus Rapid Transit.

O sistema de *Bus Rapid Transit* da cidade de Curitiba no Brasil, ilustrado na figura 2.59., é considerado como sendo o sistema modelo para esta variante do transporte rodoviário.

O conceito BRT consiste no uso de autocarros de grande capacidade a circular em vias segregadas do restante trânsito, a velocidades elevadas, emulando o sistema de funcionamento de um metro ou comboio leve, mas a um custo operacional várias vezes mais baixo.



Figura 2.59. BRT Curitiba. Fonte: <http://1.bp.blogspot.com>.

Em Curitiba, este sistema de transporte teve a sua génese num plano de ordenamento urbano feito em 1964 que promovia entre outras coisas, a expansão da cidade linearmente, e com base em zonas de alta densidade populacional.

No corredor expresso circulam os autocarros articulados e multiarticulados em ambas as direções, efetuando várias paragens em estações cilíndricas a cada 500 metros. A este autocarro expresso são trazidos passageiros através de outros autocarros e miniautocarros que fazem circuitos nas restantes zonas residenciais e comerciais não diretamente em contacto com o corredor expresso.

O planeamento baseado no BRT tem também políticas que restringem a utilização do veículo pessoal, como o pouco investimento efetuado em locais de estacionamento, o que torna mais apetecível e barata a utilização do BRT.

Veículos

Os veículos utilizados em Curitiba, representados na figura 2.60, são autocarros articulados e biarticulados com motores a gasóleo e capacidade para 270 passageiros,

sendo o seu interior semelhante a um autocarro citadino moderno á exceção do chão baixo.

Os veículos dispõem também de uma rampa de embarque e portas largas, com entrada ao nível da estação.



Figura 2.60. Autocarros biarticulados. Fonte: [http:// www.rochestersubway.com](http://www.rochestersubway.com).

Os cerca de 1100 autocarros da rede efetuam 12500 viagens por dia, transportando 11000 passageiros por hora por direção, a uma velocidade média de 19km/h incluindo paragens, e com uma frequência na ordem dos 90 segundos.

Infraestrutura

As estações de embarque em Curitiba, com representação na figura 2.61, em forma de tubo, com cobertura para abrigo no tempo de espera, e contam com todos os sistemas de interação com o utilizador, como o sistema de venda e validação de títulos, um elevador para pessoas com dificuldades de movimento, e estão elevadas em relação ao pavimento, o que faz com que a entrada no veículo seja ao mesmo nível e por isso feita rapidamente e com pouco esforço.



Figura 2.61. Estações de embarque. Fonte: <http://4.bp.blogspot.com>

O BRT em Curitiba, no modo expresso opera em vias segregadas, enquanto os outros modos operam nas zonas adjacentes, cujo planeamento urbano deu forma, sendo a arquitetura deste sistema ternário, como ilustra o diagrama da figura 2.62, de residências e vias de trânsito. As zonas edificadas diminuem de densidade á medida que se afastam do setor estrutural centrado que contém a via expresso, ladeado de faixas de transito de baixa densidade, de forma a permitir a segurança dos utilizadores das e para as estações BRT. Nas vias situadas nas zonas edificadas, a densidade de trânsito é elevada, diminuindo á medida que se afasta do setor estrutural.

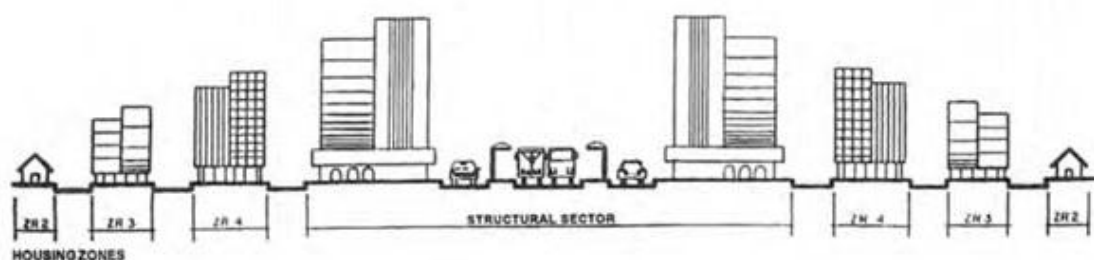


Figura 2.62. Sistema Rodoviário Ternário. Fonte: <http://ashui.com>.

Operação

O sistema opera em vários modos sendo os 2 principais o modo expresso, que são as vias construídas nas avenidas radiais da cidade em que operam continuamente os autocarros de maior capacidade, e o modo *feeder* – fornecedores onde autocarros fornecedores levam passageiros dos terminais na via central até ao restante ambiente urbano circundante.

Complementando estes dois modos existe o modo direto, que opera autocarros em viagens paralelas á linha expresso, mas com uma menor frequência de paragens.

Existe também uma linha especial que opera com miniautocarros, e outra entre vários distritos da cidade, que operam com um número de autocarros consideravelmente inferior ao sistema expresso e *feeder*.

Adicionalmente, o serviço também inclui outras rotas (Demery, Jr. L.W., 2004):

- Entre bairros adjacentes com procura suficiente.
- Rotas noturnas.
- Rotas servindo estudantes do ensino especial.

- Rotas entre o centro da cidade e os vários parques de estacionamento automóvel existentes.

Análise

O BRT autonomamente não é 100% da solução em Curitiba. A chave do sucesso não foi a existência isolada do BRT, mas o planeamento de expansão da cidade em torno dos corredores BRT.

É por isso impossível falar do BRT de Curitiba como um sistema de transportes independente das condicionantes locais. O planeamento urbano que favoreceu o crescimento da cidade ao longo de corredores radiais a partir do centro da cidade e a dispersão de zonas residenciais e comerciais ao longo dos corredores, assim como o controlo de densidade populacional vs. distância ao corredor e os autocarros *feeder* que fornecem passageiros às vias expresso “permite ao BRT ter um tráfego de passageiros constante nos dois sentidos de uma mesma linha, maximizando a variedade de trajetos e a taxa de ocupação dos veículos” (Goodman, J. e Laube, M., 2006).

Um dos aspetos que limita a implementação do BRT é o espaço que ele ocupa nas vias de trânsito. Em Curitiba não houve esse problema já que os corredores foram construídos antes da expansão urbana, quando o espaço terrestre estava livre para ser aproveitado á livre vontade dos planeadores, mas em cidades já maturadas este é um ponto essencial a considerar: Ter o espaço necessário para implementação das vias e das estações segregadas BRT, não criando “efeitos adversos nos fluxos de trânsito e lugares disponíveis de estacionamento” (Goodman, J. e Laube, M., 2006).

A seleção de um BRT *versus* um LRT para Curitiba foi feita essencialmente pela falta de capital, já que o BRT é consideravelmente mais barato de implementar. A facilidade em escalar o sistema e flexibilizar destinos também foi uma vantagem. A seleção do BRT não invalida a construção futura de um LRT, tendo sido este o objetivo de longo prazo para Curitiba, que no entanto nunca se realizou pelo custo substancialmente inferior de atualizar o BRT ao longo dos anos.

Tipicamente “o custo de capital de um sistema BRT é 4 a 20x inferior ao custo de um sistema equivalente de LRT, e 10 a 100x inferior a um sistema de metropolitano.” (Sorg, D., 2011)

Os custos de implementação em Curitiba foram de “1.5Milhões de dólares por km” (Goodman, J. e Laube, M., 2006)., número abaixo do custo médio de um sistema equivalente ferroviário.

Os custos de operação variam consoante as características específicas de cada sistema BRT, não podendo ser feitas considerações generalistas dos custos operacionais BRT vs. LRT.

Sendo o BRT uma solução de baixo custo capital, Sorg, D., 2011 aponta o BRT como sendo uma boa alternativa ao LRT em países em que os utilizadores deem mais importância á utilização económica do que ao conforto e imagem, ou seja, nos países menos desenvolvidos economicamente.

As estações de embarque foram construídas em sintonia com os autocarros para permitir uma entrada rápida de passageiros. A metodologia de pagamento e validação do título de viagem permite um fluxo ininterrupto de passageiros de entrada ou saída do veículo por portas largas e ao nível da estação, fazendo com que o embarque e desembarque de um veículo biarticulado demore cerca de 20 segundos e com pouca dificuldade para pessoas de mobilidade reduzida.

Do ponto de vista ergonómico, um ponto menos positivo será a entrada com barreira giratória estreita, que dificulta o movimento a pessoas obesas e que requerem força física para operar. Estas barreiras podem também aumentar a ansiedade nas pessoas mais idosas, visto que são um equipamento a pessoa se pode sentir encurralada num pequeno espaço, ou até empurrado caso o equipamento seja mal operado pelo passageiro seguinte. A passagem por este aparelho é feita ao entrar para a estação, e não ao entrar para o veículo, portanto a velocidade de embarque não é afetada pelo mesmo.

A variedade de serviços oferecidos pelo BRT de Curitiba também é um dos fatores de sucesso. À semelhança dos serviços coletivos rodoviários oferecidos nos países nórdicos, os serviços especiais do BRT de Curitiba contribuem para o esforço de integração de utilizadores com necessidades especiais, que de outra forma ficariam isolados da possibilidade de utilizar os sistemas de trânsito da cidade.

O *BRT* de Curitiba tem sido um sucesso. Mais de 50% dos habitantes de Curitiba utilizam o *BRT*, “80% deles no modo expresso e 20% no modo *feeder*” (Goodman, J. e Laube, M., 2006), perfazendo um número de 1.3milhões de passageiros. Este número tem aumentado, com um “crescimento de 4.5% ao ano desde a implementação do

sistema nos anos 70, não havendo sinais de que esta proporção esteja a decrescer” (Levinson, H. S., 2003).

Por coincidência, “o BRT foi implementado imediatamente antes de um grande crescimento populacional, o que também favoreceu a sua utilização crescente ao longo do tempo” (Levinson, H. S., 2003), sendo por isso perigoso extrapolar imediatamente que as referidas taxas de utilização crescentes em 4,5% ao ano sejam uma virtude exclusiva do sistema.

O BRT também contribui ambientalmente, permitindo a Curitiba ter níveis de poluição e consumo energético *per capita* significativamente abaixo da média das cidades brasileiras.

O baixo custo de operação do *BRT* também se reflete na população, “permitindo aos Curitibanos gastar apenas cerca de 10% do seu rendimento disponível em transportes – muito abaixo da média nacional” (Goodman, J. e Laube, M., 2006).

2.14.2. Personal Rapid Transit

O *Personal rapid transit*, cujo conceito virtual do sistema Ultra se encontra ilustrado na figura 2.63, é um conceito de transporte em massa individual em via segregada que começou a ser estudado nos Estado Unidos nos anos 1950’s. Ele utiliza veículos de pequena dimensão, tipicamente entre 1 e 6 ocupantes, circulando em vias próprias de forma automática, em viagens sem paragem destino-origem escolhidas pelos ocupantes.



Figura 2.63. Maquete virtual do Ultra PRT. Fonte: <http://sf.curbed.com>

A ligação às vias é feita através de estações fora-de-linha, de forma ao trânsito poder fluir independentemente da paragem de veículos, sendo esta uma das principais características que torna este sistema exequível.

Os veículos de são motorizados eletricamente, controlados automaticamente a partir de um posto central de comando e projetados segundo os princípios de *design* para todos.

Segundo Dr. J. Edward Anderson, um dos líderes no estudo do PRT, os benefícios deste sistema seriam:

- Capacidade para reduzir a congestão urbana.
- Reavivar a atividade nos centros urbanos.
- Reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, em que a procura excede a oferta.
- Reduzir a poluição atmosférica.
- Reduzir os acidentes e fatalidades, provocadas pelo trânsito rodoviário.
- Reduzir os custos de transporte.
- Conter a suburbanização excessiva.
- Combater o isolamento e exclusão dos mais pobres, dos incapazes de se deslocar ou conduzir e dos que preferem não conduzir.

História

Baseado no artigo *Some Lessons from the History of Personal Rapid Transit*, de Dr. J. Edward Anderson é possível resumir a história do PRT desde 1953 até hoje como sendo um conjunto de propostas com diferenças técnicas evolutivas. A maioria dos sistemas propostos consistia em veículos de pequena dimensão, tipicamente para 3 ou 4 passageiros, propulsionados por variados sistemas elétricos convencionais ou de indução magnética linear em vias elevadas e segregadas.

Os maiores saltos tecnológicos ao longo do progresso do PRT foram:

- Mudança de direção do veículo feita a partir do próprio veículo e não da via, o que permite reduzir os *headways*.
- Adoção de estações de berço múltiplo, que permitem o embarque simultâneo em vários veículos, aumentando a capacidade do sistema.
- As vias de grande dimensão cedo se revelaram inaceitáveis visualmente, o que influenciou os mais recentes projetos PRT a adotar vias com a menor dimensão possível.
- Os sistemas onde o veículo percorre a pista sobre rodas são vulneráveis às condições climáticas, sendo que, no caso de se utilizarem veículos com rodas, o meio de travagem preferencial seja travagem magnética.

- Através de simulações virtuais de operação em rede, foi determinado que veículos de pequena dimensão são os que apresentam menores custos de operação e construção de passageiro por km.
- Os sistemas de controlo desenvolvidos permitiram o teste virtual do PRT numa rede de 1000 estações e 60000 veículos, e procura irregular por parte dos passageiros, não mostrar problemas significativos de operação.
- O sistema mais aproximado ao PRT em uso até 2011 era o *Morgantown GRT (Group Rapid Transit)* dos anos 70, que contém vários princípios do PRT embora seja denominado GRT por utilizar veículos de capacidade média (21 ocupantes), e não apenas o modo de operação sob procura. Este sistema opera automaticamente desde então, sem incidentes, provando a possibilidade do trânsito autónomo *on-demand* em via segregada e estações múltiplas.

Os últimos desenvolvimentos no PRT ocorreram 50 anos depois do grande interesse das décadas de 50, 60 e 70. Em 2011 entrou em utilização o Ultra PRT no aeroporto de *Heathrow*, Reino Unido, que faz a ligação entre o terminal e o parque de estacionamento (à semelhança do conceito *Jetrail* dos anos 70), fazendo dele o primeiro sistema que segue todos os conceitos base do PRT a ter sido comercializado com sucesso.

A implementação do PRT está também a ser feita na cidade sustentável de *Masdar*, nos Emiratos Árabes Unidos e em Amistar na Índia, com a sua entrada em funcionamento prevista para 2014.

Morgantown, o PRT que não o chega a ser.

Morgantown, uma pequena cidade cuja população é maioritariamente universitária na Virgínia Oeste, cuja congestão rodoviária encontrava-se já num nível elevado no final dos anos 60. A universidade de *Morgantown* dividia-se em dois polos universitários distantes 1,5km um do outro, e com a necessidade dos alunos mudarem frequentemente de polos entre aulas o transporte rodoviário convencional estava a mostrar-se inadequado.

A UMTA coordenou o desenvolvimento do estabelecimento deste sistema em *Morgantown*. O sistema apenas foi completado 8 anos a seguir ao previsto, com grandes derrapagens orçamentais, condenando o conceito PRT a uma péssima reputação doravante.

Visão geral do sistema

O sistema GRT (*Group Rapid Transit*) em *Morgantown* é uma rede de 5 estações, que podem ser vistas no mapa da figura 2.64., sendo 3 delas fora-de-linha, em que circulam 71 veículos com capacidade para 21 passageiros.

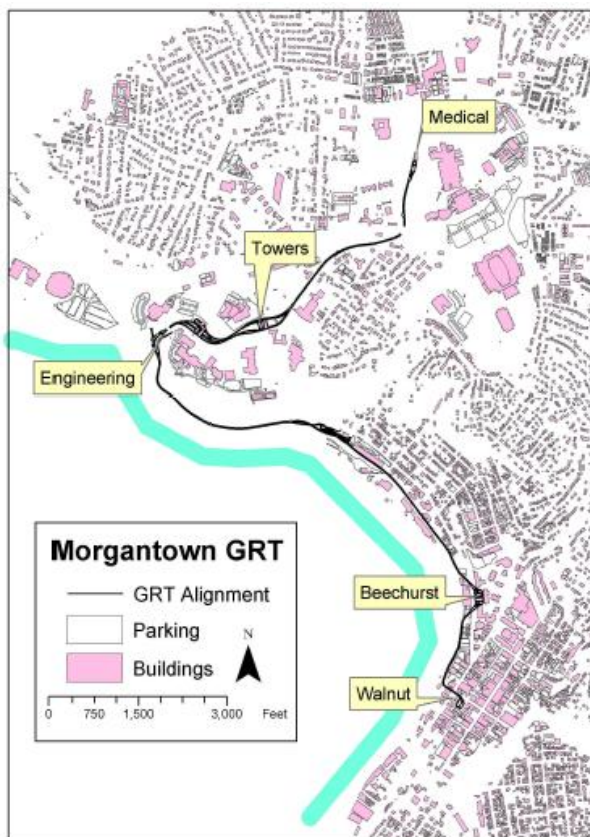


Figura 2.64. Mapa do sistema GRT em *Morgantown*. Fonte: Raney, S., 2004.

O sistema foi concebido em volta de estações fora de linha com *bypasses*, a principal característica de traçado da via que permite a operação sem paragens entre origem e destino, sem a qual, qualquer sistema de transporte é obrigado a passar por todas as estações ao longo do seu percurso, uma característica pouco comum em outros sistemas de transporte.

Modos de operação

O *Morgantown* GRT opera em 3 modos distintos: procura, horário e circulação. O modo procura e horário funcionam nas horas de pico do serviço e o modo circulação funciona nos períodos fora de pico de circulação.

- **Modo Procura:** neste modo o serviço é ativado quando um utilizador insira o seu destino no computador de serviço. De forma a maximizar a capacidade do

veículo, este só é alocado imediatamente se houver um mínimo de 15 passageiros com o mesmo destino. Caso contrário, o utilizador terá de esperar 1 minuto até que o veículo seja alocado, e um intervalo de tempo adicional de 20 segundos para que mais passageiros possam embarcar no veículo.

- **Modo Horário:** O veículo faz trajetos diretos origem-destino obedecendo a um horário estipulado. “Durante as horas de pico de utilização, onde os horários e padrões de transporte são conhecidos, este modo é mais eficiente que o modo procura.” (Raney, S, e Young, S., 2004)
- **Modo:** Circulação: Durante os períodos fora de pico o GRT circula continuamente com paragens em todas as estações.

Veículos

Os veículos do *Morgantown* GRT são elétricos, com capacidade para 21 pessoas, 8 sentadas e 13 em pé, com entrada em nível com a estação, espaço interior amplo para cadeira de rodas e dotados de climatização automática. São propulsionados por um motor elétrico DC. Um fator inovador nos veículos de *Morgantown* é a sua capacidade de mudar de via, *switching*, a partir do veículo, e para isso conta com rodas guia e direção nas rodas frontais. Os veículos originais ainda operam, sendo totalmente reconstruídos em intervalos fixos.

Infraestrutura

O sistema é gerido através de uma central de controlo, onde a circulação de veículos é controlada através de um sistema de *slots* móveis virtuais, que circulam continuamente por toda a via em três níveis de velocidade dependendo da zona onde se encontram. Os veículos são conduzidos por estes *shots*. Adicionalmente, o controlo central faz a gestão de um número mínimo de veículos em cada estação, 2, e a interação com os utilizadores nas estações de embarque.

As estações do GRT, figura 2.65., são diferenciadas. Cada uma diferente entre si consoante os padrões de trânsito a montante ou a jusante, sendo as estações das extremidades em linha, ao contrário das 3 estações centrais.



Figura 2.65. Estação *Morgantown* GRT. Fonte: <http://flickr.com>.

Cada estação tem múltiplos de berços de atracagem e mudanças de via, permitindo aos veículos atracarem em qualquer um dos berços ou seguirem para o seu destino sem paragem.

Todas as estações são projetadas como edifícios de 2 andares para permitir o *bypass* com a menor ocupação de espaço possível, e em cada uma das estações centrais existem berços para 22 veículos, 8 berços em cada uma das estações terminais e mais 26 nas estações de manutenção, onde muitos dos veículos ficam guardados nos períodos fora de pico.

A via de circulação de *Morgantown* em forma de U é feita em betão, suporta as linhas de energia e os dispositivos de comunicação do sistema central de controlo com o veículo e inclui um sistema de aquecimento a vapor, para que no inverno possa derreter a neve que nela se acumula e que tornaria a circulação dos veículos inviável.

Ultra PRT, a proposta em implementação

O sistema ultra é semelhante ao GRT de *Morgantown*, sendo as suas diferenças a utilização de veículos de pequena capacidade, que circulam exclusivamente em modo procura.

Veículos

Os veículos do sistema Ultra são *Pods* com condução automática de pequena dimensão. Propulsionados eletricamente, eles contam com uma bateria como fonte de energia a

bordo, contrariamente á maioria dos sistemas PRT conceptualizados até hoje, e atingem velocidades até 40km/h

O veículo tendo uma distância entre eixos curta tem uma elevada manobrabilidade de forma a poder ser bem integrado em ambientes urbanos, fator essencial à integração urbana da maioria dos conceitos PRT. A sua propulsão elétrica assegura um baixo consumo energético e a ausência de emissões poluentes. O interior do veículo contém um banco em cada extremidade, espaço amplo para manobra de uma cadeira de rodas, entrada a nível com a plataforma e corrimões de auxílio. O interface com o utilizador é feito através de um display visual eletrónico e colunas de som.

Infraestrutura

O utilizador ao chegar á estação pode dirigir-se a um dos berços de embarque, representado na figura 2.66., para fazer a requisição de serviço com um *smartcard* e em seguida utilizar o veículo. Tipicamente, após a requisição do veículo existe” 90% do sistema alocar um veículo em menos de 1minuto” (Lowson, M., 2002).



Figura 2.66. Berço de embarque Ultra PRT. Fonte. [Http://www.faculty.washington.edu](http://www.faculty.washington.edu).

As guias são estruturas pré-fabricadas podendo ser feitas em vários materiais, desde betão á fibra de vidro, e não contém quaisquer elementos mecânicos á parte de sensores e *loops* de comunicação com os veículos.

Operação

A operação dos veículos é feita de três modos:

- **Controlo central síncrono:** certifica-se que as viagens dos veículos não entrem em conflito (controlo síncrono é a totalidade do controlo feito em relação a um único referencial de tempo, um relógio central. No assíncrono, não há um referencial central e cada unidade coordena com as restantes no momento necessário).
- **Controlo automático do veículo:** utilize sensores laser para o guiamento do veículo na via.
- **Sistema de proteção do veículo automático:** Assegura que os veículos não colidam entre eles. (tem *loops* indutivos na pista que fornecem ao veículo um sinal avançar/parar)

Em caso de falha de energética do sistema central, existe nos veículos uma suplementar que permite a conclusão da viagem.

O *headway* calculado para um sistema Ultra é de 1 segundo, podendo transportar 2500 passageiros por hora por via. (Lawson, M., 2002)

Análise

Em termos de circulação independentemente da congestão urbana, tanto o sistema em *Morgantown* como o sistema Ultra em *Heathrow* validam este conceito. O Ultra ainda está a dar os primeiros passos na sua implementação, e tal como em *Morgantown*, está a ser implementado sob uma condicionante muito específica: Obedece a um padrão de trânsito simples numa rede de pequena dimensão. Em *Morgantown* a rede inclui os campus universitários, o hospital e o centro de negócios, em *Heathrow* a rede é composta por três estações, e nos seus planos para expansão estão previstas ligações a hotéis e áreas comerciais envolventes. É um estado de implementação muito prematuro para avaliar a validade do conceito numa rede extensa.

É no entanto de referir que em várias simulações já feitas, foram postas a funcionar redes de grande dimensão, uma de 1000 estações e 60000 veículos pela *The Aerospace Corporation* e outra rede do tamanho de Manhattan pela *IBM Corporation*, com resultados satisfatórios (Anderson, J.E., 1996). As estações sendo fora de linha, podem ser adicionadas sem afetar a velocidade do sistema de transporte, característica fundamental para o incentivo ao uso deste meio de transporte, ao contrário dos sistemas

de transporte coletivos convencionais, onde a adição de estações embora forneça mais escolha de destinos aumenta os tempos de viagem, tornando o sistema menos atrativo.

O movimento de passageiros nas estações representaria outro problema para o GRT. Operando transportes em grupo em estações de berços múltiplos, o *handling* de passageiros tornar-se-ia impraticável. Para além do tempo de espera necessário á entrada de mais passageiros entrarem abrandasse a operação, “era também necessário que todos os passageiros de um veículo se destinassem á mesma paragem” (Johnson, R.E. *et al*, 1975), o que se tornaria improvável com o aumento de dimensão do sistema. Os passageiros com dificuldades de movimento teriam também dificuldade a dirigir-se para o veículo certo, enquanto no PRT bastava entrarem no primeiro veículo disponível.

Para a extensão das redes são necessárias construir estações. Este fato apresenta dois problemas, o do custo e o da intrusão visual. Sobre o primeiro ponto o documento *The future of High-Capacity Personal Rapid Transit* refere que “a economia de adicionar novas estações á linha é favorável... e que ao contrário de sistemas com paragem em linha, as estações podem ser dimensionadas com base na procura esperada” (Anderson, J.E., 2005).

Semelhantemente aos transportes coletivos, os veículos PRT não precisam de ocupar terreno urbano estacionado, ao contrário dos automóveis que ocupam uma parte significativa de terreno que poderia ser de outra forma usado, sendo a necessidade de estacionamento uma consequência e uma causa indireta para a suburbanização. A via é elevada para ocupar pouco espaço a nível terrestre e não impedir o resto da circulação a esse nível, não sendo subterrânea devido aos elevados custos dessa opção.

No caso da intrusão visual, as propostas mais modernas de PRT como o Ultra, o *Vectus* e o *Taxi2000*, no Reino Unido, Suécia e EUA respetivamente, contam com linhas vias de reduzida dimensão que podem inclusive der integradas nos próprios edifícios. Os antigos conceitos CCVS, no Japão, e o de *Morgantown*, nos EUA, serviram de exemplo do que não se deve fazer em termos de via, e os novos conceitos têm e terão esse aspeto em conta. As dimensões reduzidas das vias são possíveis devido às reduzidas dimensões dos veículos.

Os vários conceitos PRT têm custos de implementação previstos como baixos, na ordem dos 5 a 20 milhões de dólares por km. A seguinte tabela 2.7. compara os custos de vários sistemas de transporte nos EUA com os do Ultra PRT.

Tabela 2.7. Comparação de custos por km entre vários modos de transporte. Adaptado de Eldman, B., 2010.

Modo	Custo por km (milhões \$)
Comboio pesado	
NY 2nd Av. Metro, EUA	1250
L.A. Red Line, EUA	161
Extensão do metro em <i>Dulles</i> , EUA	106
Comboio leve	
L.A. Gold Line, EUA	41
Minneapolis Hiawatha Line, EUA	38
Metro de Houston	27
N.J. Transit River Line, EUA	18
Via automatizada	
<i>Airtrain</i> airport JFK, EUA	93
Monorail de Seattle, EUA	94
Clarian de Indianapolis, EUA	18
Via de trânsito para autocarro – <i>Bus Rapid Transit</i>	
Valor médio de via exclusiva	8
Valor médio em via HOV (veículos de elevada ocupação)	6
Ultra PRT	7-15

Os veículos que fazem parte das várias propostas de PRT até hoje são semelhantes. Contam na sua maioria com 3-4 lugares, propulsão elétrica e condução automática, sendo cativos ao sistema. As velocidades atingidas nos centros urbanos estão na média dos 30-40km/h, o que “ainda assim reduz os tempos de viagem em relação aos automóveis, autocarros ou LRT num centro congestionado num fator de 2 ou 3” (Lowson, M., 2001). Em termos ergonómicos os interiores dos veículos, representado na figura 2.67, apresentam boas práticas de *design* para todos, como bons espaços de circulação, espaço para cadeiras de rodas, corrimões de suporte e entrada a nível com a estação. Este aspeto da universalidade do *design* é importante para atrair o maior número de utilizadores possível.

Outro aspeto é a da individualidade do uso deste sistema de transporte. Á semelhança do automóvel, o PRT pode ser utilizado individualmente e em grupos pequenos, o que fornece ao seu utilizador um sentimento de segurança e privacidade, impossíveis de fornecer nos atuais sistemas coletivos. Este é também um dos grandes motivos pelos quais os automóveis são preferidos aos sistemas coletivos, e qualquer sistema que queira concorrer com o automóvel tem que levar esta preferência do utilizador em conta.



Figura 2.67. Representação virtual do interior do Ultra PRT. Fonte: <http://www.ultraprt.com>.

Em termos energéticos, “o sistema Ultra consome em média 0.55 MJ por passageiro por km, comparado com 1.2MJ a 2.4MJ consumido por sistemas de transporte convencionais. Este benefício excede um fator de 3 quando comparado com automóveis. Nos picos de tráfego, onde a congestão é mais intensa, este fator aumenta para 8” (Lawson, M., 2001). Este baixo consumo deve-se ao baixo peso do veículo, circulação a velocidades constantes sem interrupções e à motorização elétrica, direção que os restantes conceitos PRT também adotaram.

Independentemente da eficiência energética dos veículos, em *Morgantow* havia outro fator que tornava a utilização dispendiosa caso o sistema fosse aplicado em países com climas frios. A energia que seria necessária para descongelar a via seria muito superior à energia de funcionamento dos veículos, tornando o sistema operativamente ineficiente. Esta foi uma das razões apontada, para além de custos de construção e impacto visual, por J. Edward Anderson para que o sistema GRT de *Morgantown* não tivesse outros clientes.

No documento *Sustainable Personal Transport*, M. Lowson refere que aquando a estreia do protótipo do Ultra, foram feitos questionários sobre a aceitação do sistema pela população em Bristol, Reino Unido. Numa amostra de 138 pessoas, os resultados foram os seguintes:

- 90.6% Da amostra inquirida classificou de bom ou excelente o aspeto estético dos veículos na sua eventual circulação em Bristol.

- 89.9% Da amostra inquirida classificou de bom ou excelente o arranjo interno dos veículos.
- 70.3% Da amostra inquirida classificou de bom ou excelente o aspeto visual da via elevada. 22.5% Classificou de mediano.
- Apenas 10.2% da amostra inquirida referiu pretender usar o sistema apenas ocasionalmente ou nunca, com os restantes 89.8% a indicar uma provável utilização várias vezes ao mês, 21.7%, várias vezes á semana, 44.9%, e várias vezes ao dia, 23.2%.
- Desta amostra, 60,1% apenas usa transportes públicos ocasionalmente ou nunca.

Embora seja preciso ter em conta que estudos de opinião sobre propostas hipotéticas não deixam de ser processos de intenções, há que referir a grande aceitação do sistema, incluindo por muitos dos utilizadores que no momento não utilizavam transportes públicos, significando que o sistema pode de fato atrair 25-30% dos então condutores de automóveis, um dos seus principais objetivos.

2.14.3. Bicing

O *Bicing*, ilustrado na figura 2.68., é um sistema público de partilha de bicicletas a residentes em Barcelona, Espanha.



Figura 2.68. Sistema *Bicing* em Barcelona. Fonte: <http://sueltaeneuropa.files.wordpress.com>.

O *Bicing* foi introduzido em 2007, com o objetivo de ser um complemento aos transportes públicos, que têm a sua tarefa dificultada por “crescentes níveis de congestionamento desde 1965” (Martin, J.A., 2011). Utilizando bicicletas dispostas ao longo da cidade, serve como meio intermodal para as distâncias de viagem que o sistema de transportes não cobre, mas que são demasiado grandes para circular a pé,

“tipicamente entre os 1 a 5 km” (Midgley, P., 2011), ou para deslocações curtas dentro da cidade.

O *Bicing* foi bem recebido pela população e cresceu desde 2007 de 750 bicicletas e 50 estações inicialmente, para as atuais 6mil bicicletas e 400 estações, havendo mais de 180mil utilizadores registados, influenciando um “crescimento de 30% nos utilizadores de bicicletas como meio de transporte” (Rojas-Rueda, D. *et al*, 2011), embora seja estimado que apenas 1,7% da população o utilize” e o impacto modal no transporte automóvel seja muito reduzido, com” apenas 10% dos utilizadores do *Bicing* sendo antigos utilizadores de automóvel” (Midgley, P., 2011).

História

Os sistemas de partilha de bicicletas tiveram a sua origem em Amsterdão, Holanda, em 1965. Neste primeiro sistema, foram espalhadas pela cidade bicicletas ao longo da cidade que poderiam ser utilizadas por qualquer pessoa, que simplesmente pegava na bicicleta e nela circulava até ao seu destino, deixando então a bicicleta solta na rua para que qualquer outra pessoa a pudesse utilizar, sem que fosse necessário o pagamento de tarifa de utilização. Cedo estas bicicletas foram alvo de roubo e vandalismo, terminando o programa e contribuindo para a descredibilização do sistema. Houve outras tentativas na década de 60 e na seguinte de 70, mas todas com desfechos semelhantes.

A partir de 1995 foram desenvolvidos novos sistemas, nomeados de 2ª geração, em que as bicicletas teriam de ser levantadas e entregues em estações próprias, mediante um valor monetário, sem no entanto haver estabelecido qualquer controlo sobre o utilizador. As bicicletas de 2ª geração, tal como as de 1ª, eram visualmente distintas e tinham componentes mecânicos para desencorajar o roubo, no entanto a falta de métodos para responsabilização do utilizador não garantia um melhor cuidado da bicicleta.

Os sistemas de 3ª geração introduziram o funcionamento com cartões de acesso, que identificam cada utilizador. Esta foi a grande inovação dos sistemas de 3ª geração, que permitiu o reavivamento do conceito, que goza hoje de uma popularidade crescente. Nos sistemas de 3ª geração a rotatividade de uso também é encorajada através da imposição de tarifas e penalizações para o caso de uso prolongado.

O último estágio de evolução deu-se em 2005, com a introdução da 4ª geração do sistema, que usa informação em tempo real para informação dos utilizadores sobre a disponibilidade de bicicletas, seguimento GPS das mesmas, e a introdução de

assistência elétrica á pedalada em algumas bicicletas. A grande maioria dos sistemas existentes hoje em dia é de 3ª geração, estado a 4ª geração ainda em fase inicial de implementação.

Veículos

As bicicletas utilizadas, representadas na figura 2.42, são semelhantes aos restantes modelos de 3ª geração usados em vários outros sistemas. Tem um *design* peculiar, para fácil identificação e têm como aspetos principais a robustez, incompatibilidade de componentes com outras bicicletas e a construção focada na simplicidade de uso.



Figura 2.69. Bicicleta utilizada no sistema *Bicing*. Fonte: <http://wikimedia.org>

As bicicletas têm uma posição de condução ergonómica, mudanças de cubo, luz de presença, suporte de carga frontal, travões nas duas rodas, campainha e proteções de plástico nas rodas e transmissão, de forma a evitar a sujidade e para segurança dos membros inferiores do utilizador. A sua fixação á estação é feita por intermédio de pinos no suporte de carga frontal.

Estas bicicletas efetuam mais de 150mil km por ano, necessitando de manutenção regular.

Infraestrutura

A infraestrutura do *Bicing* resume-se às estações de aluguer das bicicletas, representadas na figura 2.70. As estações contém o suporte para as bicicletas e um terminal informatizado para interação com o utilizador, em que toda a operação é feita por cartões de acesso e controlos visuais.



Figura 2.70. Estação *Bicing*. Fonte: <http://wikimedia.org>

Em Barcelona existem presentemente 400 estações distribuídas por toda a cidade, como se pode ver no mapa da figura 2.71.

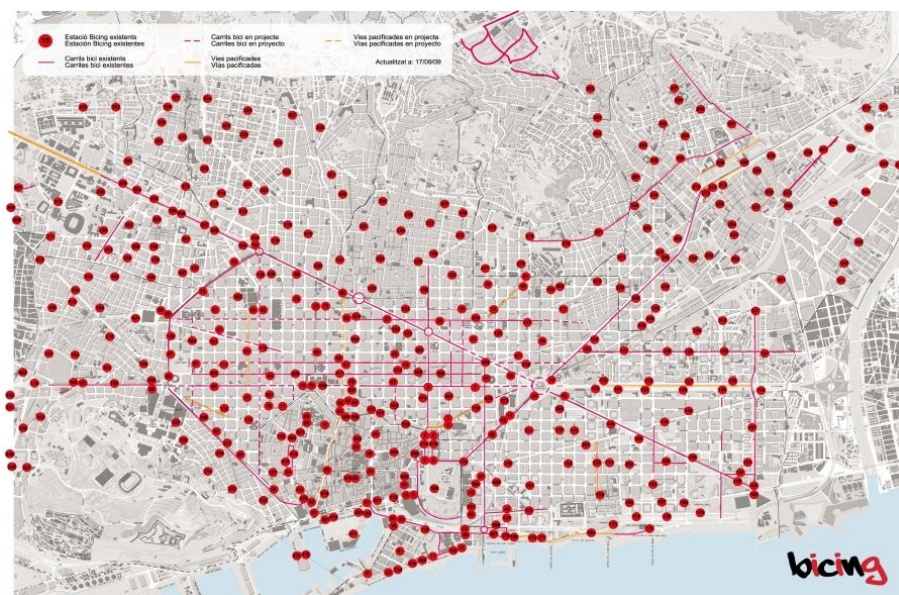


Figura 2.71. Mapa de estações *Bicing*, 2012. Fonte: <http://www.bicing.cat>

Outro fator importante é a existência de ciclovias, embora não afetem diretamente a escala do sistema, e a existência de uma boa rede de transportes públicos na qual o sistema de partilha de bicicletas possa desempenhar um papel intermodal.

Operação

O *Bicing* pode ser usado diariamente e a todas as horas excetuando as 2h e 5h nos dias úteis. Para usar o sistema é necessário fazer uma inscrição anual, onde é atribuído um cartão de acesso para utilização. Tendo este cartão, o utilizador poderá dirigir-se a uma

das 400 estações e fazer uso de uma bicicleta, num processo simples de identificação do cartão de acesso e levantamento automático de uma bicicleta para utilização.

As tarifas de utilização são:

- 44€ Pela inscrição anual
- Primeiros 30 minutos de utilização são grátis
- 0.7€ Por cada 30 minutos seguintes
- 4.20€ De penalização por cada hora extra após as 2h, podendo inclusivamente haver cancelamento da permissão de utilização em caso de entrega demorada.

Um dos aspetos de funcionamento destes sistemas é a necessidade de redistribuição de bicicletas em grande escala. Este procedimento, á semelhança do que acontece no conceito *Personal Rapid Transit*, deve-se á procura desigual ao longo do sistema, fazendo com que haja estações sobrelotadas e outras sublotadas, fator acentuado pela geografia de Barcelona, que se situa num vale e tem por isso as estações centrais na parte baixa da cidade e as estações circundantes a um nível consideravelmente mais elevado.

Custos

Os vários sistemas de partilha de bicicletas existentes são financiados de diferentes formas, incluindo as suas receitas próprias, receitas de publicidade, receitas de estacionamento, transferências governamentais ou patrocínios privados.

O *Bicing* financia-se em através das suas receitas próprias de funcionamento e dos excedentes de receita do estacionamento automóvel ao longo da cidade.

Os custos de implementação de um sistema de partilha de bicicletas rondam os “3000\$-4500\$ por bicicleta e os custos operacionais rondam os 1200\$-1700\$ por ano” (Midgley, P., 2011), sendo que estes custos incluem as estações, bicicletas, licenças de operação, *staff*, veículos de transporte, oficinas de manutenção e os custos da manutenção regular de todo o sistema.

Análise

A tabela 2.8. apresenta os fatores de sucesso para sistemas de partilha de bicicletas, agrupados pelo estudo *Bicycle-sharing schemes: Enhancing sustainable mobility in rural areas*, e as observações relativas à sua existência no sistema *Bicing*.

Tabela 2.8. Fatores de sucesso de sistemas de partilha de bicicletas e observações sobre o *Bicing*.
Adaptado de Midgley, P., 2011.

Fator	Descrição	Observações
Redistribuição de bicicletas	Mecanismo para lidar com a procura assimétrica entre estações	Redistribuição das estações na parte baixa para a parte alta da cidade. <i>iBicing</i> , aplicação informática para fornecimento de informação em tempo real sobre lotação de estações.
Ciclovias e medidas de <i>traffic calming</i>	Quantidade e qualidade do espaço atribuído á circulação dedicada de bicicletas, ciclovias, <i>traffic calming</i>	177km de ciclovia. Medidas adicionais não implementadas.
Procura e densidade populacional	Procura por viagens de sentido único em várias direções.	Elevada densidade populacional. Elevada proporção de transito apenas na direção do centro.
Manutenção	Bicicletas e terminais em boas condições operacionais.	Algumas bicicletas com pneus furados ou danificadas, tanto por uso como por vandalismo.
Configuração da rede	Localizações específicas baseadas nos objetivos do sistema e procura de viagens.	Rede de 400 estações espalhada por toda a cidade.
Acessibilidade do sistema	Custo de uso, incluindo custos de conveniência.	Reduzido custo anual de utilização
Bicicletas	Bicicletas que correspondam á demografia local e condições operacionais.	Beneficiaria de bicicletas com assistência a pedalada.
Estações de bicicletas	Terminais visíveis e com boa interface.	<i>Smartcard</i> simplifica a interface com o utilizador.
Atitude do público face ao uso de bicicletas	Perceção do modo, disponibilidade para partilha da estrada, vontade de utilizar o modo.	
Qualidade do transporte público	Capacidade do sistema de desincentivar o uso do automóvel	Reduzida percentagem de conversão de utilizadores de automóvel, em vários sistemas de partilha de bicicletas, não sendo um problema específico do <i>Bicing</i> .
Clima e geografia	Quantidade de precipitação e topografia local.	Influência da topografia nos padrões de trânsito, o que requer um sistema de redistribuição de capacidade considerável.
Segurança	Terminais e infraestruturas bem iluminadas e patrulhadas se necessário.	
Disponibilidade do sistema	Horário de serviço	Horário completo, á exceção das 2-5h da madrugada nos dias de semana.
Plataforma tecnológica	Velocidade de acesso, informação em tempo real, privacidade e segurança de dados.	Sistema simples e rápido de utilização por via de <i>Smartcard</i> . <i>IBicing</i> fornece informação em tempo real.

Alguns dos fatores acima mencionados merecem um destaque especial.

Quanto é procura, a cidade de Barcelona é das com maior densidade populacional de Espanha, o que garante a viabilidade não só de sistemas de transporte coletivo convencionais como, autocarros e metropolitanos, como de um sistema de transporte em bicicleta, que mesmo sendo um transporte individual ocupa muito menos espaço que um automóvel, trazendo vantagens á circulação e estacionamento. A densidade populacional ser elevada também significa que as distâncias a serem viajadas vão ser tendencialmente pequenas, situação que corresponde com o padrão típico de distância percorrida em bicicleta de 1 a 5 km.

Outro dos aspetos é a configuração da rede e a redistribuição de bicicletas. A rede de 400 estações tem uma ampla cobertura de praticamente toda a cidade, sendo um fator de atratividade do sistema: O utilizador tem sempre uma estação perto da sua origem de viagem e perto do destino.

A redistribuição em larga escala necessária em Barcelona deve-se á geografia da cidade aliada ao fator humano. Tal como refere o estudo *Bicycle-sharing schemes: enhancing sustainable mobility in rural areas*, que faz um levantamento dos aspetos principais de vários sistemas de partilha de bicicletas, é referido que “os ciclistas na generalidade não gostam de subir inclinações maiores que 4%, e evitam totalmente inclinações superiores a 8%. Os ciclistas irão descer mas não irão subir, e as estações em zonas altas tenderão a estar vazias, enquanto nas zonas baixas tenderão a estar cheias. Este problema ocorre em Barcelona” (Midgley, P., 2011). Em qualquer zona onde se considere a implementação de um sistema de partilha de bicicletas, é necessário levar este aspeto em conta. Elevados desníveis topográficos levam à necessidade de redistribuição, o que elevada os custos operacionais, ou á própria inviabilização do sistema por falta de utilizadores.

Este problema poderia ser combatido com mais eficácia com a introdução de bicicletas com pedalada assistida, parcial ou totalmente, em cidades com topografias desfavoráveis, o que ainda não se verificou no *Bicing*.

Relativamente à parte financeira, o modelo de financiamento do *Bicing* é semelhante ao dos transportes públicos convencionais, neste caso sustentável devido aos baixos custos operacionais deste tipo de sistemas.

Existem ainda poucos dados sobre os benefícios dos programas de partilha de bicicletas, tanto pela limitada implementação e relativa novidade tanto dos próprios sistemas de

partilha de bicicletas como dos modelos computacionais para simulação da performance dos mesmos.

Em termos modais, o *Bicing* teve um efeito reduzido na conversão dos utilizadores de motociclos e automóveis, sendo a maior parte deles já utilizadores de outros sistemas de transportes públicos ou novos utilizadores de meios de trânsito. Esta baixa taxa de conversão não é exclusiva ao *Bicing*, sendo semelhante em vários outros sistemas de partilha de bicicletas, como mostra a tabela 2.9.

Tabela 2.9. Percentagem de substituição de viagem noutros modos pelo *Bicing*. Adaptado de *Bicycle-sharing schemes*: Midgley, P., 2011.

Tipo de viagem substituída	<i>Bicing</i> Barcelona, Espanha	<i>Bixi</i> Montreal, Canadá	<i>Vélib'</i> Paris, França	<i>Vélo 'v</i> Lyon, França
Autocarro ou Metro	51%	33%	65%	50%
Automóvel ou Motociclo	10%	2%	8%	7%
Andar	26%	25%	20%	37%
Bicicleta	6%	28%	-	4%
Outro modo	7%	12%	7%	2%

Em termos ambientais, estima-se que o *Bichinho* tenha reduzido em “0.9% o valor de dióxido de carbono emitido pelo conjunto de transportes da cidade” (Rojas-Rueda, D. *et al*, 2011), valor pequeno já que a transferência de utilizadores do automóvel para o *Bicing* não foi significativa.

Relativamente a benefícios para a saúde, o estudo *The health risks and benefits of cycling in urban environments compared with car use: health impact assessment study* aponta para um benefício atual praticamente insignificante, devido mais uma vez á reduzida conversão de utilizadores de automóvel para a bicicleta. De uma amostra de 181982 utilizadores do *Bicing*, foi estimado que o número de mortes evitado, o parâmetro principal dos resultados do estudo, foi de apenas 12, 46 utilizadores. Este estudo refere também que ainda existem poucos estudos de benefícios destes sistemas, e que os que existem têm sido exagerados, sendo os benefícios mensuráveis no atual estado de implementação pouco significantes.

Um parente português do *Bicing*- BUGA – Bicicleta de utilização gratuita de Aveiro

Um dos sistemas de 2ª geração é o ainda hoje ativo BUGA – Bicicleta de Utilização Gratuita de Aveiro, figura abaixo.



Figura 2.72 BUGA. Fonte: <http://photos1.blogger.com/>

O referido sistema tinha todos os fatores de sucesso necessários, como uma topografia e geografia urbana adequada, várias estações e veículos disponíveis ao longo da cidade, um reduzido custo de utilização e participação municipal para a implementação e manutenção do sistema, e uma desenvolvida cultura de utilização da bicicleta na cidade escolhida para a implementação, Aveiro.

Apesar disto, o BUGA sofria de uma falha comum aos sistemas de 2ª geração, a ausência de controlo identificativo dos utilizadores. As bicicletas eram presas às suas estações através de um cadeado, acedido através da introdução de uma moeda, que seria reembolsada aquando a deposição do veículo em qualquer outra estação com espaço disponível para o estacionamento do veículo.

A falta de identificação do utilizador era um incentivo á má utilização por parte dos menos interessados no bem público que este sistema representava, e ao fim de um curto período de tempo os veículo começaram a desaparecer das estações ou a serem usados indevidamente, o que afetou gravemente a operacionalidade do sistema até ao ponto em que os veículos foram recolhidos para armazenamento.

A partir desse momento e até aos dias de hoje, o sistema funciona a partir de uma única estação, na zona central da cidade, observável na figura seguinte, onde o utilizador pode requisitar um veículo desde as 10h até as 19h mediante a apresentação de um documento identificativo, que permite agora sim, a rastreabilidade e responsabilização dos utilizadores em caso de apropriação do veículo ou de uso individual.



Figura 2.73 Estação de bicicletas BUGA. Fonte: <http://farm3.static.flickr.com/>

Neste caso o sistema sobreviveu, embora descaracterizado e não cumprindo hoje a sua função inicial de sistema de trânsito urbano, sendo utilizado em grande número por turistas e estudantes nas horas vagas. Este sistema, e as suas diferenças face ao *Bicing* e restantes sistemas semelhantes, são um bom exemplo de como uma pequena diferença no modo de responsabilização do utilizador pode determinar o sucesso ou o fracasso de um sistema de transporte desta natureza.

2.14.4. Veículos Inclinação

Uma das alternativas propostas pela indústria para resolver o problema da congestão de tráfego é a redução do tamanho dos veículos automóveis, conceito “já verificável pela presença crescente de motociclos, *scooters* e veículos de pequenas dimensões nas cidades, o que mostra a viabilidade do conceito de veículo estreito” (Festini, A *et al*, 2011, pp1). Já é possível observar esta tendência nos modelos mais recentes das marcas generalistas e inclusive nos salões automóvel internacionais, onde indicadores sobre o rumo do mercado automóvel podem ser observados através dos *concept cars* apresentados.

Esta tendência leva-nos ao estado da arte atual nos automóveis conceptuais leva-nos aos carros de meia largura, como o veículo Volkswagen L1, ilustrado na seguinte figura, apresentado no salão de Frankfurt em 2009, na figura abaixo.



Figura 2.74 Volkswagen L1. Fonte: <http://www.hybrid.cz>.

Os veículos estreitos ocupam menos espaço na via, e têm consumos menores devido á sua superior aerodinâmica, tendo o potencial de reduzir os custos de utilização. Estes veículos têm no entanto um problema de estabilidade. “Os seus centros de gravidade tendem a ser altos em relação á sua distância lateral entre pneus, o que potência o capotamento em curva” (Garrison, W. *et al*, 1990, pp5). A solução muitas vezes proposta é engendrar o *design* do veículo baseado num centro de gravidade baixo, o que coloca o condutor numa má posição em termos de visibilidade, segurança no embate e comodidade de uso.

Veículos inclináveis como solução

Como resposta alternativa a este compromisso técnico que limita a aceitação dos veículos no mercado, surgiram os veículos inclináveis.

Nos anos 70 foram desenvolvidos inúmeros conceitos, sendo um dos mais conhecidos feito pela *General Motors* em 1982, o *Lean Machine*, representado na seguinte figura.



Figura 2.75 *Lean Machine*. Fonte: <http://www.shultzengineering.us>.

Nenhum destes veículos teve sucesso no mercado, e com a resolução da crise do petróleo nos anos 80, este tipo de soluções deixou de ser procurada. As construtoras também não investiram nestes veículos devido a custos de produção que não

compensavam a venda destes veículos. Pode tomar-se como exemplo que “a redução do tamanho de um carro em 50% apenas resulta num decréscimo de 10% do seu custo” (Garrison, W. *et al*, 1990, pp8). Estes veículos mais pequenos só são vendidos se forem relativamente baratos, isto significa uma grande perda de lucro para as construtoras em relação a construírem carros de dimensões normais.

Carver One

Recentemente este conceito foi reavivado e introduzido no mercado em 2007 pelo *Carver One*, ilustrado na figura 2.76, um veículo de três rodas semelhante ao *Lean Machine*, mas com características ergonómicas e de performance semelhantes á dos veículos atuais, apenas num pacote mais reduzido. O *Carver One* tem uma estrutura frontal que contem o trem dianteiro com uma roda dirigível e o habitáculo, com capacidade para dois passageiros e controlos standardizados de automóvel. A parte posterior contém o motor e o eixo traseiro com duas rodas e o sistema hidráulico de inclinação do habitáculo.



Figura 2.76 *Carver One*. Fonte: <http://vehiclevoice.com>.

No *Carver One*, a baixas velocidades até 10km/h a direção é feita exclusivamente pela rotação da roda da frente no seu eixo vertical, a velocidades mais elevadas o principal movimento de direção é feito através da inclinação da estrutura frontal, dependente da aceleração lateral gerada pela mudança de direção do veículo.

Na União Europeia é possível conduzir o *Carver One* com a licença para conduzir automóveis ligeiros. O *Carver One* já não é fabricado, e com o preço de 50mil € por unidade, apenas foram vendidos 200 em todo o mundo antes da empresa declarar falência, por falta de clientes.

Piaggio MP3

Outro exemplo de um veículo com três rodas inclinável é a *scooter* Piaggio MP3, ilustrada na figura 2.77. que conta com duas rodas frontais inclináveis, suportadas num paralelograma oscilante, sem auxílio hidráulico. A adoção de duas rodas na dianteira é dinamicamente superior, já que estudos recentes referem esta configuração como “a melhor para lidar com a aceleração longitudinal da travagem, a maior a que um veículo estará sujeito” (Festini, A. *et al*, 2011, p.637).

A Piaggio é em tudo semelhante a uma *scooter*, mas pode ser conduzida com carta para veículo automóvel, pois tem uma largura de eixo frontal superior á exigida por lei 460mm. Esta *scooter* encontra-se no mercado desde 2006 e existe disponível uma versão elétrica.



Figura 2.77 Piaggio MP3. Fonte: <http://www.priceit.in>.

Existem em estudo outros exemplos deste tipo de veículos inclináveis, tanto com suspensão inclinável, como a Piaggio MP3, como de corpo inclinável, como o *Carver One* e mais recentemente a proposta BMW *Clever*, ilustrada na figura 2.78, de três rodas, até aos mais recentes exemplos de quatro rodas.



Figura 2.78 BMW Clever. Fonte: <http://www.bmwblog.com>.

Nissan Land Glider

Um bom representante do tipo de veículo urbano que poderá vir a ser produzido e adotado pelo público no futuro é o *Nissan Land Glider*, representado na seguinte figura.



Figura 2.79 *Nissan Land Glider*. Fonte: <http://dayerses.com>.

O *Land Glider* conta com quatro rodas basculantes que permitem a inclinação do automóvel nas curvas e assim evitar o capotamento, ao mesmo tempo que permite manter a largura do veículo nos 1,1m, significativamente menor que os 1,8m de largura média de um automóvel convencional de segmento médio.

O interior, ilustrado na seguinte figura, é semelhante ao de um automóvel atual, com a particularidade de transportar os seus dois passageiros em tandem.



Figura 2.80 Interior do *Nissan Land Glider*. Fonte: <http://dayerses.com>.

A motorização é elétrica, o que contribui para um baixo consumo energético e ausência de emissões poluentes.

Análise

Dos vários conceitos apresentados, o mais popular é a *scooter* Piaggio MP3. Não difere muito das *scooters* convencionais e permite a utilizadores com maiores problemas em suportar o veículo quando este se encontra parado no trânsito ou estacionado, utilizá-lo

com facilidade. Continuam a ser necessárias capacidades de condução semelhantes às de uma *scooter* convencional, e os níveis de segurança e conforto proporcionados também são semelhantes aos de um motociclo, não sendo portanto a Piaggio MP3 uma opção universalmente atrativa, mas uma melhoria em termos de acessibilidade a um conceito já existente.

O *Carver One*, uma solução que visa agregar as melhores características de um automóvel e de um motociclo, sendo por isso uma solução de compromisso, não vingou no mercado. A aparência demasiado invulgar e o seu preço podem ter sido fatores principais, já que do ponto de vista técnico, o *Carver* era capaz de uma velocidade máxima de 185km/h, e velocidades de curva semelhantes às de um automóvel convencional.

O *Land Glider* retém até certo ponto o aspeto de um automóvel convencional e as suas características ergonómicas são mantidas, excetuando o transporte dos 2 passageiros em tandem. Este fato facilita a aceitação visual do mesmo no mercado e a compatibilidade ergonómica torna a transição dos veículos convencionais para este tipo de veículos de meia largura simples. Existe uma proposta tecnologicamente menos complexa, o *Renault Tweezy*, cuja carroçaria não inclina nas curvas. A maior simplicidade, que permite ao *Tweezy* ser vendido a um baixo custo de aproximadamente 10mil€, tem a contrapartida de um menor conforto de utilização. O *Tweezy* não tem cabine totalmente fechada e o cockpit é espartano devido á necessidade de manter um centro de gravidade baixo. As performances do *Tweezy* são também inferiores às do *Land Glider*, com velocidades máximas de 80km/h e 105km/h respetivamente.

As motorizações do *Land Glider*, assim como a do *Tweezy* e uma das mais recentes versões da *Piaggio MP3*, são elétricas, que para além de um consumo energético reduzido não emitem poluentes e mostram o interesse dos fabricantes dos transportes individuais em produzir veículos economicamente eficientes para venda em grande escala.

2.14.5. Transportes Intermodais do Porto

Os Transportes Intermodais do Porto são uma sociedade de empresas de transporte já estabelecidas constituída em 2002, sendo estas a Sociedade de Transportes Coletivos do Porto, STCP, dos Caminhos de Ferro Portugueses, CP, e pela Metro do Porto, MP,

abrangendo assim a larga maioria dos transportes rodoviários coletivos na zona do Grande Porto, que é a segunda maior área metropolitana em Portugal, com cerca de 1.7milhoes de habitantes.

Através desta parceria entre empresas, os utilizadores dispões de um título único de viagem para todos os modos, o Andante, podendo assim utilizar qualquer um dos modos de transporte disponíveis nas suas deslocações mediante o pagamento de uma tarifa, associada não ao modo e ao número de embarques mas às zonas onde a viagem é efetuada, sendo possível viajar em 95 linhas rodoviárias e 100 estações ferroviárias integradas.

Veículos

Associados aos operadores acima descritos estão dois tipos de transporte. Por um lado, o modo terrestre ferroviário é representado pela Metro do Porto, que opera comboios ligeiros de trânsito em percursos no nível terrestre ou abaixo do solo em túneis e estações semelhantes as de um metropolitano regular. Um dos comboios referidos encontra-se representado na figura abaixo.



Figura 2.81 comboio ligeiro trânsito da Metro do Porto. Fonte: <http://www.flickr.com/photos/cecferro/>

O outro operador ferroviário é a Caminhos de Ferro Portugueses, que opera comboios de trânsito entre as várias cidades e vilas do Grande Porto. Os comboios de trânsito operados encontram-se representados na figura abaixo.



Figura 2.82 Comboio de trânsito dos Caminhos de Ferro Portugueses. Fonte: <http://farm3.static.flickr.com/>

Garantindo o transporte rodoviário existem vários operadores, públicos e privados, sendo o mais significativo a Sociedade de Transportes Coletivos do Porto, que opera variados tipos de autocarros, como o representado na figura abaixo, miniautocarros, e cinco veículos elétricos antigos que circulam em percursos históricos ao longo na cidade.



Figura 2.83 Autocarro da Sociedade de Transportes Coletivos do Porto. Fonte: <http://img71.echo.cx/>

A grande maioria dos veículos operados é de última geração, com motorizações eficientes, elétricas no caso dos comboios e já com alguma presença de combustíveis provenientes de fontes renováveis nos autocarros da STCP, onde 50% da frota é movida a gás natural.

Contam também com boas condições de acessibilidade e conforto, com pisos rebaixados em todos os veículos, rampas de embarque em 60% dos veículos, informação multissensorial, videovigilância e ar condicionado.

Infraestrutura

A infraestrutura de transportes não teve de ser alterada á parte das máquinas para venda e carregamento de títulos de transporte, representadas na figura abaixo, já que um transporte intermodal não é um sistema físico de transporte mas sim uma associação operacional entre sistemas de transporte já existentes.



Figura 2.84 Máquina de venda de títulos de transporte Andante. Fonte: <http://imagens4.publico.pt/>

Toda a restante infraestrutura é bastante diversificada em termos tecnológicos, passando por estações cobertas com sistemas de informação multissensorial em tempo real, mapas de toda a rede, *call-center* e sistemas de produção de folhetos de informação até simples apeadeiros e paragens de autocarros, com ou sem cobertura, e com a informação mínima necessária à informação dos passageiros de horários e da rede, em modo monossensorial

Operação

A operação intermodal é assegurada pelo título único de viagem, o Andante. O Andante é um cartão magnético recarregável, que é validado aquando a entrada do utilizador no primeiro modo de transporte que pretende utilizar.

O utilizador valida o cartão, passando-o por um leitor magnético, figura abaixo, e pode então viajar desde a sua origem ao destino pretendido sem ter novamente validar o título de transporte aquando a troca de modo de transporte.



Figura 2.85 Validação do andante. Fonte: <http://www.railway-technology.com/>

Análise

O Porto é uma das cidades europeias mais antigas, facto que restou na manutenção do seu padrão vitoriano clássica de uma cidade de centro forte, e por isso com uma elevada densidade populacional. Esta elevada densidade populacional favorece o transporte coletivo rodoviário no interior da cidade, transporte coletivo que se tem vindo a adaptar á suburbanização crescente da zona metropolitana através dos meios ferroviários.

Em resultado destas necessidades de trânsito distintas foram independentemente criadas redes de transporte rodoviário e ferroviário, que em 2002 foram integradas mediante um único tarifário, criando assim um sistema de transporte intermodal.

Os resultados desta integração têm vindo a ser até hoje positivos, com uma adesão crescente à utilização intermodal, como é mostrado na figura seguinte, ao mesmo tempo que a escolha monomodal diminui, o que mostra como os utilizadores vêm na integração dos transportes uma vantagem significativa.

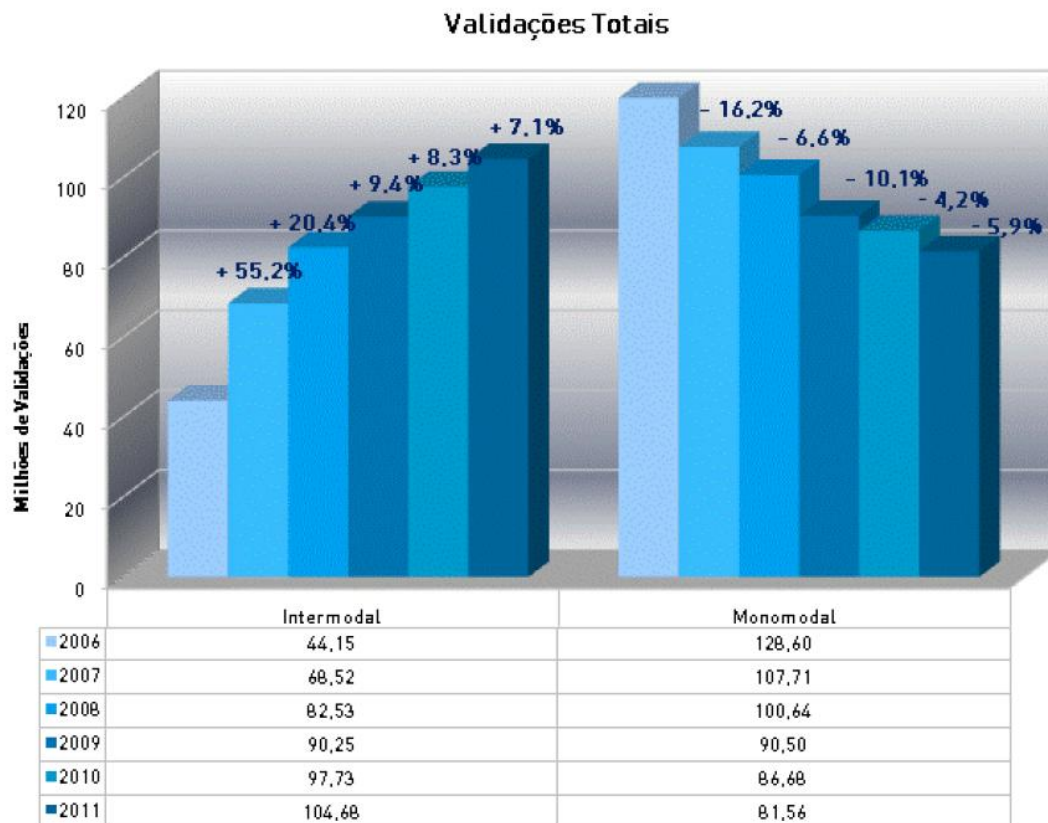


Figura 2.86 Validações totais de títulos de transporte intermodal vs. Monomodal. Fonte: Transportes Intermodais do Porto, Relatório e Contas de 2011, pp 10.

Para além deste crescimento das validações intermodais, cerca de 70% das validações são feitas por utilizadores em regime de assinatura e não apenas portadores de títulos de viagens avulsos.

O facto da maior parte dos utilizadores do sistema intermodal serem os utilizadores em regime de assinatura garante que a procura por este regime de utilização é estrutural, o que é uma grande vantagem para o operador dos serviços pois confere-lhe a estabilidade necessária para poder reinvestir no sistema com segurança, já que os utilizadores frequentes desejam a intermodalidade.

Em termos de zonas de maior procura, a cidade do Porto é o foco de maior procura, havendo depois uma diminuição à medida que são observadas as zonas mais periféricas, como mostra a figura 2.87, relativa às zonas da área metropolitana referenciadas na figura 2.88.

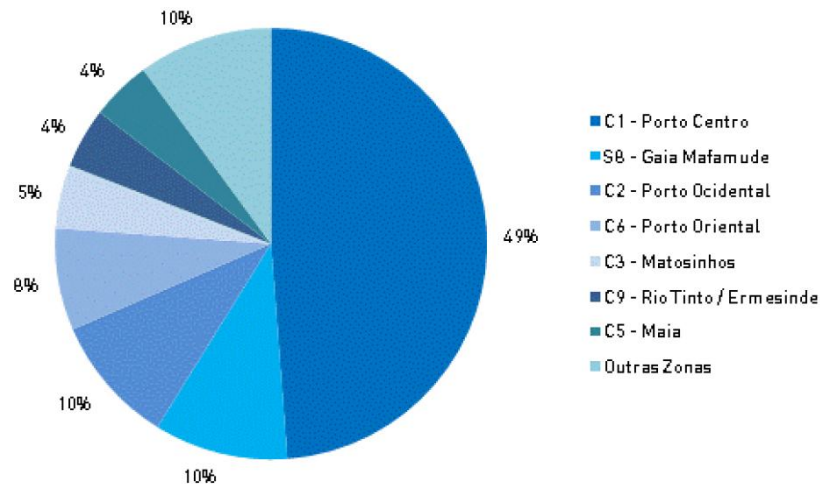


Figura 2.87 Validações intermodais por zona. Fonte: Transportes Intermodais do Porto, Relatório e Contas de 2011, pp 16.

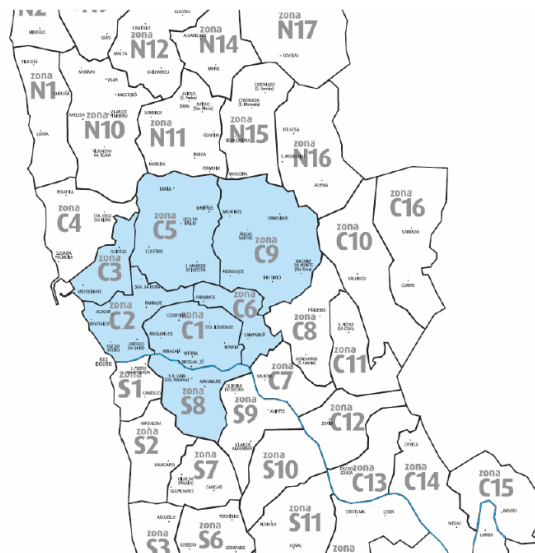


Figura 2.88 Zonas intermodais Andante. Fonte: Transportes Intermodais do Porto, Relatório e Contas de 2011, pp 16.

Como se pode ver, a maior parte utilização é feita a curtas distâncias. Esta procura reflete-se no tipo de transportes, e por consequência, operadores mais solicitados durante as viagens dos utilizadores, como pode ser visto na figura seguinte.

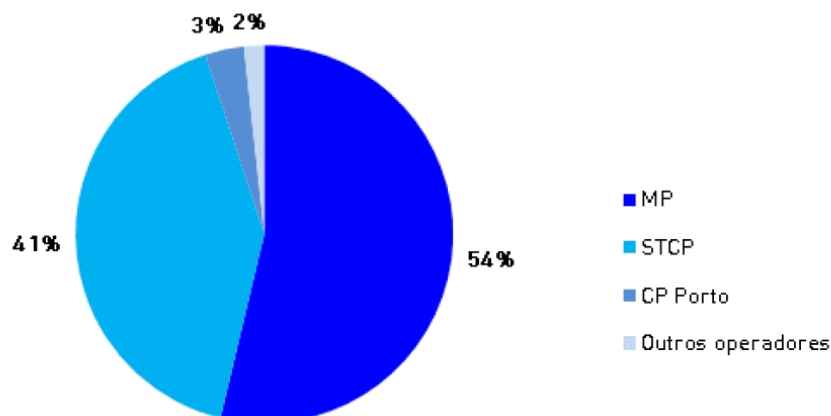


Figura 2.89 Validações intermodais por operador. Fonte: Transportes Intermodais do Porto, Relatório e Contas de 2011, pp 13.

Esta procura está de acordo com o expectável, tendo em conta a geografia da área urbana do Grande Porto, onde os autocarros da STCP desempenham o transporte intraurbano e os comboios ligeiros da Metro do Porto desempenham o serviço nas zonas suburbanizadas e entre os vários concelhos da área metropolitana.

A CP Porto tem um serviço mais reduzido, devido a operar apenas em 4 linhas ao longo da área metropolitana e os restantes operadores têm também serviços reduzidos devido a operarem em transporte intraurbano em cidades pequenas na área metropolitana, tendo portanto uma vertente de trânsito de e para a cidade do Porto muito reduzida, o principal destino do trânsito diário.

Tal como no sistema *Bus Rapid Transit* de Curitiba, a acessibilidade do sistema é um ponto fulcral para o seu sucesso. Os autocarros de última geração, com um *design* moderno e boas características ergonómicas, como o piso rebaixado, permissão para entrada de cães-guia e as rampas de acesso para cadeiras de rodas, tornam o sistema inclusivo e prestigiante, sendo assim apetecível para a generalidade dos utilizadores, em especial os que têm limitações de mobilidade, que o preferem em detrimento de caminhadas pedonais numa cidade tão topograficamente desnivelada como a cidade do Porto.

Os veículos ferroviários possuem também excelentes características ergonómicas, como entradas a nível com a plataforma, amplo espaço de circulação e exibição de informação multisensorial, e um *design* moderno, que projeta uma imagem sofisticada, adequada a um sistema de transporte intermodal.

Em termos ambientais, o modo mais relevante de analisar é o rodoviário, já que a motorização elétrica dos transportes ferroviários garante elevados níveis de sustentabilidade ambiental. A STCP, o operador maioritário, tem renovado a sua frota de autocarros, substituindo-os por veículos diesel de última geração e veículos a gás natural. Em resultado disso, as emissões de poluentes específicas têm diminuído ligeiramente ao longo dos anos, 1,427kg em 2007 para 1,405kg em 2011, embora o consumo específico de combustível tenha permanecido constante.

Neste, tal como nos outros casos de veículos rodoviários com motores de combustão interna e de circulação não segregada, a sustentabilidade ambiental continua a ser um problema não resolvido, sendo que os ganhos de sustentabilidade na rede de Transportes Intermodais do Porto são feitos sobretudo por virtude da sua componente ferroviária.

CAPÍTULO 3

3. Ergonomia

“A ergonomia é a disciplina científica relacionada com o estudo das interações entre seres humanos e outros elementos de um sistema, e a profissão que aplica princípios teóricos, dados e métodos de *design*, contribuindo para a otimização do bem-estar e o sistema global (em que se inserem).” (IEA, 2000)

A ergonomia surge como ciência na segunda metade do séc. XX, por via da má adaptação de equipamento complexo às competências humanas durante a segunda grande guerra, equipamento que sendo tecnologicamente avançado, não poderia ser utilizado em todo o seu potencial devido a problemas de interação homem-máquina.

Os vários aspetos do funcionamento do ser humano enquanto entidade que interagem com o seu ambiente e equipamento são estudados segundo quatro domínios, o físico, o cognitivo, o organizacional e o ambiental, com o objetivo de tornar o sistema, e os seus elementos, “compatível com as necessidades, capacidades e limitações das pessoas.” (IEA, 2000)

A consideração de aspetos ergonómicos no projeto de um qualquer sistema ou produto é fundamental, na medida em que permite realizar uma abordagem sistemática ao estudo dos atributos necessários para que o produto seja facilmente utilizável, confortável, eficiente e seguro.

Esta abordagem maximiza o desempenho que o utilizador obtém da sua interação com o produto, obtendo assim um maior grau de produtividade e satisfação, dois fatores fundamentais para o sucesso comercial de qualquer produto no séc. XIX.

Este capítulo faz referência às principais características ergonómicas que devem ser consideradas no projeto de uma plataforma de mobilidade, em geral, e por fim faz alusão a princípios ergonómicos concretos para o desenvolvimento ergonómico de uma bicicleta.

3.1.Limitações de mobilidade

Para além dos utilizadores de capacidades físicas e cognitivas médias, existem outros utilizadores que não têm a mesma facilidade de acesso a meios de transporte, nomeadamente as crianças, os idosos e as pessoas portadoras de deficiências físicas ou cognitivas.

3.1.1. Limitações de mobilidade de crianças

As crianças são seres humanos na sua fase de crescimento. Não estão ao mesmo nível em termos físicos e cognitivos que os adultos, necessitando de alguns cuidados especiais quando se pretende desenvolver um ambiente físico com que estas possam interagir com segurança.

O primeiro aspeto tem a ver com a grande variabilidade física atingida pelas crianças em espaços de tempo curtos, como pode ser visto na seguinte figura.

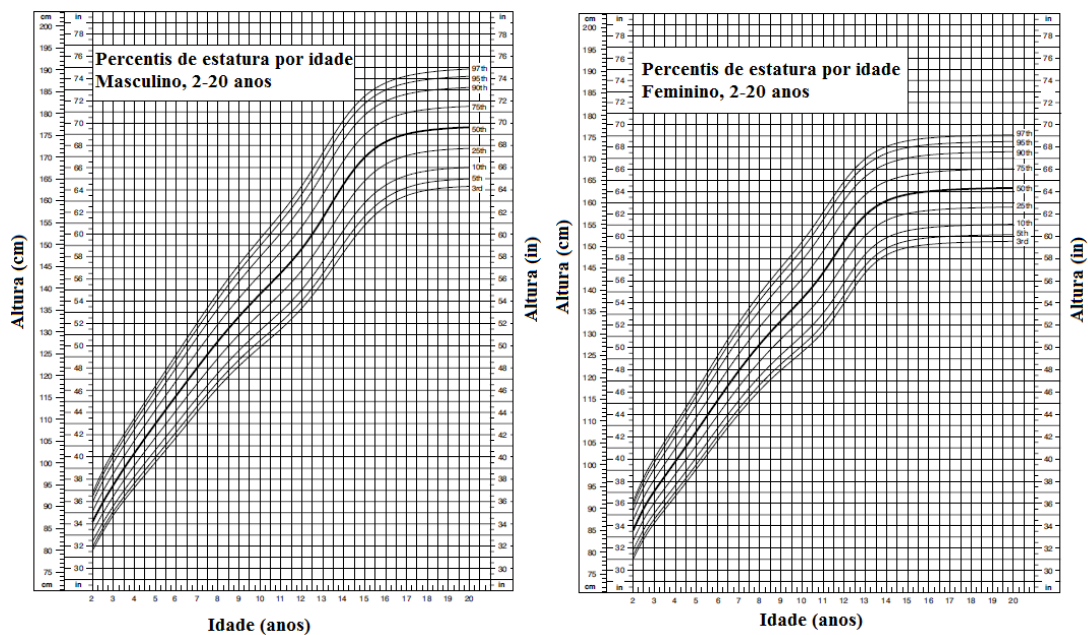


Figura 3.1. Percentis de estatura por idade, população masculina e população feminina. Fonte: <http://www.cdc.gov>

Também os valores de força são crescentes ao longo dos anos, como pode ser visto na seguinte figura.

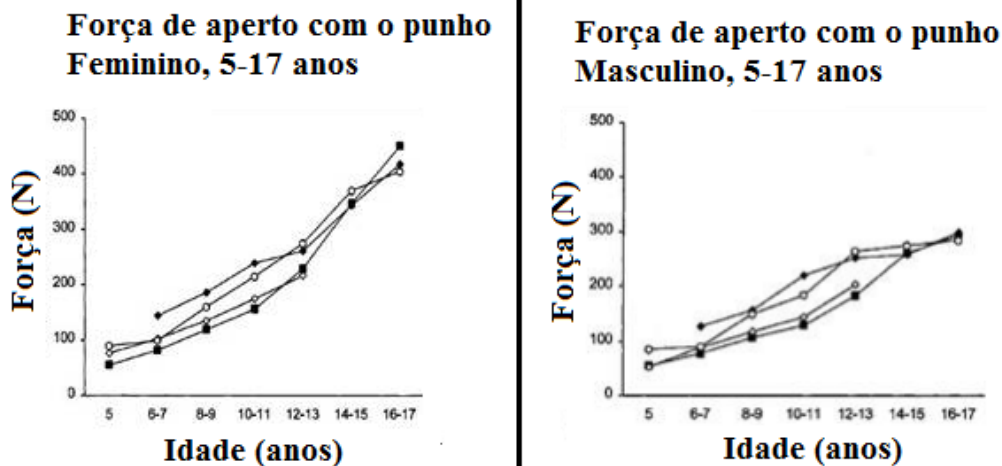


Figura 3.2. Força de aperto com o punho, população feminina e masculina. Fonte: Adaptado de Burt, C. e Lueder, R., 2008.

As capacidades visuais também não estão totalmente desenvolvidas até aos 7-8 anos, sendo que á data de nascimento as crianças têm 80% da capacidade visual relativamente a adultos. Os principais aspetos que não estão totalmente desenvolvidos são:

- Acuidade visual;
- Focagem;
- Fusão binocular (formação de imagem única);
- Convergência (ao virar os olhos);
- Campo de visão

(Fonte: Burt, C. e Lueder, R., 2008)

Em resultado, a coordenação motora é também menor, o que implica uma menor precisão de movimentos e, conseqüentemente, um maior tempo necessário para realizar mesmo as tarefas simples relativamente a um adulto.

Dadas as limitações de visão e de estatura, as crianças também estão constantemente em situação de visibilidade reduzida, já que os objetos e ambientes são projetados tendo em conta os adultos, o que significa que o perigo de acidentes é muito elevado.

Esta limitação física é específica às crianças, e deve ser tida em consideração não só no projeto de veículos mas também de ambientes onde as crianças circulam com frequência.

Em termos cognitivos, as principais limitações estão dispostas na seguinte tabela.

Tabela 3.1. Limitações cognitivas das crianças. Fonte: Adaptado de Chiasson, S. e Gutwing, C., 2005

Área	Limitação	Observações
Literacia	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade e/ou lentidão na leitura de interfaces baseados em texto; • Dificuldade em compreender e/ou memorizar instruções complexas; <ul style="list-style-type: none"> • Elevada variabilidade na compreensão linguística ao longo das idades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar tanto quanto possível interfaces visuais; • Utilizar interfaces simples e com funções de ajuda; • Utilizar metáforas específicas ao contexto para ajuda na compreensão da instrução; • As instruções devem ser simples e de recordação fácil.
Feedback e guiamento	<ul style="list-style-type: none"> • As crianças têm um espectro de atenção reduzido, distraíndo-se facilmente; • As crianças atuam repetidamente até haver um <i>feedback</i> claro do sistema, a confirmar a realização da ação; • As crianças não compreendem os tempos mortos na interação com qualquer sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • O sistema deve dar <i>feedback</i> perceptível, a confirmar a ação da criança; <ul style="list-style-type: none"> • Os ícones utilizados num sistema interativo devem ter significado visual; • O sistema deve indicar o seu estado corrente; • A interface deve ajudar a criança a navegar nos vários menus e opções;
Desenvolvimento mental	<ul style="list-style-type: none"> • As crianças têm uma elevada variabilidade de capacidades de raciocínio e pensamento abstrato; • As crianças não utilizam abordagens estruturadas na resolução de problemas, por isso podem não compreender estruturas hierárquicas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir a utilização de conceitos abstratos na interação com crianças; • Utilizar interfaces de ação direta, tanto quanto possível.

3.1.2. Limitações de mobilidade de idosos

Sendo o inverso do processo evolutivo das crianças, o desenvolvimento do adulto para o idoso caracteriza-se por uma diminuição continuada de capacidade física e cognitiva.

As condições debilitantes mais comuns associadas ao processo de envelhecimento estão enumeradas na tabela seguinte.

Tabela 3.2. Condições debilitantes mais comuns ao longo do processo de envelhecimento. Fonte: Adaptado de Freitas S., 2010.

Processo de envelhecimento	
Neurológico	
	Perda de memória e de capacidade de aprendizagem <ul style="list-style-type: none"> • Declínio da memória a curto prazo • Menor conservação da memória a longo prazo • Dificuldade de armazenamento e organização da informação <ul style="list-style-type: none"> • Menor motivação para a aprendizagem
	Diminuição do número de células cerebrais até 50%
	Redução de volume cerebral
	Menor fluxo de oxigénio para o cérebro
Funções sensoriais	Número de recetores sensoriais diminui
	Perda de audição
	Perda de visão <ul style="list-style-type: none"> • Redução de acuidade visual • Redução do campo visual • Menor sensibilidade das pupilas às mudanças de luminosidade • Diminuição da visão noturna • Degeneração do globo ocular • Dificuldade em perceção direcional
	Redução de perceção de pressão e temperatura
	Aumento dos tempos de reação <ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade em transformar estímulos verbais em imagens mentais • Maior tempo de processamento para tarefas complexas • Aumento do tempo de reação em 4-5 segundos entre os 20 e 80 anos <ul style="list-style-type: none"> • Elevada taxa de acidentes
	Perda de equilíbrio <ul style="list-style-type: none"> • Vertigens (61% da população acima dos 60 anos) • Tonturas e desequilíbrios
Fisiológico	
Estrutura óssea	Redução de diâmetro da estrutura óssea
Sistema muscular	Aumento da atrofia das fibras
	Aumento do tecido gordo
	Perda de força nos membros e parte posterior do tronco
	Aumento de assimetria entre a força gerada por membros equivalentes do mesmo indivíduo (<i>Perry, Mark C., 2006</i>)
Articulações	Redução de amplitude de movimento
	Ossificação
	Redução de tamanho

Dentro deste espectro alargado de limitações advindas do processo de envelhecimento, as condições dominantes associadas a impedimentos de mobilidade em vários países da OECD, as quais podem ser exemplificadas com o caso dos EUA, estão representadas na tabela seguinte.

Tabela 3.3. Top 10 condições associadas a impedimentos na população com mais de 65 anos, nos EUA, 2001. Fonte: Adaptado de Lafortune, G., 2007.

Top 10 condições associadas a impedimentos na população com mais de 65 anos, nos EUA, 2001		
1	Artrite/Reumatismo	30%
2	Problemas coronários	23.2%
3	Hipertensão	13.7%
4	Problemas de pescoço e costas	12.6%
5	Diabetes	12.1%
6	Problemas de visão	11.8%
7	Problemas respiratórios	11.1%
8	Fraturas e danos de ossos e articulações	10.7%
9	Ataque cardíaco	9.2%
10	Problemas de audição	7%

A força física e as doenças cognitivas severas que Lafortune, G. indica terem uma presença dominante em idades muito avançadas, não se encontram nas condições acima descritas pois este grupo etário tinha uma representação reduzida no estudo.

Em termos de nível de incapacidade, o mesmo estudo mostra que esta ocorre com mais frequência nas mulheres que nos homens, e a sua ocorrência extrema-se com o aumento da idade, tal como pode ser visto na seguinte figura.

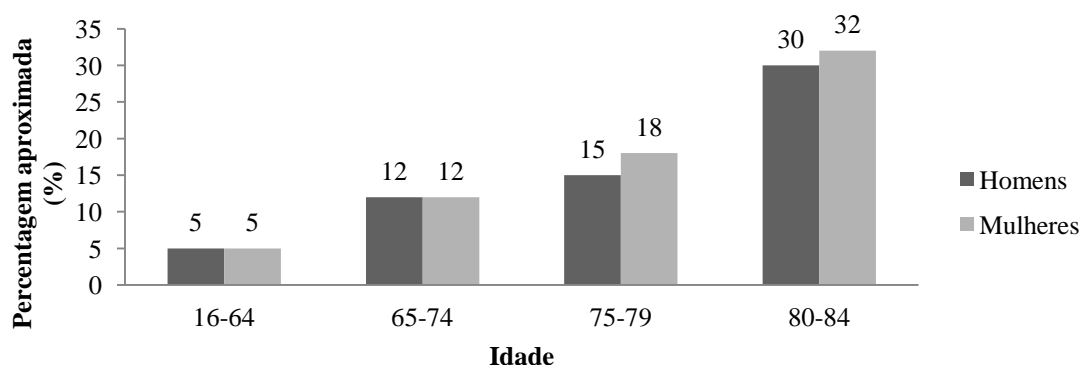


Figura 3.3. Gráfico de percentagem de pessoas que comunicam problemas de mobilidade de qualquer tipologia, Reino Unido 2001. Fonte: Adaptado de Lafortune, G., 2007.

3.1.3. Limitações de mobilidade de portadores de deficiências

As limitações de mobilidade relativas a este grupo de utilizadores prendem-se com aspetos físicos e cognitivos, cuja desvantagem para o utilizador pode ser minorada adotando as mesmas estratégias que são utilizadas no projeto de produtos para crianças e idosos, havendo no entanto situações específicas em que existe a necessidade de adaptar o equipamento á condição específica do utilizador, como a adaptação de um automóvel para que este funcione exclusivamente com comandos manuais.

Estas adaptações não são feitas aos produtos como regra geral, sendo produtos que respondem a situações demasiado específicas para que se possam fazer considerações gerais que tenham um grau de abrangência útil, no contexto deste trabalho.

3.2.Design para Todos

O *design* para todos surgiu como solução para os problemas referidos no tópico de limitações de mobilidade. Primeiro implementado na arquitetura e construção, está atualmente a mudar a abordagem ao projeto de sistemas de transporte, com vista á universalização do acesso a este recurso, fundamental para a qualidade de vida das populações no séc. XXI.

3.2.1. Definição

O *design* para todos é um conjunto de princípios utilizados na fase de conceção de novos produtos que visa a inclusão funcional dos utilizadores “do mais variado espectro de capacidades possível no mais variado espectro de situações (ambientes, condições e circunstâncias)” (Troost, G. 2004).

Os princípios do *Design* para Todos atuam em áreas associadas a:

- Tarefas de controlo e interação humano-objeto.
- Aspetos ergonómicos relacionados com a interação humano-objeto.
- Ambiente envolvente livre de obstáculos, com troca de informação

(Lu, J.-M., 2011)

Incutindo objetivos de projeto como:

- Desenvolvendo produtos, serviços e aplicações que são prontamente utilizáveis pela maioria de potenciais utilizadores sem que sejam necessárias quaisquer modificações.

- Desenvolvendo produtos que são facilmente adaptáveis a diferentes utilizadores (por exemplo, através da alteração do interface a cada utilizador específico).
- Estandarizando os interfaces dos produtos para que estes sejam compatíveis com equipamento especializado (por exemplo, suportes tecnológicos para pessoas com impedimentos).

(*Infohandicap* and the “Build-for-All” project, 2006)

3.2.2. Porque o Design para Todos?

Segundo dados da Conferência Europeia dos Ministros de Transporte realizada em 1999, a qualquer momento, existem entre 20 e 30% de pessoas com dificuldades de mobilidade por uma qualquer razão.

Esta média terá tendência a aumentar por virtude da população em envelhecimento, e que atingirá idades muito avançadas, onde se depara inevitavelmente com a degradação das capacidades físicas e mentais.

O Design para Todos visa melhorar a qualidade de utilização dos serviços de transporte por parte de todos os utilizadores, sendo particularmente benéfico para utilizadores com deficiências de mobilidade ou cognitivas e pessoas idosas, permitindo-lhes manter a sua independência e capacidades individuais durante o maior tempo possível.

As dificuldades de mobilidade isolam-nas de oportunidades de emprego, de cuidados de saúde e de convívio social, o que reduz os seus rendimentos que por sua vez reduz novamente a sua capacidade de deslocação e vida independente sendo este ciclo uma espiral de empobrecimento.

Assim sendo, meios de transporte acessíveis, desenvolvidos segundo as práticas do *design* universal, são meios fundamentais para as estratégias de combate á pobreza a serem implementadas nesses países, que serviriam também de exemplo para a sua aplicação a nível global.

Segundo o *Institute of Transportation Engineers* (2006) a capacidade de utilizadores sem automóvel se deslocarem na rede urbana é proporcionada pela simplicidade conferida pelo Design para Todos aos ambientes urbanos, “permitindo e apoiando a participação de toda gente na vida social e política” (Trost, G., 2004).

Para além desta motivação social, há também a motivação de mercado. “O segmento de mercado dos consumidores com mais de 60 anos de idade é um mercado com um

elevado poder de compra, e seguindo a lógica do *design* para todos na concepção de produtos e serviços, vem em sua consequência a venda para todos” (Trost, G. 2004).

Sendo esta faixa da população a de maior poder de compra e a mais numerosa, é previsível uma importância crescente e uma forte implementação dos conceitos de *design* para todos nos produtos e serviços, incluindo os meios de transporte, a serem desenvolvidos durante as próximas décadas pelas empresas e entidades que se queiram posicionar na vanguarda do mercado.

3.2.3. Exemplos de práticas de *Design* para Todos em veículos de transporte

Características de acessibilidade comuns a todos os veículos de transporte coletivo, incluindo táxis, comboios, autocarros e as suas respetivas variantes:

- Contraste de cor e tom
 - Arestas frontais do degrau
 - Corrimões
 - Botões e sistemas de comunicação
- Anúncios visuais e auditivos
- Lugares prioritários, lugar com espaço para cão-guia
- Altura máxima de degrau 250mm
- Profundidade da área plana do degrau, mínimo 280mm, de preferência 300mm
- Corrimões nas entradas
- Corrimões á prova de escorregamento

(Adaptado de Venter, C. *et al*, 2002)

Existem também documentos específicos para cada tipo de veículo, que descrevem características adicionais de acessibilidade, como tamanho e número de degraus de entrada, largura das portas, largura do corredor dos veículos, espaço entre assentos, requisitos relativos a rampas de entrada para cadeiras de rodas.

Para além destes requisitos de construção do veículo, existem também outros requisitos relativos á forma como a informação é divulgada no veículo e como é feita a interação com o utilizador.

No caso de viaturas particulares, é desejável ter em conta possíveis alterações que tornem os veículos mais facilmente acessíveis.

A seguinte lista apresenta recomendações no *design* para acessibilidade de veículos automóveis:

- Largura da cavidade da porta com no mínimo 800mm, e 900mm recomendado
- Espaço entre a frente do assento e o pilar da porta deverá ser de pelo menos 300mm, com pelo menos 350mm recomendados.
- A distância entre o encosto de costas do assento e a o pilar frontal da porta deverá ser de 840mm, com distâncias até 940mm recomendadas.
- Silo da porta deverá não ter mais de 90mm até ao chão do veículo, com 50mm recomendados.
- Altura da porta de pelo menos 1330mm a partir do chão, com pelo menos 1380 recomendados.
- Ângulo de porta de pelo menos 70° para pessoas com impedimentos ou em cadeiras de rodas, pelo menos 90° para pessoas em cadeiras de roda quando assistidas.

(Adaptado de Shaheen, S., Niemeier, D., 2001)

É possível que nas próximas décadas alguns aspetos das adaptações passem a ser integrados no *design* dos automóveis de grande consumo, como assentos basculantes, manetes e interruptores sobredimensionados, mais pontos de apoio e ecrãs de maior dimensão, utilização de materiais não refletivos, etc. que acompanhem o envelhecimento das populações.

3.2.4. Estado de implementação do Design para Todos.

Existem atualmente algumas instâncias a nível mundial responsáveis pela pesquisa e desenvolvimento na área do Design para Todos, como a EIDD – *European Institute for Design and Disability*, o *European Disability Forum*, a IAUD – *International Association for Universal Design*, e o *Nordic Council on Disability Policy*.

Estas entidades são responsáveis pela grande parte dos programas de pesquisa, divulgação científica e *lobbying* para inclusão dos resultados das pesquisas e estudos efetuados, resultantes em guias de boas práticas, na comunidade científica e empresas, procurando também influenciar os governos na criação de normas, que tenham como finalidade a criação de uma consciência crítica da importância da acessibilidade universal dos produtos.

Existem já hoje documentos em vigor, quer a nível regulamentar quer a nível consultivo, como os exemplos dados na seguinte tabelas.

Tabela 3.4. Normas e documentos de boas práticas para desenvolvimento de veículos de transporte.
Fonte: Venter, C. *et al*, 2002.

Regulamentos	
UK	The Rail Vehicle Accessibility Regulations 1998, SI 1998 No. 2456. The Rail Vehicle Accessibility (Amendment) Regulations 2000, SI 1998 No. 3215. The Public Service Vehicle Regulations 2000. SI 2000 No, 1970.
Documentos para consulta	
UK	DETR <i>et al.</i> (1997)
Guias de boas práticas	
UK	DETR (2000)
UK	DPTAC (Novembro 2001)
COST (Comissão Europeia)	COST 322 (1995), COST 335 (1997), COST 335 (1999)
Dinamarca	<i>Vejdirektoratet</i> (2000)
Finlândia	Somerpalo <i>et al.</i> 1998
França	CERTU (2001)
ECTM	ECTM (2001, 1999, 1990)

Há atualmente exemplos das consequências do uso destas práticas de *design* para todos e dos seus benefícios para os utilizadores:

- Curitiba BRT: Baixo custo, acessibilidade, procura de transporte por automóvel reduzida.
- Veículos de piso rebaixado: Adoção massificada nos centros urbanos, com aumentos de taxas de ocupação dos veículos.
- Informação de chegada em tempo real. Aumento da satisfação nos utilizadores.
- Em Boston: Portões de *check in* mais largos utilizados com o dobro da frequência pelos passageiros.
- Supermercados Kaiser: Após a implementação do Design para Todos, os lucros aumentaram 25% acima da previsão.

(Adaptado de Steinfeld, E. 2010)

3.3.Fatores ergonómicos

Os fatores ergonómicos são os vários aspetos funcionais sobre os quais a ergonomia se foca no estudo do ser humano.

Em termos de conhecimentos relativos á área de engenharia, os fatores ergonómicos físicos, i.e. os que se prendem com as características biomecânicas do ser humano, mais relevantes são abordados em seguida.

3.3.1. Dados antropométricos

A antropometria é a ciência que estuda a variabilidade dimensional entre seres humanos, tendo como variáveis o peso, as dimensões nominais e proporções entre secções do corpo humano.

A variabilidade destas dimensões, que é elevada entre países, grupos, e inclusive entre pessoas, deve ser considerada no *design* dos produtos para que estes sejam corretamente dimensionados, e assim comoda e seguramente servir um espectro de utilizadores alargado.

3.3.2. Utilização de dados antropométricos em projeto

A antropometria divide-se em antropometria estática e antropometria dinâmica, e a utilização prática dos seus resultados está dependente da utilização de percentis como forma de definir que percentagens da população analisada estão abaixo ou acima de um resultado dimensional.

A antropometria estática é usada predominantemente para o projeto dimensional de objetos estáticos, como mesas, cadeiras, secretárias, etc. de forma a garantir características como espaços disponíveis para movimento do utilizador, suporte postural adequado, proporcionalidade dos equipamentos com as dimensões do corpo humano, etc.

A antropometria dinâmica é usada predominantemente no projeto de objetos que obriguem o utilizador a fazer movimentos durante a sua interação.

Como exemplo, a antropometria estática pode fornecer dados para calcular a altura mínima do tampo de uma secretária, de forma a deixar espaço suficiente para as pernas do utilizador e manter uma postura correta da coluna vertebral e membros anteriores aquando o apoio dos antebraços no tampo para escrever num teclado.

Por outro lado, a antropometria dinâmica pode ser utilizada para calcular a amplitude de movimentos possíveis de serem realizados pelos membros anteriores do utilizador sem que este tenha que movimentar outra secção do corpo, de forma a calcular a distância máxima a que dois botões poderiam estar localizado lateralmente num painel de instrumentos, sem que necessitassem de deslocação de todo o corpo do utilizador durante uma operação sequencial.

As características antropométricas são essenciais para qualquer projeto de interação homem-máquina, mas não podem ser utilizadas com o intuito de recolher dados suficientes para que a abrangência do projeto seja ao espectro total da variabilidade dimensional humana.

Tal seria tecnicamente impraticável de um ponto de vista técnico, financeiro, e de tempo de duração de projeto. Por estas razões são sempre necessários *trade-offs*, no caso da aplicação da antropometria, feitos por via de percentis.

“Num projeto, o objetivo é, em princípio, sua adaptação às características dimensionais de, no mínimo, 90% dos usuários, ou seja, as pessoas cujas dimensões variam entre os 5° e 95° percentis.” (Pequini, S. 2005).

Um percentil representa o valor de uma variável abaixo da qual existe uma certa percentagem de observações. Por exemplo, o percentil 5° representa o resultado em que apenas 5% das observações são inferiores a este valor, e as 95% de observações têm resultados acima deste valor, ou seja, se o percentil 5° de uma amostra de 1 a n for 2, isso significa que existem apenas 5% de números que são menores que 2, havendo 95% de números maiores que 2 em todos os resultados dessa amostra.

No caso do percentil 95%, são 95% das observações estão abaixo do resultado respetivo ao percentil.

Estes valores de percentil 5° e 95° são pontos de referência para os resultados apresentados em seguida, assim como o percentil 50°, que representa o valor médio da amostra, em que o valor de 50% das observações está abaixo desse resultado (dimensão medida), estando também por isso o valor das restantes 50% acima.

Os percentis são calculados com base no valor médio, \bar{x} , e desvio padrão, DP , com base nos fatores presentes na tabela seguinte ; operando a equação 3.1.

Tabela 3.5. Fatores para cálculo de percentis (Fonte: Pequini, S., 2005).

Percentis	Fatores (f)
5 - 95	1.645
15 - 85	1.036
25 - 75	0.674

$$y_{\text{percentil inferior}}^{\text{Percentil superior}} = \bar{x} \pm f \times DP \quad \text{Equação 3.1}$$

\bar{x} = valor médio;
 f = fator correspondente ao percentil;
 DP = desvio padrão referente ao valor médio.

3.3.3. Antropometria estática

A antropometria estática refere-se á medição corporal em posições *standard* predeterminadas, usualmente através de posições normalizadas.

A norma DIN 33042 de 2004 contém as medidas antropométricas estáticas da população alemã, dos 18 aos 65 anos, adequado para projeto de produtos que tenham como alvo o mercado europeu. As medidas antropométricas mais importantes estão explicitadas na seguinte figura, e na tabela 3.6.

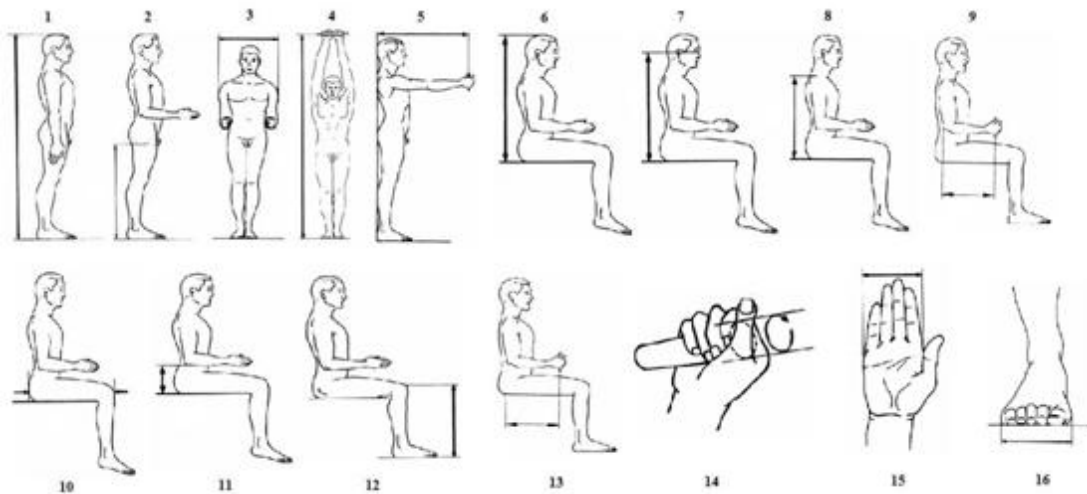


Figura 3.4. Medidas antropométricas. Fonte: Adaptado de DIN-33042.

Tabela 3.6. Medidas antropométricas DIN-33042.

DIN 33042	Masculino			Feminino			
	Percentil						
	5	50	95	5	50	95	
#	Peso (kg)	63.5	79.0	100.0	52.0	66.0	87.0
1	Altura (mm)	1650	1750	1855	1535	1625	1720
2	Entrepernas	760	830	905	710	775	830
3	Largura dos ombros (bideltóide)	440	480	525	395	435	485
4	Alcance funcional vertical	1975	2075	2205	1840	1945	2025
5	Alcance funcional anterior	685	740	815	625	690	750
6	Altura máxima sentado	855	910	965	810	860	910
7	Altura dos olhos sentado	740	795	855	705	755	805
8	Altura do tronco	570	625	670	540	590	630
9	Comprimento do antebraço	325	350	390	295	315	350
10	Comprimento total da coxa	565	610	655	545	590	640
11	Altura dos cotovelos sentado	210	240	285	185	230	275
12	Altura dos joelhos	495	535	585	460	500	545
13	Distância cotovelo punho	325	350	390	295	315	350
14	Perímetro de pega com a mão	120	135	155	110	130	155
15	Largura da palma da mão	80	87	94	70	77	84
16	Largura do pé	92	101	111	93	92	102

Este *standard* DIN-33042 é adequado para uso na europa. Nos Estados Unidos da América, as tabelas antropométricas mais completas, e frequentemente usadas como referência para este país, são referentes às forças armadas, nomeadamente a tabela ANSUR II de 1988.

Para as dimensões representadas na figura 3.4. os resultados para o grupo militar *Air Force Woman – 1968*, uma amostra de 1895 elementos femininos dos 18 aos 57 anos, e para o grupo *Army Soldiers – 1966*, uma amostra de 6682 elementos masculinos dos 17 aos 55 anos, encontram-se dispostos na tabela 3.7.

Tabela 3.7. Medidas antropométricas ANSUR II.

ANSUR II	Masculino			Feminino		
	Percentil					
	5	50	95	5	50	95
#	Peso (kg)	-	-	-	-	-
1	Altura (mm)	1638	1744	1856	1524	1620
2	Entrepernas	763	839	917	681	744
3	Largura dos ombros (bideltóide)	415	452	498	382	418
4	Alcance funcional vertical	-	-	-	1852	1992
5	Alcance funcional anterior	-	-	-	-	-
6	Altura máxima sentado	845	908	967	804	856
7	Altura dos olhos sentado	728	788	846	687	737
8	Altura do tronco	-	-	-	-	-
9	Comprimento do antebraço	-	-	-	-	-
10	Comprimento total da coxa	549	594	643	532	573
11	Altura dos cotovelos sentado	-	-	-	187	227
12	Altura dos joelhos	497	540	587	-	-
13	Distância cotovelo punho	-	-	-	-	-
14	Perímetro de pega com a mão	-	-	-	-	-
15	Largura da palma da mão	81	89	97	69	76
16	Largura do pé	90	98	106	80	89

Como pode ser visto, as medidas antropométricas diferem entre os elementos masculinos e femininos dos grupos, tendo o grupo feminino menores dimensões que o grupo feminino em todas as medidas analisadas.

É também possível observar entre os elementos do mesmo género, uma similitude dimensional e proporcional em todas as medidas analisadas.

3.3.4. Antropometria dinâmica

A antropometria dinâmica estuda a amplitude de movimentos realizáveis pelo corpo humano.

Esta medição pode ser vista como uma adição dos dados relativos às rotações admissíveis nas articulações, com as dimensionais de secções do corpo, fornecidos pela antropometria estática.

Na prática, é a medição dos movimentos no espaço consoante planos triortogonais, representados na figura seguinte.

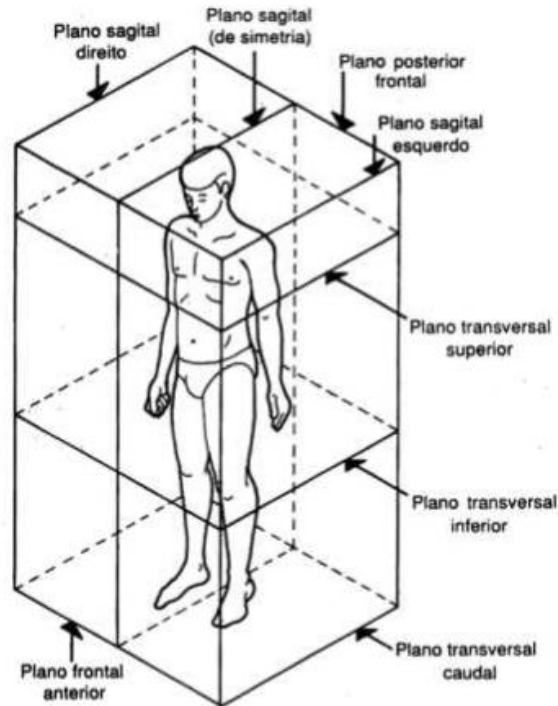


Figura 3.5. Planos triortogonais. Fonte: Amaral, F. 2005.

Os limites de rotação acima referidos, das principais articulações do corpo humano estão representados na figura 3.6. Os movimentos dos vários segmentos são denominados consoante a posição relativa do membro, no ângulo medido, em relação à posição em repouso.

	Cabeça		Pernas
	Braço		Mão
	Antebraço	<p>Ângulo máximo: 60° Faixa confortável: 25-30°</p>	Pé

Figura 3.6. Rotações limite de articulações corporais. Fonte: Adaptado de Silva, A. M., 2008.

3.3.5. Alcance dinâmico dos membros anteriores

A tabela DIN33042 apresenta valores para o percentil 5° e 95° para o alcance funcional anterior, de 685mm e 815mm respectivamente para o sexo masculino, e de 625mm e 750mm respectivamente para o sexo feminino. A tabela ANSUR II não apresenta medidas para esta dimensão, embora se possa especular que, pela similitude em todas as outras dimensões equivalentes entre tabelas, a diferença não será significativa.

Aplicando a rotação de ombro, admissível no plano sagital e transversal, ao alcance funcional obtêm-se a amplitude de alcance dinâmico, representado na figura seguinte.

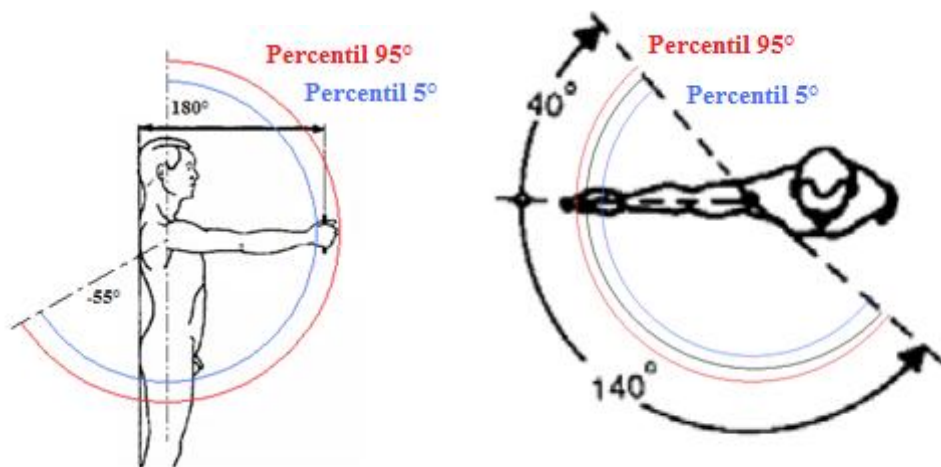


Figura 3.7. Alcance dinâmico dos membros anteriores no plano sagital e transversal. Fonte: Adaptado de Silva, A. M., 2008.

A amplitude de alcance dinâmico do percentil 5° será o espaço entre a linha de eixo e a semicircunferência mais pequena, representada a azul, e a amplitude de alcance dinâmico do percentil 95° será o espaço entre a linha de eixo e a semicircunferência maior, representada a vermelho.

3.3.6. Alcance dinâmico dos membros posteriores

A tabela DIN33042 apresenta valores para o percentil 5° e 95° da dimensão 'Entrepernas', de 760mm e 905mm respectivamente para o sexo masculino, e de 710mm e 830mm respectivamente para o sexo feminino.

A tabela ANSUR II apresenta valores para o percentil 5° e 95° para a mesma dimensão, 763mm e 917mm respectivamente para o sexo masculino, e de 681mm e 814mm respectivamente para o sexo feminino.

A medida ‘entrepernas’ é adequada para determinar o alcance dinâmico anterior, recorrendo também aos ângulos de rotação admissíveis no plano sagital e frontal, representados na figura 3.8.

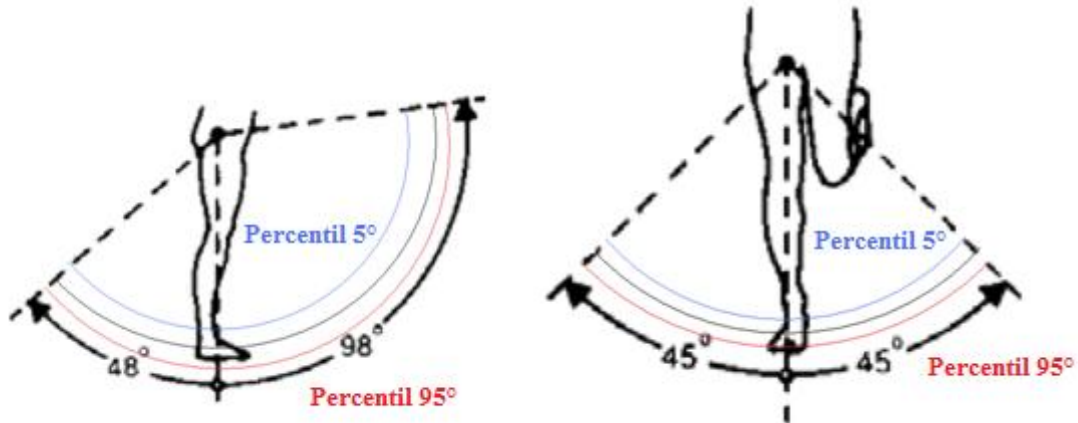


Figura 3.8. Alcance dinâmico dos membros posteriores no plano sagital e frontal. Fonte: Adaptado de Silva, A. M., 2008.

A amplitude de alcance dinâmico do percentil 5° será o espaço entre a linha de eixo e a semicircunferência mais pequena, representada a azul, e a amplitude de alcance dinâmico do percentil 95° será o espaço entre a linha de eixo e a semicircunferência maior, representada a vermelho.

3.3.7. Forças máximas

As forças necessárias para operar os elementos de interação homem-máquina também são parâmetros fundamentais de projeto. Toda a ação física, não cognitiva, do homem sobre o objeto é feita a partir de movimentos, estudados na antropometria, e por forças. Forças para premir um botão, forças para rodar uma manivela, etc.

Para obter dados oficiais, recorreu-se ao estudo do Departamento de Comércio e Indústria inglês (DTI) de 2002, *Strength Data for Design Safety*, em que são analisadas as forças máximas realizadas por uma amostra de 150 pessoas com idades compreendidas entre os 2 e 90 anos, com o propósito de elaborar um documento técnico de ajuda ao *design* ergonómico de produtos.

Das forças analisadas, as que merecem destaque no âmbito deste trabalho são:

- Força ao puxar ou empurrar: Força estática máxima quando puxando ou empurrando uma barra cilíndrica, estando de pé, usando tanto uma como as duas

mãos. Barra colocada á altura do obro e posicionada tanto na vertical como na horizontal.

- Força de calcamento e de levantamento com o pé: Força estática máxima quando pressionando e levantando com o pé numa barra e um pedal, estando de pé, e usando um pé (o dominante).

(DTI, 2002)

No caso do teste de força a puxar ou empurrar, os resultados estão representados na seguinte figura.

Idade (anos)	Sexo	Orientação	Empurrar (N)			Puxar (N)		
			Média	DP	Intervalo	Média	DP	Intervalo
16 – 20	m	Vertical	271.80	117.33	164.73 - 565.62	267.10	116.97	130.81 - 499.33
		Horizontal	279.90	110.30	138.59 - 504.62	258.33	96.94	167.66 - 487.05
	f	Vertical	349.49	159.20	134.23 - 504.62	229.90	96.87	106.24 - 323.26
		Horizontal	340.78	174.21	112.44 - 508.98	238.91	92.23	110.33 - 315.07
21 - 30	m	Vertical	225.01	90.08	73.23 - 317.25	242.05	127.25	81.67 - 421.53
		Horizontal	221.38	99.02	77.58 - 339.03	231.81	107.92	110.33 - 384.68
	f	Vertical	231.73	183.49	60.15 - 609.20	224.99	154.07	102.14 - 548.47
		Horizontal	223.56	183.01	55.80 - 569.98	212.19	135.34	65.29 - 429.72
31 – 50	m	Vertical	457.12	171.77	190.88 - 722.49	320.39	90.15	196.32 - 495.24
		Horizontal	497.21	193.85	195.24 - 879.36	347.83	96.22	212.70 - 495.24
	f	Vertical	315.31	111.16	147.30 - 482.83	225.90	41.44	163.56 - 282.31
		Horizontal	328.38	137.59	129.87 - 574.34	233.17	51.06	147.19 - 298.69
51 – 60	m	Vertical	270.40	53.77	208.31 - 339.03	215.77	33.50	184.04 - 261.84
		Horizontal	367.36	71.29	278.03 - 443.61	261.84	26.54	233.17 - 286.41
	f	Vertical	315.50	101.38	208.31 - 426.18	229.08	89.24	134.90 - 323.26
		Horizontal	272.80	97.99	177.81 - 391.32	226.62	51.27	163.56 - 278.22
61 – 70	m	Vertical	342.52	207.99	64.51 - 648.42	286.41	152.03	40.72 - 442.01
		Horizontal	322.48	198.36	51.44 - 609.20	295.41	164.56	44.82 - 507.52
	f	Vertical	206.75	135.78	55.80 - 508.98	153.04	95.27	40.72 - 384.68
		Horizontal	190.88	111.29	51.44 - 426.18	152.74	83.62	57.10 - 327.35
71 – 80	m	Vertical	331.02	128.42	124.90 - 539.49	211.20	124.63	26.77 - 346.14
		Horizontal	293.92	119.33	63.66 - 459.40	206.53	111.89	22.57 - 320.93
	f	Vertical	247.42	150.88	116.80 - 680.82	239.28	113.60	106.24 - 472.21
		Horizontal	261.21	132.91	116.80 - 577.18	244.96	108.77	134.90 - 514.23

Figura 3.9. Tabela de resultados de teste puxar ou empurrar. Fonte: Adaptado, DTI, 2002.

Dos valores presentes na tabela para a força de empurrar aplicada na direção horizontal, é possível observar que os valores médios mínimos são 293.92 N para o sexo masculino e 190.88 N para o sexo feminino.

Os valores médios mínimos para a força de puxar aplicada na direção horizontal são 206.53 N para o sexo masculino e 152.74 N para o sexo feminino.

No teste de força realizado no pedal, os resultados são os representados na figura seguinte.

		Pressionar barra (N)		
Idade (anos)	Sexo	Média	DP	Intervalo
16 – 20	m	657.69	129.04	476.80 - 898.90
	f	403.64	116.68	296.60 - 590.00
21 – 30	m	632.67	178.44	399.50 - 873.20
	f	469.02	64.62	389.20 - 528.20
31 – 50	m	672.96	137.85	461.30 - 873.20
	f	519.24	189.74	209.00 - 754.80
51 - 60	m	592.60	162.50	435.60 - 811.40
	f	351.93	92.91	245.10 - 466.50
61 – 70	m	559.12	126.11	451.00 - 770.20
	f	337.39	94.73	106.10 - 512.80
71 – 80	m	417.86	112.80	296.60 - 605.50
	f	357.15	71.56	214.20 - 481.90

Figura 3.10. Força de pressão vertical de barra com o pé. Fonte: Adaptado, DTI, 2002.

Dos valores presentes na tabela para a força de pressão na barra aplicada na direção vertical, é possível observar que os valores médios mínimos são 417.86 N para o sexo masculino e 337.39 N para o sexo feminino.

Pode observar que os sujeitos testados apresentaram um declínio da força máxima exercida sensivelmente a partir do período dos 31-50 anos, que sendo um período grande demais para fazer uma maior precisão do ponto de início do declínio, não deixa de representar o seu início. É também possível observar uma capacidade de força menor nos sujeitos femininos do que nos masculinos.

Ambas observações correspondem ao padrão geral de aumento seguido de perda de força muscular com a idade, e de uma maior capacidade de força física dos elementos do sexo masculino, em relação ao sexo feminino, observável a nível geral.

Em termos estatísticos pode também observar-se que o desvio padrão nos valores médios provenientes dos resultados de força de puxar ou empurrar a barra são significativamente elevados, aproximadamente metade do valor médio, o que significa que a distribuição de dados não segue uma distribuição normal.

Esta não uniformidade na distribuição de dados significa que é muito arriscado utilizar percentis extremos para obter dados relevantes da amostra, i.e., não é possível utilizar o percentil 5° e o percentil 95° como pontos de referência sem o risco de incorrer em

erros grosseiros na extração de dados da amostra. Para este caso concreto, terá de ser selecionado um outro critério.

No caso da força de pressão, os desvios padrão já se encontram bastante mais reduzidos em relação aos seus respetivos valores médios, não colocando o tipo de problema referido acima.

3.4.Ergonomia de bicicletas

Conjuntamente com a observação de aspetos comuns a qualquer aplicação ergonómica, como os dados antropométricos e dados de força, devem também ser contemplados aspetos ergonómicos específicos á aplicação causa, a bicicleta com assistência elétrica á pedalada.

No âmbito do desenvolvimento da plataforma de mobilidade associada a este trabalho, ir-se-ão contemplar os aspetos ergonómicos ligados às bicicletas.

O documento *Bicycle Ergonomics for All People*, de Juliana Neuss analisa as posturas adotadas pelos utilizadores em função do posicionamento geométricos dos elementos de controlo e suporte da bicicleta, como o assento e guiador, e na parte final as desvantagens que os assentos unissexo comuns apresentam á utilização confortável das bicicletas por elementos do sexo feminino.

3.4.1. Coluna Vertebral

Neuss, J. refere com um dos aspetos fundamentais para a boa postura numa bicicleta a manutenção da geometria em ‘duplo S’ da coluna vertebral, tal como é possível ver na figura seguinte.

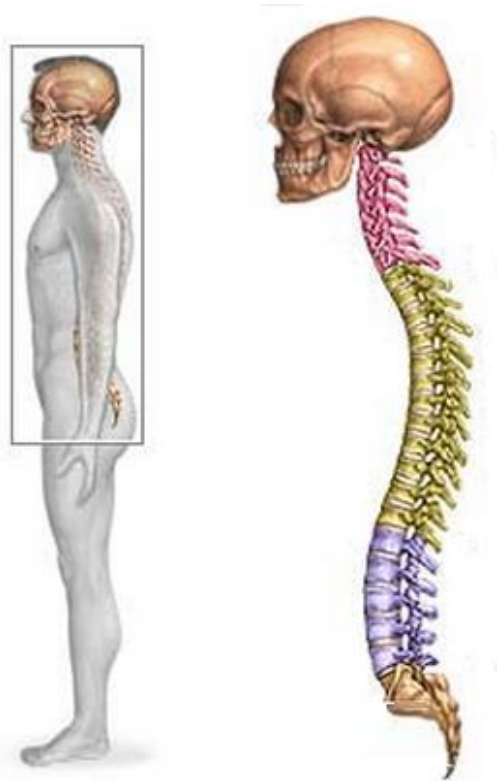


Figura 3.11. Coluna vertebral. Fonte: Adaptado de <http://www.health.rush.edu>

Esta posição em ‘duplo S’ maximiza a sua capacidade de amortecimento de vibrações, a capacidade de articulação e rotação do torso, fornece uma boa base para a utilização dos músculos que apoiam os esforços realizados membros anteriores e posteriores e serve também para manter a pélvis fixa, que por sua vez serve como uma base estável para o movimento dos membros posteriores, maximizando assim a força de pedalada.

3.4.2. Posição de condução

Existem nas bicicletas atuais várias posições de condução, desde a posição inclinada para a frente da bicicleta de corrida em estrada, passando pela posição vertical das bicicletas urbanas, havendo até bicicletas cuja posição de condução é inclinada para trás, onde o utilizador se senta num assento que apoia não só a região glútea como também a totalidade do dorso.

Entre todas estas posições de condução existem apenas duas que, de acordo com Neuss, J., mantém a forma ‘duplo S’ da coluna vertebral, a posição de condução nas bicicletas desportivas/de turismo, e a posição das bicicletas urbanas tradicionais, representadas na figura seguinte.



Figura 3.12. Bicicleta desportiva/de turismo e bicicleta urbana tradicional Fonte: <http://www.specialized.com> e www.dutchcitybike.com

As posições de condução destas bicicletas encontram-se representadas na seguinte figura.

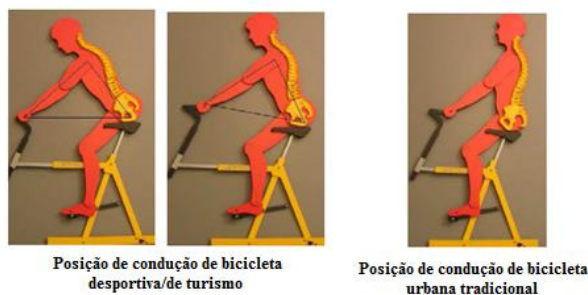


Figura 3.13. Posições de condução de bicicleta desportiva/de turismo e bicicleta urbana tradicional. Fonte: Adaptado de Neuss, J., 2010.

Na posição representada á esquerda, os braços fazem com o tronco um ângulo de 90° , maximizando a utilização muscular dos membros anteriores. Esta é a posição de condução ideal para uma utilização desportiva ou turística, pois estas necessitam de realização de esforços com variadas magnitudes e por longos períodos de tempo, sendo por isso benéfico distribuir os esforços pelo maior número de músculos possível.

Em qualquer circunstância, a inclinação de costas admissível no sexo masculino não deve ultrapassar os 45° coma vertical, e os 35° no sexo feminino, para que a pélvis não fique apoiada em esforço, o que levaria a uma má postura do utilizador de forma a aliviar a dor que este apoio causaria.

A outra opção, sem manter o ângulo de 90° entre os braços e o tronco é a posição de costas verticais, com o guiador sensivelmente á altura do assento, que permite uma condução mais descontraída, com menos requisitos de esforço necessário aos membros anteriores, ideal para condução urbana e de trânsito. Marinõ, S. refere que esta posição é

dada como a mais confortável pela totalidade dos utilizadores no estudo de Pequini, S. sobre ergonomia de bicicletas.

Dreyfuss, H., (apud Marinõ, S. *et al*, 2010) recomenda os ângulos representados na figura 3.14 como base de uma postura confortável de uma bicicleta com as características posturais acima referidas.

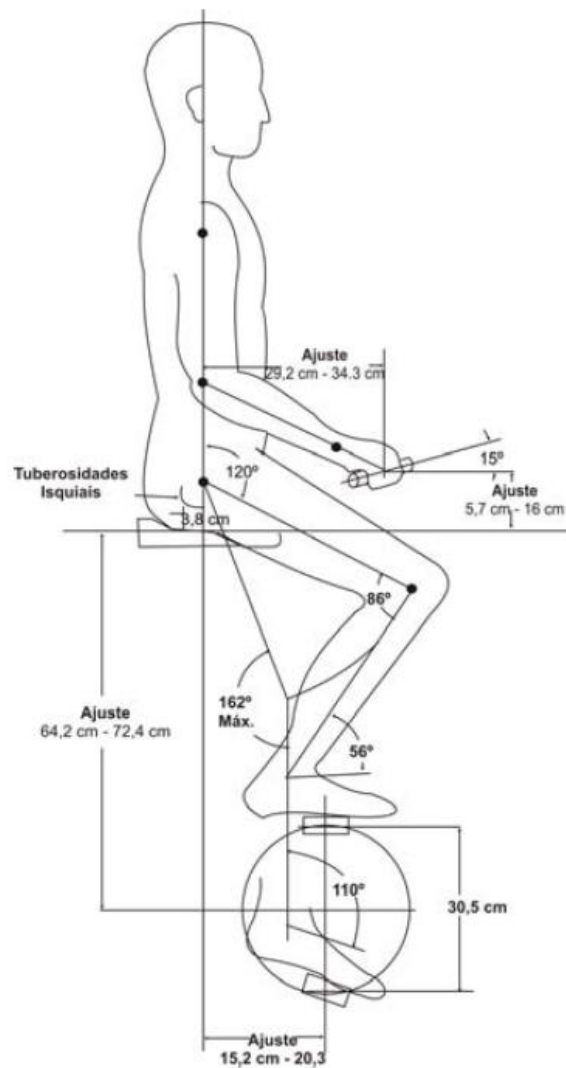


Figura 3.14. Postura recomendada para bicicletas urbanas tradicional. Fonte: Dreyfuss, H. 1966 (apud Marinõ, S. *et al*, 2010)

A regulação destas duas posições de condução é feita pela altura do assento e pela distância do assento ao guidão. Na posição de condução desportiva a distância do guidão ao assento é o dobro relativamente á posição tradicional. A altura do guidão pode ser regulada relativamente ao assento, no entanto Neuss aconselha que esta diferença não seja superior a 100mm.

Em termos de altura do assento, na posição mais baixa da pedaleira em relação ao assento, a perna deve ficar com uma ligeira flexão, e o joelho nunca deve ultrapassar os 90° na posição de maior flexão da perna, como mostra a figura seguinte.



Figura 3.15. Altura ideal do assento. Fonte: Adaptado de Neuss, J., 2010.

Esta posição maximiza a potência muscular dos membros posteriores, e não causa danos aos joelhos.

3.4.3. Formato do selim

Relativamente aos selins, a principal característica diferenciadora entre sexos tem a ver com a forma dos assentos.

A pélvis feminina tem uma geometria redonda na sua base, diferente da geometria reta da pélvis masculina. Isto significa que embora um selim convencional, de superfície reta se adapte bem ao sexo masculino, no sexo feminino provoca uma concentração de tensões e instabilidade inerente á reduzida área de suporte que a pélvis arredondada oferece na superfície reta do assento

Neuss, J., sugere então que no caso de o utilizador ser do sexo feminino se deve utilizar um assento côncavo, que aumenta significativamente a área de contacto do utilizador com o assento, aumentando a estabilidade durante o uso, e aumentando o conforto por via da diminuição significativa de tensões. Esta diferença pode ser observada na figura seguinte.

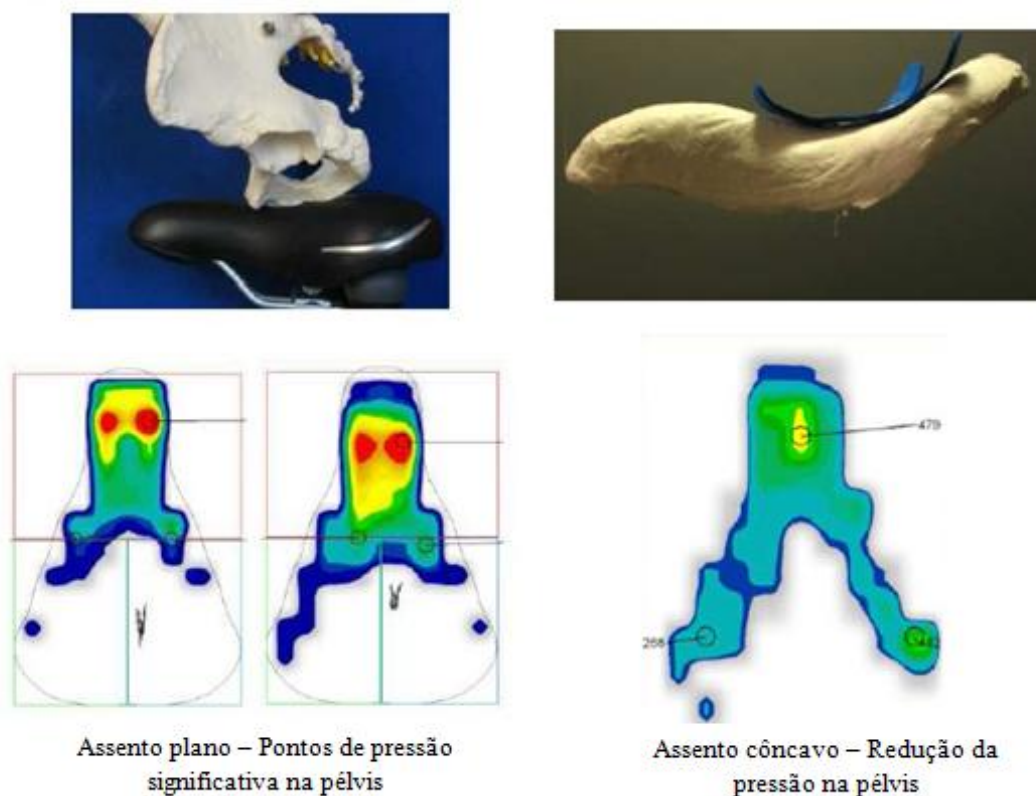


Figura 3.16. Efeito da concavidade do assento na redução de pressão na pélvis feminina. Fonte: Adaptado de Neuss, J., 2010.

3.4.4. Características dimensionais de bicicletas

Marinõ, S., *et al*, sugere que as dimensões ergonômicas das bicicletas se separam em duas categorias, as dimensões fixas, como a altura do quadro, comprimento do quadro, medida da traseira, etc., e as dimensões ajustáveis, como a altura do selim e recuo do selim. Para além destas duas categorias, existe ainda outras dimensões, que sendo fixas pode ser alterada com a introdução de novos componentes, que são as dimensões referentes ao comprimento da pedaleira, largura do guidador, dimensões referentes ao garfo dianteiro, etc.

Dentro destas duas categorias, refere ainda as seguintes três dimensões como as principais com vista a desenvolvimento de uma bicicleta como “máquina de pedalar” (Marinõ, S. *et al*, 2010):

- Altura do selim, ‘Hs’
- Ajuste do guidador, ‘S’
- A altura do quadro, entre eixos, ‘H’;
- A inclinação do tubo do selim, ‘I’;
- Comprimento do tubo horizontal, entre eixos ‘L’.

Estas dimensões encontram-se referenciadas nas figuras 3.17. e 3.18.

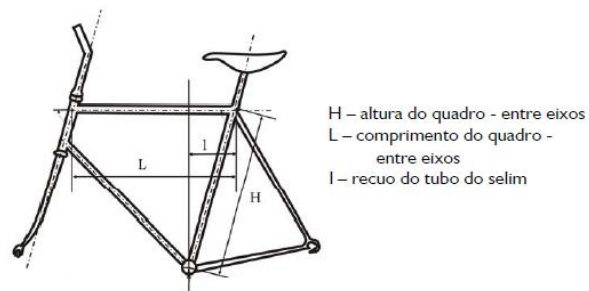


Figura 3.17. Dimensões fixas do quadro. Fonte: Adaptado de Hinault, B., 1988 (apud Marinõ, S. *et al*, 2010)

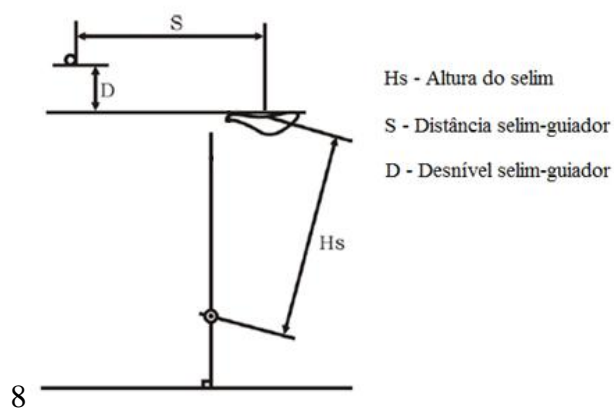


Figura 3.18. Dimensões para cálculo da altura do selim. Fonte: Adaptado de Hinault, B., 1988 (apud Marinõ, S. *et al*, 2010)

A tabela seguinte apresenta os métodos de cálculos necessários para determinar estas dimensões principais.

Tabela 3.8. Cálculo das dimensões principais de uma bicicleta.

Dimensão	Cálculo	Observações	Fonte
Altura do quadro – ‘H’	Entrepernas x 0.65	-	Marinõ, S. <i>et al</i> , 2010
Altura máxima do selim – ‘Hs’	Entrepernas x 0.885	-	Hinault, B, 1988 (apud Marinõ, S. <i>et al</i> , 2010)
Distância selim-guiador – ‘S’	292-343mm	Bicicleta urbana tradicional	Dreyfuss, H., 1966 (apud Marinõ, S. <i>et al</i> , 2010)
Comprimento do quadro – ‘L’	0.7525 x Altura do tronco + 0.078 x Comprimento do antebraço + 0.07 x Alcance funcional anterior – 10 mm	‘Dimensão’ L ½ para bicicleta urbana tradicional (Neuss, J., 2010)	Firth, M., 2012
Largura do guiador	Largura dos ombros (bideltóide)	-	Porte, G. 1996 (apud Marinõ, S. <i>et al</i> , 2010)
Comprimento da pedaleira	Ver tabela 3.10.	-	Ambrosini, C., 1990 (apud Marinõ, S. <i>et al</i> , 2010)
Desnível selim guiador – ‘D’	0 – 100mm 57–160mm	- Bicicleta urbana tradicional	Neuss, J., 2010 Dreyfuss, H. (apud Marinõ, S. <i>et al</i>)
Entrepernas (mm)		Comprimento da pedaleira (mm)	
<830		165	
830-980		170	
>980		175	

CAPÍTULO 4

4. Análise funcional

Uma análise funcional é como o nome indica, o estudo de um qualquer sistema para determinar/entender as funções que um produto tem de desempenhar de modo a satisfazer as necessidades do cliente.

No caso de uma análise funcional generalista, como a seguinte, o objetivo é compreender as características que podem ser diferenciadas entre os vários sistemas de transporte, para em seguida podermos delimitar o âmbito funcional num qualquer nova plataforma de transporte que pretendamos desenvolver, tal como a plataforma de transporte desenvolvida no âmbito deste trabalho.

4.1. Diagrama funcional

Um sistema de transporte pode assim ser dividido nas suas características principais:

- Capacidade;
- Meio;
- Acionamento.

De forma a posteriormente analisar as funções, que é variável dependendo do tipo de transportem e que tem influência na aceitação do meio de transporte pelo mercado.

A figura seguinte representa a divisão de um modo de transporte nas componentes que o podem melhor definir.

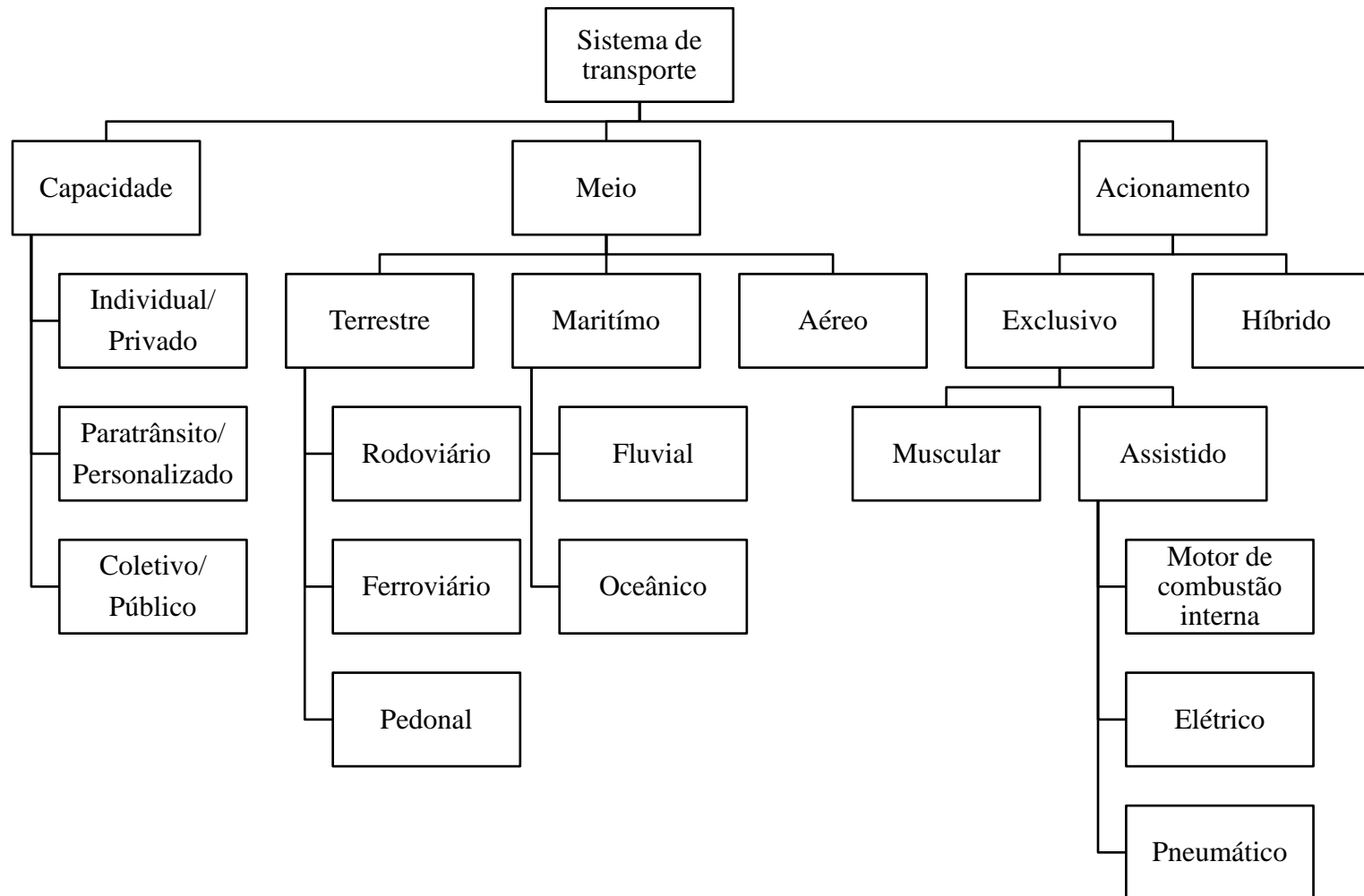


Figura 4.1. Análise funcional de sistemas de transporte

4.2. Análise das funções principais

A seguinte tabela ilustra a análise das funcionalidades requeridas para meios de transporte, em função das suas características principais.

Tabela 4.1. Análise funcional de um sistema de transporte

Característica principal	Variável		Aspetos funcionais
Capacidade	Individual		<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade: 1-9 passageiros • Influência total sobre destinos e rotas; • Não sujeito a horário; • Privacidade e conforto.
	Paratrânsito		<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade (condutor + ocupante): 2-40 passageiros • Serviço por procura • Origem e destino por pedido; • Assistência ao embarque.
	Coletivo		<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade: 15-5000 passageiros • Baixo custo de utilização por ocupante; • Destinos pré-determinados; • Sujeito a horário.
Meio	Terrestre	Rodoviário	<ul style="list-style-type: none"> • Tempos de viagem reduzidos entre origem e destino em curtas distâncias (minutos/horas); • Flexibilidade máxima na oferta de destinos e percursos; • Nível de Conforto médio/elevado; • Elevadas capacidades: 100 – 1000 passageiros
		Ferroviário	<ul style="list-style-type: none"> • Vias de circulação exclusivas; • Tempos de viagem reduzidos a distâncias médias (horas/dias);
	Marítimo	Oceânico	<ul style="list-style-type: none"> • Maioritariamente utilizados para transporte de carga • Elevada capacidade de passageiros e carga: até 8000 passageiros • Tempos de viagem muito elevados (dias/semanas); • Reduzida flexibilidade de destinos.
		Fluvial	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada capacidade de passageiros e carga: até 3000 passageiros • Tempos de viagem reduzidos/médios (horas/dias).
		Aéreo	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de viagem reduzido para grandes distâncias (horas); • Baixo nível de flexibilidade de destinos quando; • Variados níveis de capacidade para transporte de carga e passageiros: 10 – 900 passageiros
Acionamento	Não Assistido	Muscular	<ul style="list-style-type: none"> • Ecológico: Não poluente, não consumidor de energia fóssil; • Permite a prática de exercício físico; • Velocidades de cruzeiro baixas: <30

		km/h
	Assistido	Motor de combustão interna <ul style="list-style-type: none"> • Permite um elevado desempenho dinâmico: velocidades; • Tem um consumo energético moderado/elevado; • Fortemente poluente;
		Elétrico <ul style="list-style-type: none"> • Elevada eficiência energética; • Silencioso; • Elevado desempenho dinâmico a baixas velocidades;
		Pneumático <ul style="list-style-type: none"> • Silencioso; • Ecológico; • Autonomia reduzida; • Velocidades reduzidas;
	Híbrido <ul style="list-style-type: none"> • Permite a utilização das melhores características de 2 ou mais sistemas de acionamento; 	

4.3. Seleção de capacidade, meio e acionamento da proposta de mobilidade.

Tendo em conta os objetivos gerais para a criação da plataforma de mobilidade, esta pode ser definida em termos da capacidade, meio de circulação e acionamento que deve ter.

Os objetivos e benefícios a ter em consideração para a plataforma encontram-se dispostos na seguinte tabela.

Tabela 4.2. Descrição de plataforma de mobilidade a ser desenvolvida

Descrição do produto	<ul style="list-style-type: none"> • Plataforma individual de mobilidade sustentável, capaz de servir de veículo de mobilidade urbana, sendo também capaz de utilização para fins lúdicos.
Benefícios da proposta	<ul style="list-style-type: none"> • Plataforma compacta e ágil; • Capaz de circular nas estradas e ciclovias existentes; • Capaz de transportar pequenas cargas; • Dispõe de assistência elétrica á locomoção; • Fácil de utilizar por um grande número de pessoas; • Proporciona ao utilizador a oportunidade de realizar exercício físico durante a sua utilização.
Objetivos principais	<ul style="list-style-type: none"> • Servir como plataforma de mobilidade alternativa ao automóvel, no contexto de circulação urbana; • Servir como plataforma de mobilidade de lazer, adequada á realização de exercício físico num espectro alargado de ambientes urbanos e extraurbanos.

Pode então ser visto que a capacidade adequada á plataforma é a individual/privado, devido as vantagens para circulação em cidade, transportando apenas o utilizador, sem horários fixos, e com a máxima flexibilidade de destinos.

A circulação adequada à utilização em cidade é a efetuada no meio terrestre/rodoviário, pois toda a infraestrutura, salvo casos específicos, é construída sobre o meio terrestre, sendo este meio a principal forma de alcançar destinos.

O modo de acionamento é híbrido, muscular e elétrico, que permitem uma circulação eficiente em cidade, a baixas velocidades, com a vantagem de não ter os níveis de poluição e consumo energéticos característicos da utilização urbana permitindo também o acionamento muscular como forma de realização de exercício físico.

CAPÍTULO 5

5. Planeamento concetual

O planeamento concetual é a fase de projeto onde se pretende definir num contexto abstrato, externo á solução final concreta, as fronteiras de funcionalidade e desempenho do produto.

O planeamento concetual é feito por fases sucessivas, começando pela clarificação de objetivos, fase em que as necessidades do cliente, geralmente vagas e não orientadas á engenharia, são transformadas em objetivos do produto.

A segunda fase é a definição das funcionalidades do produto. Após a clarificação de objetivos do produto, podem ser definidas as funcionalidades requeridas para o produto.

Por fim, são determinadas as especificações, que estabelecem a performance requerida ao produto, no âmbito das suas funcionalidades.

5.1. Clarificação de objetivos

As necessidades do cliente podem ser determinadas de vários métodos, desde entrevistas a atuais e potenciais clientes, à análise de mercado para averiguar as tendências de escolha dos utilizadores baseado nas características dos produtos existentes.

Baseado na análise funcional para um produto de mobilidade individual, as necessidades do cliente para uma plataforma individual de mobilidade sustentável para transporte pessoal e lazer podem ser definidas como categorias gerais, apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 5.1. Necessidades do cliente

Necessidades do cliente (V.O.C.) para uma plataforma individual de mobilidade sustentável para transporte pessoal e lazer
Seguro
Disponível
Confortável
Moderno
Fiável
Desportivo

Estas necessidades do cliente devem ser expandidas, e reescritas como sendo necessidades concretas que o produto deve satisfazer, em vez de termos qualitativos vagos. A tabela 5.2. apresenta as necessidades gerais do cliente, na coluna à esquerda e os objetivos que o produto deve satisfazer na coluna direita.

Tabela 5.2. Clarificação de objetivos do produto

Grupo de necessidade do cliente	Objetivos do produto
Seguro	Permite uma condução segura no ambiente circundante <ul style="list-style-type: none"> • Pode circular com segurança integrado no restante trânsito • É seguro em caso de acidente • O veículo pode ser imobilizado rapidamente
	É Estável
	Fácil de operar <ul style="list-style-type: none"> • Baixa complexidade dos comandos
Disponível	Disponível para utilização imediata <ul style="list-style-type: none"> • Não é preciso esperar para utilizar • Pode ser operado sem necessitar de uma licença
	Serve um espectro alargado de utilizadores
Confortável	Agradável de conduzir <ul style="list-style-type: none"> • Confortável em vários tipos de piso
	Dignifica o utilizador <ul style="list-style-type: none"> • É um meio de transporte desejável
Moderno	Permite várias configurações
	É Ecológico
	Desempenho Adequado <ul style="list-style-type: none"> • Tem um desempenho equiparável ao de outras plataformas de mobilidade urbana
	Baixo custo <ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo de aquisição • Baixo custo de utilização
	Versátil <ul style="list-style-type: none"> • Pode ser utilizado sob variadas condições climáticas • Pode transportar os objetos pessoais do condutor
	Construção robusta
Fiável	Os custos de manutenção são reduzidos <ul style="list-style-type: none"> • Tem uma manutenção simples • Os componentes principais são de fácil substituição
	Permite uma utilização desportiva <ul style="list-style-type: none"> • Permite uma condução ágil em vários tipos de pisos e topografias • É leve
Desportivo	Permite atividades de condicionamento físico

5.2. Estabelecimento de funções

A partir dos objetivos do produto, é possível determinar as funções que este deve desempenhar. A seguinte tabela ilustra as funcionalidades principais que a solução final deve realizar.

Tabela 5.3. Funções do produto final

#	Função
1	Suportar o condutor numa posição de condução confortável durante a viagem
2	Suportar o condutor numa posição de condução com boa visibilidade
3	Iluminar o trajeto
4	Sinalizar as ações do condutor ao ambiente envolvente
5	Poder travar desde a sua velocidade máxima num espaço reduzido
6	Auxiliar a propulsão recorrendo a fonte de energia interna
7	Absorver vibrações que causem desconforto
8	Não poluir o ambiente
9	Ser multifuncional
10	Projetar uma boa imagem do utilizador
11	Proteger o utilizador do clima envolvente
12	Permitir ao condutor realizar exercício físico
13	Circular em vários tipos de pavimento
14	Atingir uma velocidade competitiva com os restantes transportes urbanos
15	Transportar objetos pessoais e cargas de pequena dimensão
16	Transportar um ocupante
17	Ter uma elevada flexibilidade em termos de destinos e percursos
18	Poder circular em ciclovias

A partir das funções estabelecidas torna-se mais fácil estabelecer quais as especificações como forma de definir o desempenho requerido do veículo, limitando as soluções possíveis, na resposta do produto aos seus objetivos.

5.3. Estabelecimento de especificações

5.3.1. Estabelecimento de especificações técnicas.

As especificações, como referido anteriormente, estão agrupadas pelos objetivos a que têm de corresponder.

A tabela seguinte apresenta as especificações selecionadas.

Tabela 5.4. Especificações técnicas.

Necessidades/Objetivos			
Grupo	Subgrupo	#	Especificação
Seguro	Permite uma condução segura no ambiente circundante	1	Elementos de iluminação
		2	Elementos de sinalização
		3	Auxiliares de visão
		4	Travagem
	Estável	5	Número de rodas
		6	Inclinação em curva
		7	Posição quando imobilizado
	Fácil de operar	8	Posição de condução
		9	Disposição dos comandos
		10	Assistência a pedalada
		11	Operações de comando
Disponível	Disponível para utilização imediata	12	Tempo necessário de contacto a movimento
		13	Necessita de licença para operar
Confortável	Serve um espectro alargado de utilizadores	14	Ajustabilidade da altura do assento
		15	Tamanhos de quadro elegíveis
Moderno	Agradável de conduzir	16	Curso vertical do sistema de amortecimento
	Dignifica o utilizador	17	Aspetto formal
	Permite diversas configurações	18	Modular
	Ecológico	19	Tipo de motorização
		20	Potência do motor
	Desempenho adequado	21	Velocidade máxima motorizada
		22	Autonomia de utilização motorizada
	Baixo custo	23	Custo de aquisição
		24	Custo de utilização por km
	Versátil	25	Proteção climatérica do condutor
26		Número de ocupantes	
27		Compartimentos para transporte de objetos	
Fiável	Construção robusta	28	Material utilizado no chassis
		29	Percentagem de utilização de componentes <i>standard</i>
	Custos de manutenção reduzidos	30	Complexidade mecânica
Desportivo	Permite uma condução desportiva	31	Dimensões admissíveis para as rodas
		32	Dimensões máximas (C=comprimento; L=largura; A=Altura)
		33	Raio mínimo de viragem
		34	Peso total do veículo
		35	Número de relações de transmissão
	Permite atividades de condicionamento físico	36	Propulsão não motorizada

Esta relação entre objetivos e especificações também pode ser vista na tabela 10.8 do anexo 7.

5.3.2. Análise competitiva

De forma a poder estabelecer valores realistas e úteis para estas especificações, pode recorrer-se a uma análise de mercado, com os principais concorrentes, i.e. as principais plataformas de mobilidade individual existentes, analisadas nos capítulos de estado da arte e casos de estudo, referidas na tabela 5.5.

Algumas das categorias são representadas por veículos específicos, para conveniência na obtenção de métricas representativas de cada categoria.

Tabela 5.5. Plataformas de mobilidade para análise competitiva

Plataformas de mobilidade para análise competitiva	
Modo de transporte	Veículo específico
Trotinete	-
Veículo elétrico compacto	<i>Segway</i>
Bicicleta	-
Bicicleta elétrica	<i>GoCycle</i>
<i>Scooter</i> de mobilidade	-
Motociclo urbano	<i>Piaggio MP3 Yourban</i>
Automóvel de segmento médio	<i>Renault Megane 5p, 1.9dci</i>
Automóvel elétrico compacto	<i>Renault Twizy</i>
<i>Personal Rapid Transir</i>	<i>Ultra PRT</i>

A análise competitiva encontra-se na tabela 10.9, no anexo 8.

Como referido anteriormente será desenvolvido um veículo equivalente à bicicleta elétrica, portanto nesta fase é necessário enumerar quais as especificações a que a bicicleta corresponderá, para tal teve-se em conta a norma europeia (EN-15194, EN-14764) e americana (16 CFR *Part* 1512) para veículos elétricos, cujos aspetos com influência nas especificações podem ser vistos na tabela 10.1, no anexo 1.

Os aspetos principais das especificações e dos valores alvo selecionados são os seguintes:

Elementos de iluminação

A regulamentação europeia e norte-americana não define a obrigatoriedade de iluminação do veículo, no entanto, por análise com os restantes meios de transporte urbanos, é visível que a sua inclusão resulta numa vantagem competitiva.

Para a iluminação do percurso, o veículo deverá possuir um ou mais faróis dianteiros. Como o veículo não possui marcha á ré, não são necessárias luzes na sua retaguarda.

Elementos de sinalização

De acordo com a regulamentação europeia os refletores não são obrigatórios, contudo de acordo com a regulação americana o veículo terá de ter refletores na frente, traseira, rodas e nos pedais. A tabela seguinte explicita o tipo de refletor a utilizar em cada situação.

Tabela 5.6. Especificações para refletores com base nos requisitos 16 C.F.R. *Part* 1512.

Localização	Cor
Frente	Sem cor
Retaguarda	Vermelho
Roda Frente	Sem cor ou âmbar
Roda trás	Vermelho ou âmbar
Pedais	Sem cor ou âmbar

Da mesma forma, não são obrigatórias luzes de mudança de direção. Estas irão ser colocadas como meio de obter vantagem competitiva.

Auxiliares de visão

Os espelhos retrovisores são um componente cuja inclusão, embora não seja obrigatória, se torna numa vantagem competitiva. Estes devem estar integrados com o restante *design* do veículo e o seu topo deve estar no máximo 150mm acima do topo do guiador, de forma a não se tornar visualmente obstrutivo para o campo visual frontal do condutor.

Travagem

O sistema de travagem do veículo é um dos sistemas principais de segurança passiva de qualquer veículo. Tendo em conta o tipo de veículo que se pretende conceber, o sistema de travagem tem de obedecer aos requisitos explicitados nas normas 16 CFR *Part* 1512 e EN-14764, com vista a homologação do veículo na Europa e Estados Unidos da América.

Número de rodas

Qualquer corpo para ser estaticamente estável necessita de pelo menos 3 três apoios. No caso da estabilidade dinâmica, esta pode ser atingida recorrendo a 1 ou 2 pontos de apoio, necessitando no entanto de um mecanismo que mantenha o equilíbrio, seja um servomecanismo desenvolvido para o efeito, seja pela ação de equilíbrio e controlo do veículo por parte do utilizador.

Na maioria dos veículos de pequenas dimensões, o número de apoios, i.e. rodas, no solo é 2, sendo este número crescente com o aumento das dimensões e performance dos veículos, geralmente passando de 2 para 4, havendo na atualidade um número reduzido de veículos com 3 rodas.

Sendo a estabilidade um critério fundamental na escolha do número de rodas, existem outros critérios que não devem ser ignorados tendo em vista os objetivos alargados da plataforma de mobilidade. A tabela seguinte avalia as soluções possíveis.

Tabela 5.7. Matriz de decisão para seleção do número de rodas.

Matriz de decisão – Número de rodas				
Número de rodas	1	2	3	4
Estabilidade	4	3	1	1
Volumetria compacta	1	2	2	4
Complexidade mecânica	4	1	1	2
Desempenho dinâmico	4	2	2	3
Custo de manutenção	2	1	1	3
Total	15	9	7	13
Legenda	1 – Fortemente positiva; 2- Medianamente positiva; 3 – Medianamente negativa; 4- Fortemente negativa.			

É assim possível então notar que a solução de dotar o veículo com 3 rodas é a melhor opção

Inclinação em curva

Como foi visto no caso de estudo dos veículos inclináveis, esta capacidade do veículo se inclinar nas curvas é a característica fundamental para conseguir desempenhos dinâmicos equivalentes aos dos veículos comuns quando os veículos são estreitos.

O veículo deve por isso ter a capacidade de se inclinar nas curvas, mantendo as rodas no solo ao longo de toda a gama de ângulos de inclinação possíveis do veículo.

Esta capacidade de inclinação, na configuração de chassis seleciona, é conseguida com recurso a pontos de rotação do eixo dianteiro, que permitem a manutenção do paralelismo entre as rodas e a direção vertical do veículo, em qualquer ângulo de inclinação.

Posição quando imobilizado

Para uma maior comodidade na utilização do veículo, este deve manter-se vertical quando imobilizado, sem que seja necessário qualquer apoio no solo por parte do condutor para manter o equilíbrio.

Posição de condução

O veículo deve suportar do utilizador durante o seu uso, providenciando ao condutor uma visão alargada do seu meio circundante, uma base estável para a interação do condutor com o veículo. A posição de condução também deve ser facilmente acessível e deve colocar o condutor numa posição onde seja fácil a sua proteção a situações de embate.

Disposição dos comandos

Todos os elementos de controlo do veículo devem poder ser vistos e operados com facilidade. Para isto pode utilizar-se o conceito de espaço preferencial de movimento na posição sentada, já referido no capítulo de fatores ergonómicos, de forma a colocar todos os elementos de interação com o utilizador no espaço delimitado pelo arco na figura seguinte.

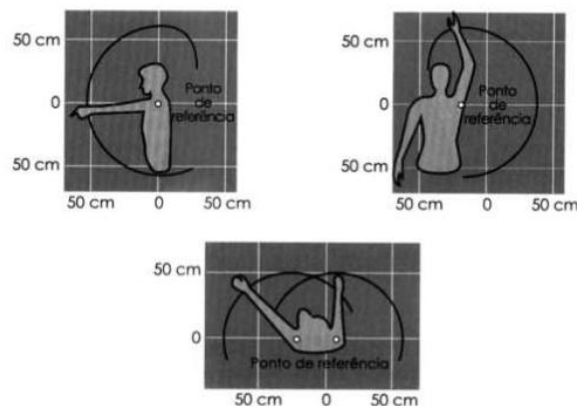


Figura 5.1. Espaço para disposição de comandos do veículo. Fonte: Amaral, F. 2005, Ergonomia, pp.18.

Os comandos devem também estar dispostos para que durante a sua operação a necessidade do utilizador desviar os olhos do percurso e retirar as mãos do guiador seja mínima. Para isso, os comandos devem obedecer aos seguintes critérios:

- Devem ser colocados o mais próximo possível da posição normal das mãos no guiador;

- Devem ter cores diferentes, e evitar ter botões de reduzida dimensão, para uma menor probabilidade de erro na utilização;
- Cada elemento de interação deve ser mono função, reduzindo o tempo total de interação para operação de cada funcionalidade do veículo;
- Devem ser evitadas sequências de comandos, reduzindo ao máximo o número de operações necessárias para a operação de cada funcionalidade do veículo;
- Os controlos devem estar agrupados por tipo de função, tornando a interação com o veículo intuitiva.

Assistência à pedalada

A assistência á pedalada é uma característica fundamental para o desempenho dinâmico da plataforma, sendo um dos principais benefícios da proposta, que lhe permite concorrer no mercado com os restantes transportes motorizados e não motorizados.

Segundo a regulamentação europeia para bicicletas elétricas, EN-15194, a bicicleta deverá dispor de assistência a pedalada, num modo de funcionamento em que a potência fornecida pelo motor elétrico está dependente da pedalada do condutor, e é reduzida progressivamente até ser 0 quando a velocidade do veículo atinge 25km/h.

Operações de comando

As operações necessárias ao controlo do veículo são semelhantes ás das bicicletas comuns, de forma a reduzir a curva de aprendizagem necessária á utilização do veículo. As operações e elementos de comando onde elas são executadas encontram-se dispostos na seguinte tabela.

Tabela 5.8. Operações de comando do veículo.

Operação de comando	Elemento de atuação	Observações
Direção		
Sinalização de mudança de direção		Seletor colocado junto ao punho esquerdo.
Pedalada		Conta com assistência elétrica automática;
Seleção de mudança		Seleção de mudança por rotação do punho.
Travagem		Travagem independente nos dois eixos: Travão de trás atuado com manete direita; Travões da frente atuados com manete esquerda.

Tempo necessário de contacto a movimento

Para que esta plataforma de transporte seja competitiva, deve estar disponível de forma imediata, sem que haja necessidade de tempos de espera para utilização como nos transportes coletivos, nem tempo de espera para que o veículo esteja pronto a utilizar uma vez que o condutor esteja sentado na sua posição de condução, á semelhança de qualquer veículo contemporâneo.

A existência de pedais, assim como a presença de um motor elétrico significam que não existe tempo de espera para poder utilizar. Deve ser possível ao utilizador ligar a parte elétrica do veículo e seguir viagem num intervalo de tempo máximo de 10 segundos.

Necessita de licença para operar

Para que o veículo seja o mais inclusivo possível, não deve necessitar de um licença, de circulação ou propriedade, especial para poder ser conduzido

Dado o veículo estar conforme a regulamentação europeia e norte americana referente a *bicicletas eletricamente assistidas e bicicletas elétricas, EN-15194 e 16 CRF Part 1512* respetivamente, não necessita de qualquer licença para poder ser conduzido por utilizadores de todas as idades.

Ajustabilidade de altura do assento

Para uma boa adaptação a um elevado espectro de utilizadores, a altura do assento deve ser regulável, utilizando como referência o percentil 5° feminino e o percentil 95° masculino

O conjunto de valores possíveis e os valores admissíveis para a regulação estão descritos na tabela seguinte.

Tabela 5.9. Regulação de elementos ajustáveis

Elemento ajustável	Tipo de regulação	Critério	Valor entrepernas tabelado	Intervalo de ajustabilidade
		Entrepernas x 0.885		
Altura do selim	Contínua	Limite inferior: Percentil 5° Feminino; Limite superior: Percentil 95° Masculino.	681mm (ANSUR II) 917mm (ANSUR II)	603mm 812mm

Tamanhos de quadro elegíveis

O quadro é um elemento rígido, cujas dimensões são inalteráveis após o seu fabrico. Por esta razão é necessário produzir quadros de diferentes tamanhos, de forma a melhor se adaptarem as variações antropométricas dos utilizadores alvo.

No presente quadro, a variável pretendida é a distância entre o eixo da caixa de direção e o eixo do selim, já que não existe o tubo superior comum em vários tipos de bicicletas, cujo comprimento serve como referência para esta variável.

Segundo Firth, M, 2012, o comprimento apropriado para o tubo superior é dado pela equação 5.1.

$$L = 75,25\% \times AT + 7.8\% \times CA \pm 7\% \times AFA - 10 \text{ (mm)} \quad \text{Equação 5.1}$$

AT = Altura do tronco (mm);

CA = Comprimento do antebraço (mm);

AFA = Alcance funcional anterior (mm).

Utilizando os percentis 5° feminino e 95° masculino da tabela DIN 33042, podemos definir os tamanhos limite do quadro, S (pequeno) e L (grande), respetivamente. Arbitraram-se duas dimensões padrão entre estes dois limites, perfazendo assim quatro tamanhos de quadro elegíveis, o S (pequeno), M (médio), L (grande) e XL (muito grande), cujas dimensões se encontram na tabela seguinte.

Tabela 5.10 – Tamanhos de quadro elegíveis.

Designação do tamanho	Distância entre o eixo da caixa de direção e o eixo do selim (mm).
S	460
M	500
L	540
XL	580

Curso vertical do sistema de amortecimento

Para um maior nível de conforto em circulação urbana e extraurbana, o veículo deve possuir um sistema de absorção de vibrações. Para este efeito, deve ser permitido um curso de translação vertical do eixo mais próximo á localização do condutor não inferior a 50mm.

Aspeto formal

O veículo deverá obedecer as tendências do *design* moderno, nomeadamente á utilização de *design* minimalista, não tendo um aspeto funcional grosseiro, nem um *design* estético excessivo. Um exemplo deste tipo de *design* minimalista está representado na figura seguinte.



Figura 5.2. Bicicleta *Autovelo*. Fonte: www.vhxn.com.

Este aspeto formal é apelativo aos utilizadores do grupo moderno-exclusivo e aos utilizadores do grupo desportivo, por ser um *design* ainda pouco visto nos sistemas de transporte e tem para além de exclusividade, um aspeto desportivo.

Modular

O produto deve ter uma arquitetura modular, sendo possível efetuar a troca de componentes ou secções do veículo conforme a utilização desejada, tornando possível a utilização de um único chassis central para usos tão distintos como o transporte de trânsito em contexto urbano e o transporte recreativo de lazer em vários tipos de superfícies preparadas e não preparadas.

Deve ser também possível acrescentar e retirar facilmente componentes necessários e supérfluos á mudança de função principal do veículo, do trânsito para o lazer, como compartimentos de carga e elementos de proteção climatérica.

Tipo de motorização

O veículo deverá ser propulsionado eletricamente, de acordo com a regulamentação europeia *EN-15194*, e norte americana *16 CRF Part 1512*.

Potência do motor

De acordo com as normas *EN-15194* e *16 CRF Part 1512*, as características relativas á potência para veículos homologáveis na Europa e Estados Unidos da América são as dispostas na tabela seguinte.

Tabela 5.101. Especificações das normas Europeias e Americanas para motores elétricos.

	Europa (<i>EN-15194</i>)	EUA (<i>16 CRF Part 1512</i>)
Potência	250 (W)	750 (W)
Voltagem	48v	-
Tipo de assistência	Decrescente até á velocidade máxima, A partir da qual o motor não exerce qualquer binário.	-

De forma a poder abranger os dois mercados, a potência máxima do motor deverá ser de 250W, e a voltagem do sistema elétrico não deverá exceder os 48v. O sistema de controlo associado ao motor deverá ser estar homologado para utilização segundo a regulamentação europeia.

Velocidade máxima motorizada

De acordo com as normas *EN-15194* e *16 CRF Part 1512*, as características relativas á velocidade máxima motorizada para veículos homologáveis na Europa e Estados Unidos da América são as dispostas na tabela seguinte.

Tabela 5.112. Especificações das normas Europeias e Americanas para velocidade máxima motorizada.

	Europa (<i>EN-15194</i>)	EUA (<i>16 CRF Part 1512</i>)
Velocidade máxima motorizada	25 (km/h)	25 (km/h)

A velocidade máxima atingida pelo veículo sob influência da potência do motor elétrico não deverá ultrapassar os 25km/h. Para isso o sistema de controlo associado ao motor deverá ser estar homologado para utilização segundo a regulamentação europeia.

Autonomia da utilização motorizada

A autonomia do veículo deve exceder os 50km, permitindo percorrer diariamente a área dos centros urbanos, de aproximadamente 25km², sendo competitivo com os restantes meios de transporte urbanos atualmente em utilização, como a Segway, o veículo urbano compacto e a bicicleta elétrica.

Custo de aquisição

O custo de aquisição deve ser inferior a 2000€, para que o veículo seja competitivo com as restantes alternativas motorizadas.

Custo de utilização por km

O veículo deverá ter um custo de utilização por km significativamente menor que o do automóvel, sendo semelhante ao custo de utilização por km dos veículos urbanos de pequena dimensão, como bicicletas elétricas, *Segways* e veículos urbanos de mobilidade.

O custo de utilização divide-se entre custos fixos, que não dependem do grau de utilização do veículo, e custos variáveis, que dependem do grau de utilização do veículo.

Os custos fixos são as taxas de propriedade, taxas de circulação e seguros. Este tipo de custos não está obrigatoriamente presente no veículo desenvolvido, já que nenhum destes requisitos é obrigatório segundo a regulamentação *EN-15194 e 16 CRF Part 1512*. Os custos fixos enunciados podem ser considerados nulos.

Os custos variáveis são a energia para locomoção, os custos de manutenção e os custos de substituição de componentes perecíveis a prazo, como pneus e pastilhas de travão.

A conformidade de especificações do veículo com as normas *EN-15194 e 16 CRF Parte 1512* garantem o cumprimento de custos equiparáveis aos custos de utilização de bicicletas e veículos de mobilidade elétricos, já que a maioria dos componentes é partilhável entre estes dois tipos de transporte.

Proteção climatérica do condutor

O veículo deverá garantir proteção do utilizador em relação aos elementos climatéricos adversos, nomeadamente pluviosidade.

A proteção deve ser parcial, ou seja, o utilizador não devesse estar totalmente isolado do ambiente exterior, e os elementos de proteção desmontáveis com facilidade, fazendo parte dos componentes modulares do veículo.

Número de ocupantes

O veículo deverá ter capacidade para um ocupante.

O acréscimo de capacidade do veículo não traria vantagens adicionais no atual contexto de utilização de transportes individuais onde apenas 1 em cada 5 veículos circulam com mais de 1 ocupante.

Compartimentos de transporte de objetos

O veículo deverá ter um compartimento de transporte impermeável, com as dimensões adequadas ao transporte de pequenas cargas pessoais do utilizador, como garrafas de água, cadernos, malas individuais, capacete, etc.

Este compartimento devesse ser desmontável com facilidade, fazendo parte dos componentes modulares do veículo.

Materiais utilizados no chassis

O chassis deve ser construído em alumínio 6061.

A utilização de alumínio permite uma boa robustez do conjunto, aliada a um baixo custo e baixo peso, sendo uma boa opção global relativamente a materiais mais baratos mas mais pesados como o aço, ou a materiais mais caros como o titânio, magnésio ou fibra de carbono.

Percentagem de utilização de componentes *standard*

A percentagem de componentes *standard*, entre todos os componentes não estruturais do veículo, não devesse ser inferior a 75%.

As áreas funcionais onde os componentes *standard* devem ser predominantes são as áreas mecânicas, nomeadamente os sistemas de transmissão, motorização, o sistema de travagem, o sistema de suspensão, e os acessórios de interface veículo-utilizador, como o selim, guiador, punhos, manetas e seletores.

Complexidade mecânica

Todo o veículo deve ser projetado de forma a utilizar o número mínimo de componentes desde que cumpram a função desejada.

Esta boa prática de projeto é particularmente importante para o projeto dos elementos e componentes móveis, como o sistema de transmissão, direção, travagem e suspensão, procurando evitar sistemas desnecessariamente complexos, que num contexto de utilização que não è a competição, mas sim o transporte em transito e lazer, não se justificam como vantagem competitiva.

Dimensões admissíveis para as rodas

O veículo devera ser capaz de integrar rodas com dimensões máximas de 20”x 2.10” (Diâmetro x largura do pneu).

Estas dimensões asseguram que a plataforma permanece compacta, ao mesmo tempo que mantém a capacidade de utilização desportiva em estrada e todo-terreno.

Dimensões máximas do veículo

As dimensões máximas do veículo não devem exceder os valores apresentados na seguinte tabela.

Tabela 5.123. Dimensões máximas do veículo.

Dimensão	Valor (mm)
Comprimento	1800
Largura	800
Altura	2000

A volumetria gerada por estas dimensões máximas garante que o veículo é competitivo face aos restantes meios de transporte urbano, sendo ágil devido às suas dimensões reduzidas e á consequente capacidade circular em ciclovias.

Raio mínimo de viragem

O raio de viragem é uma característica fundamental para a agilidade do veículo, e de especial importância para a sua manobrabilidade em meios urbanos congestionados.

Para este efeito, o veículo devera conseguir descrever uma trajetória sobre uma circunferência imaginaria com um raio de viragem de aproximadamente 2000mm.

Peso total do veículo

O veículo deverá ter um peso total, incluindo os acessórios modulares, entre 10 e 30kg. Este intervalo permite ao veículo ter um peso competitivo com as bicicletas e bicicletas elétricas.

Número de relações de transmissão

A tabela 5.14. apresenta o tamanho de roda admissível e o número de relações de transmissão de várias bicicletas típicas na sua área de utilização.

Tabela 5.134. – Relações de transmissão típicas em diferentes tipos de bicicletas

Área de utilização	Tamanho de roda (polegadas)	Número de relações de transmissão
Todo-terreno	24-29	9-30
Cidade	20-28	1-9
Estrada	28	18-20
Bicicletas elétricas	12-26	3-27
BMX	20	1

Considerando que o veículo tem roda com um diâmetro de 20”, um número mais pequeno que a média, e que a sua utilização se fará em cidade e todo terreno, deverá ter 9 relações de transmissão de forma a poder ser propulsionado com facilidade em variados tipos de terrenos e condições topográficas.

Propulsão não motorizada

O condutor do veículo poderá realizar atividades de condicionamento físico através da pedalada, de modo a impulsionar do veículo.

Para que o veículo obedeça aos requisitos da norma EN-15194, a assistência elétrica á pedalada até a um limite de 25km/h traduz-se numa percentagem variável de utilização da pedalada e do motor elétrico como fonte de impulsão do veículo até aos 25km/h, a partir dos quais a pedalada fornece 100% do impulso necessário ao movimento.

A propulsão tem desta forma de partir sempre do utilizador, com ou sem assistência elétrica, o que garante que o veículo seja uma plataforma para realização de exercício físico ao longo de toda a sua utilização.

Agrupando os pontos descritos acima, a especificações alvo encontram-se representadas na tabela seguinte.

Tabela 5.145. Especificações técnicas alvo.

Especificações técnicas alvo			
#	Especificação	Valor	Métrica
1	Elementos de iluminação	Farol dianteiro	Lista
2	Elementos de sinalização	Refletores: Traseira, Lateral Luzes: Traseira	Lista
3	Auxiliares de visão	Espelhos retrovisores	Lista
4	Travagem	Dianteira, Traseira; Disco	Lista
5	Número de rodas	3	#
6	Inclinação em curva	Sim	Binário
7	Posição quando imobilizado	Vertical	Lista
8	Posição de condução	Utilizador suportado por assento/selim	Lista
9	Disposição dos comandos	Alcance funcional	Lista
10	Assistência a pedalada	Sim (Em conformidade com EN 15194) Manual: Direção, travagem, troca de mudança e aceleração elétrica;	Binário
11	Operações de comando	Pedonal: Aceleração	Lista
12	Tempo necessário de contacto a movimento	<10	s
13	Necessita de licença para operar	Não	Binário
14	Ajustabilidade de altura do assento	603- 812	mm
15	Tamanhos de quadro elegíveis	460; 500; 540; 580.	mm
16	Curso vertical do sistema de amortecimento	>50	mm
17	Aspeto formal	Funcional e estético	Subj.
18	Modular	Sim	Binário
19	Tipo de motorização	Elétrica	Lista
20	Potência do motor	250	KW
21	Velocidade máxima motorizada	>25	Km/h
22	Autonomia de utilização motorizada	>50	Km
23	Custo de aquisição	<2000	€
24	Custo de utilização por km	Baixo	Subj.
25	Proteção climatérica do condutor	Parcial	Lista
26	Número de ocupantes	1	#
27	Compartimentos para transporte de objetos	Compartimento impermeável	Lista
28	Material utilizado no chassis	Alumínio 6061	Lista
29	Percentagem de utilização de componentes <i>standard</i>	> 75%	Subj.
30	Complexidade mecânica	Reduzida	Subj.
31	Dimensões admissíveis para as rodas	20"	Lista
32	Dimensões máximas do veículo (C=comprimento; L=largura; A=Altura)	C <1800 L <800 A <2000	Mm x mm x mm
33	Raio mínimo de viragem	Aproximadamente 2000	mm
34	Peso total do veículo (p)	$10 \leq p \leq 30$	kg
35	Número de relações (r) de transmissão	9	#
36	Propulsão não motorizada	Pedalada	Lista

CAPÍTULO 6

6. Desenvolvimento concetual

O desenvolvimento concetual do produto é a fase do projeto onde são analisadas várias hipóteses alternativas de solução que existem, até a definição do conceito final para o produto.

Estas propostas de solução são denominados conceitos, e são desenvolvidas pelo projetista com o objetivo de conseguir satisfazer as características requeridas para o produto, dentro do âmbito limitado das especificações alvo. As referidas hipóteses são as variáveis de forma e configuração do produto e de combinações de elementos ou componentes.

O desenvolvimento concetual segue as seguintes fases principais:

1. Geração de conceitos para subsistemas do produto
2. Geração de conceitos de produto
3. Seleção do conceito final

Em cada etapa serão reduzidas o número de hipóteses de solução, partindo de um grande número de opções com variados níveis qualitativos, até chegar á melhor solução possível.

6.1. Análise morfológica

A análise morfológica é um processo criativo que visa encontrar o maior número de hipóteses de solução possíveis para satisfazer as características principais do produto. Sendo assim, em primeiro lugar é necessário enunciar as principais características do produto, e em segundo lugar elaborar o quadro morfológico para a exploração de soluções alternativas.

A análise morfológica é realizada focando-se nas características fundamentais do produto, i.e., incluindo apenas os aspetos estritamente necessários, deixando de fora aspetos opcionais e de menor importância

Na tabela seguinte estão enumeradas as principais áreas de atuação para o desenvolvimento de soluções.

Tabela 6.1. Subsistemas do produto

Subsistemas do produto
Posição de condução
Travagem
Locomoção motorizada
Locomoção não motorizada
Transmissão
Direção
Amortecimento de vibrações
Proteção climatérica
Configuração do chassis
Plataforma para realização de exercício

O primeiro passo na análise morfológica é a criação de um quadro que liste as diferentes possibilidades de soluções para as características principais do produto. O quadro de análise morfológica pode ser consultado no anexo 2

A quantidade de soluções alternativas presentes nos quadros de análise morfológica podem tornar a geração de conceitos de produto ingerível, caso estas hipóteses de solução não sejam de alguma forma triadas.

Para esse efeito, procede-se a uma análise por subsistema das várias soluções apresentadas, para que se destaquem as melhores hipóteses de solução por subsistema e se identifiquem incompatibilidades existentes. Este processo agiliza a geração de conceitos de produto.

6.1.1. Posição de condução

Existem vários tipos de posição de condução para veículos de pequena dimensão passíveis de seleção. A tabela seguinte ilustra as principais e as suas vantagens e desvantagens.

Tabela 6.2. Tipos, vantagens e desvantagens de posição de condução alternativas.

Tipo de posição de condução	Vantagens	Desvantagens
Sentado com membros posteriores na vertical	Elevada visibilidade; Base estável para utilização muscular; Base estável para condução desportiva.	Cansativa em distâncias de viagem longas;
Sentado com membros posteriores na horizontal	Posição aerodinâmica; Posição menos cansativa.	<i>Trade-off</i> visibilidade – estabilidade; Não permite uma condução estável em terrenos acidentados;
Em pé	Permite um grau de visibilidade elevado;	Cansativa em distâncias de viagem longas; Estabilidade reduzida; Base pouco estável para propulsão com os membros posteriores;
Deitado para trás	Posição pouco cansativa; Posição aerodinâmica;	Reduzido nível de visibilidade em todas as situações; Perigo elevado em caso de embate traseiro; Dificuldade elevada na entrada e saída do veículo.
Deitado para frente	Posição aerodinâmica; Permite utilizar os membros anteriores para absorção de vibrações;	Posição cansativa para os membros anteriores e pescoço; Perigo levado em caso de embate frontal; Dificuldade elevada na entrada e saída do veículo. Não favorece a propulsão com os membros posteriores;

Tendo em conta critérios de segurança e facilidade de uso, procedeu-se á seleção da posição de condução ideal, realizada na tabela seguinte.

Tabela 6.3.Matriz de decisão para seleção de posição de condução.

Matriz de decisão - posição de condução											
Posição de condução	Peso (%)	Sentado com membros posteriores na vertical		Sentado com membros posteriores na horizontal		Em pé		Deitado para trás		Deitado para frente	
		T	P	T	P	T	P	T	P	T	P
Visibilidade	30	4	1.2	1	0.3	4	1.2	1	0.3	1	0.3
Estabilidade em superfícies acidentadas	20	4	0.8	2	0.4	2	0.4	3	0.6	3	0.6
Segurança em caso de embate	10	3	0.3	2	0.2	2	0.2	3	0.3	3	0.3
Base estável de apoio à pedalada	30	4	1.2	3	0.9	1	0.3	2	0.6	2	0.6
Fácil entrada e saída do condutor	10	3	0.3	2	0.2	4	0.4	1	0.1	1	0.1
Total (ponderado)		3.8		2		2.5		1.9		1.9	
Continuar conceito?		Sim		Não		Não		Não		Não	
Legenda	4 – Fortemente positiva; 3- Medianamente positiva; 2 – Medianamente negativa; 1- Fortemente negativa. T-total, P-Ponderado										

Da tabela anterior pode concluir-se que a posição sentada com as pernas para baixo, semelhante á das bicicletas convencionais, é a melhor opção a nível geral, para um veículo que se quer utilitário e desportivo, permitindo um elevado grau de visibilidade, estabilidade e sendo uma base de potência para variados tipos de utilização.

6.1.2. Travagem

Existem várias soluções para a travagem do veículo, como pode ser observado na seguinte tabela.

Tabela 6.4. Tipos, vantagens e desvantagens de sistemas de travagem alternativos.

Tipo de travão	Vantagens	Desvantagens
Fricção	<p>De cubo</p> <p>Boa modulação de força de travagem Sistema selado; Robustez mecânica; Necessita de pouca manutenção; Baixo custo de aquisição.</p>	<p>Potência de travagem média/reduzida;</p>
	<p>V-brake</p> <p>Boa potência de travagem; Manutenção simples; Baixo custo de aquisição.</p>	<p>Funcionamento sujeito ao bom estado do aro; Perde a capacidade de travagem em caso de sujidade ou presença de água no aro; Podem sobreaquecer em caso de travagem prolongada, danificando o travão, o aro e o pneu.</p>
	<p>Hidráulicos de calço</p> <p>Elevada potência de travagem; Boa modulação de força de travagem;</p>	<p>Elevado custo de aquisição; Elevado peso; Funcionamento sujeito ao bom estado do aro; Perde a capacidade de travagem em caso de sujidade ou presença de água no aro; Podem sobreaquecer em caso de travagem prolongada, danificando o travão, o aro e o pneu.</p>
	<p>Disco de acionamento mecânico</p> <p>Potência de travagem muito elevada; Elevada modulação de força de travagem; Funcionam sob quaisquer condições se sujidade ou humidade; Baixo risco de sobreaquecimento; Manutenção simples;</p>	<p>Custo de aquisição elevado;</p>
	<p>Disco de acionamento elétrico</p> <p>Elevada modulação da força de travagem; Potência de travagem muito elevada; Funcionam sob quaisquer condições se sujidade ou humidade;</p>	<p>Custo de aquisição elevado; Dependente de energia elétrica;</p>
<p>Eletromagnético</p>	<p>Elevada modulação da força de travagem; Potência de travagem muito elevada; Dimensão reduzida; Funcionam sob quaisquer condições se sujidade ou humidade;</p>	<p>Custo de aquisição elevado; Dependente de energia elétrica;</p>

Ponderando as características de segurança fornecidas pelos sistemas de travões acima propostos, e o tipo de utilização do veículo, que se pretende multifuncional, servindo tanto para trânsito como para atividades desportivas em ambiente rural ou urbano, procedeu-se á seleção do sistema mais indicado, com base na tabela 6.5.

Tabela 6.5. Matriz de decisão para seleção do tipo de sistema de travagem

Matriz de decisão - Travões													
Tipo de travão	Peso (%)	Cubo		V-brake		Hidráulico de calço		Disco de acionamento mecânico		Disco de acionamento elétrico		Eletromagnético	
		T	P	T	P	T	P	T	P	T	P	T	P
Potência de travagem	25	1	0.25	2	0.5	3	0.75	4	1	4	1	4	1
Modulação da força de travagem	25	3	0.75	2	0.5	4	1	4	1	4	1	4	1
Consistência da travagem em uso prolongado	25	2	0.5	2	0.5	1	0.25	4	1	4	1	4	1
Consistência da travagem em condições climatéricas adversas	25	4	1	2	0.5	2	0.5	4	1	4	1	4	1
Opera em caso de falha elétrica (Passa/Falha)		P		P		P		P		F		F	
Total (ponderado)		2.5		2		2.5		4		-		-	
Continuar conceito?		Não		Não		Não		Sim		Não		Não	
Legenda	4 – Fortemente positiva; 3- Medianamente positiva; 2 – Medianamente negativa; 1- Fortemente negativa. T-total, P-Ponderado												

A melhor opção é o sistema de travagem de disco, sendo o sistema com melhor pontuação em todos os critérios.

6.1.3. Locomoção motorizada

Existem vários tipos de motores para propulsão de bicicletas, sendo os mais comuns apresentados na seguinte tabela.

Tabela 6.6. Tipos, vantagens e desvantagens de sistemas de motorização alternativos.

Tipo de motor	Vantagens	Desvantagens
Cubo	Baixo custo; Não requer esforço de pedalada para fornecimento de potência;	Pode partir o apoio do motor no caso de a escora não ser própria para esta aplicação; Necessita de mais tempo para desmontar e montar a roda; O motor é dependente da roda, e não da bicicleta. Não permite a multiplicação de força por via de mudanças externas.
Unidade motora	Permite a multiplicação da força por via de existência de mudanças; Pode ser adaptado posteriormente a uma elevada gama de quadros; Não requer esforço de pedalada para fornecimento de potência;	Necessita de adaptações ao sistema de transmissão principal ou de uma corrente secundária;
Unidade de fricção	Elevada potência; Simplicidade mecânica; Não requer esforço de pedalada para fornecimento de potência;	Desgasta o pneu; Apenas adaptável a pneus sem cardado; Não funciona quando o pneu está húmido/sujo de terra; Posicionamento lateral na bicicleta;
Na unidade pedaleira	Permite a multiplicação da força no caso de existência de mudanças; Permite manter o centro de massa da bicicleta centralizada;	Necessita de um quadro próprio para instalação; Apenas exerce força quando o utilizador pedala;

As várias alternativas encontram-se avaliadas na tabela 6.7. Os critérios prendem-se com a potência mínima realizável pelos vários tipos de motores, a complexidade mecânica que inerente ao sistema, e pela possibilidade de utilização dos rácios de transmissão externos ao motor, como fator vantajoso em topografias desniveladas típicas da utilização todo-terreno.

Tabela 6.7. Matriz de decisão para seleção do tipo de sistema de motorização

Matriz de decisão – unidade motora									
Sistema de motorização	Peso (%)	Cubo		Unidade motora		Unidade de fricção		Na unidade pedaleira	
Desempenho (mínimo 250W)	10	4	0.4	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Complexidade mecânica	20	4	0.8	3	0.6	4	0.8	4	0.8
Vantagem mecânica por meio de mudanças externas ao motor	50	1	0.5	4	2	1	0.5	4	2
Viabilidade para utilização todo-terreno	20	3	0.6	4	0.8	1	0.2	4	0.8
Total (ponderado)		2.3		3.8		1.9		4	
Continuar conceito?		Não		Não		Não		Sim	
Legenda	4 – Fortemente positiva; 3- Medianamente positiva; 2 – Medianamente negativa; 1- Fortemente negativa. T-total, P-Ponderado								

É possível observar que a melhor solução é o motor na unidade pedaleira.

6.1.4. Locomoção não motorizada

A locomoção não motorizada, muscular, pode ser realizada de diversas formas. Na tabela 6.8. são analisadas as vantagens e desvantagens de cada alternativa.

Tabela 6.8. Tipos, vantagens e desvantagens de sistemas de locomoção não motorizada alternativos.

Tipo de locomoção não motorizada	Vantagens	Desvantagens
Pedais para membros posteriores	Maior potencial para desenvolvimento de potência; Permite a utilização de sistemas de transmissão com multiplicação de força; Permite movimento de propulsão contínuo;	-
Alavancas para membros anteriores	Permite a utilização de sistemas de transmissão com multiplicação de força; Permite movimento de propulsão contínuo;	Menor potencial para desenvolvimento de potência quando comparado com a utilização de pedais;
Propulsão posterior linear	Não utiliza componentes para propulsão do veículo;	Provoca o cansaço rapidamente; Não permite multiplicação de força; Não permite propulsão velocidades superiores às que o utilizador consegue imprimir no movimento dos seus membros anteriores;
Propulsão posterior oscilatória (vertical ou horizontal/lateral)	-	Movimento oscilatório è inerentemente instável; Provoca o cansaço rapidamente.

Os vários sistemas de locomoção são avaliados na tabela seguinte.

Tabela 6.9. Matriz de decisão para seleção do tipo de sistema de locomoção não motorizada.

Matriz de decisão - sistema de locomoção não motorizada									
Sistema de motorização	Peso (%)	Pedais para membros posteriores		Alavancas para membros anteriores		Propulsão posterior linear		Propulsão posterior oscilatória (vertical ou horizontal/lateral)	
		T	P	T	P	T	P	T	P
Potencial para desenvolvimento de potência	35	4	1.4	3	1.05	2	0.7	1	0.35
Simplicidade mecânica do sistema de transmissão associada	20	3	0.6	3	0.6	4	0.8	3	0.6
Esforço muscular requerido para manutenção de velocidade	35	4	1.4	3	1.05	2	0.7	1	0.35
Estabilidade do veículo durante movimento de propulsão	10	4	0.4	4	0.4	3	0.3	2	0.2
Total (ponderado)		3.8		3.1		2.5		1.5	
Continuar conceito?		Sim		Não		Não		Não	
Legenda	4 – Fortemente positiva; 3- Medianamente positiva; 2 – Medianamente negativa; 1- Fortemente negativa. T-total, P-Ponderado								

É possível observar que a melhor solução para a locomoção não motorizada é através da utilização de pedais. Esta escolha permite a uma maior potência muscular, conseguida através da utilização dos membros posteriores, a compatibilidade com sistemas de multiplicação de potência, uma facilitada manutenção do esforço de impulsão através do movimento rotativo dos pedais e um esforço de propulsão estável, apenas similar no caso da utilização de alavancas para os membros posteriores.

6.1.5. Amortecimento

O amortecimento de impactos e vibrações pode ser realizado a partir das soluções presentes na tabela seguinte.

Tabela 6.10. Tipo, vantagens e desvantagens de sistemas de amortecimento.

Tipo de sistema de amortecimento.	Vantagens	Desvantagens
Selim sobredimensionado com amortecimento	Boa distribuição do peso do condutor;	Pouco adequado para utilizações fora do âmbito de lazer; Desconfortável se usado durante longos períodos de tempo; Peso elevado; Menor capacidade de amortecimento relativamente às restantes hipóteses.
Espigão com amortecimento	Sistema de amortecimento de baixo custo; Aumenta o conforto;	Interfere com a eficiência da pedalada, ao variar constantemente a distância do assento ao eixo pedaleiro.
Sistema de suspensão	Melhor capacidade de absorção de vibrações e impactos; Cursos de amortecimento variados (tipicamente 30-200mm).	Maior complexidade mecânica; Peso mais elevado que nas restantes opções.

Tendo em conta critérios de conforto, procedeu-se á avaliação das várias soluções, realizada na tabela seguinte.

Tabela 6.11. Matriz de decisão para seleção de sistema de amortecimento.

Matriz de decisão - sistema de amortecimento							
Sistema de amortecimento	Peso (%)	Selim sobredimensionado com amortecimento		Espigão com amortecimento		Sistema de suspensão	
		T	P	T	P	T	P
Capacidade de redução de vibrações	0.5	3	1.5	3	1.5	4	2
Capacidade de absorção de impactos	0.5	2	1	3	1.5	4	2
Total (Ponderado)		2.5		3		4	
Continuar conceito?		Não		Não		Sim	
Legenda	4 – Fortemente positiva; 3- Medianamente positiva; 2 – Medianamente negativa; 1- Fortemente negativa. T-total, P-Ponderado						

O sistema de suspensão é a melhor opção para o amortecimento de vibrações e impactos, presentes na circulação em qualquer tipo de superfície.

Também é de notar que o assento sobredimensionado poderia ser usado em conjunto com a suspensão, mas dado que a suspensão existe, aliado os diferentes perfis de utilização do veículo, optou-se por utilizar um assento de dimensões médias, sendo a suspensão o componente responsável pelo amortecimento de vibrações e impactos.

6.1.6. Proteção climatérica.

Para assegurar a proteção climatérica parcial do veículo, podem ser utilizadas varias configurações de telas acrílicas. As suas vantagens e desvantagens encontram-se dispostas na tabela seguinte.

Tabela 6.12.Tipos, vantagens e desvantagens de configurações alternativas para a proteção climatérica.

Proteção climatérica	Vantagens	Desvantagens
Dianteira	Baixo peso; Apenas necessita de um ponto de apoio no veículo; Facilmente montável/desmontável.	Proteção climatérica mínima; Proteção contra projeção de objetos externos ao veículo mínima.
Dianteira e superior	Protege o utilizador de chuva e outras partículas com trajetória vertical; Protege o utilizador de objetos projetados contra o veículo.	Se não tiver ponto de apoio na traseira, está sujeito a vibração com grandes amplitudes.
Dianteira, superior e traseira	Protege o utilizador de chuva e outras partículas com trajetória não lateral; Elevada rigidez estrutural; Protege o utilizador de objetos projetados contra o veículo.	Peso elevado;

A avaliação de alternativas é ilustrada na tabela seguinte.

Tabela 6.13. Matriz de decisão para seleção da configuração da proteção climatérica.

Matriz de decisão - sistema de proteção climatérica							
Proteção climatérica	Peso (%)	Dianteira		Dianteira e superior		Dianteira, superior e traseira	
		T	P	T	P	T	P
Grau de proteção climatérica conferido	70	2	1.4	3	2.1	4	2.8
Grau de segurança adicional conferido	30	2	0.6	3	0.9	4	1.2
Total (ponderado)		2		3		4	
Continuar conceito?		Não		Sim		Não	
Legenda	4 – Fortemente positiva; 3- Medianamente positiva; 2 – Medianamente negativa; 1- Fortemente negativa. T-total, P-Ponderado						

A estrutura que cobre a parte superior e dianteira pode ser considerada para o desenvolvimento de modelos conceptuais do produto, já que as suas desvantagens em relação á cobertura total não são significativas, enquanto a vantagem de proteção de topo é bastante significativa em relação á proteção apenas frontal.

Esta estrutura de proteção faz parte dos componentes modulares do veículo. Quando o utilizador pretender fazer uma utilização do veículo para a prática de atividades de

lazer/atividades desportivas pode retirar a proteção caso assim deseje, tornando o veículo mais leve e dinâmico.

Para a circulação urbana o peso adicional da proteção é compensado pela assistência elétrica á pedalada, e pela capacidade de circulação em situações de queda de chuva, um dos grandes detratores da aceitação de veículos sem proteção climatérica integral.

6.1.7. Configuração do chassis

A partir da especificação de 3 rodas para o veículo, é possível obter diferentes configurações para a sua disposição no veículo. Na tabela 6.14 são analisadas as configurações possíveis.

Tabela 6.14. Tipos, vantagens e desvantagens de configurações alternativas do chassis.

Configuração	Vantagens	Desvantagens
Duas rodas dianteiras, uma roda traseira, simétricas	Elevada estabilidade dinâmica; Elevada estabilidade durante a travagem;	-
Uma roda dianteira, duas rodas traseiras simétricas	-	Menor estabilidade dinâmica em curva; Estabilidade reduzida durante a travagem;
Uma roda dianteira, duas rodas traseiras assimétricas	Permite uma melhor utilização de espaço transversal no veículo;	Estabilidade dinâmica unidirecional; Maior largura do veículo.

A estabilidade e a largura máxima do veículo são dois critérios muito importantes para a escolha da configuração final, uma vez que o veículo terá de circular em ambientes congestionados, topografias e superfícies variadas e também ter a capacidade de circular em ciclovias. Na tabela 6.15. são avaliadas as três configurações acima referidas.

Tabela 6.15. Matriz de decisão para seleção de configuração do chassis

Matriz de decisão – Configuração do chassis							
Configuração do chassis	Peso (%)	Duas rodas dianteiras, uma roda traseira, simétricas		Uma roda dianteira, duas rodas traseiras simétricas		Uma roda dianteira, duas rodas traseiras assimétricas	
		T	P	T	P	T	P
Estabilidade dinâmica	80	4	3.2	2	1.6	2	1.6
Dimensões máximas	20	4	0.8	4	0.8	2	0.4
Total (ponderado)		4		3		2	
Continuar conceito?		Sim		Não		Não	
Legenda	4 – Fortemente positiva; 3- Medianamente positiva; 2 – Medianamente negativa; 1- Fortemente negativa. T-total, P-Ponderado						

A melhor solução é adotar a configuração de duas rodas dianteiras e uma roda traseira, proporcionando o mais elevado nível de estabilidade dinâmica. Esta configuração de

duas rodas dianteiras e uma traseira também é facilmente dimensionada para que o veículo seja compacto.

6.1.8. Direção

Existem várias possibilidades para o sistema de direção do veículo. Na seguinte tabela apresentam-se as várias opções consideradas.

Tabela 6.16. Tipos, vantagens e desvantagens de sistemas de direção alternativos.

Direção	Vantagens	Desvantagens
Dianteira	Sistema com a maior estabilidade dinâmica; Permite uma atuação sobre a trajetória do veículo mais intuitiva.	Capacidade de manobra média;
Traseira	Elevada capacidade de manobra;	Elevada instabilidade dinâmica a qualquer velocidade; Atuação sobre a trajetória do veículo pouco intuitiva;
Integral	Elevada capacidade de manobra;	Elevada instabilidade a velocidades moderadas/elevadas; Complexidade mecânica;
Chassis articulado	Simplicidade mecânica; Elevada capacidade de manobra.	Elevada instabilidade a velocidades moderadas/elevadas;

Os principais aspetos que um sistema de direção deve providenciar a um veículo são a fácil manobra e posicionamento do veículo na trajetória desejada pelo utilizador, a qualquer nível de velocidade, e a garantia de estabilidade dinâmica do veículo durante a atuação de condução do condutor, independentemente do nível de perícia do mesmo. O sistema de direção também deve ser de fácil adaptação à configuração de chassis ideal, anteriormente selecionada.

Considerando estes três critérios, procedeu-se á avaliação dos sistemas de direção alternativos, realizada na tabela seguinte.

Tabela 6.17. Matriz de decisão para seleção de sistema de direção.

Matriz de decisão – sistema de direção									
Direção	Peso (%)	Dianteira		Traseira		Integral		Chassis articulado	
		T	P	T	P	T	P	T	P
Facilidade de operação	40	4	1.6	1	0.4	2	0.8	2	0.8
Estabilidade dinâmica conferida ao veículo	40	4	1.6	1	0.4	3	1.2	3	1.2
Complexidade mecânica	20	4	0.8	3	0.6	1	0.2	3	0.6
Total (ponderado)		4		1.4		2.2		2.6	
Continuar conceito?		Sim		Não		Não		Não	
Legenda	4 – Fortemente positiva; 3- Medianamente positiva; 2 – Medianamente negativa; 1- Fortemente negativa. T-total, P-Ponderado								

A melhor solução é a adoção de um sistema de direção que atua no eixo dianteiro.

6.1.9. Transmissão de potência

Na tabela 6.18 são analisadas as vantagens e desvantagens de cada alternativa, tendo em conta a configuração de chassis escolhida.

Tabela 6.18. Tipos, vantagens e desvantagens modos de transmissão de potência alternativos.

Transmissão de potência	Vantagens	Desvantagens
Dianteira	-	Sobrecarga de utilização dos pneus dianteiros; Reduzida aderência em situações de aceleração; Necessita de diferencial mecânico;
Traseira	Capacidade para transmissão de potência elevada em situações de aceleração; Capacidade para transmissão de potência elevada em qualquer inclinação topográfica; Desgaste de pneus equilibrado; Simplicidade mecânica.	-
Integral	Elevada capacidade de transmissão de potência em quaisquer condições de piso; Elevada tolerância a erros de condução	Peso elevado do sistema de transmissão; Menor eficiência mecânica que os restantes;
Distribuída	Elevada capacidade de transmissão de potência em quaisquer condições de piso; Elevada aptidão dinâmica/desportiva.	Necessita de um mecanismo diferencial entre a potência transmitida no eixo que tem duas rodas;

A avaliação dos sistemas de transmissão de potência encontra-se na tabela seguinte.

Tabela 6.19. Matriz de decisão para seleção de sistema de transmissão de potência.

Matriz de decisão – sistema de transmissão de potência									
Transmissão de potência	Peso (%)	Dianteira		Traseira		Integral		Distribuída	
		T	P	T	P	T	P	T	P
Capacidade de transmissão de potência em aceleração	50	3	1.5	4	2	4	2	4	2
Complexidade do sistema	50	2	1	4	2	1	0.5	3	0.75
Total (ponderado)		2.5		4		2.5		2.75	
Continuar conceito?		Não		Sim		Não		Não	
Legenda	4 – Fortemente positiva; 3- Medianamente positiva; 2 – Medianamente negativa; 1- Fortemente negativa. T-total, P-Ponderado								

Pode ser visto que a solução de transmissão traseira é a melhor solução conceptual para este subsistema.

Após a avaliação anterior, é possível agrupar as soluções para os subsistemas do produto. A tabela seguinte ilustra as referidas soluções por subsistema para a geração de conceito de produto.

Tabela 6.20. Soluções admissíveis para subsistemas do produto final

Soluções para subsistemas do produto	
Subsistema	Soluções elegíveis
Posição de condução	Sentado com membros posteriores na vertical.
Travagem	Disco de acionamento mecânico.
Locomoção motorizada	Na unidade pedaleira; unidade motora.
Locomoção não motorizada	Pedais para membros posteriores.
Sistema de amortecimento	Sistema de suspensão.
Proteção climatérica	Dianteira, superior e traseira; dianteira e superior.
Configuração do chassis	Duas rodas dianteiras, uma roda traseira, simétricas.
Direção	Dianteira.
Transmissão de potência	Traseira.

É também de notar que não existem incompatibilidades entre as soluções para os vários subsistemas, o que significa que o produto final pode ser desenvolvido com base em todas as soluções elegíveis acima dispostas.

6.2. Geração de conceitos

De acordo com as soluções elegíveis para os subsistemas do produto, foram desenvolvidas os conceitos de produto representados na figura seguinte.

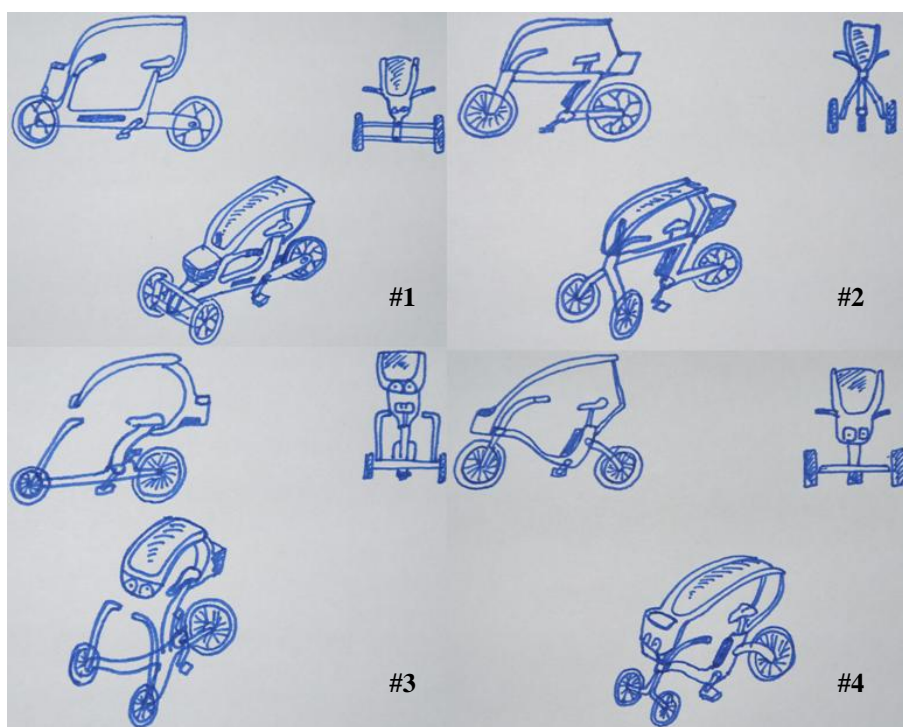


Figura 6.1. Geração de conceitos para o produto.

Estes conceitos podem agora ser avaliados, com vista à seleção de um único conceito de produto, para uma análise mais detalhada. A seleção do conceito de produto é realizada na tabela seguinte.

Tabela 6.21. Seleção de conceito de produto

Matriz de decisão – Conceito de produto									
Conceito de produto	Peso (%)	Conceito 1		Conceito 2		Conceito 3		Conceito 4	
		T	P	T	P	T	P	T	P
Aspeto formal	20	4	0.8	3	0.6	3	0.6	2	0.4
Ergonómico	20	4	0.8	2	0.4	3	0.6	4	0.8
Integração de subsistemas selecionados	10	4	0.4	3	0.3	3	0.3	3	0.3
Fácil de operar	10	4	0.4	4	0.4	3	0.3	4	0.4
Utilização de componentes <i>standard</i>	10	3	0.3	4	0.4	2	0.2	4	0.4
Conceito inovador	10	3	0.3	3	0.3	4	0.4	3	0.3
Circulação em vários tipos de pavimento	10	3	0.3	4	0.3	2	0.2	4	0.4
Seguro em caso de embate	10	4	0.4	3	0.3	2	0.2	4	0.4
Total (ponderado)		3.7		3.0		3.0		3.4	
Continuar conceito?		Sim		Não		Não		Não	
Legenda	4 – Fortemente positiva; 3- Medianamente positiva; 2 – Medianamente negativa; 1- Fortemente negativa. T-total, P-Ponderado								

O conceito para o produto, assim como os seus subsistemas, devem agora ser integrados numa solução final, que se baseará no escolhido na tabela 6.21 e que integrará todos os subsistemas considerados neste capítulo.

CAPÍTULO 7

7. Solução Final

Neste capítulo irá ser apresentada a solução final do produto de mobilidade.

7.1.Integração de subsistemas de produto

Tendo definido o conceito para o produto final, torna-se necessário incorporar todos os subsistemas definidos na fase de desenvolvimento concetual.

7.1.1. Posição de condução

A posição sentada, de membros posteriores na vertical é conseguida através das posições relativas entre a pedaleira e o assento. De acordo com as indicações geométricas para bicicletas, o tubo do selim tem 72° de inclinação, estando alinhado inferiormente com o centro de rotação da pedaleira, como se pode ver na figura 7.1., e superiormente com o selim, garantindo a posição de condução desejada.



Figura 7.1. Posição de condução.

7.1.2. Ajustabilidade do assento

Para obedecer aos aspetos ergonómicos da posição de condução, o assento é ajustável entre 603 e 812mm, medidos entre o topo do selim e o eixo da pedaleira, definido nas especificações do veículo. Este intervalo de ajustabilidade pode ser vista na seguinte figura.

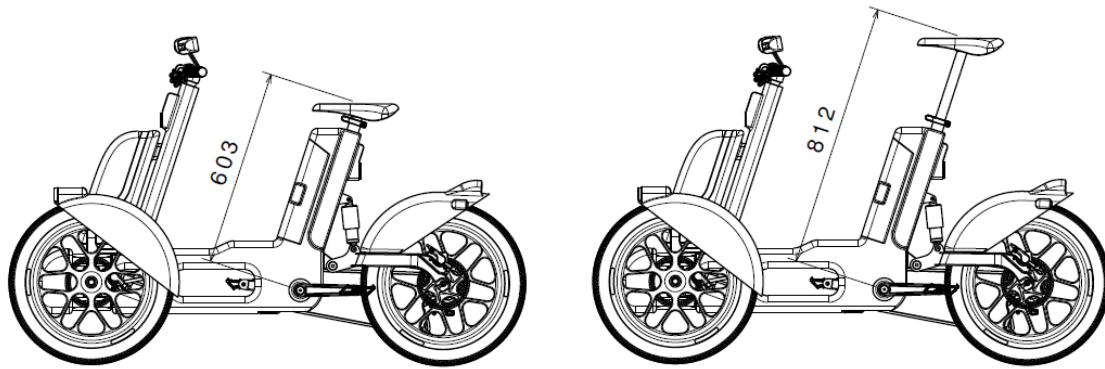


Figura 7.2. Intervalo de ajustabilidade do assento

Este intervalo de ajustabilidade será conseguido mediante a utilização de dois espigões diferentes, afetos aos tamanhos de quadro S e M, com um comprimento de 200mm, e aos quadros de tamanho ML e L, com 300mm de comprimento.

Este facto deve-se á necessidade de garantir pelo menos 100mm de inserção do espigão no tubo respetivo do quadro, no contexto de uma variação dimensional muito elevada, que não necessita de ser abrangida por todos os tamanhos de quadro.

Os espigões *standard* de bicicleta têm comprimentos na ordem dos 400mm, podendo facilmente ser cortados para adaptação a este veículo.

7.1.3. Tamanho do quadro

O tamanho de quadro selecionado como exemplo foi o tamanho médio, M, com um tubo superior com 500mm de comprimento, como se pode ver na figura seguinte.

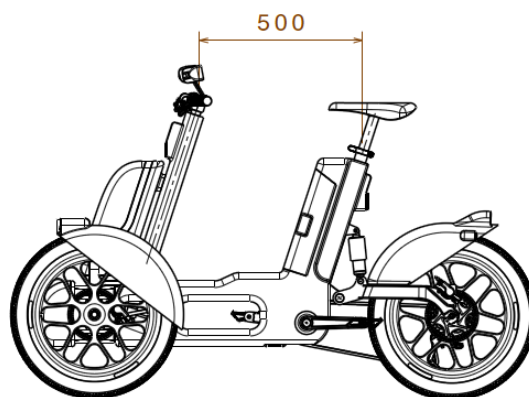


Figura 7.3. Tamanho de quadro

7.1.4. Travagem

A seleção para o sistema de travagem foi o travão de disco. Cumprindo as normas de segurança para bicicletas europeias e norte americanas, o veículo foi dotado de um travão de disco em cada roda, como se pode ver na figura seguinte.

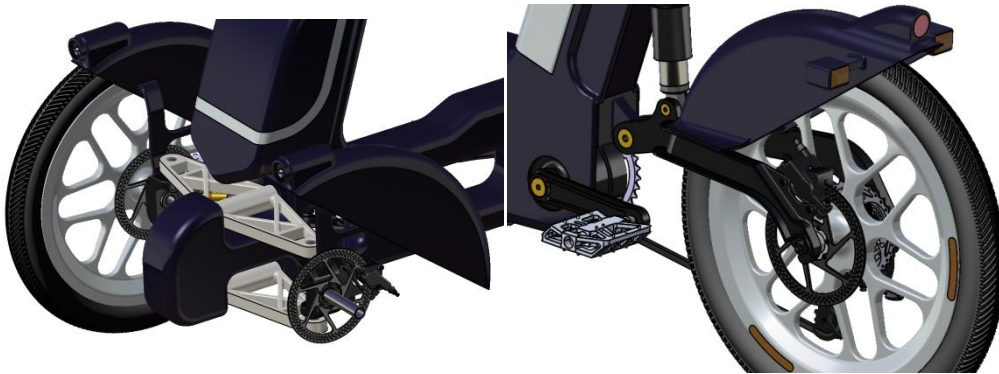


Figura 7.4. Travões de disco.

O sistema de travagem é composto por 3 travões de disco, dois no eixo dianteiro e um no eixo traseiro, e duas manetes acopladas ao guiador, a manete direita para atuação do travão traseiro, e a manete esquerda para atuação conjunta dos dois travões dianteiros, representadas na figura seguinte.

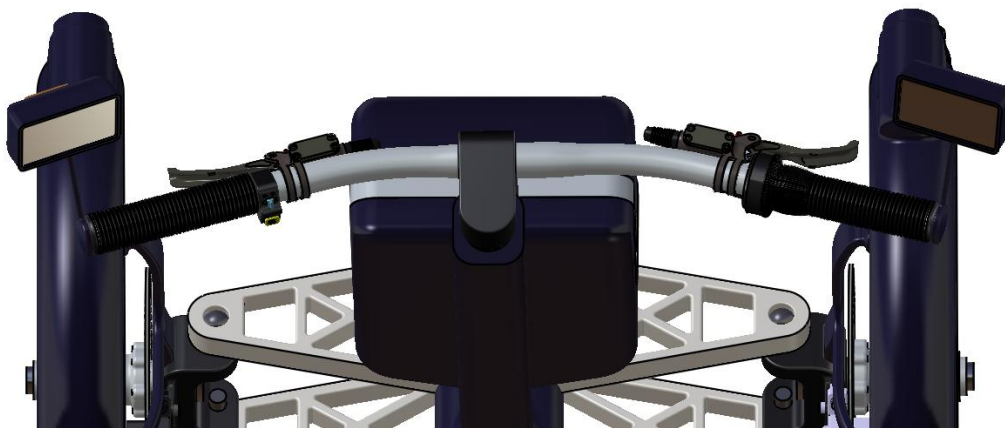


Figura 7.5. Guiador com manetes de travagem.

7.1.5. Locomoção motorizada

A locomoção motorizada é assegurada por um motor elétrico que atua no eixo pedaleiro. Para este efeito, o quadro tem de ser construído com uma geometria indicada á adaptação do motor, garantindo o espaço para a sua colocação e o seu suporte, como

pode ser visto na Figura 7.6., sendo essa a diferença principal entre a aplicação deste motor e a aplicação de outro sistema de motorização.

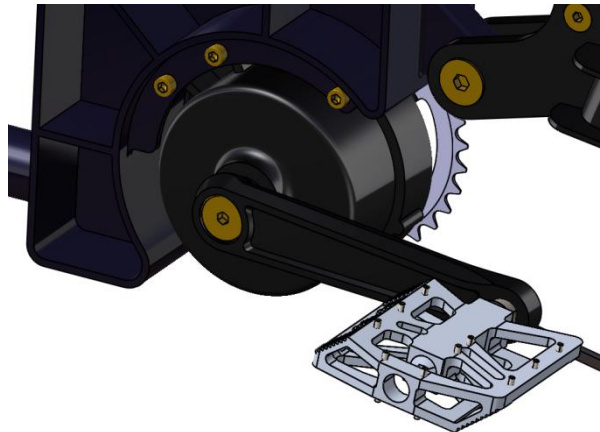


Figura 7.6. Motor com atuação no eixo pedaleiro.

Para além do motor, o veículo possui um controlador de potência e uma bateria removível, colocados paralelamente ao tubo do selim, no conjunto representado na Figura 7.7. Esta configuração permite a fácil remoção da bateria, e a ocupação de espaço sem interferência com as restantes funções do veículo.



Figura 7.7. Bateria colocada e removida do suporte.

7.1.6. Locomoção não motorizada

A locomoção não motorizada é conseguida por via pelo movimento de pedalada dos membros posteriores, á semelhança do modo como esta locomoção é conseguida numa bicicleta comum, Figura 7.8.



Figura 7.8. Locomoção não motorizada por via de pedalada

7.1.7. Transmissão

A transmissão de potência, provinda da unidade motora e da pedalada, é feita por via de um sistema de transmissão por corrente. Este sistema permite 9 rácios de velocidade, para que a força tanto do motor elétrico como do utilizador possam ser multiplicadas, facilitando a obtenção de um bom desempenho em vários perfis de velocidades e condições topográficas.

A transmissão é composta por uma cremalheira na pedaleira, um carreto de 9 rácios no cubo da roda traseira, um desviador para a troca de mudanças, uma corrente para a transmissão de potência, e um seletor do tipo *Gripshift* acoplado ao guidador, junto ao punho direito, como está representado na seguinte figura.

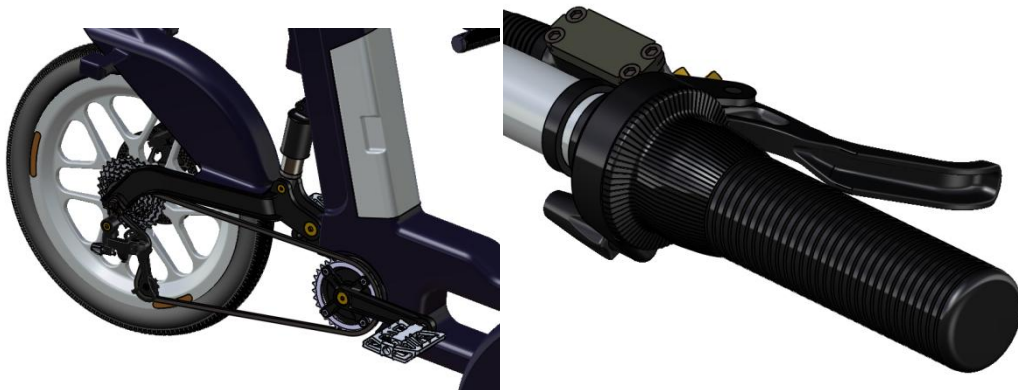


Figura 7.9. Sistema de transmissão

7.1.8. Direção

A direção do veículo é realizada a partir de dois movimentos principais, em torno de um eixo horizontal e outro em torno de um eixo vertical, como mostra a figura seguinte.



Figura 7.10. Veículo em curva

As rodas do veículo viram para a esquerda e direita num ângulo total de 60° e a inclinação permitida ao veículo são no total 40° . Com esta configuração, o raio de viragem é de 2145mm.

7.1.9. Amortecimento de vibrações

O veículo está equipado com um sistema de amortecimento hidropneumático no eixo traseiro, representado na figura seguinte.



Figura 7.11. Sistema de amortecimento de vibrações

Este sistema permite um curso vertical da roda de aproximadamente 100mm, como pode ser visto na figura 7.12, um curso apropriado para utilização em todo-terreno.

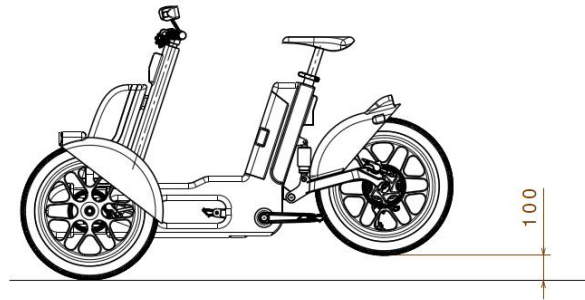


Figura 7.12. Curso de amortecimento

7.1.10. Proteção climática

Para efeito de proteção climática, o veículo utiliza uma cobertura acrílica/plástica, que abrange a área dianteira e superior do veículo, protegendo o utilizador da chuva e outros objetos externos ao veículo. A cobertura está representada na seguinte figura.



Figura 7.13. Proteção climática do ocupante

Os elementos de proteção climática fazem parte dos elementos modulares do veículo, podendo ser retirada com facilidade. A configuração com e sem cobertura está representada na figura seguinte.



Figura 7.14. Veículo com proteção climatérica colocada e sem a proteção climatérica colocada

7.1.11. Configuração do chassis.

O veículo possui duas rodas no eixo dianteiro e uma roda no eixo traseiro, como mostra a seguinte figura.

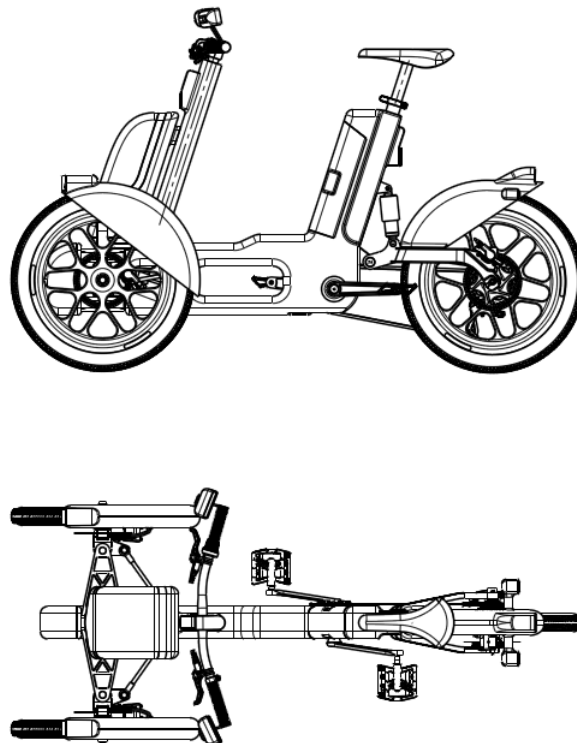


Figura 7.15. Configuração do chassis

Esta configuração maximiza a estabilidade dinâmica do veículo relativamente a outras configurações possíveis para a disposição de 3 rodas, por via de uma maior estabilidade na travagem, a maior aceleração a que um veículo normalmente está sujeito.

7.1.12. Compartimento para transporte de objetos

O veículo possui um compartimento impermeável para transporte de objetos pessoais do utilizador, representado na figura. 7.16. Este localiza-se na dianteira do veículo, providenciando assim uma maior segurança aos mesmos, dado que o condutor tem sempre este compartimento no seu campo de visão, fornece um elemento de segurança extra no caso de colisão frontal, e ao ser colocado na dianteira, onde existe espaço livre considerável, permite manter o veículo compacto.



Figura 7.16. Compartimento de transporte de objetos pessoais do utilizador

7.1.13. Elementos de iluminação e sinalização

O veículo dispõe de iluminação dianteira e traseira, que consiste em duas luzes no topo dos guarda-lamas dianteiros e duas luzes de mudança de direção na parte frontal dos espelhos retrovisores, uma luz de travagem na traseira, duas luzes de mudança de direção nas laterais do guarda-lamas traseiro e refletores, um de cor branca na dianteira, um de cor vermelha na traseira e conjuntos de cor laranja em cada roda, que podem ser visualizados nas figuras seguintes, 7.17. e 7.18.



Figura 7.17. Sistema de iluminação dianteiro e traseiro



Figura 7.18. Refletores dianteiro, traseiro, e nas rodas

As luzes são acionadas por meio de um seletor acoplado ao guidador, junto ao punho esquerdo, como se pode ver na figura seguinte.



Figura 7.9. Seletor do sistema de iluminação

7.1.14. Auxiliares de visão

O veículo possui dois espelhos retrovisores, um em cada extremidade do guidador, como se pode ver na seguinte figura.



Figura 7.20. Espelhos retrovisores

7.1.15. Dimensões máximas

As dimensões máximas do veículo, representadas na figura 7.21, estão dentro do intervalo definido nas especificações.

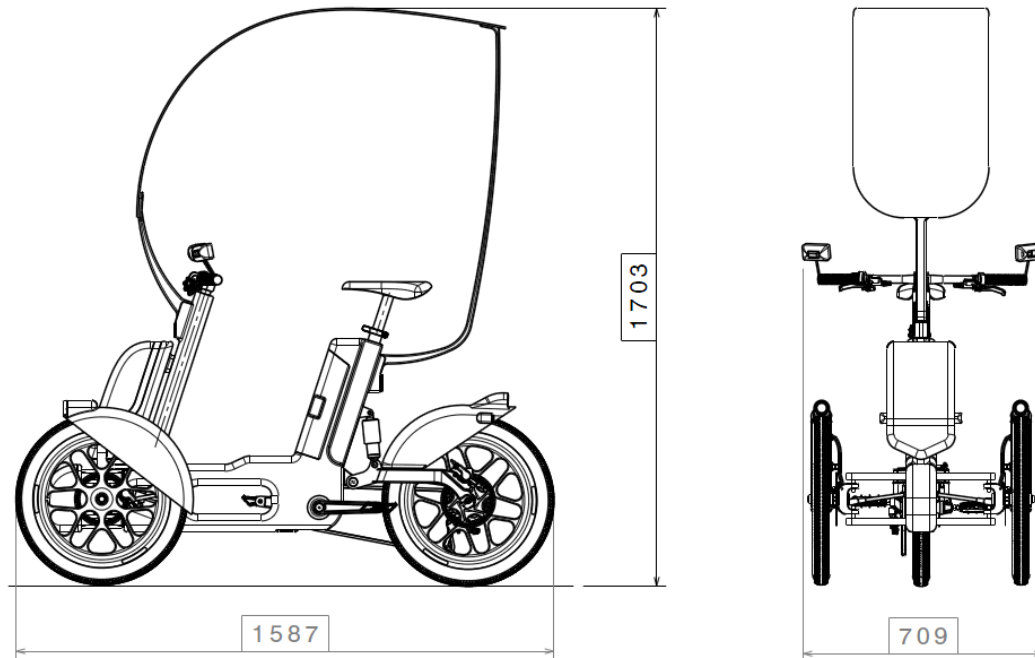


Figura 7.21. Dimensões máximas do veículo

7.2. Análise estrutural

Para garantir a estabilidade estrutural do veículo sobre variados potenciais carregamentos, advindos da utilização do veículo, utilizou-se o modo de simulação numérica do *software* CATIA V5.

7.2.1. Refinamento da malha

Antes de se obterem os valores de tensão *Von Mises* de uma qualquer simulação, é necessário efetuar o refinamento da malha, para que se tenha uma boa margem de segurança na obtenção destes resultados. Uma malha desapropriada á geometria em análise pode incorrer em erros significativos de medição nos valores da tensão.

O método para o refinamento da malha consiste na realização de simulações com vários valores para as dimensões dos nós que perfazem a malha, até se começarem a obter valores estáveis de tensão. Foi selecionado o valor 20mm para definição dos nós da malha.

7.2.2. Análise estrutural dos elementos

Como valor para a força foi utilizado 4500N. Este valor é feito a partir de uma aceleração de 3G vezes o peso considerado para o veículo e utilizador (100kg), multiplicado depois por um coeficiente de segurança de 1,5, e é suficiente para assegurar a segurança estrutural na esmagadora maioria de esforços a que o veículo estará sujeito durante a sua utilização.

Este valor de 4500N é distribuído igualmente pelos pontos de atuação considerados em cada teste. Os resultados dos deslocamentos são medidos em relação ao ponto de apoio.

O material de que é feito o quadro é alumínio 6061 (Modulo de *Young*: 7×10^{10} *GPa*, Tensão de cedência: 2.76×10^8 *MPa*).

Os resultados da análise estrutural estão representados na seguinte tabela.

Tabela 7.1. Resultados da análise estrutural

Elemento	Subelemento - Condição	Critério	Tensão <i>Von Mises</i> máxima (N.m ²)	Deslocamento máximo (mm)
Quadro	Assento	4500N aplicados na vertical; Fixação em torno do eixo pedaleiro.	5.7×10^7	1.34
	Apoio do motor	750N aplicados na vertical em todos os pontos de apoio do motor; Fixação na sua superfície superior do quadro.	1.56×10^6	$\cong 0$
	Apoios do braço de suspensão – Impacto vertical	1125N aplicados na vertical em cada apoio superior; 2250N aplicado na vertical no apoio inferior; Fixação em torno do eixo pedaleiro e eixos frontais do quadro	1.41×10^7	0.273
	Apoios de travessas frontais	2250N em cada travessa, aplicados na vertical; Fixação em torno do eixo pedaleiro	1.29×10^8	6.09
Travessas frontais	Travessa frontal – Impacto vertical	1125N aplicado na vertical no ponto de apoio do cubo da roda; fixação no eixo de rotação da travessa.	3.3×10^7	0.255
	Travessa frontal – Impacto horizontal	1125N aplicado na horizontal no ponto de apoio do cubo da roda; fixação no eixo de rotação da travessa.	8.79×10^6	0.0138

Como pode ser visto, os valores para a tensão *Von Mises* Máxima estão dentro dos limites admissíveis para a tensão de cedência do alumínio 6061. Os deslocamentos verificados também não comprometem a estabilidade geométrica do veículo.

Os elementos estruturais podem assim ser validados numericamente, sem que sejam necessário efetuar alterações geométricas aos mesmos.

7.3. Análise de modos de falha

O AMFE ou FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) permite reconhecer e avaliar a falha potencial de um produto/processo e os seus efeitos, identificar ações que poderiam eliminar ou reduzir a possibilidade de ocorrência da falha potencial e é onde fica documentado o processo.

O FMEA tem como objetivos:

- Melhorar a qualidade, fiabilidade e segurança dos produtos avaliados;
- Reduzir a planificação de reorganização do produto, e o seu custo;
- Documentar e seguir a trajetória das ações efetuadas para reduzir o risco;
- Identificar modos de falha potencial e qual a sua gravidade;
- Ajudar os engenheiros a dar prioridade e a centrar-se na eliminação de anomalias no processo e no produto, e a prevenir a ocorrência de problemas;

O FMEA desenvolve-se segundo um modelo em três etapas:

- Etapa 1 – Eliminar o modo de falha
- Etapa 2 – Eliminar as causas
- Etapa 3 – Identificar o controlo

Etapa 1- Eliminar o modo de falha

Para executar a primeira etapa do FMEA é necessário determinar as funções da bicicleta elétrica, que se encontram na tabela 7.3. A função deve ser a mais mensurável possível e a mais representativa possível da função do componente. Para tal existem ferramentas de apoio, para auxiliar na determinação das funções, a ferramenta utilizada foi a árvore de função. A árvore de função proporciona uma abordagem organizada para identificar as características essenciais de um produto, ajuda a assegurar que todos os requisitos são cumpridos.

Tabela 7.2. Funções da bicicleta em desenvolvimento

Funções Bicicleta desenvolvimento
Permitir locomoção
Assegurar posição do condutor
Suportar utilizador
Garantir boa visibilidade do meio
Sinalizar ações do condutor
Assegurar travagem num espaço reduzido
Proteger utilizador do clima envolvente
Circular em todo o terreno
Permitir transporte de pequenos objetos

As árvores de função constroem-se sempre da direita para a esquerda, onde vai aumentando o nível de detalhe até se chegar a funções mensuráveis que se utilizaram no FMEA. Na figura 7.22. pode ser visualizado o exemplo da árvore para a função garantir boa visibilidade do meio. As restantes árvores de função podem ser visualizadas no anexo 5.

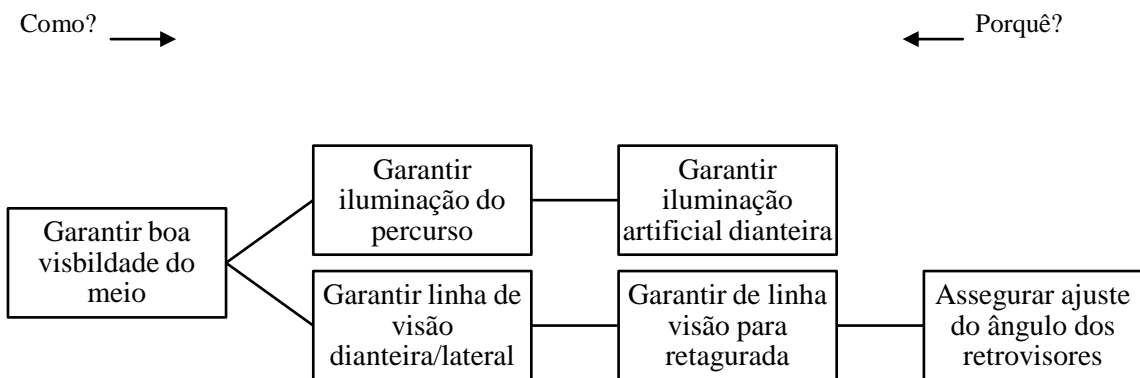


Figura 7.22. Árvore de função: Garantir boa visibilidade do meio

Nesta fase é também necessário identificar os modos de falha potenciais e descrever o efeito que essa falha provoca. A gravidade da falha é classificada de acordo com a 10.5 do anexo 4 considera-se é potencialmente crítica (YC= *Yes critical*) quando o valor é nove ou dez. Por fim, o único modo de reduzir a classificação da gravidade, modificando o efeito da falha, ou eliminar o modo de falha, é modificando o projeto.

Etapa 2 – Eliminar as causas da falha

Nesta etapa são identificadas as falhas e estimam-se as pontuações para a ocorrência de acordo com a tabela 10.6 do anexo 4 quando a ocorrência é superior ou igual a quatro considera-se como potencialmente significativo (YS). Por último, recomendam-se medidas para reduzir a ocorrência.

Etapa 3 – Identificar controlos

Nesta fase é necessário identificar os métodos de controlo, existem dois tipos de métodos de controlo:

- Ensaios ou métodos de controlo de deteção, por exemplo a utilização de protótipos mostram claramente a causa ou o modo de falha.
- Controlos preventivos, como por exemplo a utilização de *softwares* variados.

A probabilidade de deteção que é classificada de acordo com a 10.7 do anexo 4, no FMEA de projeto a deteção é a mais difícil de classificar. Neste caso o recurso a

softwares utilizou-se para classificar a ocorrência (como o modelo de Ford), dando-se valores mais baixos para a ocorrência e o valor mais alto para a detecção (10).

Neste caso particular não se recomenda ações para a detecção. Depois de classificar a gravidade, a ocorrência e a detecção calcula-se o RPN (número de risco prioritário ou *Risk Priority Number*) como o produto da classificação atribuída em cada uma das etapas do FMEA.

Geralmente pode-se considerar apenas o RPN para atuar, ou seja, atuar no caso em que este é superior a 100. Como neste caso em específico o valor da detecção é sempre 10, atuar-se há no caso de a gravidade ser 9 ou 10, caso seja menor, verifica-se a ocorrência tomando medidas se esta for igual ou superior a 4.

O FMEA de desenvolvimento da bicicleta elétrica encontra-se no anexo 10.6.

7.4.Solução final

A solução final, ilustrada nas figuras de 7.23 a 7.30, representa assim uma proposta para um veículo que possa servir os propósitos do trânsito diário, auxiliado pelo motor elétrico na garantia de desempenho adequado para o transporte urbano, e que possa também ser utilizado nos momentos de descontração dando a hipótese de realizar exercício ao ar livre.

O veículo permite ainda o transporte de pequenas cargas, importantes no trânsito diário, e a cobertura permite a utilização do veículo em condições climáticas adversas, um grande benefício para o mercado alvo deste veículo.

No anexo 9 podem ser consultadas as dimensões gerais, e no anexo 10 os materiais indicados para a construção do veículo.



Figura 7.23. Fotorrealismo do veículo.



Figura 7.24. Fotorrealismo do veículo, vista três quartos traseira.



Figura 7.25. Fotorrealismo do veículo com a proteção climatérica removida.



Figura 7.26. Fotorrealismo do veículo com a proteção climatérica e compartimento de transporte removidos.



Figura 7.27. Fotorrealismo da secção dianteira do veículo, durante uma curva para o lado esquerdo.



Figura 7.28. Fotorrealismo da secção dianteira do veículo, durante uma curva para o lado esquerdo, em vista posterior.



Figura 7.29. Fotorrealismo da secção dianteira do veículo, durante uma curva para o lado direito.



Figura 7.30. Fotorrealismo da secção dianteira do veículo, durante uma curva para o lado esquerdo, em vista posterior.

CAPÍTULO 8

8. Conclusões

8.1. Estado da arte

Tendo em conta os aspetos referidos neste capítulo, torna-se necessário a abordagem ao projeto de sistemas de transporte em torno dos seguintes pilares essenciais:

- **Eficiência energética**, através do transporte do maior número possível de passageiros por veículo (nos transportes coletivos) e com o mínimo de dependência de fontes de energia não renováveis, quer pela sua natureza quer pela taxa de substituição;
- **Baixas emissões de poluentes**; para que a densidade populacional crescente nas cidades não traga consigo consequências ambientais da mobilidade mais nefastas;
- **Projeto tendo em conta o *design* intuitivo e universal**, ou *design* para todos, de forma a permitir o uso pelo máximo possível de elementos da população, importante para trazer mais utilizadores para estes meios de transporte sustentáveis, como por uma motivação de igualdade de oportunidades, e para garantir que a população ocidental, em envelhecimento acelerado, possa continuar a disfrutar durante muitos mais anos da qualidade de vida que a veio a definir;
- **Projeto com base em critérios de mercado**, Utilizando conhecimentos de marketing para assegurar que os meios de transporte desenvolvidos para além de executarem a sua função utilitária se adaptam aos nichos de mercado da mobilidade de lazer, não sendo hoje em dia possível conceber produtos generalistas que agradem a todos os segmentos da população que sejam competitivos no mercado atual.

Estes vetores de desenvolvimento encontram-se já em utilização em vários graus, sendo que deverão orientar o desenvolvimento futuro de plataformas de mobilidade para que o máximo número de pessoas possa fazer usufruto de grandes níveis de mobilidade continuada no presente e no futuro.

Como exemplos de boas práticas para o desenvolvimento contemporâneo de sistemas de transporte podem-se observar os casos-estudo referidos.

O sistema de *BRT* de Curitiba é um sistema de transportes de baixo custo e elevada capacidade, que em conjunto com o planeamento cidadão, prova que é possível o desenvolvimento urbano onde o transporte coletivo tem uma importância primordial, no contexto de extensão da cidade, situação em que por regra o transporte coletivo se torna insustentável.

Curitiba é vista como sendo um caso modelo nos transportes coletivos e o seu sistema de *BRT* tem sido copiado, com menor e maior êxito, em várias outras cidades, sendo atualmente o estado da arte nos transportes coletivos rodoviários.

O *PRT* é um conceito revolucionário de transporte individual. Talvez seja por isso que o seu arranque demorou mais de meio século. O conceito *PRT* visa responder aos problemas dos transportes individuais e coletivos em contexto urbano, com argumentos de bom funcionamento a nível virtual, que no entanto poucas vezes foram postas em prática, e quase sem sucesso.

O sistema teve um começo difícil, em *Morgantown* nos anos 60, e desde então só o conceito *ULTra PRT* está a dar passos significativos na evolução do conceito, pela sua implementação funcional em contextos específicos de pequena escala. Esta implementação, que terá necessariamente de ser feita em maior escala no futuro é essencial para um estudo em funcionamento real de um sistema alargado, que possa validar ou invalidar o conceito, e finalmente serem tiradas as conclusões que ditarão o futuro deste sistema de transportes.

O *Bicing* é um dos sistemas públicos de partilha de bicicletas que opera com sucesso. Tem uma taxa crescente de utilização desde a sua criação, de utilização intuitiva praticamente 24h por dia, ao longo da sua extensa cobertura na cidade.

Os benefícios em termos de redução da congestão e em termos energéticos e de poluição são ainda praticamente insignificantes, dada a pouca taxa de conversão de automobilistas para utilizadores *Bicing*. A longo prazo é no entanto de ser esperada uma maior conversão, devido às problemáticas enunciadas na introdução deste trabalho, conversão que poderia ser acelerada pela introdução de bicicletas com assistência elétrica á pedalada.

Os sistemas de aluguer de bicicletas têm no entanto uma falha relativa á sua universalidade. O equilíbrio e coordenação motora necessários impedem o acesso a uma parte significativa da população. Para estes utilizadores de transportes coletivos, e para muitos dos utilizadores de automóveis com idades mais avançadas, continua a ser necessária uma solução alternativa.

Por fim é comparado este sistema com o sistema português BUGA, onde é demonstrado como o simples adição da tecnologia de responsabilização do utilizador faz a diferença entre o sucesso e o fracasso nestes dois sistemas, ambos com boas condições urbanas para o sucesso.

Pelos motivos de aproximação aos veículos convencionais, conforto de uso e potencial de aumento de performance, o conceito *Land Glider* poderá ser uma das vias de sucesso no desenvolvimento de veículos de meia largura, superior ao conceito de veículo de meia largura simplificado como o *Renault Tweezy*, e superior ao conceito de *scooter* de 3 rodas *Piaggio MP3*, que retém quase todas as limitações de um motociclo.

O *Land Glider*, ou outro conceito tecnicamente semelhante, é uma possível amostra da tendência do mercado automóvel no futuro, no que respeita á solução do problema da mobilidade urbana: Veículos com níveis de segurança, usabilidade e conforto do automóvel convencional atual, mas que reduzam consideravelmente a sua ocupação de espaço urbano e os seus níveis de consumo energético e os níveis de poluição gerados.

Por fim é observado um sistema de transporte intermodal, ferroviário e rodoviário, na área metropolitana do Grande Porto, que tanto pela via de boa operacionalidade, i.e. pela boa adequação do sistema e das suas várias partes integrantes aos contextos de mobilidade específicos onde se encontram, como pela via da atratividade, que passa pela simplificação das ações e pelo elevado conforto de utilização proporcionado é um bom exemplo a observar no estudo de qualquer sistema de transportes intermodal, uma dos principais vetores de desenvolvimento de transportes coletivos urbanos para o séc. XXI.

8.2.Ergonomia

No capítulo sobre ergonomia é possível observar os principais aspetos da ausência de capacidades físicas e cognitivas, maioritariamente presentes nos grupos etários jovens,

idosos e nas pessoas portadoras de deficiência, essenciais à boa utilização de sistemas de transporte,

Como resposta a estas dificuldades de acesso, sentidas em especial pelos grupos de utilizadores acima referidos, e utilização de ambientes variados, surgiu o *Design* para Todos, um conjunto de práticas de *design* que visa criar produtos adaptáveis e simples de utilizar. Os princípios de *design* que fazem parte desta filosofia devem ser conhecidos e aplicados pelos projetistas no século XXI, em conjunto com as boas práticas anunciadas no estado da arte, como forma de criar novos sistemas de transporte utilizáveis pelo mais variado espectro de utilizadores. Este é um desígnio de elementar justiça para os utilizadores e de eficácia projetual para os projetistas.

São também abordados os principais aspetos físicos que estão na origem da necessidade de adaptação dimensional dos produtos aos utilizadores. As dimensões humanas têm uma grande variabilidade, entre pessoas, grupos alvo e populações inteiras, e por isso devem sempre ser tidas em conta as características físicas do mercado alvo para o qual se projeta o produto.

Por fim são vistos os aspetos fundamentais de ergonomia de bicicletas, por via da equivalência ao conceito a ser desenvolvido, que se prendem com o dimensionamento dos elementos da bicicleta de forma a conseguir uma postura adequada, que garante uma maior capacidade utilização muscular do corpo humano, e que ao mesmo tempo é a única forma de providenciar conforto durante a utilização de um veículo caracterizado pela presença de um selim e um guiador como elementos de suporte e comando, respetivamente.

8.3. Análise funcional

No capítulo de análise funcional, o conceito de sistema de transporte é dividido nas suas características funcionais.

Esta divisão de um conceito nas suas diferentes funcionalidades permite ao projetista delinear uma solução concreta, com base nos problemas que este pretende resolver com a introdução de um meio de transporte, no variado espaço de soluções que toda a abrangência do conceito sistema de transporte permite.

Por outras palavras, tendo um conjunto de objetivos para um novo produto de mobilidade, podemos utilizar a análise funcional para delimitar o espaço de funções

primárias que este tem que garantir, enquanto solução, dentro de todo o universo de produtos de mobilidade.

8.4.Planeamento conceptual

Durante a fase de planeamento conceptual, os requisitos do cliente são ouvidos e transformados, por um processo de desdobramento de necessidades, análise funcional do produto, definição de especificações e análise de concorrência, em especificações, i.e. valores para o desempenho do produto requerido na satisfação das necessidades do cliente.

Os valores de desempenho são definidos antes que se defina o produto em si. Esta metodologia permite-nos primeiro estabelecer o desempenho ideal para um produto, sem haver o pré condicionamento existente no caso de se selecionar em primeiro lugar o que o produto é, e como vai solucionar as necessidades do cliente.

Esta metodologia que parte do desempenho ideal, e não em produto ideal, aumenta a probabilidade de surgimento de soluções criativas, sem que haja desvantagens assinaláveis, devendo por isso ser utilizada no desenvolvimento de novos produtos de mobilidade.

8.5.Desenvolvimento conceptual

Após a definição, em termos de desempenho, da solução, o objetivo da fase de desenvolvimento conceptual é gerar alternativas concretas de solução, focando-se nos componentes e subsistemas que integrados formarão a o produto final.

Para este efeito recorreu-se á análise morfológica, gerando hipóteses de solução, em termos de componentes e da sua disposição/integração no produto que foram posteriormente avaliadas com base em diversos critérios.

Mais uma vez, este desenvolvimento de soluções particulares, e não do produto global em primeiro lugar, permite que o projetista não fique tão condicionado por ideias de produto pré-concebidas, aumentando assim a sua criatividade no desenvolvimento de soluções e a eficiência do produto, desenvolvido em torno dos subsistemas necessários, e não os subsistemas desenvolvidos em torno do produto necessário.

8.6.Solução final

No capítulo de solução final é mostrado o produto resultante da integração de todos os conceitos selecionados. É também mostrada análise estrutural como forma de validar a estrutura desenvolvida para o quadro e travessa dianteira, estruturas que formam o chassi, e por fim é feita referência ao FMEA do produto, uma metodologia que permite reduzir as probabilidades de falha do produto em situações futuras, atuando diretamente na escolha de componentes e outras considerações que se fazem durante a fase de planejamento e desenvolvimento do produto. Esta é, como as restantes metodologias aplicadas no desenvolvimento do produto, uma forma estruturada de abordar a geração de opções, as várias dúvidas e escolhas que o projetista tem de realizar ao longo da criação de um novo produto.

8.7.Conclusão global

A solução final é um produto de mobilidade que responde às necessidades do utilizador, deduzidas da análise de meios de transporte efetuada no estado da arte. Este procedimento mostra como é possível a partir do estudo detalhado dos modos de transporte existentes, em conjunto com o estudo das características e das preferências dos utilizadores, podem gerar as bases sobre as quais uma plataforma de mobilidade pode ser desenvolvida.

Este método projetual que recorre a uma sequência pesquisa e projeto, não inclui dados de opiniões de público, cabendo ao analista a interpretação da pesquisa feita, mas por outro lado coloca toda a problemática numa perspetiva abrangente e histórica, de onde a probabilidade de obtenção de informações especulativas, opinativas ou meramente válidas perante o estado de espírito dos entrevistados é significativamente minorada.

Isto não significava que este método investigativo é globalmente melhor, apenas que apresenta a vantagem de colocar a informação num contexto histórico, e de se alimentar de muita informação já analisada e produzida, de onde se podem obter constantemente juízos críticos sobre teorias e abordagens já propostas, o que permite a reunião de informação muito detalhada, permite compreender a lógica de toda a problemática do transporte e assim inventar a ‘reinvenção’ da roda no desenvolvimento de produto a ser feito posteriormente.

Como o contexto histórico não permite uma previsão segura do futuro, esta metodologia de investigação pode também ser combinada com outras, sendo uma mais-valia para o

processo de definição de necessidades, e por isso, um método a ser considerado por todos os projetistas de sistemas de transporte.

9. Referências Bibliográficas

- AASHTA, 1999, *Guide for the development of bicycle facilities*, American association of state highway and transportation officials, Washington, DC.
- Amaral, F., 2005, *Ergonomia*, Universidade Estadual do Maranhão. Acessível em: <http://www.luzimarteixeira.com.br/wp-content/uploads/2010/07/o-que-e-ergonomia.pdf>
- Anderson, J.E., 2005, *The Future of High-Capacity Personal Rapid Transit*, PRT International, LLC, Minneapolis, Minnesota.
- Ausubel, J.H. and Marchetti, C., 2001, *The Evolution of Transport*, The Industrial Physicist, April/May 2001, American Institute of Physics, New York.
- Buchanan, *et al.*, 2005, *Emerging Personal Rapid Transit Technologies Introduction, State of the Art, Applications*, AATS conference, Bologna.
- Bührmann, S., 2008, *Bicycles as public-individual transport – European Developments*, MEETBIKE – European Conference on Bicycle Transport and Networking, 3-4April, Dresden.
- Burt, C. e Lueder, R., 2008, *Ergonomics for children: Ergoexpo workshop*. Acedido em 10/12: <http://www.childergo.com/ergoexpo.htm>
- Carver Technology, *Slender comfort vehicles: offering the best of both worlds*, disponível em: http://carver-technology.com/brink_AutoTechnology_2004.pdf
- Cervero, R., 1998, *The Transit Metropolis A Global Inquiry*, Island Press, Washington D.C.
- Chiasson, S., e Gutwin, C., 2005, *Design Principles for Children’s Technology*, Department of Computer Science, University of Saskatchewan, *HCI-TR-2005-02*.
- Cramez, M. C., 2007. *Comportamento e qualidade de materiais plásticos: Análise dos modos de falha potenciais e seus efeitos*. Guimarães: Universidade do Minho,
- Cross, N., 2008, *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, England.
- Davis, S.C. *et al.*, 2010, *Transportation Energy Data Book: Edition 29*, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- Department of trade industry, 2002, *Strength Data for Design Safety Phase 2*, Research commission by consumer affairs division, DTI, London.

- DIN 33 402 Parte 2. *Dimensões do Corpo Humano. Valores. Aplicação das dimensões*
- Eldman, B., 2010, *Personal Rapid Transport at Vectus, Ltd*, Harvard Business School Case 910-010.
- EN-14764:2005, *City and trekking bicycles – Safety requirements and test methods*, European committee for standardization, Brussels.
- Enoch, M., et al., 2004, *INTERMODE: Innovations in Demand Responsive Transport*, Department for Transport and the Greater Manchester Passenger Transport Executive, Manchester.
- Eurostat, 2009, *Panorama of transport 2009 Edition*, ISSN 1831-3280, Office for Official Publications Office of the European Communities, Luxembourg.
- Eurostat, 2011, *Sustainable Development in the European Union - Monitoring report of the EU sustainable development strategy*, ISBN 978-92-79-18516-8, Office for Official Publications Office of the European Communities, Luxembourg.
- Festini, A. et al, 2011, *Urban and Extra Urban Vehicles: Re-Thinking the Vehicle Design, New Trends and Developments in Automotive System Engineering*, Prof. Marcello Chiaberge (Ed.), ISBN: 978-953-307-517-4, InTech.
- Freitas, S. 2010, *Design para idosos: Limitações ergonómicas*, Aveiro, Conceção de Produto Assistido por Computador, Universidade de Aveiro.
- Garrison, W. et al, 1990, *Lean machines: Preliminary Investigations*, Program on Advanced Technology for the Highway, Institute of Transport Studies, University of California at Berkley.
- Heikkinen, E. et al, 2004, *Disability in old age, Final Report, Conclusions and Recommendations, Burden of Disease in Old Age Project*, Finnish Center for Interdisciplinary Gerontology, University of Jyvaskyla Finland, Jyvaskyla University Press.
- Infohandicap and the “Build-for-All” project, 2006, *The Build-for-All Reference Manual*, Luxembourg. Acedido em 26/3/2012:http://www.designforall.org/en/downloads/BUILD_FOR_ALL_MANUAL_ENGL.pdf

- Institute of Transportation Engineers, 2006, *Design for All Users – ITE Mega Issue Whitepaper*. Acedido em 26/3/2012:http://www.ite.org/mega/DesigningforAll_Final.pdf
- *Irresistible: Lessons from The Netherlands, Denmark and Germany*, Transport
- Jakobsen, K. e Andraesen, M., 1994, *The product development process*, TALAT lecture 2101.02, TALAT Project, European Aluminum Association.
- Johnson, R.E., Walther, H.T. and Wild, W.A., 1975, *Analysis and simulation of automated vehicle stations*, International Conference on Personal Rapid Transit, Denver, CO.
- Karl T. Ulrich and Steven D. Eppinger, 2008, *Product Design and Development*, 4th edition, Irwin McGraw-Hill.
- Kenworthy, J., 2003, *Transport Energy Use and Greenhouse Gases in Urban Passenger Transport Systems: A Study of 84 Global Cities*. The International Third Conference of the Regional Government Network for Sustainable Development, Notre Dame University, Fremantle, WA.7
- Lafortune, G. et al, 2007, *Trends in severe disability among elderly people: Assessing the evidence in 12 OECD countries and the Future Implications*, France OECD Health Working Papers.
- Le Néchet, F., 2012, *Urban spatial structure, daily mobility and energy consumption: a study of 34 European cities*, Article 580, Cybergeog: European Journal of Geography, Systems, Modeling, Geostatistics. Acedido em 16/2/2012: <http://cybergeog.revues.org/24966> ; DOI : 10.4000/cybergeog.24966
- Lowson, M., 2002, *Sustainable personal transport*, Municipal Engineer 151issue 1, pp.73-82, London.
- Lu, J.-M., 2011, *transportation Ergonomics Part 1- Personal Transportation*, Ergonomics Weekly nr18, Gerontechnology Research Center, Yuan Ze University, Taipei.
- M.J. Bradley & Associates, 2007, *Comparison of Energy Use & CO2 Emissions from Different Transportation Modes*, Manchester.
- Martin, J.A., 2011, *Barcelona Bicycle Transport Green Design and the City*
- Metter, E et al, 1997, *Age-Associated Loss of Power and Strength in the upper extremities in Woman and Men*, Journal of Gerontology: Biological Sciences vol.57A, No.5. B267-B276.

- Midgley, P., 2011, *Bicycle-Sharing Schemes: Enhancing Sustainable Mobility In Urban Areas*, Commission on Sustainable Development, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, New York.
 - Mogge, J., 2009, *The Technology of Personal Rapid Transit*, Acedido em 1/4/2012: <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/moggeprtpaper.pdf>
 - National Aeronautic and Space Administration, 1978, *Anthropometric Source Book (ANSUR) volume II: A handbook of anthropometric data*, Staff of Anthropology Research Project Webb Associates, Yellow Springs, Ohio.
 - Neuss, J., 2007, *Bike Ergonomics for All People*, Acedido em 4/4/2012: http://www.junik-hpv.de/assets/download/Bike_Ergonomics_for_All_People.pdf
 - Neuss, J., 2007, *Bike ergonomics for all people*, Germany. Acessível em: http://www.junik-hpv.de/assets/download/Bike_Ergonomics_for_All_People.pdf
 - NF EN-15194:2009, *Electrically power assisted cycles*, Association Français de Normalisation, La Plaine Saint-Dennis.
 - Pequini, S. M., 2005, *Ergonomia aplicada ao design de produtos: Um estudo de caso sobre o design de bicicletas*, Tese (Doutorado) FAU/USP, São Paulo.
 - Perry, M. et al, 2006, *Strength, power output and symmetry of leg muscles: effect of age and history of falling*, European Journal Applied Physiology 100:553-561, Springer-Verlag.
- Pucher, J. and Buehler, R., 2008, *Making Cycling*
- Raney S. and Young, S.E., 2004, *Morgantown People Mover – Updated Description*, Transport Research Board Annual Meeting, Washington, DC.
 - REN21, 2011, *Renewables 2011 Global Status Report*, REN21 Secretariat, Paris.
 - RITA, 2012, *Long Distance Transport Patterns: Mode Choise*, Research and Innovative Technology Administration, Bureau of Transportation Statistics, Washington, DC.
 - Rodrigue, J-P, *et al.*, 2009, *The Geography of Transport Systems*, Second Edition, New York: Routledge.

- Rojas-Rueda, D. *et al*, 2011, *The health risks and benefits of cycling in urban environments compared with car use: health impact assessment study*, BMJ Group, BMJ 2011;343:d4521.
- Shaheen, S., Niemeier, D., 2001, *Integrating Vehicle Design and Human Factors: Minimizing Elderly Driving Constraints*, Institute of Transportation Studies, University of California, Davis.
- Silva, A. M., 2008, *Ergonomia e antropometria – dimensionamento de postos de trabalho em pé*, DEGEI – Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Tanemura, M., 2010, *Shinkasen- The High-Speed Rail System in Japan*, Consulate General of Japan in San Francisco, May 18th 2010.
- Thomson, V. e Oduncoglu, A., 2010, *Functional analysis and risk management in product development*, CSVA 2010 Conference Economy recovery: Decision making with value engineering. Acedido em 10/12: http://www.scav-csva.org/publications.php?file_id=359
- Title 16: Commercial Practices, 2002, *PART 1512—REQUIREMENTS FOR BICYCLES*, U.S. Consumer product safety commission, Office for compliance, Washington, DC.
- Trost, G., 2005, *State of Affairs in Universal Design in Europe*. Acedido em 27/3/2012: <http://www.fujitsu.com/downloads/MAG/vol41-1/paper03.pdf>
- United Nations, 2009, *World Population Ageing 2009*, Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York.
- Venter, C. *et al*, 2002, *Enhanced Accessibility for People with Disabilities Living in Urban Areas*, Engineering Knowledge and Research: Project R8016, Department for International Development, London.

9.1.Páginas Web

BUGA – the free riding bicycle of Aveiro, acedida em 29/12/2012:

<http://www.cardiff.ac.uk/archi/programmes/cost8/case/transport/buga.html>

How to set up your road bike, Firth, M., 2012, Página WWW, acedida em 3/10/12:

<http://www.abcc.co.uk/abccArticle.aspx?id=468>

Ultra Global PRT, *Infrastructure Design*, Página WWW, acessada em 9/5/2012:
http://www.ultraglobalprt.com/wp-content/uploads/2011/09/PDF_Infastructure.pdf

Ultra Global PRT, *The Ultra Vehicle*, Página WWW, acessada em 9/5/2012:
<http://www.ultraglobalprt.com/wp-content/uploads/2012/01/The-Ultra-Vehicle.pdf>

Ultra Global PRT, *Vehicle Features*, Página WWW, acessada em 9/5/2012:
http://www.ultraglobalprt.com/wp-content/uploads/2011/08/PDF_Vehicle-features.pdf

Ultra Global PRT, *Operations*, Página WWW, acessada em 9/5/2012:
http://www.ultraglobalprt.com/wp-content/uploads/2011/09/PDF_Operations.pdf

STCP, 2010, Relatório de sustentabilidade, acessado em 1/1/2013:
http://www.stcp.pt/fotos/conteudos/rgsstcp2010_pt_15608689464ff18798b7ddb.pdf

Transportes Intermodais do Porto, 2011, Relatório e contas de 2011, acessado em
1/1/2013: http://www.linhandante.com/uploadFiles/RC_TIP_2010-20110428.pdf

Vichic, V.R., 1996, *Personal Rapid Transit: An Unrealistic System*, Página WWW,
acessada em 11/5/2012: <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/vuchic1.htm>

10. Anexos

Anexo 1 - Normas Europeias e Americanas

Tendo em conta os objetivos definidos para o projeto, em termos de propulsão, dimensões e compatibilidade com vias urbanas de utilização restrita, nomeadamente as ciclovias, é de interesse consultar as normas europeia e norte americana para a categoria de veículo que satisfaz esses requisitos genéricos, a bicicleta eletricamente assistida (EU) e a bicicleta elétrica (EUA), pois será nessa categoria em que a plataforma desenvolvida se terá de integrar.

A categoria *bicicleta elétrica* (EUA) é regida pelas regulações do *Consumer Product Safety Commission 16 CFR Part 1512*, e a categoria *bicicleta eletricamente assistida* pelo *European Committee for Standardization*, cuja regulamentação se encontra nos *standards* EN 14764 e EN 15194.

Segundo a 16 CFR Part 1512, a definição de bicicleta elétrica é a seguinte:

“Bicicleta elétrica de baixa velocidade significa um veículo de duas ou três rodas com pedais totalmente operáveis e um motor elétrico com menos de 750 Watts (1 cv), cuja velocidade máxima numa superfície pavimentada plana, quando impulsionado apenas pelo motor e quando conduzida por um operador com 77kg de peso, não excede os 32km/h” (Federal Register, 2003)

Na norma europeia EN-15194, a definição de bicicleta assistida eletricamente (EPAC), é a seguinte: *“Bicicleta, equipada com pedais e um motor auxiliar elétrico, que não pode ser impulsionado exclusivamente pelos meios deste motor auxiliar” (AFNOR, 2009)*. Os veículos regidos por estas normas para as EPACs são ainda requeridos *“ter uma potência contínua máxima de 0.25kW, cuja potência é gradualmente reduzida e finalmente para da quando o veículo atinge a velocidade de 25km/h, ou antes, se o ciclista parar de pedalar”*.

As especificações mais relevantes destas normas em termos de projeto, que terão de ser cumpridas pelo produto de forma a este seja homologado para circulação, estão descritas na seguinte tabela seguinte.

Tabela 10.1. Requisitos principais das normas EN-15194, EN-14764 e 16 CFR Part 1512.

Área de atuação	Requisitos Europeus (EN-15194; EN-14764)	Requisitos EUA (16 CFR Part 1512)
Potência máxima contínua (W)	250	750
Voltagem máxima da bateria (v)	48	-
Voltagem do carregador de bateria (v)	230	-
Velocidade máxima motorizada (km/h)	25	32
Altura mínima do assento (mm)	635	635
Arestas vivas	Arestas expostas que poderão entrar em contacto com as pernas, mãos, etc. do condutor, durante utilização normal, manuseamento normal e manutenção normal não deverão ser afiadas.	
Saliências expostas	<p>“Qualquer saliência exposta com mais de 8mm após montagem, exceto:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Mecanismo dianteiro de troca de mudanças na cremalheira; b) Mecanismo de troca de mudanças na roda traseira; c) Mecanismo de travagem no aro na roda dianteira e traseira; d) Apoio de lâmpada montado no tubo de cabeça; e) Refletores; f) Encaixes no pedal; g) Mecanismos de encaixe no pedal; h) Cremalheiras e carretos i) Suportes para garrafas de água <p>Deverão terminar num raio R, não inferior a 6.3mm. Tais saliências deverão ter uma dimensão principal A, não inferior a 12.7mm e uma dimensão menor B, não inferior a 3.2mm.”. Ver figura 10.1.</p>	<p>“A bicicleta não poderá ter saliências na área a sombreada (ver figura 10.2.). No entanto, cabos de controlo até 6.3mm e grampos até 4.8mm podem ser presos ao tubo superior.”</p>
Travões – Requisitos gerais	<p>“A bicicleta deverá ser equipada com pelo menos dois sistemas de travagem independentes. Um deverá operar na roda dianteira, e outro na roda traseira...Deverão ser capazes de cumprir os requisitos de travagem.”</p>	<p>“A bicicleta deverá ter travões dianteiros e traseiros, ou apenas traseiros.”</p>
Travões – Requisitos de desempenho	<p>“O desempenho de travagem é determinado pela distância de travagem.”</p> <p>“A bicicleta deverá cumprir os requisitos” presentes na tabela 10.2.</p> <p>Para efeitos de teste “a massa combinada de veículo...e condutor deverá ser de 100kg”.</p> <p>“A força aplicada na manete não deverá exceder os 180N.”</p>	<p>A bicicleta deverá cumprir os requisitos da tabela 10.3.</p> <p>Para efeitos deste teste a massa do condutor deverá ser de 68kg.</p>
Travões – Requisitos das	“A região da manete em contacto com	“A distância entre o meio da

manetes	os dedos do condutor não deverá apresentar uma dimensão menor que 40mm” “A distância d não deverá exceder os 90mm”. Ver figura 10.3.	manete de travagem e o guiador não deverá ser maior que 90mm”
Guiador – Requisitos gerais	“O guiador deverá ter uma largura total entre 350mm e 1000mm.”	“O guiador deve ser simétrico para os dois lados do avanço.”
	A distância vertical 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 os 400mm. As extremidades do guiador deverão ser dotadas de punhos ou de tampas	
Direção – Desempenho geral	“A direção deverá ser livre de rodar pelo menos 60° para cada lado do ponto neutro em frente...” “O mínimo de 25% da massa total da bicicleta e condutor deverá atuar na roda dianteira, quando o condutor está a segurar o guiador e sentado no assento, com o assento e condutor na posição mais atrás possível.”	-
Direção – Geometria	“O ângulo de topo da direção não poderá ser maior que 75°, nem menor que 65° em relação á linha horizontal de 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.” Ver figura 10.4.	-
Quadros com suspensão	“O <i>design</i> deverá ser tal que no caso de haver falha da mola ou amortecedor, o pneu não deverá entrar em contacto	-

	com qualquer parte do quadro, nem o conjunto que suporta a roda traseira deverá ficar solto do resto do quadro.”	
Roda (aro/jante e pneu)	“O alinhamento da roda numa bicicleta deverá permitir não menos que 6mm de espaço livre entre o pneu e qualquer elemento do quadro, forqueta ou guarda-lama e os seus encaixes.”	
Pedais	<p>“Com a bicicleta sem qualquer carga, o pedal no seu ponto mais baixo e a sua superfície paralela com o solo, a bicicleta deverá poder inclinar-se a um ângulo de 25° em relação á vertical antes que alguma parte do pedal toque no solo.”</p> <p>“As bicicletas deverão ter pelo menos 100mm de espaço livre entre o pedal e o pneu ou guarda-lama dianteiro (quando virado em qualquer posição).” Ver figura 10.5.</p>	
Assento	“Nenhuma parte do assento, suportes do assento, ou acessórios do assento deverão estar a mais de 125mm de altura sobre o topo da superfície do assento no ponto onde a superfície do assento é intersetada pelo eixo imaginário do espigão.”	
Proteção da cremalheira	<p>“Os discos de proteção da cremalheira deverão exceder o diâmetro do prato dentado de maior dimensão, quando medido nas pontas do dentado, por uma medida não menor do que 10mm.” Ver figura 10.6.</p> <p>“O dispositivo de proteção da cremalheira, no mínimo, deverá proteger as laterais e topo da corrente e cremalheira por uma distância de pelo menos 25mm na direção traseira a partir do ponto onde o dente da cremalheira entra em contacto com a corrente...” Ver figura 10.7.</p>	-
Luzes e refletores	<p>“Sistemas de iluminação e refletores não terão necessariamente de ser incorporados numa bicicleta de cidade ou turismo...”</p>	<p>“Os pedais da bicicleta devem ter refletores.”</p> <p>“A bicicleta deverá ter um refletor sem cor na dianteira, um refletor sem cor ou âmbar na roda da frente, um refletor âmbar ou vermelho na roda de trás, e um refletor vermelho na retaguarda.”</p> <p>Os refletores dianteiro e traseiro devem estar montados de tal forma que uma queda da bicicleta não os danifique</p>

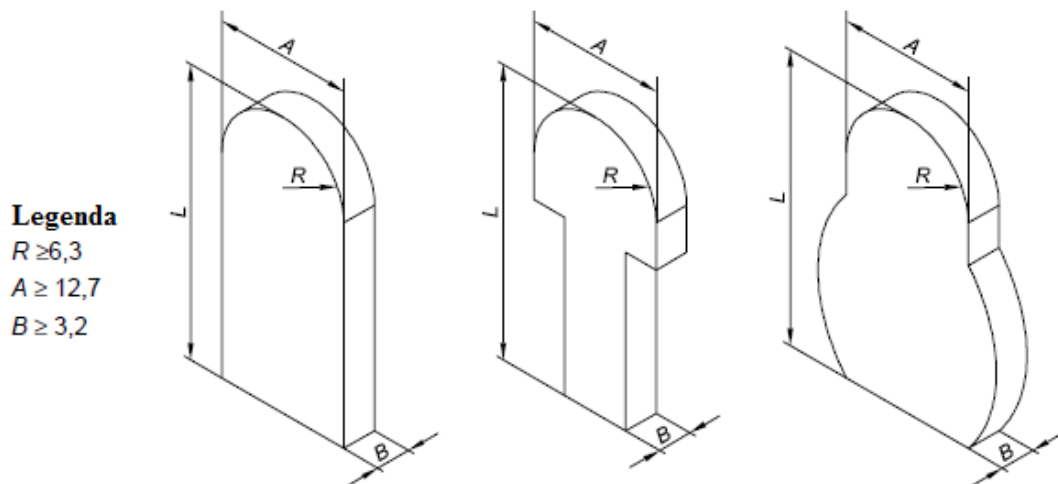


Figura 10.10.1. Saliência expostas EN-14764.

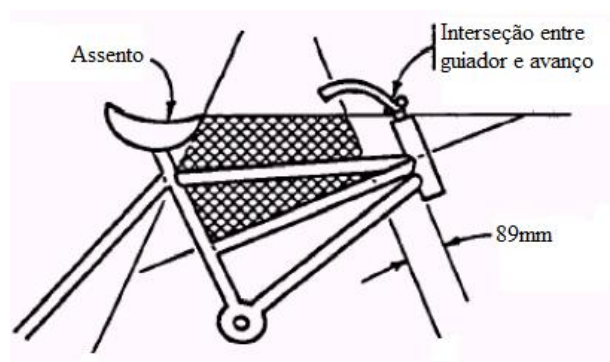


Figura 10.10.2. Zona restrita a saliências 16 CFR Part 1512

Tabela 10.2. Requisitos de travagem EN-14764.

Condição	Velocidade (km/h)	Travões em uso	Distância de travagem (m)
Seco	25	Ambos	7
		Apenas o traseiro	15
Molhado	16	Ambos	5
		Apenas o traseiro	10

Tabela 10.3. Requisitos de travagem 16 CFR Part 1512

Condição	Velocidade	Travões em uso	Distância de travagem (m)
-	25	Ambos	4.5

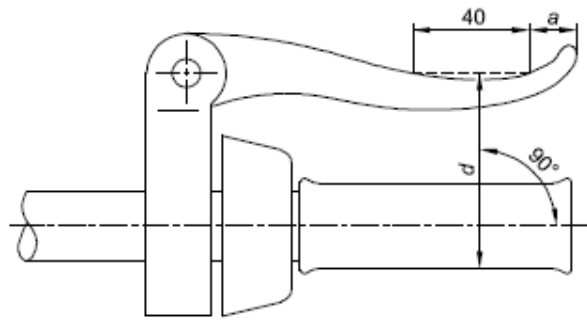


Figura 10.10.3. Manete do travão EN-14764.

Legenda

- 1 Direção de viagem
- 2 Eixo de direção
- 3 Ângulo de topo da direção
- 4 Linha de solo
- 5 Ponto de interseção
- 6 Raio da roda
- 7 Centro da roda
- 8 Perpendicular á linha de solo
- 9 Tolerância
- 10 Offset
- 11 Distância

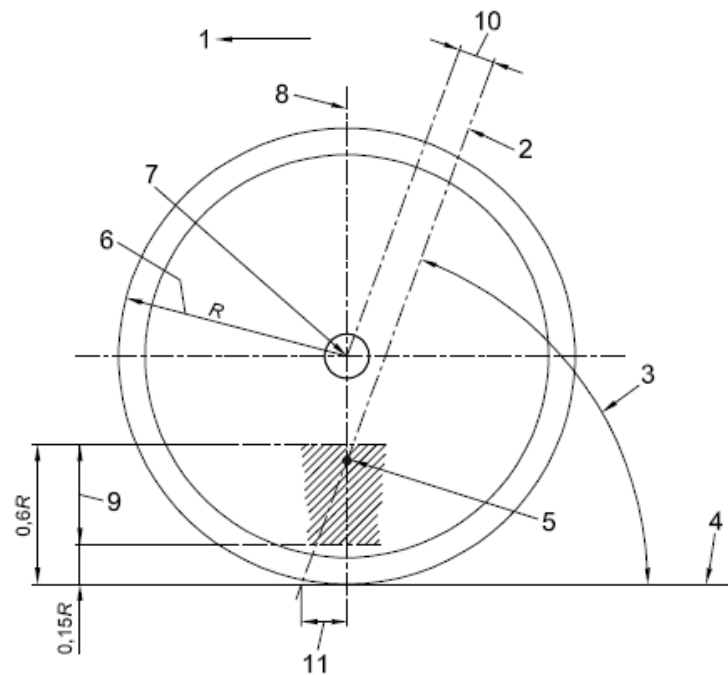
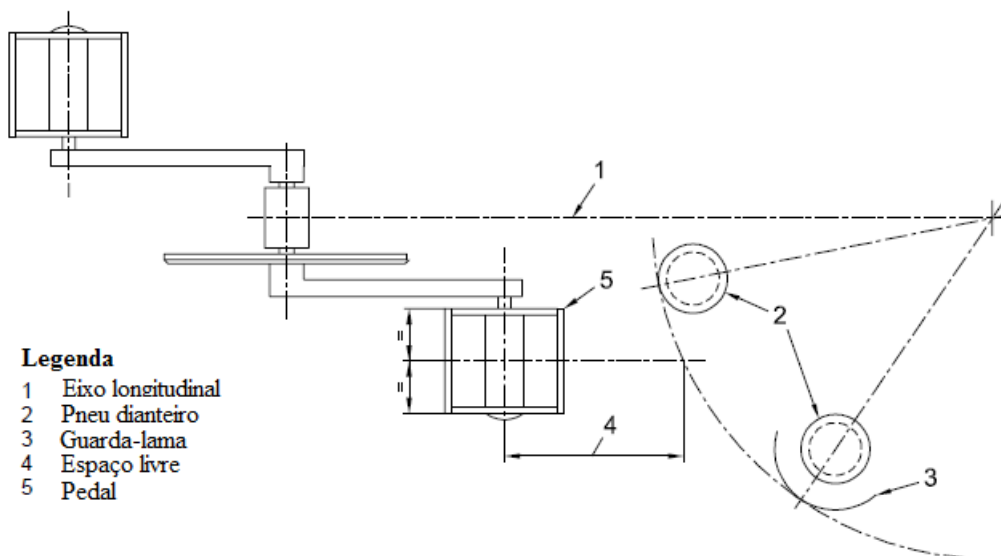


Figura 10.10.4. Ângulo de direção EN-14764.



Legenda

- 1 Eixo longitudinal
- 2 Pneu dianteiro
- 3 Guarda-lama
- 4 Espaço livre
- 5 Pedal

Figura 10.10.5. Espaço livre pedal-pneu EN-14764.

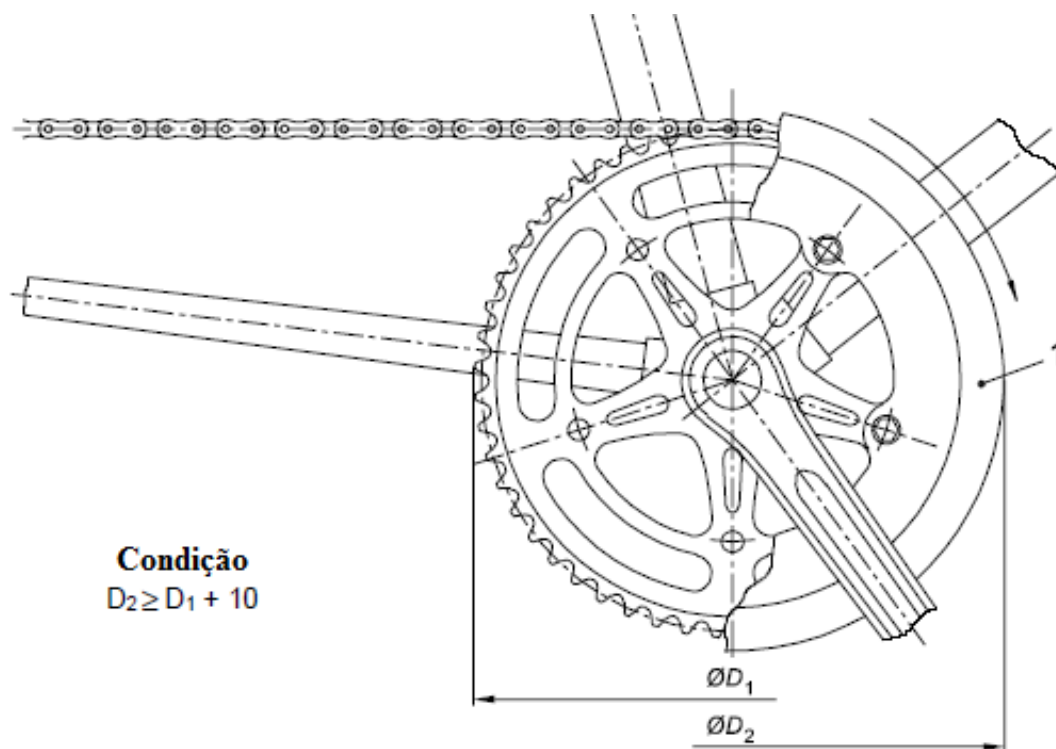


Figura 10.10.6. Diâmetro mínimo de proteção da cremalheira EN-14764.

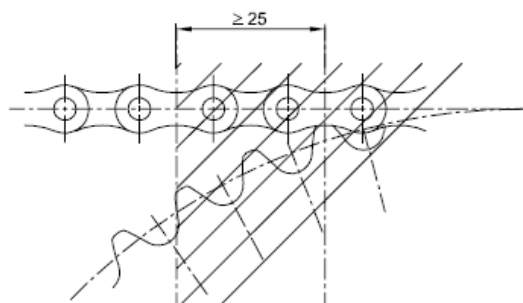

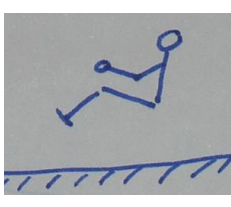
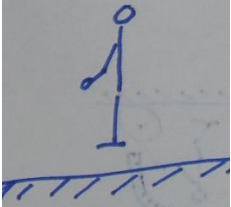
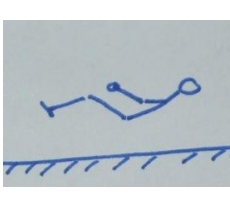
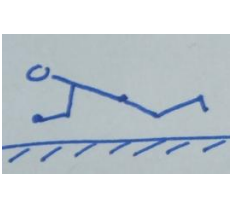






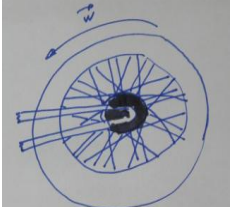
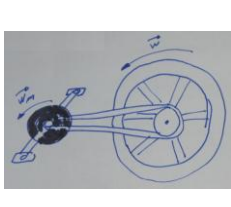
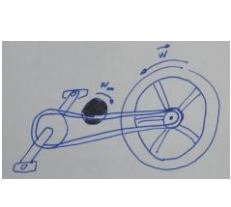
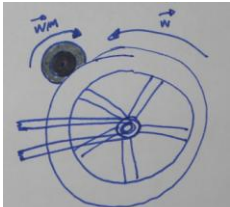

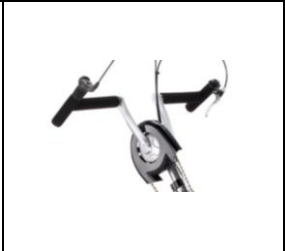


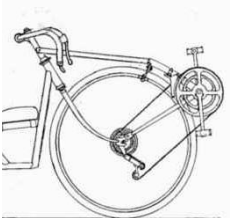



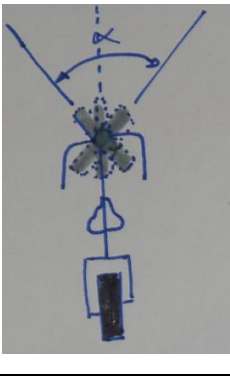
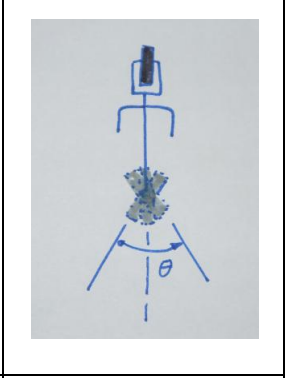
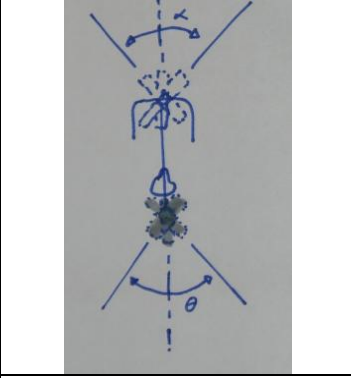
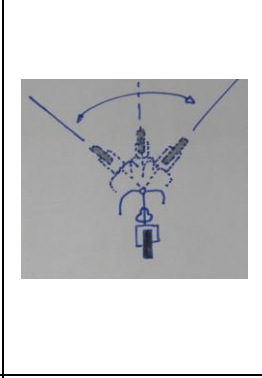



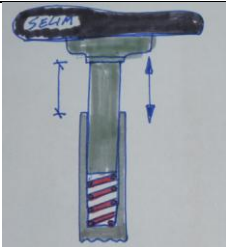
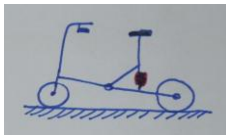

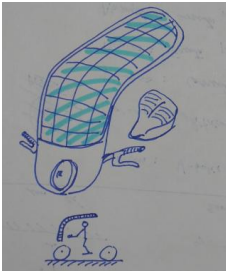
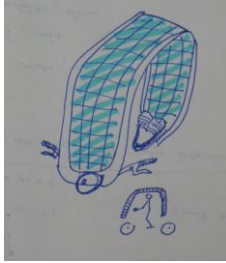
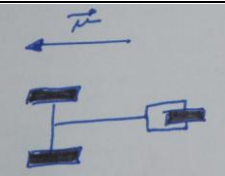
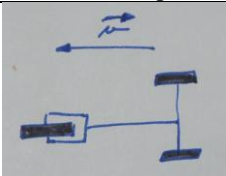
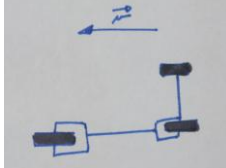
Figura 10.10.7. Proteção de corrente e cremalheira EN-14764.

Anexo 2 – Quadro de Análise Morfológica

Tabela 10.4. Quadro de análise morfológica

Características	Soluções alternativas					
Suporte do condutor						
	Sentado com membros posteriores na vertical	Sentado com membros posteriores na horizontal	Em pé	Deitado para trás	Deitado para baixo	
Travagem						
	De cubo	V-brake	Hidráulico de calço	Disco de acionamento mecânico	Disco de acionamento elétrico	
	Fricção					
Locomoção motorizada						
	Motor no cubo	Motor na pedaleira	Unidade motora a atuar na transmissão	Unidade motora a atuar no pneu		

Locomoção não motorizada						
	Pedais para membros posteriores	Alavancas para membros anteriores	Propulsão posterior linear	Propulsão posterior oscilatória (vertical ou horizontal/lateral)		
Transmissão						
	Dianteira	Traseira	Integral	Distribuída		
Direção						
	Dianteira	Traseira	Integral	Chassis articulado		

Absorção de vibração						
	Selim sobredimensionado com amortecimento	Espigão de selim com amortecimento	Sistema de suspensão			
Proteção climática						
	Dianteira	Dianteira e superior	Dianteira, superior e traseira			
Configuração do chassis						
	Duas rodas dianteiras, uma roda traseira	Uma roda dianteira, duas rodas traseiras simétricas	Uma roda dianteira, duas rodas traseiras assimétricas			

Anexo 3 – Análise Estrutural

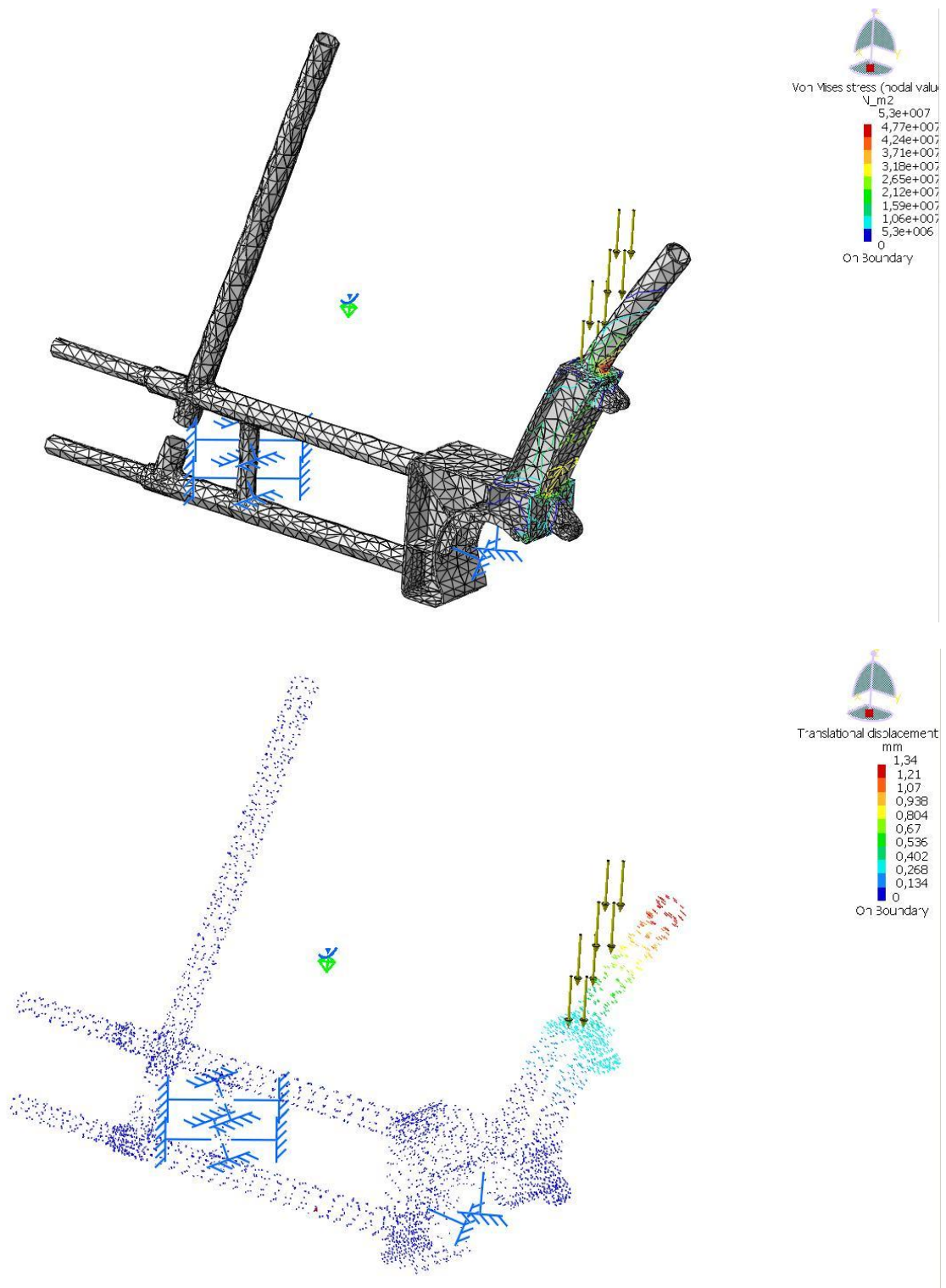


Figura 10.10.8. Carregamento vertical do tubo do selim.

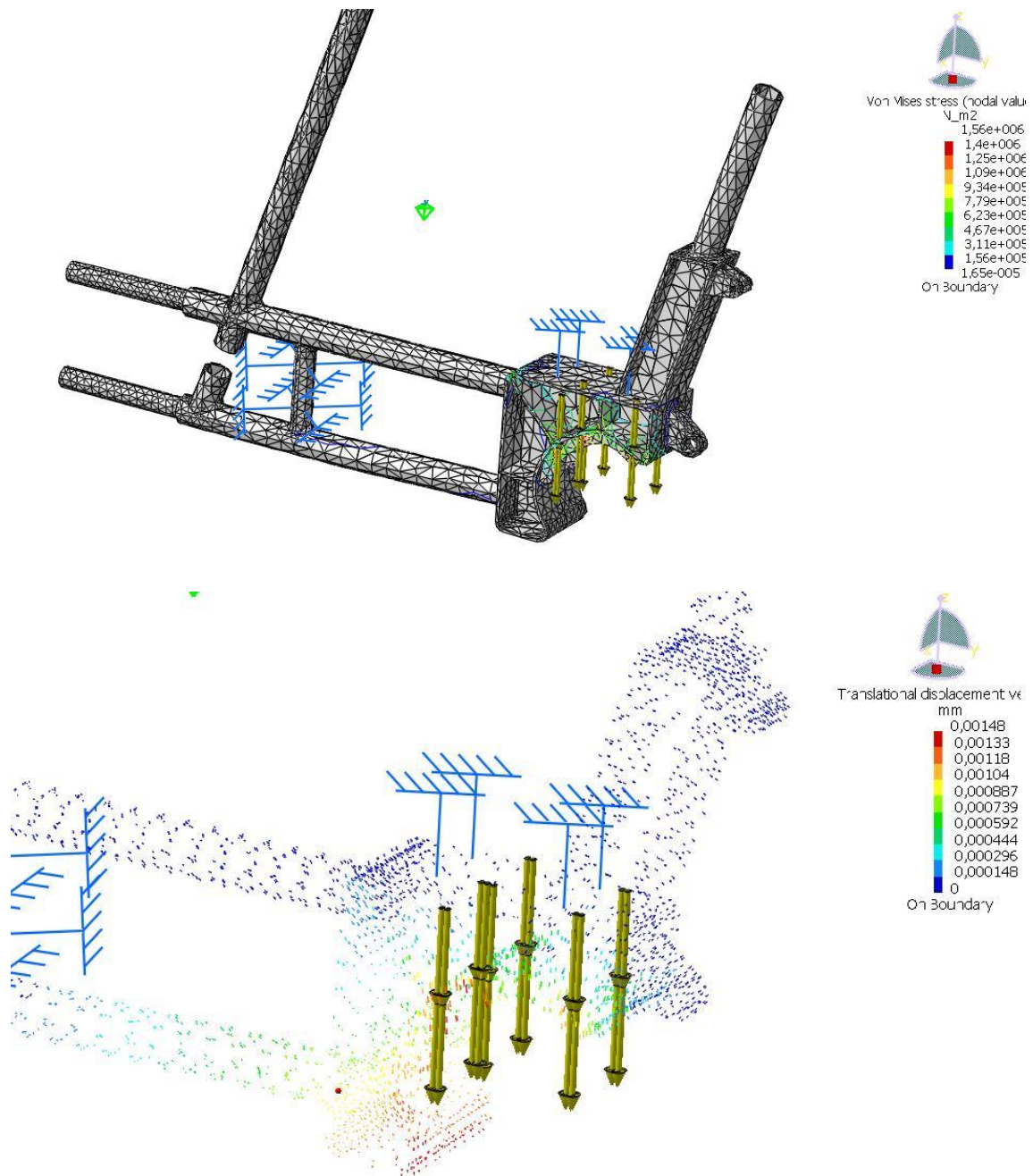


Figura 10.9. Carregamento vertical nos apoios do motor

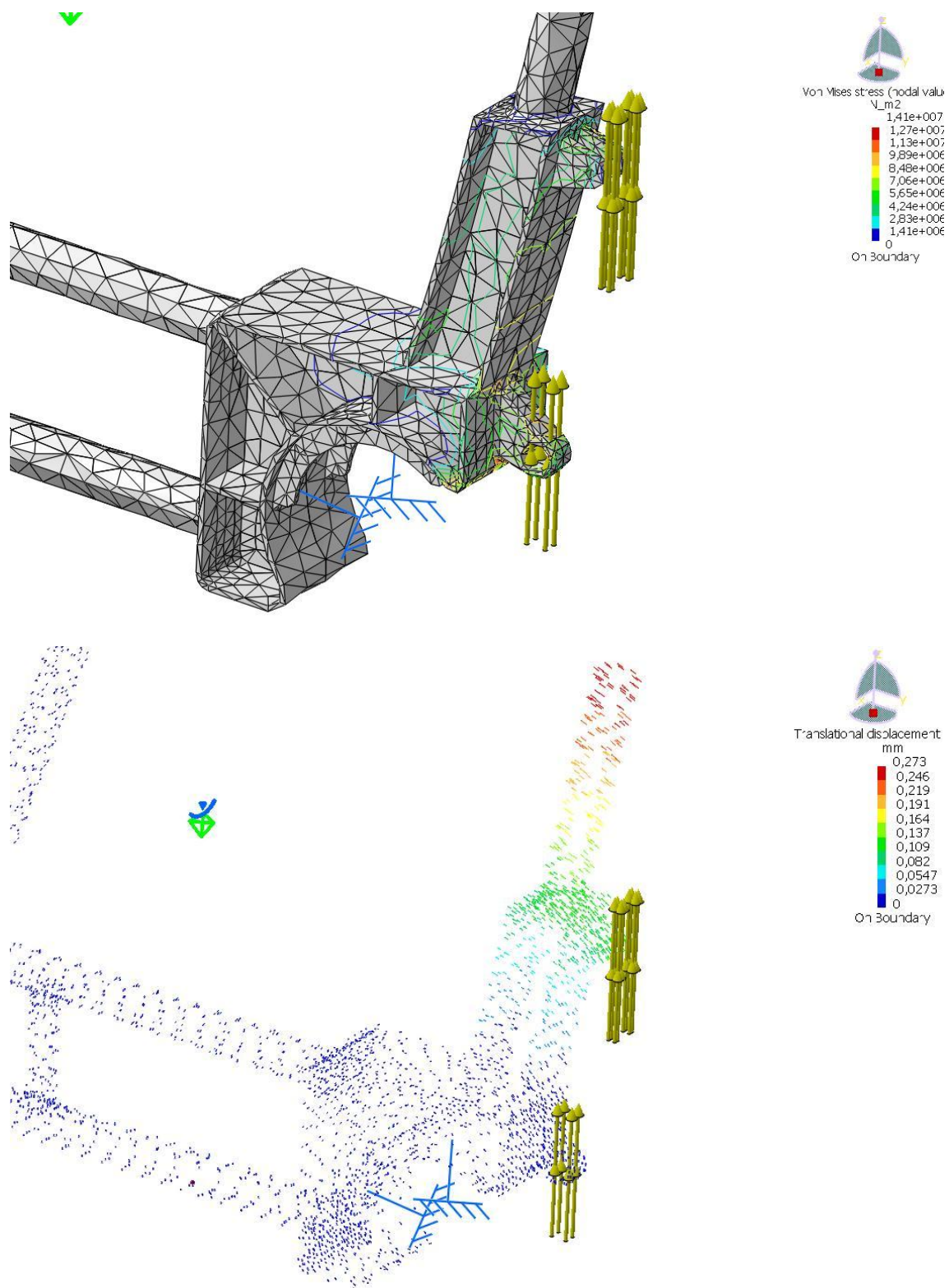


Figura 10.10. Carregamento vertical nos pontos de apoio do braço traseiro e amortecedor

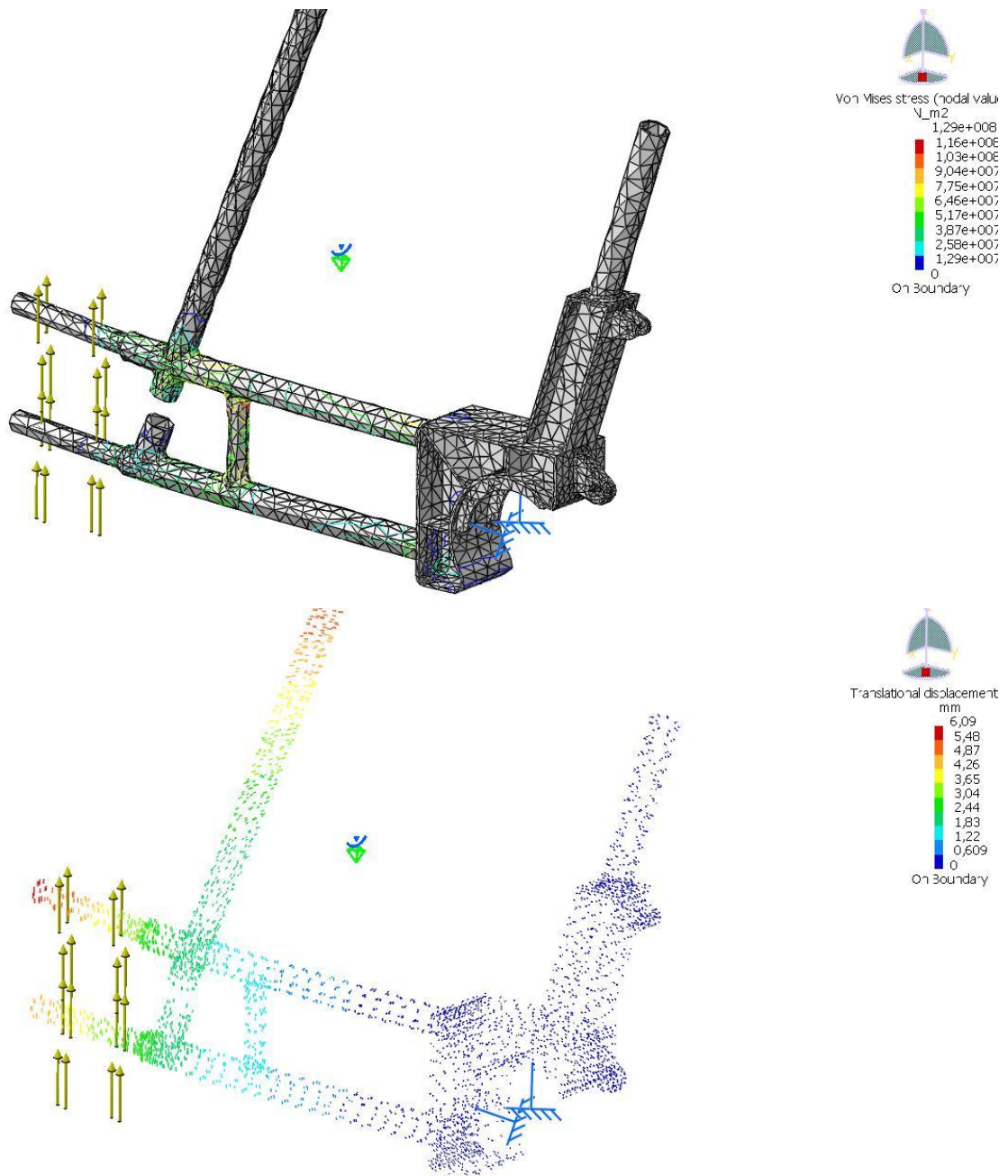


Figura 10.11. Carregamento vertical nos pontos de apoio das travessas dianteiras.

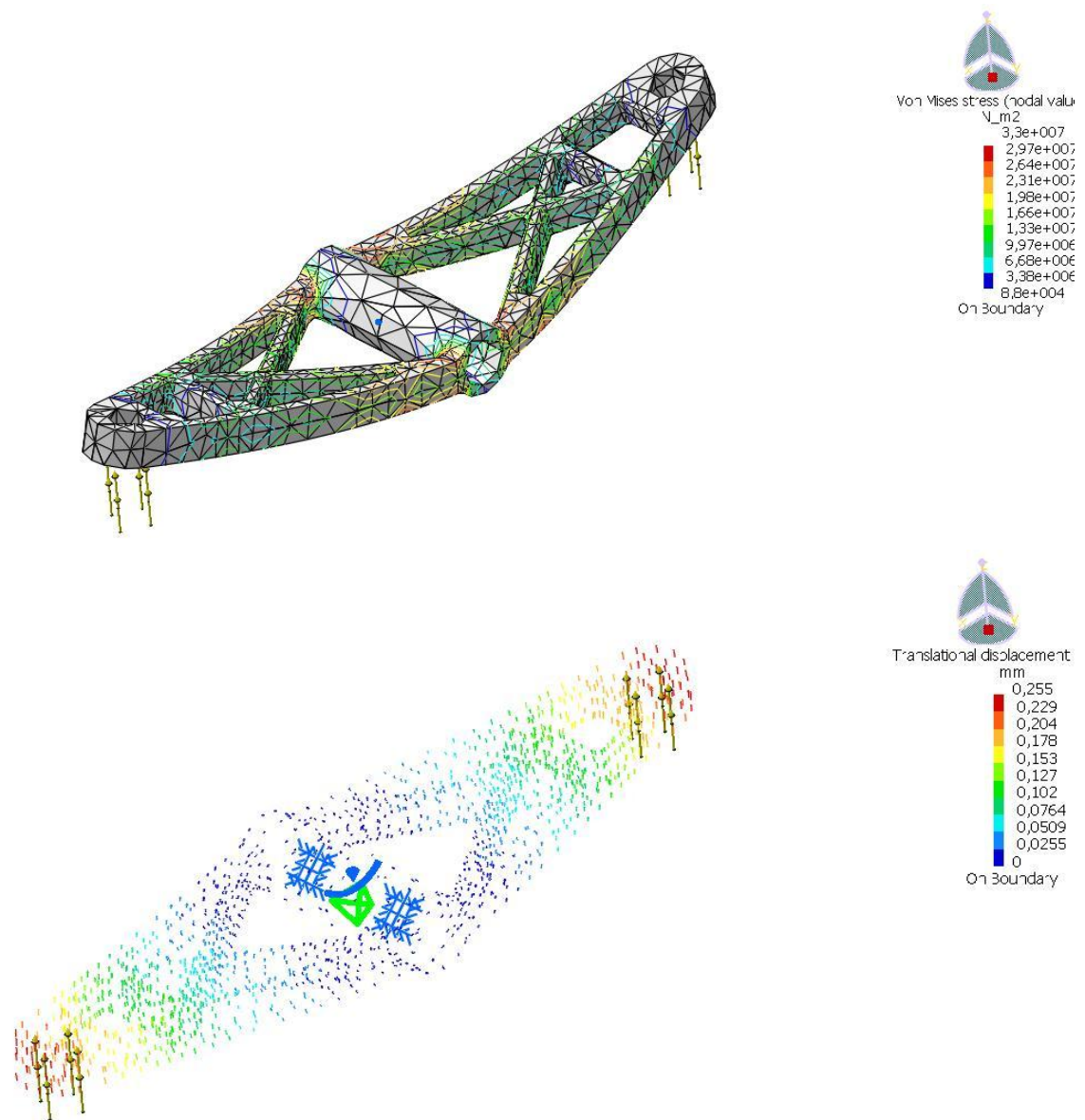


Figura 10.12. Carregamento vertical na travessa dianteira.

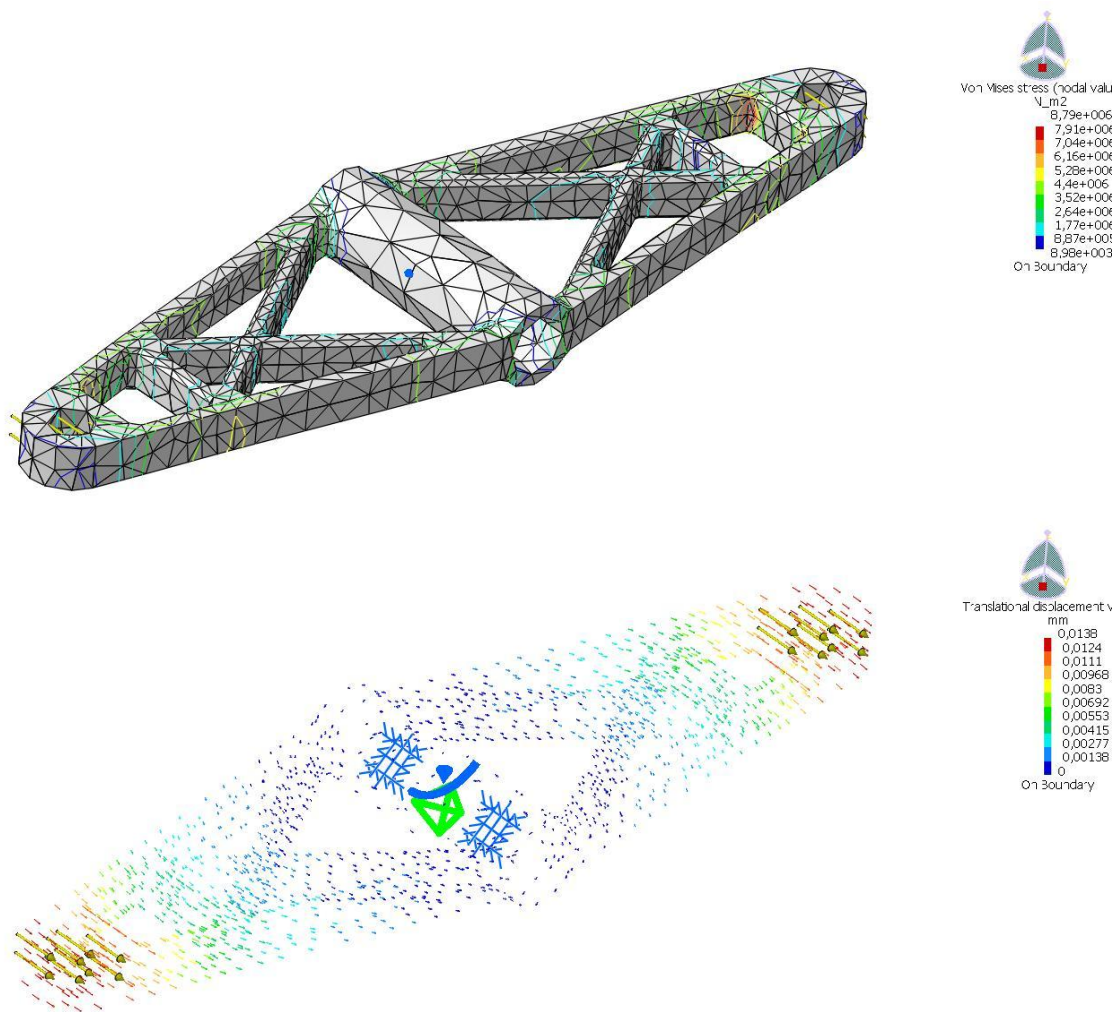


Figura 10.13. Carregamento horizontal na travessa dianteira.

Anexo 4 – Critérios de Avaliação FMEA

Tabela 10.5. Critérios de avaliação da gravidade

Efeito	Gravidade do efeito	Escala
Perigoso s/aviso	A falha afeta a segurança do utilizador ou a conformidade com regulamentação oficial, sem indicação prévia	10
Perigoso c/aviso	Idem mas com indicação prévia de que a falha vai ocorrer.	9
Muito alto	A falha não implica riscos para o utilizador mas afeta gravemente a operacionalidade	8
Elevado	A operacionalidade não é totalmente impedida mas é irregular e causa grande insatisfação no utilizador	7
Moderado	A falha impede a operacionalidade perfeita do produto o que leva à insatisfação da maioria dos utilizadores	6,5
Baixo	A falha causa alguma insatisfação nos utilizadores mais exigentes	4,3
Muito Baixo	O cliente provavelmente não deteta o defeito	2
Nenhum	Sem efeito	1

Tabela 10.6. Critério de avaliação da ocorrência

Probabilidade	Ocorrência	Escala
Muito elevada: a falha é inevitável	≥ 1 em 2	10
	1 em 3	9
Elevada: falhas repetidas	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: falhas ocasionais	1 em 80	6
	1 em 400	5
	1 em 2 000	4
Baixa: Falhas isoladas	1 em 15 000	3
	1 em 150 000	2
Remota: falha improvável	<1 em 1 500 000	1

Tabela 10.7. Critérios de avaliação da deteção

Deteção pelos controlos correntes	Significado	Escala
Certeza absoluta de não deteção	O controlo do projeto não irá ou não poderá detetar a falha	10
Muito baixa	A possibilidade de deteção da falha é muito remota	9
Baixa	Poucas probabilidades de detetar	8,7

	a falha	
Moderada	Os controlos poderão detetar a falha (mapas X&R)	6,5
Alta	Os controlos correntes têm grandes probabilidades de detetar a falha (insp.a 100%)	4,3
Muito alta	É praticamente certo que a falha será detetada pelos controlos (deteção automática da falha)	2,1

Anexo 5 – Árvores de Função

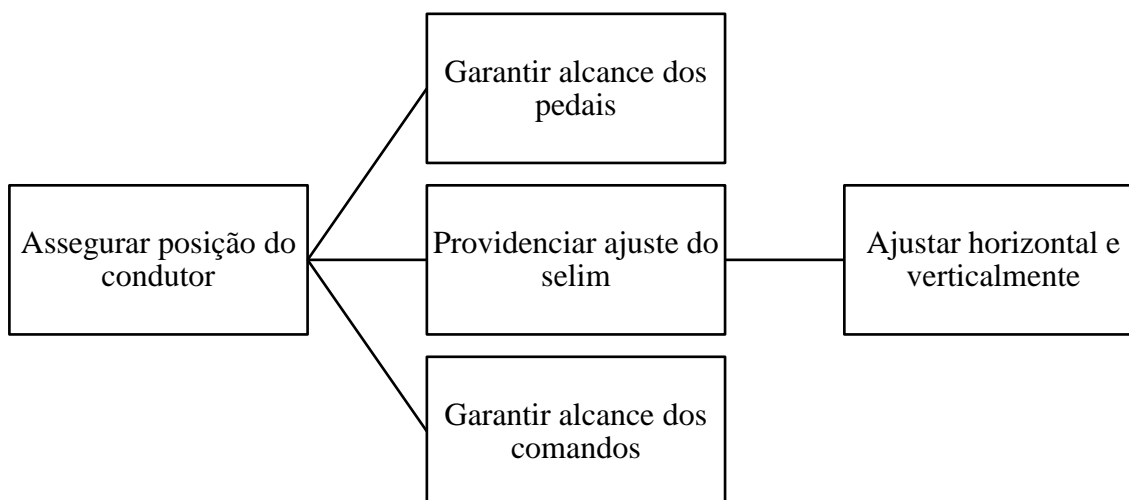


Figura 10.14. Árvore de função: Assegurar posição do condutor

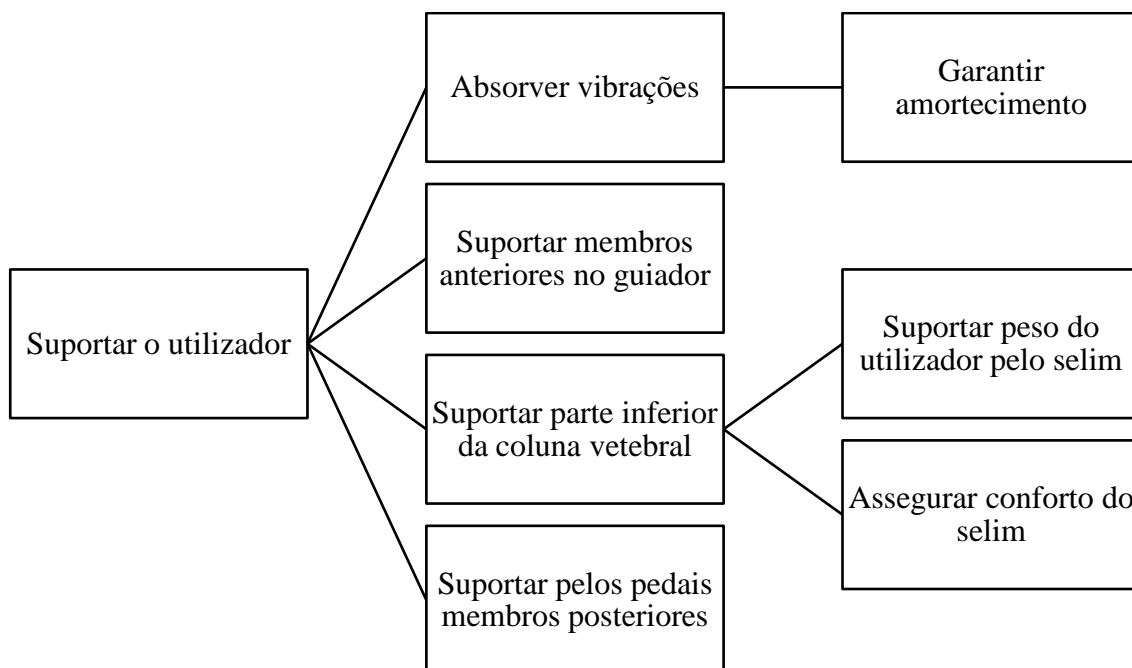


Figura 10.15. Árvore de função: Suportar o utilizador

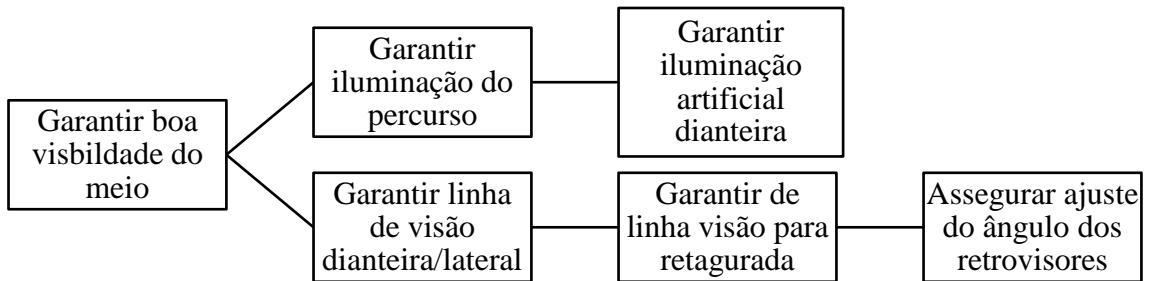


Figura 10.16. Árvore de função: Garantir boa visibilidade do meio

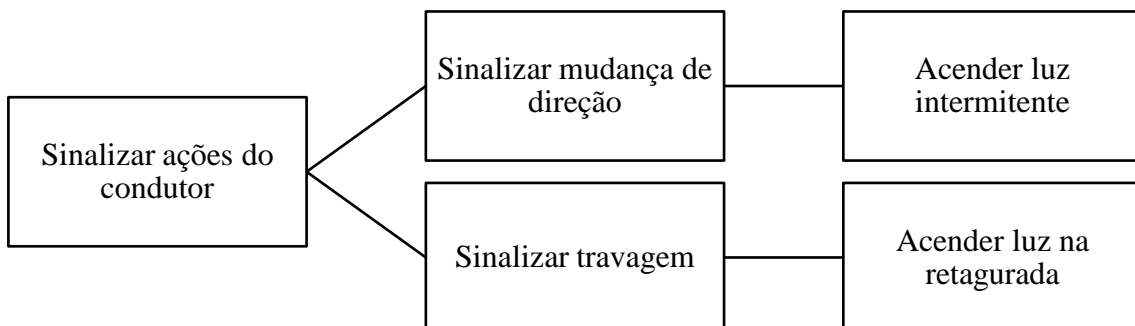


Figura 10.17. Árvore de função: Sinalizar ações do condutor

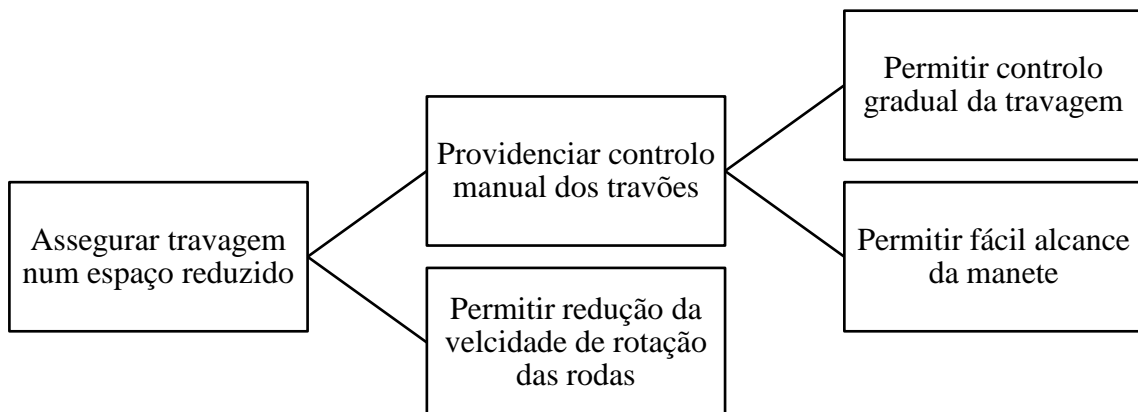


Figura 10.18. Árvore de função: Assegurar travagem num espaço reduzido



Figura 10.19. Proteger utilizador do meio envolvente

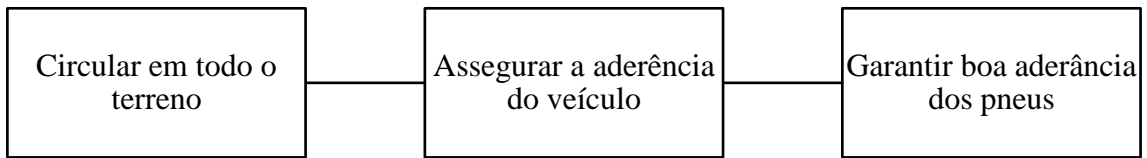


Figura 10.20. Árvore de função: Circular em todo o terreno

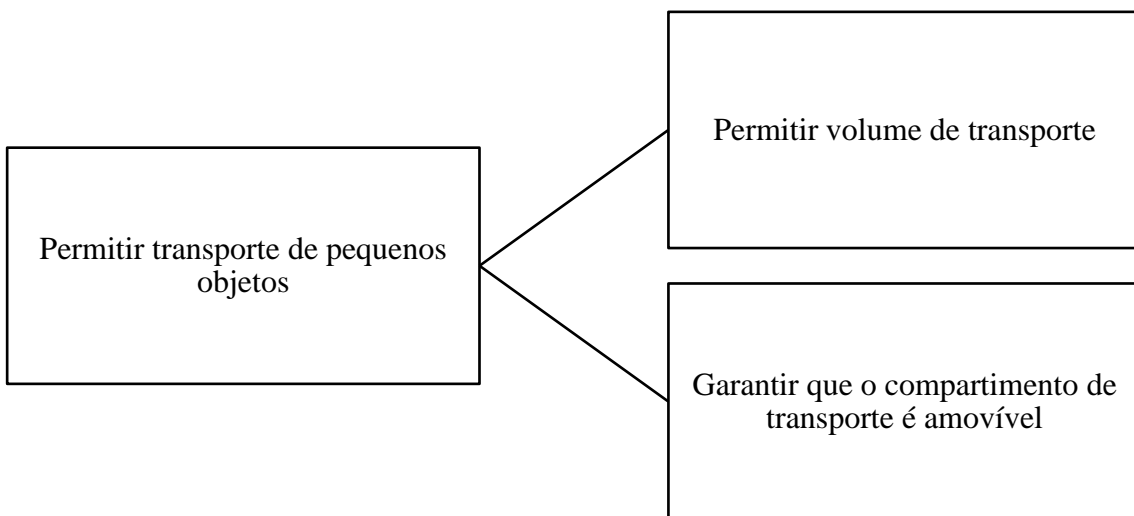


Figura 10.21. Árvore de função: Permitir transporte de pequenos objetos

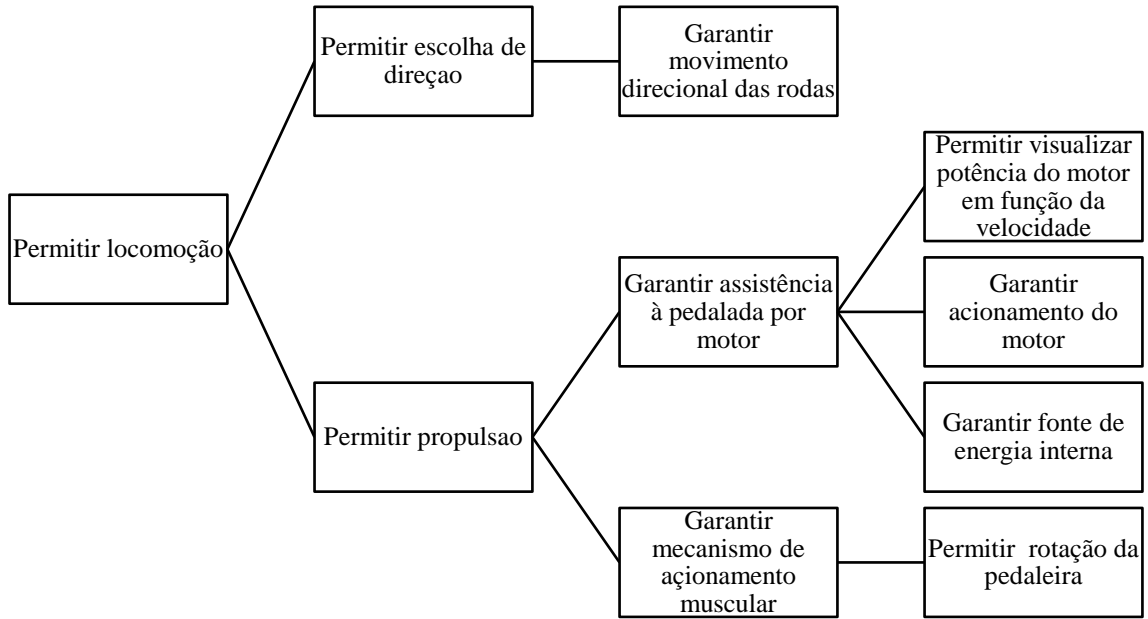


Figura 10.22. Árvore de função: Permitir locomoção

Anexo 6 – FMEA

FMEA: Projeto	Desenvolvimento de projeto											
	PRODUTO: Bicicleta eléctrica											
	RESPONSÁVEL PROJETO: João Matos											
ITEM/FUNÇÃO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO (S) POTENCIAL DA FALHA	GRAVIDADE CLASSIFICAÇÃO	CAUSA (S) POTENCIAL/MECANISMO (S) DA FALHA	OCORRÊNCIA CLASSIFICAÇÃO	CONTROLOS DE PREVENÇÃO	CONTROLOS DE DETECÇÃO	DETECÇÃO	RISCO (RPN)	ACÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA		
Ajustar vertical e horizontalmente o selim	Selim ficar solto	Queda do utilizador e impedimento da locomoção	10	YC	Mau aperto dos parafusos	2	Nenhum	Nenhum	10	200		
					Desaperto dos parafusos devido a vibração	5	YS	Utilização de porca com bloqueio de Nylon	Nenhum	10	500	Escolher uma porca com bloqueio de Nylon
Garantir alcance dos comandos	Distância elevada entre selim e comandos	Utilizador não alcançar comandos, impedimento da locomoção	8		Comprimento do quadro inadequado	4	YS	Utilização de dados antropométricos	Nenhum	10	320	Procurar dados antropométricos da população alvo
					Largura exagerada do guiador	4	YS	Utilização de dados antropométricos	Nenhum	10	320	Procurar dados antropométricos da população alvo
Garantir alcance dos pedais	Não alcançar os pedais	Utilizador não alcançar pedais, impedimento da locomoção	8		Altura do assento demasiado elevada	4	YS	Utilização de quadro com regulação da altura do assento	Nenhum	10	320	Dimensionar o quadro tendo em conta a altura máxima e mínima do espigão

Garantir amortecimento	Não amortecer	Utilizador sente desconforto	7		Curso de amortecimento insuficiente	4	YS	Definir curso de amortecimento	Nen hum	10	280	Fazer análise comparativa com outras bicicletas com perfis de utilização semelhantes para definir curso de amortecimento
					Amortecedor danificado	1		Nenhum	Nenhum		10	
					Pressão inadequada do amortecer	1		Nenhum	Nenhum		10	
					Pressão inadequada dos pneus	3		Nenhum	Nenhum		10	
Suportar membros anteriores do utilizador no guiador	Falha catastrófica do guiador	Queda do utilizador e impedimento da locomoção	10	YC	Fadiga do material	1		Utilizar um guiador <i>standard</i>	Nenhum	10	100	Procurar um guiador <i>standard</i> para uso todo o terreno comercialmente disponível
											0	
											0	
Suportar o peso do utilizador pelo selim	Ceder com o peso do ocupante	Queda do utilizador e impedimento da locomoção	10	YC	Mau aperto dos parafusos	2		Nenhum	Nenhum	10	200	
					Quebra suporte selim	4	YS	Utilizar um selim comercialmente disponível	Nenhum	10	400	Procurar um selim para uso todo o terreno comercialmente disponível
											0	

Assegurar conforto do selim	Desconforto	Utilizador não consegue utilizar o veículo durante longos períodos de tempo	5		Dimensões inapropriadas	4	YS	Definir claramente as limitações das dimensões	Nenhum	10	200	Procurar um selim para uso todo o terreno comercialmente disponível
					Ausência de interior do selim maleável	4	YS	Utilização de selim com interior maleável	Nenhum	10	200	Procurar um selim com interior maleável
										0		
Suportar o peso dos membros posteriores nos pedais	Pé escorregar do pedal	Queda do utilizador e impedimento da locomoção	10	YC	Pouco atrito pedal/pé	3		Nenhum	Nenhum	10	300	
					Quebra do pedal	1		Nenhum	Nenhum	10	100	
Garantir linha de visão dianteira	Obstáculos na linha de visão	Utilizador necessita de movimentar constantemente a cabeça para obter o campo de visão necessário	6		Espelhos retrovisores tapam campo visual	2		Nenhum	Nenhum	10	120	
					Armação da proteção climatérica demasiado larga	2		Nenhum	Nenhum	10	120	
					Opacidade da proteção climatérica	2		Nenhum	Nenhum	10	120	
Assegurar ajuste do ângulo dos retrovisores	Impedimento de ajuste dos retrovisores	Impedimento da visão à retaguarda	5		Sujidade na rótula de ajuste	3		Nenhum	Nenhum	10	150	
					Oxidação do metal no ponto de encaixe	4	YS	Utilizar um material não oxidável	Nenhum	10	200	Selecionar o alumínio para fazer o suporte
Garantir iluminação artificial dianteira	Luz não acende	Impedimento visualização	7		Lâmpada fundida	6	YS	Utilizar Led	Nenhum	10	420	Selecionar farol de Led
										0		
										0		
Acender luz intermitente	Luz não acende	Impedimento da sinalização	7		Lâmpada fundida	6	YS	Utilizar Led	Nenhum	10	420	Selecionar farol de Led

		intenção de movimentação								0		
										0		
Acender luz na retaguarda	Luz não acende	Impedimento da sinalização de travagem	7		Lâmpada fundida	6	YS	Utilizar Led	Nenhum	10	420	Selecionar farol de Led
										0		
										0		
Permitir controlo gradual da travagem	Bloqueio de travão	Queda do utilizador e impedimento da locomoção	10	YC	Empeno do travão	3		Nenhum	Nenhum	10	300	
					Bloqueio mecânico do travão	1		Nenhum	Nenhum	10	0	
					Bloqueio da manete	1		Nenhum	Nenhum	10	0	
Permitir fácil alcance da manete	Utilizador não alcança a manete	Utilizador não consegue utilizar o veículo	8		Manete demasiado distante do punho	3		Nenhum	Nenhum	10	240	
										0		
										0		
Permitir redução da velocidade de rotação das rodas	Não há travagem	Queda do utilizador e impedimento da locomoção	10	YC	Calços com elevados ciclos de utilização	2		Nenhum	Nenhum	10	200	
					Falha mecânica do sistema de travagem	1		Nenhum	Nenhum	10	0	
										0		
Garantir boa visibilidade dianteira da cobertura	Não consegue ver através da cobertura	Não consegue utilizar o veículo e queda	10	YC	Demasiada condensação de água na superfície	4	YS	Superfície polida ou com microperfurações	Nenhum	10	400	Escolher um material como um baixo grau de molhabilidade e baixa rugosidade superficial
					Cobertura riscada	5	YS	Escolher um material duro	Nenhum	10	500	Escolher como material polimérico dura e com elevada transparência

Permitir que a cobertura seja amovível	Não tirar/colocar cobertura, empeno dos engates	Não consegue retirar/colocar cobertura	5		Não utilização de engates rápidos	4	YS	Utilizar engates rápidos	Nenhum	10	200	Verificar quais os engates rápidos mais adequados
					Mau dimensionamento dos engates	2		Nenhum	Nenhum	10	100	
					Quebra dos engates	4	YS	Utilizar material com boa resistência mecânica	Nenhum	10	200	Utilizar um material plástico que tenha de elasticidade médio (E= 1.5 -2 GPa)
Garantir boa aderência dos pneus	Os pneus não aderem ao solo	O veículo derrapa, o utilizador pode cair	9	YC	Pneus sem cardado	1		Nenhum	Nenhum	10	90	Selecionar pneus mistos estrada/todo - terreno
										0		
										0		
Permitir volume de transporte de objetos	Compartimento bloqueado	Utilizador não consegue armazenar os objetos	4		Fecho bloqueado	2		Nenhum	Nenhum	10	80	
					Compartimento empenado	2		Nenhum	Nenhum	10	80	
										0		
Permitir que compartimento de objetos seja amovível	Não tirar/colocar compartimento, empeno dos engates	Não consegue retirar/colocar compartimento	4		Não utilização de engates rápidos	4	YS	Utilizar engates rápidos	Nenhum	10	160	Verificar quais os engates rápidos mais adequados
					Mau dimensionamento dos engates	2		Nenhum	Nenhum	10	80	
					Quebra dos engates	4	YS	Utilizar material com boa resistência mecânica	Nenhum	10	160	Utilizar um material plástico que tenha de elasticidade média (E= 1.5 -2 GPa)
Garantir acionamento do	Motor não funciona	Utilizador não é assistido na	7		Falha da bateria	2		Nenhum	Nenhum	10	140	
					Falha mecânica do motor	2		Nenhum	Nenhum	10	0	

motor		pedalada			Falha do controlador de velocidade	2		Nenhum	Nenhum	10	0
Garantir fonte de energia interna	Componentes elétricos não funcionam	Utilizador não é assistido na pedalada, componentes elétricos não funcionam	7		Falha da bateria	2		Nenhum	Nenhum	10	140
										0	
										0	
Permitir rotação da pedaleira	Pedaleira não roda	Veiculo fica sem acionamento	8		Falha mecânica do motor	2		Nenhum	Nenhum	10	160
					Corrente encravada	2		Nenhum	Nenhum	10	160
									10	0	

Anexo 7 – Matriz Objetivos - Especificações

Anexo 8 – Análise competitiva.

Tabela 10.9 – Análise competitiva

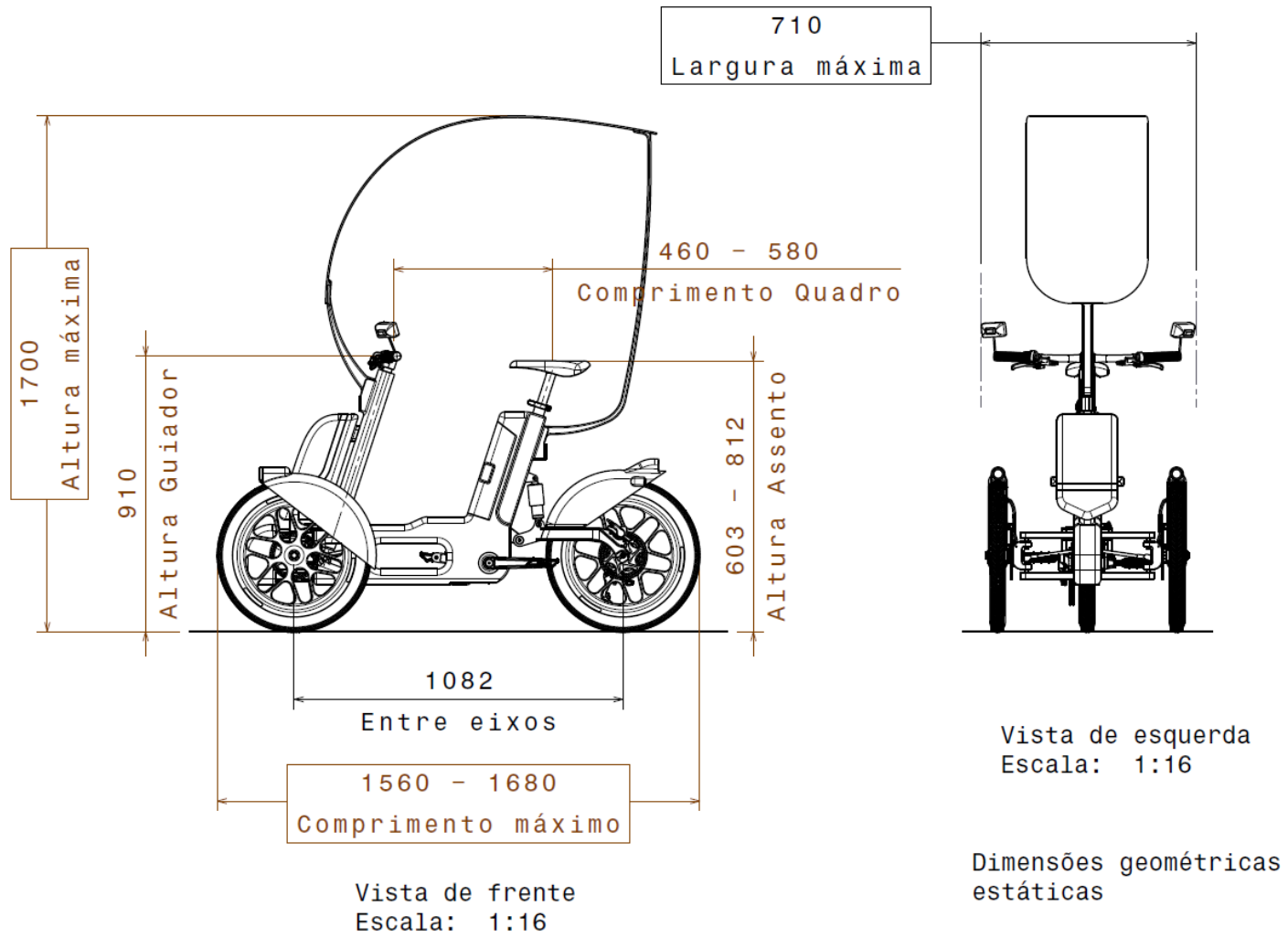
#	Especificação	Trotinete	Veículo elétrico compacto (Segway)	Bicicleta	Bicicleta elétrica (GoCycle)	Scooter de mobilidade	Motociclo urbano (Piaggio MP3 Yourban)	Automóvel de segmento médio (Renault Megane 5p, 1.9dci)	Automóvel urbano compacto (Renault Twizy)	Personal Rapid Transit (Ultra PRT)
1	Elementos de iluminação	Não	Não	Não	Não	Farol dianteiro	Farol dianteiro	Faróis dianteiros	Faróis dianteiros	Faróis dianteiros
2	Elementos de sinalização	Não	Refletores	Refletores	Não	Refletores Luzes	Refletores Luzes	Refletores Luzes	Refletores Luzes	Refletores Luzes
3	Auxiliares de visão	Não	Não	Não	Não	Espelhos retrovisores	Espelhos retrovisores	Espelhos retrovisores	Espelhos retrovisores	Não
4	Travagem	Traseira; calço	Ambas as rodas; Magnética	Dianteira, Traseira; Calço, Tambor, Disco	Dianteira, Traseira; Disco	Traseira; Magnética, Disco	Dianteira, Traseira; Disco	Dianteira, Traseira; Disco	Dianteira, Traseira; Disco	Dianteira, Traseira; Magnética
5	Número de rodas	2	2	2	2	3 – 4	3	4	4	4
6	Inclinação em curva	Sim	Sim (parcial)	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não
7	Posição quando imobilizado	Dependente do utilizador	Vertical	Dependente do utilizador	Dependente do utilizador	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
8	Posição de condução	Em pé	Em pé	Sentado	Sentado	Sentado	Sentado	Sentado	Sentado	Sentado (condução automática)
9	Disposição dos comandos	/	Alcance funcional	Alcance funcional	Alcance funcional	Alcance funcional	Alcance funcional	Alcance funcional	Alcance funcional	/
10	Assistência a pedalada	/	/	Não	Sim	/	/	/	/	/

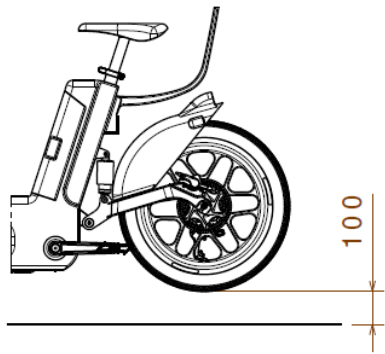
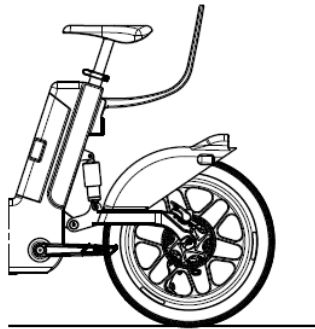
11	Operações de comando	Manual: Direção Pedonal: Propulsão direta no solo	Manual: Direção Inclinação corporal: Aceleração e travagem	Manual: Direção, travagem e troca de mudança Pedonal: Aceleração	Manual: Direção, travagem, troca de mudança e aceleração elétrica Pedonal: Aceleração	Manual: Direção, travagem, troca de mudança e aceleração elétrica	Manual: Direção, travagem, troca de mudança e aceleração Pedonal: Travagem e troca de mudança	Manual: Direção, troca de mudança Pedonal: Travagem e troca de mudança	Manual: Direção Pedonal: Travagem e troca de mudança	Manual: Seleção de destino, início de viagem.
12	Tempo necessário de contacto a movimento	Apróx. 0	Apróx. 0	Apróx. 0	Apróx. 0	Apróx. 0	Aquecimento do motor: 0-60s	Aquecimento do motor: 0-60s	0	Tempo de espera médio: <30s
13	Necessita de licença para operar	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não
14	Ajustabilidade da altura do assento	/	/	Apróx. 635 - 850	Apróx. 635 -850	/	/	/	/	/
15	Tamanhos de quadro elegíveis	/	/	Apróx 450 - 600	/	/	/	/	/	/
16	Curso vertical de sistema de amortecimento	/	/	Opcional: 50-200mm	25mm	/	Aproximadamente 150mm	?	?	?
17	Aspeto formal	Funcional	Funcional e estético Moderno	Funcional e estético	Funcional e estético	Funcional	Funcional e estético	Funcional e estético moderno	Funcional e estético moderno	Funcional e estético moderno
18	Modular	Não	Versão urbana e versão Todo-terreno	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Carga ou passageiros
19	Tipo de motorização	/	Elétrica	/	Elétrica	Elétrica	Combustão interna;	Combustão interna;	Elétrica	Elétrica
20	Potência do motor (kW)	/	0.35 x 2	/	0.25	0.35 – 0.5	17	75 - 134	4	2
21	Velocidade máxima	/	20	/	25	6	125	200	80	40

	motorizada (km/h)									
22	Autonomia de utilização motorizada (km)	/	38	/	64	16	>200	>800	50	10
23	Custo de aquisição (€)	<100	>5000	50 - 1500	3000	500 - 3000	>6000	>20000	>8000	/
24	Custo de utilização por km	/	Baixo	/	Baixo	Baixo	Médio/Elevado	Elevado	Médio	Médio
25	Proteção climatérica do condutor	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim; Total	Parcial; Topo e Frontal	Sim; Total
26	Número de ocupantes	1	1	1	1	1	2	5	2	6
27	Compartimentos de transporte de objetos	/	Compartimentos de transporte (opcional)	Compartimentos de transporte (opcional)	Compartimentos de transporte (opcional)	Cesto de transporte dianteiro	Compartimento de transporte	Compartimento de transporte	Não	Compartimento de transporte
28	Material utilizado no chassis	Alumínio	Alumínio	Alumínio	Alumínio	Alumínio	Alumínio	Alumínio	Alumínio	Alumínio
29	Porcentagem de utilização de componentes standard	Elevada	Média	Elevada	Média	Média	Elevada	Elevada	Elevada	Média
30	Complexidade mecânica	Muito reduzida	Média	Reduzida	Média	Média	Elevada	Elevada	Elevada	Elevada
31	Dimensões admissíveis para as rodas	<10"	18"	20 - 29"	20"	4 - 8"	13 - 14"	16 - 17" (Jante)	13" (Jante)	?
32	Dimensões máximas do veículo	C <700 L <300 A <800	C 630 L 480 A <1800	C 1700 L 660 A 1100	C < 1500 L <600 A < 1000	C <1500; L <1000; A <1500;	C 2040 L 760 A <1500	C 4600 L 1800 A 1500	C 2320 L 1190 A 1460	C 3700 L 1450 A 1600
33	Raio mínimo de viragem (mm)	<1000	0	<1500	<1500	<800	2500	6500	3400	5000
34	Peso total do veículo (kg)	<5	48	<15	16	100	210	1335	450	850

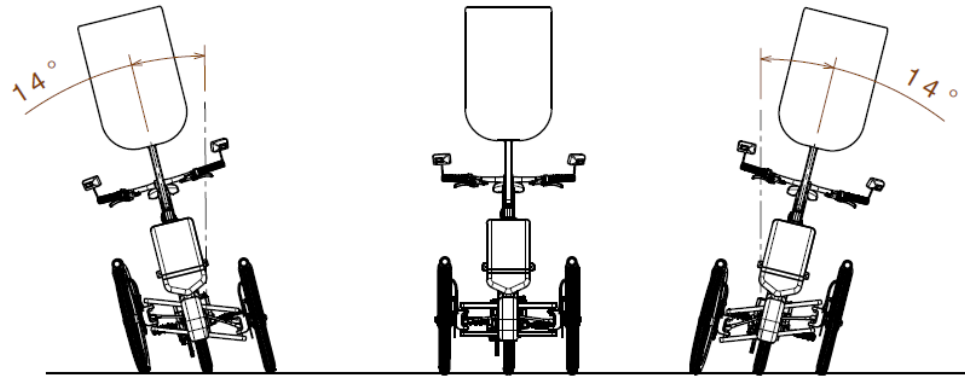
35	Número de relações de transmissão	/	1	1 - 27	3	1	1	6	1	1
36	Propulsão não motorizada	Impulso com o pé	/	Pedalada	Pedalada	/	/	/	/	/

Anexo 9 – Dimensões gerais do veículo

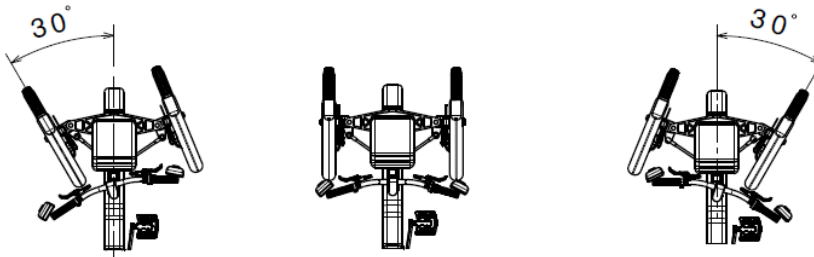




Curso máximo de amortecimento
Escala: 1:16

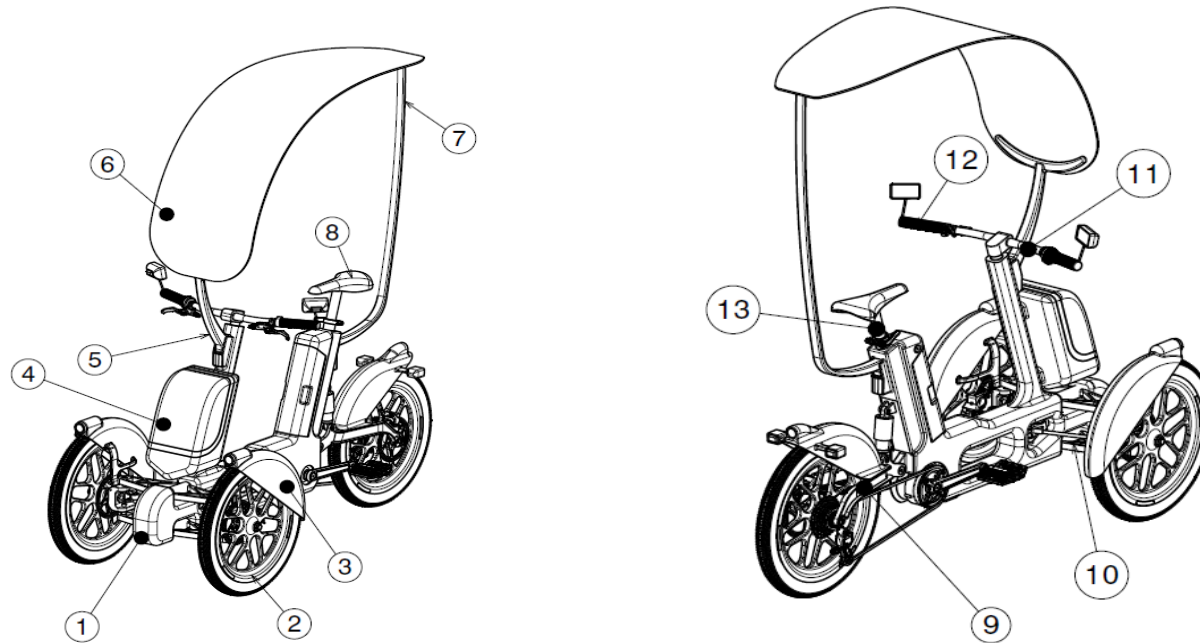


Ângulo máximo de
inclinação do veículo
Escala: 1:25



Ângulo máximo de direção
Escala: 1:25

Anexo 10 – Lista de materiais.



Número	Descrição	Material
1	Carenagem do quadro	Policarbonato
2	Jante	Acrilonitrila Butadieno Estireno- Policarbonato
3	Carenagem de roda dianteira	Policarbonato
4	Compartimento de transporte	Polipropileno
5	Suporte dianteiro da cobertura climatérica (interior/exterior)	Alumínio 6061 T6/Polipropileno
6	Cobertura climatérica	Poli Metacrilato de Metilo - acrílico
7	Suporte posterior da cobertura climatérica (interior/exterior)	Alumínio 6061 T6/Polipropileno
8	Braço traseiro/Chassis	Alumínio 6061 T6
9	Travessa dianteira/Chassis	Alumínio 6061 T6
10	Guiador	Alumínio 6061 T6
11	Punho	Borracha vulcanizada
13	Espigão do assento	Alumínio 6061 T6