

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2017

JÚLIO OLIVETO ALVES

CONCEPÇÃO DE VEÍCULO MOTORIZADO ELÉTRICO MODULAR DE
ACOPLAMENTO UNIVERSAL EM CADEIRAS DE RODAS MECANOMANUAL

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do
Campus de Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, para a obtenção do título de
Doutor em Engenharia Mecânica na área de
Projetos.

Orientador: Profº Dr. Victor Orlando Gamarra Rosado

Guaratinguetá
2017

A474c	<p data-bbox="359 1144 622 1182">Alves, Júlio Oliveto</p> <p data-bbox="359 1182 1339 1294">Concepção de veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal em cadeiras de rodas mecanomanual / Júlio Oliveto Alves – Guaratinguetá, 2017</p> <p data-bbox="406 1294 534 1332">178 f. : il.</p> <p data-bbox="406 1332 718 1370">Bibliografia: f. 150-155</p> <p data-bbox="359 1406 1252 1478">Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.</p> <p data-bbox="406 1478 1133 1516">Orientadora: Prof. Dr. Victor Orlando Gamarra Rosado</p> <p data-bbox="414 1552 1260 1590">1. Veículos elétricos. 2. Cadeiras para deficientes físicos. I. Título</p> <p data-bbox="1077 1626 1339 1662">CDU 621.337(043)</p>
-------	--

JULIO OLIVETO ALVES

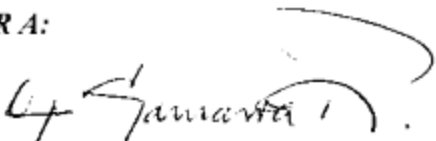
**ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA"**

**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: PROJETOS**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Ana Paula Roschini Alves Claro
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. VICTOR ORLANDO GAMARRA ROSADO
Orientador / UNESP/FEG


Prof. Dr. FERNANDO DE AZEVEDO SILVA
UNESP/FEG


Prof. Dr. JOÃO ZANGRANDI FILHO
UNESP/FEG


Prof. Dr. MAURICIO GUIMARÃES DA SILVA
IAE/ITA


Prof. Dr. ROSINEI BATISTA RIBEIRO
FATEA/Lorena

Agosto/ 2017

DADOS CURRICULARES

JÚLIO OLIVETO ALVES

NASCIMENTO	16.04.1985 – SÃO JOSÉ DOS CAMPOS / SP
FILIAÇÃO	Ronaldo Vilaça Alves Luciana Carneiro Oliveto
2004/2008	Curso de Graduação - Engenharia Mecatrônica Universidade Paulista – UNIP
2009/2011	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da UNESP
2013/2017	. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Doutorado na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da UNESP .

a minha esposa, aos meus pais e familiares, que viram em mim um futuro próspero e que acreditaram que eu era capaz, os quais são a minha força e meu incentivo para buscar o novo e aprender cada vez mais, sem nunca desistir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada,

a minha família que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem,

a minha esposa que me apoiou em todos os momentos de dificuldades,

ao meu orientador, Prof. Dr. Victor Orlando Gamarra Rosado pela orientação, incentivo, confiança e ensinamentos ao longo desses dois anos,

não podendo me esquecer também do meu patrocinador direto, LIVRE – MONTAGEM DE PRODUTOS ASSISTIVOS LTDA, onde eu desenvolvi o projeto e também realizei os ensaios e testes de usabilidade,

e a todos aqueles que de forma direta ou indiretamente me apoiaram.

ALVES, J. O. Concepção de veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal em cadeira de rodas 2017. 178p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.

RESUMO

O presente trabalho de pesquisa consiste na concepção de um veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal em qualquer modelo de cadeira de rodas mecanomanual. Trata-se de um equipamento eletro-mecânico, disponibilizado em forma de acessório, com estrutura física simplificada e alta tecnologia eletrônica aplicada capaz de proporcionar ao cadeirante maior liberdade de movimentação sem desgastes físicos. A aliança entre o design inclusivo e a área médica pode se revelar um passo importante na obtenção de produtos direcionados para as necessidades reais de pessoas com condições físicas e psíquicas particulares, melhorando o seu bem-estar e capacidade de execução de atividades no dia a dia. Desta forma, o presente trabalho é direcionado pelos fundamentos do design inclusivo com o principal ponto focal no usuário, mas que apresenta outros dois importantes pilares adotados em sua metodologia de desenvolvimento, sendo eles, o benchmarking e o estudo de Normas Técnicas aplicadas no desenvolvimento de equipamentos assistivos. São apresentadas as etapas de desenvolvimento, ensaios com base em Normas Técnicas e teste de usabilidade. Busca-se evidenciar todo o processo de design de equipamento, assim como o estudo teórico de estabilidade e montagem do protótipo funcional. Os ensaios baseados na Norma Técnica ABNT NBR ISO 7176 permitem o entendimento do comportamento dinâmico e funcional do protótipo em termos de estabilidade estática, eficácia dos freios, consumo de energia, velocidade máxima, aceleração, desaceleração e capacidade de transposição de obstáculos. Por fim, discute-se a análise de resultados dos ensaios junto aos resultados teóricos calculados e pré-requisitos estabelecidos.

PALAVRA CHAVE: veículo motorizado assistivo, cadeira de rodas, acessibilidade, tração elétrica, design inclusivo, ISO 7176.

ALVES, J. O. Conception of modular electric motor vehicle of universal attachment in standard wheelchair 2017. 178 p. Thesis (PhD in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.

ABSTRACT

The thesis consists in the conception of a modular electric motor vehicle that can be attached in any model of standard wheelchair. It is an electro-mechanical equipment, available as an accessory, with a simplified physical structure and high applied electronic technology capable of giving the wheelchair greater freedom of movement without physical wear and tear. The union between inclusive design and the medical field can be an important step in obtaining products aimed at the real needs of people with particular physical and psychological conditions, improving their well-being and ability to do their daily activities. In this way, the thesis is guided by the fundamentals of inclusive design with the main focal point in the user, by the way presents two other important pillars adopted in its development methodology, being the benchmarking and the study of Technical Standards applied in the development of Assistive devices. The stages of development are presented, tests based on Technical Standards and usability testing. The aim of this work is to demonstrate the whole process of equipment design, as well as the theoretical study of stability and assembly of the functional prototype. The tests based on the Technical Standard ABNT NBR ISO 7176 allow the understanding of the dynamic and functional behavior of the prototype in terms of static stability, brake efficiency, power consumption, maximum speed, acceleration, deceleration and obstacle transposition capacity. Finally, we discuss the analysis of the results of the tests together with the calculated theoretical results and established prerequisites.

KEYWORDS: Assistive motor vehicle, wheelchair, accessibility, electric traction, inclusive design, ISO 7176.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - População de pessoas com deficiência no Brasil.....	28
Figura 2 - População cadeirante no Brasil.....	30
Figura 3 - Cadeira de rodas mecanomanual e seus componentes.	42
Figura 4 - Processo de desenvolvimento de cadeira de rodas.	44
Figura 5 – Gráficos classificação do público: (a) sexo; (b) faixa etária; (c) tempo de uso da cadeira de rodas; (d) modelo de cadeira de rodas.....	47
Figura 6 – Gráfico pergunta 1: Qual a classificação da sua facilidade de transferência de um assento para outro ou até mesmo para outra cadeira de rodas?.....	48
Figura 7 – Gráfico pergunta 2: Como você classificaria a maneira como conduz a sua cadeira de rodas, como exemplo, força nos braços, troco ou cansaço?	48
Figura 8 - Pergunta 3: Como você classificaria os obstáculos em sua cidade em relação à acessibilidade?	49
Figura 9 - Pergunta 4: Se você utiliza carro adaptado, como seria a sua classificação em relação a estacionar o seu carro? (Tempo para encontrar vagas, o respeito das pessoas com a vaga destinada à pessoas com deficiência).....	50
Figura 10 - Pergunta 5: Como classificaria os meios de transporte público adaptado?	50
Figura 11 - Pergunta 6: Se você tivesse um produto assistivo, leve, compacto e simples para te ajudar na locomoção em seu dia-a-dia como você o classificaria?	51
Figura 12 - Pergunta 7: Como você classificaria se esse veículo fosse prático o suficiente para você não precisar de ajuda para o dirigir?	52
Figura 13 - Pergunta 8: Se esse veículo fosse um veículo elétrico e que você não precisasse mais de alguém para auxiliar e/ou empurrar a sua cadeira, como você o classificaria?	52
Figura 14 - Pergunta 9: Se você pudesse continuar em sua cadeira de rodas neste veículo e ainda ir a parques, shoppings, cinema e sair com a família, como você classificaria isso em sua vida?	53
Figura 15 - Pergunta 10: Como você classificaria se a sua cadeira de rodas fosse considerada um veículo e pudesse transitar em meio aos carros em avenidas e vias públicas?	53

Figura 16 - Pergunta 11: Você estaria disposto em experimentar um novo veículo e ser tratado com mais dignidade no trânsito e ainda continuar usando a sua cadeira de rodas? Como você classificaria essa experiência?.....	54
Figura 17 - Requisitos de projeto FASE 1 - Ponto focal: usuário.....	56
Figura 18 – KENGURU.	58
Figura 19 - KIT LIVRE: (a) desacoplado; (b) acoplado na cadeira de rodas.	59
Figura 20 - EV4 - QUAD BIKE.....	60
Figura 21 - I-ROAD	61
Figura 22 - Requisitos de projeto FASE 2 - Ponto focal: benchmarking.....	63
Figura 23 – Dimensões limites para a construção de cadeira de rodas.	65
Figura 24 – Sistema de suspensão independente duplo “A”.	68
Figura 25 – Ângulo de câmbio.	70
Figura 26 – Ângulo de caster.....	70
Figura 27 – Ângulo do pino mestre.....	71
Figura 28 – Raio de deslizamento (scrub radius).	72
Figura 29 – Centro instantâneo de rotação: (a) vista frontal; (b) vista tridimensional..	73
Figura 30 – Centro de rolagem.	73
Figura 31 – Convergência do veículo.....	74
Figura 32 - Requisitos de projeto modelo final.	75
Figura 33 – Cadeira de rodas mecanomanual: (a) estrutura dobrável em duplo X; (b) estrutura rígida monobloco.....	78
Figura 34 - Suporte universal para cadeira de rodas mecanomanual.	79
Figura 35–Posicionamento dos mancais de apoio na cadeira de rodas: (a) vista lateral; (b) vista superior.	80
Figura 36 – (a) alongador lateral; (b) instalação do alongador lateral sobre o mancal lateral.	80
Figura 37 - Suporte universal para cadeira de rodas: (1) Acoplamento central; (2) Acoplamento lateral.....	81
Figura 38 - Regulagem da abertura da parte frontal do suporte.....	82

Figura 39 – Configurações do acoplamento central: (a) posição original; (b) parte central deslocada 6° em relação à posição original; (c) parte central invertida em relação à posição original; (d) parte central deslocada 6° em relação à posição anterior.....	82
Figura 40 - Verificação da altura de levantamento dos rodízios dianteiros da cadeira de rodas.....	83
Figura 41 – Parte frontal motorizada do veículo para acoplamento em cadeira de rodas.	84
Figura 42 – Veículo motorizado elétrico modular.	84
Figura 43 – Conjunto de tração dianteira do veículo motorizado elétrico modular.....	85
Figura 44 - Sistema de suspensão duplo A do veículo motorizado elétrico modular. ..	86
Figura 45 - Estrutura física da parte frontal do veículo motorizado elétrico modular. .	87
Figura 46 – Versão final do protótipo virtual da parte frontal do veículo motorizado elétrico modular: (a) vista lateral; (b) vista superior; (c) vista posterior.....	87
Figura 47 - Versão final do protótipo virtual do conjunto veículo motorizado elétrico modular de acoplamento em cadeira de rodas mecanomanual.	88
Figura 48 – Limites do alcance manual de cadeirantes em metros.	89
Figura 49 – Comprimentos estimados de partes do corpo em pé, em função da estatura H.	92
Figura 50 – Posições dos CG's de cada membro do sistema.....	94
Figura 51 - Posição do CG do corpo humano para o modelo proposto	95
Figura 52 - Sistema de eixos coordenados para análise de CG – veículo motorizado elétrico modular.....	96
Figura 53 - Coordenadas do CG do conjunto veículo motorizado modular / usuário. .	97
Figura 54 - Sistema de coordenadas cartesianas.	99
Figura 55 – DCL para análise de estabilidade estática longitudinal: (a) vista superior; (b) vista lateral.	99
Figura 56 - DCL para análise de estabilidade lateral estática: (a) vista superior; (b) vista posterior.	101
Figura 57 - DCL para análise dinâmica.....	102
Figura 58 - DCL para análise de estabilidade dinâmica: (a) vista superior; (b) vista posterior.	104

Figura 59 - Análise de estabilidade dinâmica considerando raio de curvatura: (a) $\rho = 1000$ mm; (b) $\rho = 2000$ mm; (c) $\rho = 2500$ mm; (d) $\rho = 5000$ mm.	106
Figura 60 – Motor elétrico brushless: (a) Esquema de acionamento; (b) Sequência de chaveamento das bobinas.	109
Figura 61 - Componentes eletromecânicos do protótipo funcional: (a) motor; (b) módulo controlador;.....	110
Figura 62 – Análise comparativa entre as baterias Pb-acid, NiMH e Li-íon.	110
Figura 63 – Detalhes do sistema de suspensão do protótipo funcional.....	113
Figura 64 - Detalhes dos dispositivos de controle do protótipo funcional: (a) chave seletora das baterias; (b) painel de controle de velocidade e bateria; (c) compartimento dos módulos de controle.	113
Figura 65 - Guidão de direção e painéis de instrumentos: (a) painel 1; (b) painel 2. .	114
Figura 66 - Detalhes da montagem parcial: (a) sistema de suspensão e direção; (b) sistema de freio duplo a disco.	115
Figura 67 - Montagem final do protótipo funcional sem as capas protetoras.	115
Figura 68 - Projeto virtual do sistema de tração traseira para cadeira de rodas mecanomanual.	117
Figura 69 – Banco para transporte de passageiro no sistema de tração.	117
Figura 70 – Sistema de acoplamento na cadeira de rodas: (a) sistema de trava; (b) suporte traseiro; (c) instalação.....	118
Figura 71 – Procedimentos para acoplamento do sistema de tração traseiro: (a) marcha a ré em direção ao sistema; (b) acoplamento da trava superior; (c) acoplamento das travas inferiores.	119
Figura 72 – Plataforma construída para análise de estabilidade longitudinal.	122
Figura 73 – Plataforma construída para análise de estabilidade lateral.	123
Figura 74 – Inclinação máxima suportada para estabilidade longitudinal frontal.	126
Figura 75 – Inclinação máxima suportada para estabilidade longitudinal traseira menos estável.	126
Figura 76 - Inclinação máxima suportada para estabilidade lateral: (a) lado direito; (b) lado esquerdo.	127
Figura 77 – Sistema de pulverização de água para freio a disco (dianteiro).....	131

Figura 78 - Pista de testes para consumo de bateria.....	133
Figura 79 – Pista de teste para manobragem.	135
Figura 80 – Ensaio de capacidade para transposição de obstáculo.	140

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Composição estrutural dos grupos de cadeira de rodas pela complexidade tecnológica.....	42
Quadro 2 – Descrição dos limitantes do alcance manual de cadeirantes	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da pesquisa cognitiva com usuários de cadeira de rodas.	55
Tabela 2 - Análise comparativa de especificações técnicas	62
Tabela 3 - Razões de massa e posição do CG	91
Tabela 4 - Cálculos para massa, comprimento e posição do CG para cada segmento do corpo humano.	93
Tabela 5 – Cálculo de centro de massa – usuário 90 kg – 1,75 m.	94
Tabela 6 – Cálculo de centro de massa – veículo motorizado elétrico modular / usuário	97
Tabela 7 – Parâmetros dimensionais para análise de estabilidade	100
Tabela 8 – Características motor de imã permanente brushless sem engrenagens 48 V 1500W modelo Ultra, marca Leaf Motor.	108
Tabela 9 – Características das baterias Pb-Acid, NiCd, NiMH e Li-íon.	111
Tabela 10 - Características bateria íons de lítio 48V 13 Ah.....	112
Tabela 11 - Dimensões reais do protótipo funcional.....	116
Tabela 12 – Resultados dos ensaios de estabilidade estática (°)	128
Tabela 13- Resultados dos ensaios de estabilidade estática (%).....	128
Tabela 14 – Resultados da execução de ensaios de freio em codição seca.....	131
Tabela 15 – Resultados da execução de ensaios de freio em codição molhada.....	132
Tabela 16 – Resultados da aceleração geral.	138
Tabela 17 – Resultados de desaceleração geral.....	139
Tabela 18 - Cumprimento de requisitos.	143

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Distância do CG ao eixo da roda dianteira	$[mm]$
a_t	aceleração tangencial	$[m/s^2]$
A_0	Aceleração geral	$[m/s^2]$
b	distância entre o CG e o eixo traseiro sobre o eixo coordenado Y	$[mm]$
b'	distância entre o CG e o eixo de tombamento lateral durante análise estática	$[mm]$
c	raio de giro	$[mm]$
C_i	comprimento de um segmento do corpo humano	$[mm]$
C_5	Capacidade de carga da bateria por um tempo de descarga de 5 horas	$[Ah]$
d	distância entre o CG e o eixo traseiro sobre o eixo coordenado X	$[mm]$
D	Ângulo em graus	$[^\circ]$
D_c	Distância percorrida no ensaio de condução contínua	$[m]$
e_c	Consumo específico de energia do ensaio de condução contínua	$[Wh/km]$
E_{bat}	Capacidade nominal de energia do conjunto de bateria	$[Wh]$
E_c	Consumo de energia durante o ensaio de condução contínua	$[Wh]$
e_m	Consumo específico de energia do veículo no ensaio de manobragem	$[Wh/km]$
E_m	Consumo de energia elétrica durante o ensaio de manobragem	$[Wh]$
h	Altura do CG em relação ao solo	$[mm]$
$h1$	Altura de levantamento dos rodízios dianteiros	$[mm]$
$Hmax_d$	Altura máxima de transposição de obstáculo em descida	$[mm]$
$Hmax_s$	Altura máxima de transposição de obstáculo em subida	$[mm]$
L	Comprimento entre eixos dianteiro e traseiro	$[mm]$

m	massa de um corpo	[Kg]
m_i	massa de um segmento do corpo humano	[kg]
P	Ângulo em porcentagem	[%]
R_0	Desaceleração geral	[m/s ²]
R_0^1	matriz de transformação entre o plano fixo e móvel	-
$R_{x,\gamma}$	matriz de transformação entre o plano fixo e móvel influenciado pelo ângulo γ	-
$R_{y,\theta}$	matriz de transformação entre o plano fixo e móvel influenciado pelo ângulo θ	-
$R_{z,\alpha}$	matriz de transformação entre o plano fixo e móvel influenciado pelo ângulo α	-
R_c	Autonomia teórica de distância de condução de bateria do veículo	[km]
R_m	Autonomia teórica de distância do ensaio de manobragem	[km]
T_A	Tempo de aceleração	[s]
V	volume de uma figura geométrica	[mm ³]
Vm_m	Velocidade máxima média	[m/s]
V_{nom}	Tensão nominal do conjunto de bateria	[V]
v_x	velocidade longitudinal	[m/s]
$\bar{x}$	posição do centróide de uma figura geométrica sobre o eixo coordenado X	[mm]
$\bar{y}$	posição do centróide de uma figura geométrica sobre o eixo coordenado Y	[mm]
W	força peso	[N]
W_t	força peso total do sistema	[N]
$\bar{z}$	posição do centróide de uma figura geométrica sobre o eixo coordenado Z	[mm]
α	Ângulo de inclinação da cadeira de rodas acoplada ao veículo motorizado	[°]
θ	Ângulo de tombamento longitudinal	[°]

φ	Ângulo gerado entre o eixo Y e o eixo imaginário	$[^{\circ}]$
γ	Ângulo de tombamento lateral	$[^{\circ}]$
$\bar{z}$	posição do centróide de uma figura geométrica sobre o eixo coordenado Z	$[mm]$
$\{A\}$	vetor força inercial	$[N]$
$\{A_1\}$	vetor força inercial representado sobre o plano móvel	$[N]$
$\{A^*\}$	vetor coluna força inercial	$[N]$
$\{E\}$	vetor força radial	$[N]$
$\{E_1\}$	vetor força radial representado sobre o plano móvel	$[N]$
$\{E^*\}$	vetor coluna força radial	$[N]$
$\{k\}$	braço de momento durante análise dinâmica;	$[m]$
$\{P\}$	vetor força peso;	$[N]$
$\{P_1\}$	vetor força peso representado sobre o plano móvel;	$[N]$
$\{P^*\}$	vetor coluna força peso.	$[N]$

LISTA DE SIGLAS

ABIMO	Associação Brasileira da Indústria de Artigos e Equipamentos Médicos, Odontológicos, Hospitalares e de Laboratórios
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CG	Centro de gravidade
CM	Centro de massa
DCL	Diagrama de corpo livre
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Centro instantâneo
ICF	Classificação Internacional do Funcionamento, da Deficiência e da Saúde
ISO	Organização Internacional de Normalização
KPI	King pin inclination
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
OMS	Organização Mundial de Saúde
RC	Centro de rolagem
SLA	Short long arm

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Objetivo.....	22
1.2 Escopo da Tese	23
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1 Estatísticas - pessoa com deficiência	27
2.2 Conceito de design inclusivo e design universal	32
2.3 Recursos tecnológicos.....	36
2.3.1 Auxílio de mobilidade: cadeira de rodas manual x motorizada.....	40
3. REQUISITOS DE PROJETO	43
3.1 Fase 1 - usuário	46
3.2 Fase 2 - benchmarking.....	56
3.2.1 Kenguru.....	57
3.2.2 Kit Livre – módulo de acoplamento motorizado elétrico	58
3.2.3 EV4 – quad bike.....	59
3.2.4 Toyota i-road.....	60
3.2.5 Análise comparativa e definição de parâmetros	61
3.3 Fase 3 – Normas técnicas.....	63
3.3.1 Norma ABNT NBR 9050:2002	64
3.3.2 Norma ABNT NBR ISO 7176	65
3.3.3 Norma ABNT NBR 15916.....	67
3.3.4 Norma ABNT NBR 14868.....	67
3.4 Sistema de suspensão independente duplo A	68
3.5 Diagrama de requisitos de projeto – modelo final.....	74

4.	METODOLOGIA DE PROJETO	76
4.1	Design do suporte universal para cadeira de rodas	77
4.2	Design da parte frontal do veículo motorizado elétrico modular	83
4.3	Análise do centro de gravidade	88
4.4	Análise teórica de estabilidade estática e dinâmica	98
4.4.1	Estabilidade estática	98
4.4.2	Estabilidade dinâmica	102
4.5	Montagem de protótipo funcional	107
4.6	Design do sistema de motorização traseira	116
5.	ENSAIOS DE FUNCIONAMENTO E TESTES DE USABILIDADE	120
5.1	Equipamentos de ensaio	121
5.2	Determinação da estabilidade estática	124
5.3	Determinação da eficácia dos freios	129
5.4	Consumo de energia	132
5.5	Determinação da velocidade máxima, aceleração e desaceleração	137
5.6	Determinação da capacidade de transposição de obstáculos	139
5.7	Análise de resultados	142
6.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	147
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
	ANEXO I - Modelos de cadeiras de rodas e componentes utilizados no suporte universal	156
	ANEXO II - Código de programação para o simulador de análise de estabilidade dinâmica realizado no software matemático matlab R2012b ®	159
	ANEXO III - Curva de desempenho – motor brushless sem engrenagens 1500 W ...	162
	ANEXO IV - Relatórios de ensaio	163

1. INTRODUÇÃO

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define que a deficiência é parte da condição humana. Provavelmente todas as pessoas estarão temporariamente ou permanentemente prejudicadas em algum momento da vida, e aquelas que sobrevivem até a velhice experimentarão dificuldades crescentes nas suas funcionalidades. A deficiência é complexa e as intervenções necessárias para superar a desvantagem da deficiência são múltiplas, sistêmicas e variam dependendo do contexto inserido. (WHO, 2011)

Araújo (1997) afirma que as dificuldades sociais enfrentadas pelas pessoas com deficiência física e pelas pessoas idosas principalmente doentes ou fisicamente incapacitadas não raro são causadas pelas deficiências da sociedade em atender e aceitar suas necessidades específicas. Uma das grandes lutas das pessoas com deficiência física é poderem ser diferentes sem estarem em desvantagem. Segundo Berger (1999), grande parte das pessoas que não têm deficiência física possui atitudes discriminatórias que parecem decorrer da dificuldade de conviver com a diferença, mesmo as que de fato podem vir afetar a qualquer um por serem decorrentes de acidente ou doença inesperada.

É clara a dificuldade enfrentada por um portador de deficiência física de baixa renda para a aquisição de produtos modernos, ou com melhor qualidade projetual. Segundo a Unicef/Brasil (1980), os principais problemas enfrentados pelos países em desenvolvimento, em relação à deficiência, estão diretamente relacionados ao grande número de famílias pobres; o alto índice de analfabetismo e o baixo conhecimento das medidas básicas de saúde por parte da população; dificuldade financeira, distâncias geográficas e barreiras sociais; baixa infra-estrutura de serviços de saúde, educação, previdência e preparação profissional.

Entender os aspectos sociais, econômicos, culturais e políticos referentes à inclusão de pessoas com necessidades especiais trata-se, nos dias atuais, de reconhecer a alteridade, a diferença, dentro de um ambiente onde a cidadania é o elemento essencial para a efetivação dos direitos e deveres dos membros de uma sociedade. Neste aspecto, entende-se a inclusão social como sendo o processo mais aperfeiçoado da convivência

de alguém, tido como diferente, com os demais membros da sociedade, tidos como supostamente iguais. A sociedade se prepara e se modifica para receber a diferença, em todas as áreas do processo social (educação, saúde, trabalho, assistência social, acessibilidade, lazer, esporte e cultura) (KUSHANO & ALMEIDA, 2009).

Defronte das atuais dificuldades enfrentadas pelos portadores de deficiência em relação ao seu posicionamento na sociedade, este trabalho de pesquisa busca atender à demanda da população cadeirante ou mobilidade reduzida pelo projeto e desenvolvimento de um veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal em cadeiras de rodas mecanomanuais capaz de promover a inclusão social, visando o empoderamento do usuário pela elevação de sua auto-estima através de um estudo de design inclusivo que possibilite o alcance da melhor qualidade de vida e acessibilidade.

1.1 OBJETIVO

Desenvolver o protótipo funcional de um veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal em qualquer modelo de cadeira de rodas mecanomanual. O veículo deve ser capaz de transitar em vias públicas, assim como terrenos irregulares com total segurança e conforto ao usuário. O acoplamento do equipamento à cadeira de rodas deve ser realizado de maneira rápida e autônoma pelo próprio usuário de forma a proporcionar maior independência, autonomia e liberdade.

Busca-se estabelecer uma metodologia de projeto fundamentada no design inclusivo e ponto focal no usuário cadeirante, tomando-se como referência o processo de desenvolvimento de cadeira de rodas indicado pela Organização Mundial da Saúde, de modo a entender as características físicas, faixa etária, qualificação do usuário, atributos físicos e sensoriais e condições de saúde que possam ser tratados como requisitos fundamentais de projeto.

Evidenciar a importância do desenvolvimento de pesquisas acadêmicas inovadoras que sejam capazes de serem transformadas em produtos para benefício da sociedade. Para isso, uma pesquisa direcionada ao entendimento dos requisitos fundamentais de segurança estipulados por Normas Técnicas deve ser realizada a fim

de estabelecer métodos eficientes de análise do protótipo funcional a ser construído e fornecer resultados analíticos capazes de serem comparados aos parâmetros teóricos pré-estabelecidos e calculados.

Contribuir para o aumento de base bibliográfica direcionada à área de Tecnologia Assistiva que possa auxiliar futuras pesquisas para o desenvolvimento de equipamentos para auxílio em mobilidade de pessoas com deficiência.

1.2 ESCOPO DA TESE

O capítulo 1 apresenta a questão de inclusão social, assim como os problemas enfrentados no cotidiano pelo deficiente físico. Com base nesses dados é apresentado o objetivo da pesquisa em estudo.

O capítulo 2 discute questões relacionadas ao design de produtos assistivos tomando como ponto focal o usuário, apontando informações sobre o público-alvo, os recursos assistivos existentes, assim como conceitos de design universal e inclusivo.

O capítulo 3 apresenta o mapa de requisitos de projeto definido por uma metodologia fundamentada no processo de desenvolvimento de cadeira de rodas indicado pela Organização Mundial da Saúde e aplicada à concepção de um novo equipamento assistivo para auxílio de mobilidade. O mapa de requisitos de projeto é definido neste capítulo com base em três pilares, usuário, benchmarking e Normas Técnicas.

O capítulo 4 apresenta a metodologia de projeto aplicado em cada etapa de desenvolvimento do veículo proposto, desde a etapa de design dos subgrupos de componentes, passando pela análise de estabilidade teórica do equipamento e a montagem do protótipo funcional, assim como a escolha dos componentes eletromecânicos utilizados em sua concepção. O desenvolvimento é baseado nas seis áreas estabelecidas no mapa de requisitos, sendo elas: funcional, ergonômico, mecânico (estrutural), mecânico (dinâmico), eletrônico e segurança

O capítulo 5 contempla os ensaios e testes de usabilidade fundamentados pelas Normas Técnicas ABNT NBR ISO 7176, assim como outras Normas complementares.

Busca-se estabelecer resultados aceitáveis dentro dos parâmetros pré-estabelecidos durante o mapeamento dos requisitos. Os resultados são apresentados ao leitor de modo a evidenciar os seus aspectos estruturais e dinâmicos.

O capítulo 6 apresenta uma análise comparativa entre os requisitos de projeto mapeados e os resultados alcançados nos ensaios e testes de usabilidade.

E no capítulo 7 é apresentado uma reflexão e conclusão das pesquisas realizadas, assim como o apontamento de melhorias futuras que possam ser implementadas ao projeto estudado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os equipamentos assistivos podem ser considerados produtos de design inclusivo na medida em que permitem minimizar deficiências de vários tipos, proporcionando melhoramentos da situação clínica do paciente e/ou da sua autonomia funcional. Com efeito, os equipamentos assistivos permitem frequentemente incluir pessoas em atividades que de outra forma seriam difíceis ou impossíveis de realizar, sendo que a falta de uma ajuda técnica pode inclusive ditar a dependência de outra pessoa.

O processo de design tem um papel fundamental no projeto de um equipamento assistivo pois existe um processo de análise da situação clínica, das necessidades físicas e emocionais do paciente, sendo o reflexo desses requisitos, aliado à facilidade de utilização, empregue no processo de criação.

O desenvolvimento desses equipamentos é realizado frequentemente pelos próprios profissionais de saúde, resultando frequentemente a não observação de requisitos estéticos e por vezes mesmo ergonômicos. O aspecto visual de um produto (por exemplo) do aspecto de uma ajuda ortopédica, é frequentemente excluído pelo profissional ou equipe da área médica que o desenvolveu e possui formação especializada sobre a situação clínica em causa. Em contrapartida se esse equipamento for desenvolvido apenas por um designer possuirá, com grande probabilidade, lacunas do ponto de vista médico. Neste sentido, a multidisciplinaridade associada a um projeto de um equipamento assistivo é desejável para garantir a qualidade do mesmo em todos os aspectos. O design de equipamentos assistivos implica um conhecimento especializado sobre a área médica envolvida, assim como o conhecimento das características individuais dos pacientes devido às necessidades específicas entre pessoas com a mesma patologia.

A interação / interdisciplinaridade entre a área médica e o design industrial pode potencializar e completar o produto de modo a que com a sua utilização, seja minimizada ou eliminada a identificação de uma deficiência física.

A relação do produto com o potencial utilizador é uma fonte de informação para o designer, permitindo-lhe apreender as necessidades não só físicas, mas também emocionais do público-alvo.

Observar a interação do utilizador com os produtos permite compreender como criar experiências significativas para os utilizadores através de modelos interativos. Esta informação possui uma relevância cada vez mais significativa no desenvolvimento de produtos, relativamente a técnicas mais pobres para obtenção de informações por parte do utilizador como o focus group, questionários e pesquisas, visto que estas procuram obter informação sobre padrões comportamentais e estão afastadas da utilização efetiva. Assim, o ‘feedback’ proveniente do utilizador real em contexto diário de utilização do produto facilitará a compreensão da interação com o produto e possibilitará a identificação de possíveis melhorias (NORMAN, 2000)

A psicologia cognitiva se revela uma área importante para o design, contribuindo para um melhor entendimento das capacidades e limitações cognitivas dos potenciais utilizadores por parte do designer, e permite a este tirar o máximo partido das suas capacidades intelectuais. Com base na psicologia cognitiva, torna-se possível definir três aspectos do design emocional, nomeadamente visceral, comportamental e reflexivo (NORMAN, 2000):

1. Visceral – está relacionado com o primeiro impacto do design, resultando em reações imediatas de aceitação ou rejeição. Estas reações dizem respeito às emoções primárias e preferências universais provenientes de programações primitivas cerebrais. São reações do subconsciente que despertam emoções no utilizador, apenas pela aparência do produto.
2. Comportamental – diz respeito ao aspecto funcional e à qualidade de utilização e como estes se relacionam com as expectativas criadas sobre a performance resultante da utilização, gerando um conjunto de emoções e sensações e possui uma evolução mais lenta e racional.
3. Reflexivo – Relaciona o objeto e as suas características com a pessoa e a sua autoimagem. Existe a reflexão dos valores do produto ou da marca, nomeadamente pela sua imagem, história, e significado que leva ao desejo de aquisição, mesmo que o objeto ainda não tenha sido visualizado.

Com efeito, o designer industrial com a sua visão de conjunto pode dar uma contribuição muito importante nas várias vertentes do design de um equipamento assistivo, nomeadamente a nível emocional e estético, visto que a utilização diária de

certos equipamentos acaba por se associar à imagem pessoal do utilizador. Soluções inovadoras podem facilitar a utilização dos produtos e o seu transporte, o trabalho dos profissionais e também o dia-a-dia dos pacientes. A redução de custos de fabricação é também uma meta importante devido aos custos elevados de aquisição deste tipo de equipamento.

2.1 ESTATÍSTICAS - PESSOA COM DEFICIÊNCIA

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), oitenta por cento das pessoas com deficiência vivem em países em desenvolvimento. O Banco Mundial estima que vinte por cento das pessoas mais pobres do mundo têm algum tipo de deficiência e tendem a ser consideradas nas suas próprias comunidades como as mais desfavorecidas. O número de pessoas com deficiência cresce ano a ano, principalmente nos países em desenvolvimento onde centenas de milhões de famílias são afetadas, as razões incluem (WHO, 2011):

1. Emergência de novas doenças e outras causas de comprometimento, como HIV / AIDS, estresse e abuso de álcool e drogas;
2. Aumento projetado do número de crianças com deficiência nos próximos 30 anos, particularmente nos países em desenvolvimento, devido à desnutrição, doenças, trabalho infantil e outras causas;
3. Conflito armado e violência em países em guerra civil, onde a cada criança morta, três ficam feridas e adquirem uma deficiência permanente. Em alguns países, até um quarto das deficiências resultam de lesões e violência, diz a Organização Mundial da Saúde (OMS).
4. Aumento da expectativa de vida e número de pessoas idosas, muitas das quais têm deficiências;

No Brasil, após a realização do Censo 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), constaram-se que 45 milhões de brasileiros apresentam algum tipo de deficiência, representando aproximadamente 24% da população, Figura 1. Destas, cerca de treze são portadoras de alguma deficiência física. Somado a esse percentual, o

Brasil abriga uma população idosa que representa 8,6% de sua população. Chega-se à conclusão que aproximadamente 33% da população brasileira encontra-se num grupo de pessoas com sérias dificuldades de locomoção.

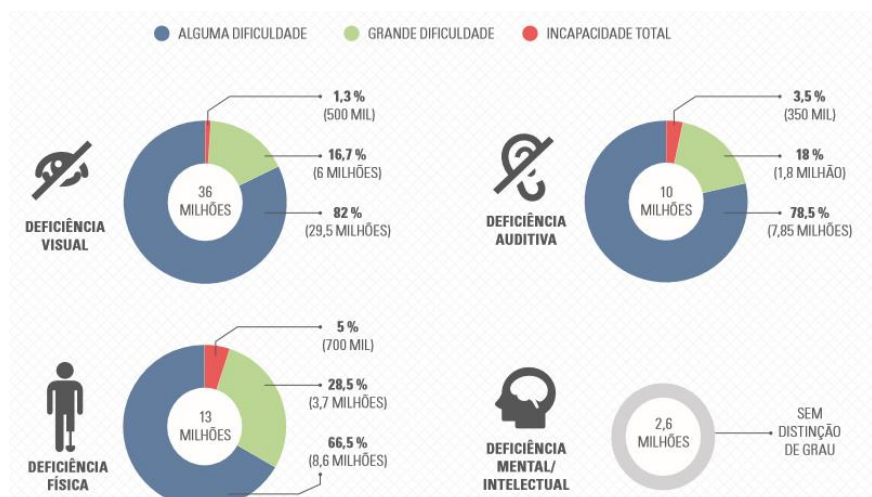


Figura 1 - População de pessoas com deficiência no Brasil.

Fonte: SEBRAE, 2014.

Para o Instituto, portador de deficiência física é aquele que “tem alguma das seguintes deficiências: paralisia permanente total; paralisia permanente das pernas; paralisia permanente de um dos lados do corpo; falta de perna, braço, mão, pé ou dedo polegar” (MACIEL & CIENA, 2009).

Já para a OMS, a Classificação Internacional do Funcionamento, da Deficiência e da Saúde (ICF) avançou na compreensão e medição da deficiência, tal qual foi desenvolvida através de um longo processo envolvendo equipe acadêmica, clínicos e as pessoas com deficiência. A ICF enfatiza os fatores ambientais na criação da deficiência, que é a principal diferença entre esta nova classificação e a anterior. Na ICF, os problemas com o funcionamento humano são categorizados em três áreas interligadas:

1. Limitações são problemas na função do corpo ou alterações na estrutura corporal - por exemplo, paralisia ou cegueira;
2. Limitações físicas são dificuldades na execução de atividades - por exemplo, caminhar ou comer;

3. Restrições de participação são problemas com envolvimento em qualquer área da vida - por exemplo, enfrentando discriminação no emprego ou transporte.

A definição da incapacidade resultante da interação de condições de saúde, fatores pessoais e fatores ambientais apresenta grande variação. As pessoas com deficiência são diversas e heterogêneas, enquanto as visões estereotipadas da deficiência enfatizam os usuários de cadeiras de rodas e alguns outros grupos "clássicos", como cegos e surdos. A deficiência abrange a criança nascida com uma condição congênita como a paralisia cerebral ou o jovem soldado que perde algum membro do corpo em situações de conflito. As condições de saúde podem ser visíveis ou invisíveis; temporária ou permanente; estática, episódica ou degenerada; dolorosa ou inconsequente (WHO,2011).

As pessoas com deficiência têm diversos fatores pessoais com diferenças de gênero, idade, status socioeconômico, sexualidade, etnia ou herança cultural. Cada um tem suas preferências pessoais e respostas à deficiência. Também enquanto deficiência correlaciona com desvantagem, nem todas as pessoas com deficiência são igualmente desfavorecidas. As mulheres com deficiência vivenciam as desvantagens combinadas associadas ao gênero e à deficiência e podem ser menos propensas a se casar do que as mulheres sem deficiência. Já, as pessoas que experimentam baixas condições de saúde mental ou deficiências intelectuais parecem ser mais desfavorecidas em muitos contextos do que aqueles que sofrem de deficiências físicas ou sensoriais. Em outros casos, as pessoas com deficiências mais severas freqüentemente sofrem maiores desvantagens, como mostram as provas que vão da região rural da Guatemala aos dados do emprego da Europa. Inversamente, a riqueza e o status podem ajudar a superar limitações de atividade e restrições de participação (WHO, 2011)

Segundo o IBGE (2010), o Brasil apresenta 3,7 milhões de brasileiros que fazem uso de cadeira de rodas diariamente, grande parte dessas pessoas adquiriram a deficiência ao longo da vida, sendo ocasionada por diversos fatores, entre eles acidentes automobilísticos e ferimentos por arma de fogo. A Figura 2 apresenta a distribuição dessa população nas regiões brasileiras, assim como os dez estados mais populosos.

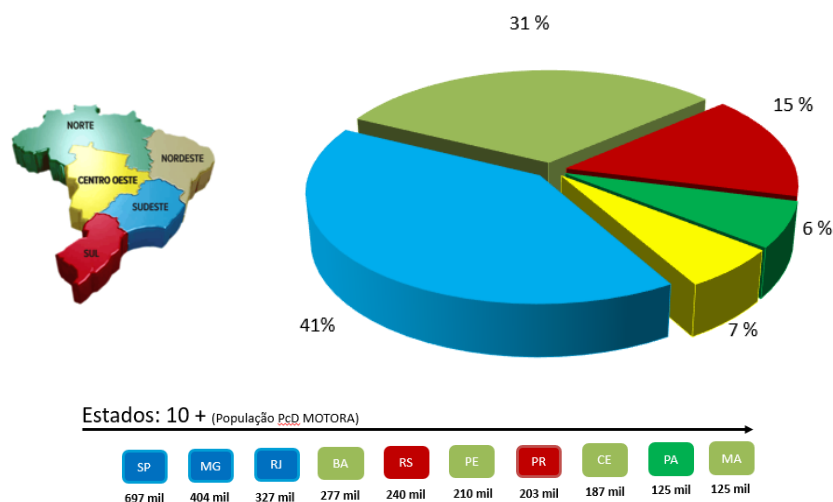


Figura 2 - População cadeirante no Brasil.
Fonte: AUTOR, 2017.

As pessoas que adquirem a deficiência ocasionada por lesão medular, poliomielite, esclerose lateral amiotrófica ou amputação de membros inferiores perdem a estrutura ou a função fisiológica, psicológica ou anatômica, as quais podem restringir a realização de atividades dentro da normalidade.

A deficiência física motora pode ser socialmente definida como o produto do descompasso entre as condições do indivíduo afetado por uma limitação funcional, as suas expectativas quanto à execução das atividades básicas e instrumentais de vida diária, as demandas ambientais nessa direção e a escassez ou a inadequação de condições instrumentais e sociais que lhe permitam funcionar adequadamente, mantendo a autonomia e a autoestima. Além de recursos instrumentais, as pessoas com deficiência precisam de recursos pessoais para enfrentar os preconceitos e estereótipos existentes na sociedade, pois geralmente são objeto de discriminação e de preconceito, já que o ser diferente significa sobressair de forma negativa e assim gerar tensões e preconceitos (MONTANARI, 1999).

O sentimento de vergonha e de inferioridade aparece pela impossibilidade de não mais andar após a lesão, e essas alterações corporais culminam com a percepção de ser satirizado pela população por exibir sua imagem atual, conferindo a presença de estigma diante de sua deficiência. Estudos afirmam que, a partir dessa estigmatização, a pessoa com deficiência compreende seu corpo enquanto objeto de vergonha, ao experimentar

incapacidades em relação ao padrão vigente de produtividade da sociedade (ROCHA, 1991).

Segundo Amaral (1992), as barreiras arquitetônicas e os preconceitos sociais manifestados em práticas sociais discriminativas e a ausência de políticas igualitárias podem agravar ainda mais as condições das pessoas que têm alguma deficiência física da mesma forma que afetam negativamente a vida das pessoas mais velhas.

Para Grayson e Marini (1996), as atitudes negativas, as ambivalências e a distância social percebida são minimizadas quando existe contato mais próximo com pessoas com deficiência e quando existe conhecimento de suas expectativas frente à vida. As atitudes das pessoas com deficiência estão intimamente ligadas à percepção sobre sua qualidade de vida, entendida como noção geral de bem-estar.

As crenças de auto eficácia desempenham um papel importante nas relações dos indivíduos com o mundo porque refletem as suas avaliações quanto à própria capacidade de se comportar de forma adequada e produtiva em situações específicas. Influenciam os tipos de atividades que as pessoas escolherão, o esforço que vão imprimir em suas ações, sua perseverança frente às dificuldades, suas autoavaliações, suas avaliações sobre o mundo externo e suas experiências emocionais (BANDURA, 1986).

Em virtude da importância conferida ao corpo, em nossa sociedade, pode-se dimensionar os efeitos na relação com os demais, aos quais a pessoa com deficiência está submetida, já que se confronta continuamente com a falência de alguns pressupostos ideais relativos à corporeidade. Então, a intervenção da cultura sobre o corpo, segundo os pressupostos da inclusão social, poderá incidir sobre os padrões estéticos, sobre a concepção de beleza, mas, sobretudo, sobre a forma com que os sujeitos deficientes são vistos e percebidos na sociedade. Essas mudanças irão refletir na imagem que possuem de si, em decorrência dessa relação social e, também, sobre os modos atuais de viver e conceber o corpo na interação com a cadeira de rodas.

A cadeira de rodas se apresenta como facilitadora da mobilidade corporal, que permite a liberdade de movimentos de parte ou do corpo inteiro e, principalmente, a capacidade de poder ir e vir, para ou de qualquer lugar, pelas pessoas com deficiência, como a real expressão de autonomia. Compõe instrumental importante para proporcionar a independência funcional, fortalecendo a busca da autonomia pessoal.

Atualmente os cadeirantes não possuem produtos disponíveis no país que possibilitam a total independência em seu dia a dia, o uso de cadeiras de rodas motorizadas, automóveis adaptados e o auxílio de cuidadores garantem a execução de suas atividades cotidianas, mas não garantem grande independência. As cadeiras de rodas motorizadas auxiliam o deslocamento em pequenas distâncias, mas apresentam grande dificuldade no manuseio e transporte dentro de automóveis, de tal forma que limita o cadeirante na sua utilização fora do ambiente diário.

A proposta de um veículo híbrido, que dá maior independência aos cadeirantes e pode garantir o direito de acessibilidade de pessoas com deficiência a muitas localizações, antes não alcançadas pelo cadeirante, de maneira rápida, segura e auto-suficiente permite ampliar as possibilidades de realização de atividades antes improváveis de serem executadas. A autonomia proporcionada ao cadeirante aumenta sua mobilidade e influencia diretamente na inclusão social. Nosso país possui déficit em tecnologia assistiva que promova a acessibilidade, autonomia e liberdade para o público cadeirante.

2.2 CONCEITO DE DESIGN INCLUSIVO E DESIGN UNIVERSAL

Durante a nossa vida apresentamos diferentes características e aptidões cognitivas e físicas, o que sugere que os objetos sejam manuseáveis por pessoas com diversos níveis de capacidades físicas e mentais. Por exemplo, o crescimento físico do ser humano implica que a mão de uma criança seja diferente de um adulto não só em tamanho como também em destreza e força.

As aptidões adquiridas durante o desenvolvimento humano se mantêm até à idade adulta sendo estas faculdades crescentes. A partir dos 50 anos existem três capacidades que se vão perdendo, nomeadamente a visual, a motora e a cognitiva (HERWIG, 2008).

Esta diminuição natural e incontornável de aptidões, leva à dificuldade de utilização dos produtos, podendo esta ser minimizada com a utilização de produtos com um design adequado para o universo de pessoas que os utilizam. Para além da natural e progressiva variabilidade de capacidades ao longo da vida de um ser humano, estas

podem ser reduzidas drástica e abruptamente por circunstâncias como acidentes ou doenças, as quais infelizmente atingem uma parte muito significativa da população mundial.

O design de um produto deve, em muitas circunstâncias, considerar as mudanças físicas e cognitivas inevitáveis durante a nossa vida. Esta abordagem é habitualmente intitulada de design universal, e pode ser definida como o desenvolvimento de produtos e ambientes que permitam a sua utilização pelo maior número de pessoas possível, tendo elas diferentes capacidades, idades ou gênero para contribuir para a não discriminação e inclusão social de todas as pessoas (SIMÕES & BISPO, 2006).

O Design universal se fundamenta em princípios, sendo eles apresentados a seguir:

1. Uso equitativo, deve garantir a todos os utilizadores a mesma possibilidade de utilização, deve ser atrativo a todos, sem estigmatizar pessoas com dificuldades ou deficiências;
2. Flexibilidade no uso, deve permitir escolher a forma de utilização adequada, deve dar a possibilidade de ser adaptável, promovendo ao mesmo tempo a precisão de utilização;
3. Uso simples e intuitivo, deve ser de compreensão fácil, mesmo por utilizadores inexperientes, com dificuldade de desempenho ou comunicação. Deve estar ao nível das expectativas do utilizador, não deve ser complexo;
4. Informação perceptível, a informação necessária à sua utilização deve ser independentemente das suas dificuldades ou condições de uso;
5. Tolerância ao erro, deve minimizar as consequências negativas resultantes de possíveis erros de utilização, acidentais ou não intencionais, camuflar os fatores que levam ao erro, divulgar os possíveis riscos;
6. Baixo esforço físico, deve possibilitar a sua utilização com o mínimo de dispêndio de energia, com um baixo esforço físico e minimizando as operações repetitivas;
7. Tamanho e espaço para uso e aproximação adequados, devem ser acautelados os espaços, a visibilidade e o tamanho necessários à sua utilização visível, inteligível e compreensível a todos os utilizadores, por

qualquer pessoa, independentemente das suas dificuldades de mobilidade, volume, altura ou postura. (CENTER FOR UNIVERSAL DESIGN, 2012)

Quando os conceitos de design universal se referem a “todas as pessoas”, o alcance a “todas” significa que um projeto deveria ser acessível a todas as pessoas de todo o mundo. Sabe-se, contudo que, devido a uma grande diversidade de questões envolvidas na relação usuário/produto, de ordem física, cognitiva, social e cultural, esse objetivo se torna inviável de ser alcançado na sua totalidade. Todavia, seus princípios trabalham como meta, buscando assim alcançar o máximo possível de usuários.

A aplicação dos princípios do design universal em um produto não faz deste um projeto para pessoas com necessidades especiais, mas sim, potencializam a capacidade de utilização desse produto por um maior número de pessoas de diferentes capacidades físicas e intelectuais. Do ponto de vista do projeto universal, o objetivo não é apenas projetar para pessoas com limitações, mas sobretudo não as excluir da utilização de um produto ou ambiente, porque tornar a universalidade de utilização deve ser um desígnio espontâneo de quem projeta.

Os conceitos de design inclusivo e design universal aparecem, na sua abordagem habitual, como um só, sendo eles equivalentes, dando origem à expressão “design inclusivo ou universal”. Na realidade ambos partilham de princípios semelhantes, uma vez que são “uma abordagem de projeto que visa o desenvolvimento de soluções centradas na diversidade humana, procurando assim, contribuir para uma sociedade mais justa onde todas as pessoas têm direito a igualdade de oportunidades”. Apesar do seu objetivo ser coincidente, respeitando os direitos humanos e o direito da igualdade, os projetos que surgem de cada um dos conceitos e o modo como o objetivo do produto é atingido pelo seu público são distintos (SIMÕES & BISPO, 2006).

Incluir, do latim “Includere” significa, introduzir, envolver, abranger, compreender, conter, inserir em um ou fazer parte de um grupo. Este último significado tem um grande papel na distinção dos termos “Inclusivo” e “universal”.

Universal significa geral, que abrange todos, que se aplica a tudo, que é o mesmo em todas as partes, que abrange todos os indivíduos de uma espécie ou gênero.

A abordagem inclusiva no design se mostra uma ferramenta muito importante em todo o processo de percepção, orientação e mobilidade no meio em que se vive, desta

forma contribui na concepção e produção de produtos, serviços ou ambientes adequados a diversidade humana, incluindo crianças, adultos mais velhos, pessoas com deficiência, pessoas doentes ou feridas, ou simplesmente, pessoas colocadas em desvantagem pelas circunstâncias (SIMÕES & BISPO, 2006).

O design inclusivo tem por objetivo contribuir para que não haja discriminação social, e para que todos tenham igual acesso às oportunidades disponibilizadas. Em projetos cujo público-alvo apresenta características mais específicas, a aplicação do design inclusivo como sendo universal parece não fazer sentido. No entanto se tivermos em conta que o design inclusivo permite criar produtos apropriados a certos estados de saúde, como por exemplo uma situação de mobilidade diminuída temporária ou uma situação de mobilidade nula a longo prazo, ambas podem ser atenuadas com o mesmo equipamento de modo a proporcionar mobilidade, mesmo em situações clínicas distintas. Assim, os produtos inclusivos podem ter uma ampla aplicabilidade dentro de um conjunto de situações em que existem limitações físicas ou psicológicas. O design inclusivo deve contribuir com equipamentos que ajudem a satisfazer necessidades mais específicas, que permitam a sua utilização durante as diferentes fases da nossa vida, em que possuímos diferentes capacidades físicas e psicológicas. Este é outro ponto em que o design inclusivo e o design universal se assemelham, uma vez que o design universal tende a encaminhar o projeto de equipamentos para o público em geral com diferentes características, e o design inclusivo proporcionar qualidade de vida a pessoas que necessitam de equipamentos que potencializem as suas capacidades e consigam atingir os mesmos objetivos que uma pessoa com menos limitações. (SANTOS et al, 2007)

Perante os seus significados etimológicos, design universal e design inclusivo podem ser delineados como duas variantes diferentes, sendo o design universal responsável pela criação de produtos que possam ser utilizados, de modo equitativo, excluindo da sua utilização o menor número de pessoas possível, enquanto o design inclusivo passa pela criação de produtos para um público com características limitadoras, que necessita de equipamentos que atenuem limitações e permita maximizar a sua integração nas atividades diárias. Estes dois cenários implicam diferentes perspectivas sobre o processo de design uma vez que na primeira situação existe um projeto universal que pretende proporcionar uma utilização equitativa a uma

diversidade humana, enquanto a segunda situação implica projetar para um determinado grupo de pessoas com requisitos específicos que devem ser atendidos para as suas limitações sejam atenuadas e possam ter um dia-a-dia normal, proporcionando a inclusão das mesmas.

2.3 RECURSOS TECNOLÓGICOS

Várias são as terminologias utilizadas no Brasil para definir o que são os recursos tecnológicos: “Assistive Technology” (EUA), “Tecnologia de Assistência” (CIF/OMS), “Ajudas Técnicas” segundo o Ministério da Saúde, “Tecnologia de Apoio” conforme a Comissão Européia/ EUSTAT, “Tecnologia Adaptativa” e “Adaptações”. (ROCHA & CASTIGLIONI, 2005).

Considerado um termo novo, a “Tecnologia Assistiva” compreende uma diversidade de recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou melhorar habilidades funcionais de pessoas com deficiência física, contribuindo assim com a inclusão social e trabalhando a questão de acessibilidade. Trata-se de um fenômeno multidimensional, que envolve aspectos mecânicos, biomecânicos, ergonômicos, funcionais, cinesiológicos, éticos, estéticos e políticos.

Segundo COOK E HUSSEY (1995), é possível defini-la como uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para minorar os problemas encontrados pelos indivíduos com deficiências.

Os recursos são todo e qualquer item, equipamento ou parte dele utilizado para aumentar, manter ou melhorar as capacidades funcionais das pessoas deficientes. Podem variar de uma simples bengala a um complexo sistema computadorizado, dentre estes, é importante incluir brinquedos e roupas adaptadas, computadores, dispositivos para adequação de postura, equipamentos de comunicação alternativa e outras dezenas de produtos.

Já os serviços são definidos como aqueles que auxiliam diretamente uma pessoa com deficiência a adquirir e utilizar os recursos anteriormente abordados. Sendo definidos como atividades transdisciplinares, envolvem profissionais de diversas áreas,

tais como fisioterapia, terapia ocupacional, fonoaudiologia, engenharia, enfermagem, medicina, arquitetura, design e muitas outras especialidades.

Os equipamentos assistivos oferecem aos indivíduos que apresentam necessidades físico-motoras uma melhoria na comunicação, na mobilidade, no controle do ambiente, além de auxiliar no desenvolvimento de atividades comuns do cotidiano. (CARRIEL, 2007)

O termo “Tecnologia Assistiva”, foi criado oficialmente em 1988, para dar suporte jurídico à Legislação Norte-americana, que integra um conjunto de leis denominadas “American with Disabilities Act”, ou simplesmente especificada pela sigla “ADA”. (BERSCH, 2017)

No Brasil, o Decreto nº. 3.298 de 20 de dezembro de 1999 apresenta em parágrafo único, alguns artefatos como exemplos de “Ajudas Técnicas”.

“(...) próteses auditivas, visuais e físicas; órteses que favoreçam a adequação funcional; equipamentos e elementos necessários à terapia e reabilitação de pessoa portadora de deficiência; equipamentos, maquinarias e utensílios de trabalho especialmente desenhados ou adaptados para uso por pessoa portadora de deficiência; elementos de mobilidade, cuidado e higiene pessoal necessários para facilitar a autonomia e a segurança da pessoa portadora de deficiência; elementos especiais para facilitar a comunicação, a informação e a sinalização para pessoa portadora de deficiência; equipamento e material pedagógico especial para educação, capacitação e recreação da pessoa portadora de deficiência; e adaptações ambientais e outras que garantam o acesso, a melhoria funcional e a autonomia pessoal; bolsas coletoras para os portadores de ostomia”. (BRASIL, 2017)

Segundo CARRIEL (2007), a Norma ISO 9999:2007 (2009) denominada “Technical aids for person with disabilities – Classification and Terminology” determina a classificação em categorias de equipamentos assistivos conforme sua função. A importância desta classificação está no fato de organizar a utilização, prescrição, estudo e pesquisa destes materiais e serviços, além de oferecer ao mercado focos específicos de trabalho e especialização. São apresentadas abaixo as divisões desses equipamentos:

1. Auxílios para a vida diária: Materiais e produtos para auxílio em tarefas diárias tais como comer, cozinhar, vestir-se, tomar banho e executar necessidades pessoais;
2. Comunicação aumentativa suplementar (CSA) e alternativa (CAA): Recursos, eletrônicos ou não, que permitem a comunicação expressiva e receptiva das pessoas sem a fala ou com limitações da mesma. São muito utilizadas as pranchas de comunicação com os símbolos de comunicação pictória (PCS) ou arbitrários denominados Bliss, além de vocalizadores e softwares dedicados para este fim;
3. Recursos de acessibilidade ao computador: Equipamentos de entrada e saída tais como síntese de voz e Braille, auxílios alternativos de acesso podendo ser ponteiros de cabeça e de luz, teclados modificados ou alternativos, acionadores, softwares especiais de reconhecimento de voz, e diversos outros equipamentos que assistam as pessoas deficientes na utilização do computador;
4. Sistemas de controle de ambiente: Sistemas eletrônicos que permitem as pessoas com limitações moto-locomotoras a controlar remotamente aparelhos eletroeletrônicos, sistemas de segurança, entre outros, localizados em seus ambientes domiciliares;
5. Projetos arquitetônicos para acessibilidade: Adaptações estruturais e reformas na casa ou ambiente de trabalho, através de rampas, elevadores, adaptações em banheiros entre outras, que retiram ou reduzem as barreiras físicas, facilitando a locomoção da pessoa com deficiência;
6. Órteses e próteses: Troca ou ajuste de partes do corpo, faltantes ou de funcionamento comprometido, por membros artificiais ou outros recursos ortopédicos tais como talas e apoios. Incluem-se os protéticos para auxiliar nos déficits ou limitações cognitivas, como os gravadores de fita magnética ou digital que funcionam como lembretes instantâneos;
7. Adequação Postural: Adaptações para cadeira de rodas ou outro sistema de sentar visando o conforto e distribuição adequada da pressão na superfície da pele sendo estas almofadas especiais, assentos e encostos anatômicos, bem

como posicionadores e contentores que propiciam maior estabilidade e postura adequada do corpo através do suporte e posicionamento de tronco, cabeça e membros;

8. Auxílios de mobilidade: Cadeiras de rodas manuais e motorizadas, bases móveis, andadores, scooters de três rodas e qualquer outro veículo utilizado na melhoria da mobilidade pessoal;
9. Auxílios para cegos ou com visão sub-normal: Auxílios para grupos específicos que inclui lupas e lentes, braille para equipamentos com síntese de voz, grandes telas de impressão, entre outros;
10. Auxílios para surdos ou com déficit auditivo: Auxílios que inclui vários equipamentos de infravermelho e FM, aparelhos para surdez, telefones com teclado teletipo (TTY), sistemas com alerta tátil-visual, entre outros.
11. Adaptações em veículos: Acessórios e adaptações que possibilitam a condução do veículo, elevadores para cadeiras de rodas, camionetas modificadas e outros veículos automotores usados no transporte pessoal;

Através de um conhecimento mais profundo das questões socioeconômicas envolvidas na elaboração de novos recursos tecnológicos e a importante questão de acessibilidade requerida em todo o nosso país, é evidente ressaltar o interesse presente neste trabalho de desenvolver um equipamento automotor auxiliar para locomoção de cadeirantes que trabalhe num contexto social a questão de inclusão a partir da disponibilização de tecnologia à baixo custo. Acredita-se que a disponibilização deste equipamento assistivo proporcione uma presença mais ativa na sociedade por um maior número de pessoas deficiente e idoso.

A grande importância da concepção de “Tecnologia de Apoio” é a contribuição com a ampliação do conceito de “Tecnologia” para além dos objetos/equipamentos de auxílio na independência pessoal, e da relação direta com o usuário, situando-se em relação aos fatores humanos e socioeconômicos. Localiza-a no âmbito dos contextos organizacionais, tecnologias que ajudem a ultrapassar as limitações funcionais dos seres humanos num contexto social, com propostas organizacionais e educativas da comunidade como um todo. Assim, a questão dos recursos tecnológicos deixa de ser uma questão específica da pessoa com incapacidade e pessoas próximas e passa a situar-

se no contexto ampliado da sociedade, envolvendo Legislação/Economia, Normalização/Qualidade, Recursos de informação, produtores, vendedores, prestadores de serviços, organização de sistemas públicos de educação, saúde e transporte.

2.3.1 AUXÍLIO DE MOBILIDADE: CADEIRA DE RODAS MANUAL X MOTORIZADA

A divisão em grupos de cadeira de rodas é apresentada em diferentes formas conforme a análise de alguns autores da literatura. Para Lianza & Dezen apud Bertoncello & Gomes (2009), a melhor representação entre os diversos tipos de cadeira de rodas se faz pela diferenciação de suas formas estruturais. A partir daí, é notável o surgimento de quatro grupos, sendo estes: cadeira de rodas de armação rígida, utilizado somente em interiores e em casos excepcionais; cadeiras de rodas dobráveis, possuindo propulsão manual e com utilização em ambientes internos e externos; cadeiras de rodas motorizadas, para uso de pessoas paraplégicas ou tetraplégicas com ampla paralisia dos membros superiores; cadeiras de rodas para uso em esportes, com construção em materiais ultraleves e submetidas a desenho aerodinâmico.

Outra representação dos diferentes tipos de cadeiras de rodas é descrita por Barroso Neto (1986), onde a classificação é determinada pelo grau de complexidade tecnológica do equipamento assistivo, esse pode ser classificado entre produtos de baixa, média e alta complexidade tecnológica.

Segundo Barroso Neto (1986) os produtos de baixa complexidade tecnológica permitem que quase todos os problemas sejam resolvidos por um projetista que chegue até o projeto de um novo produto. Esse grupo é formado pelas cadeiras de rodas mecanomanuais, as quais representam a grande parte das cadeiras de rodas fabricadas mundialmente.

Para as cadeiras de rodas eletromecânicas, média complexidade tecnológica, a ajuda de profissionais de áreas de saúde é fundamental para que o projetista possa resolver problemas específicos, os quais não são facilmente compreendidos.

Nas cadeiras de rodas eletroeletrônicas, classificadas como produtos de alta complexidade tecnológica, o projetista participa apenas da resolução de alguns componentes do produto e de forma mais ampla na abordagem conceitual e metodológica. (BERTONCELLO & GOMES, 2009)

O mercado brasileiro disponibiliza uma ampla gama de cadeira de rodas mecanomanuais e eletromecânicas dos mais diversos fabricantes nacionais e internacionais. Devido à grande parte da população brasileira se enquadrar na classe de baixa renda, segundo dados do IBGE, poucos fabricantes se arriscam na fabricação de cadeira de rodas motorizadas, consequência do baixo consumo de mercado. Tal fato explica o motivo pelo qual a maior parte das cadeiras de rodas motorizadas e/ou seus dispositivos são importados. Este fato reflete no alto custo de aquisição desses equipamentos.

Com base na classificação estabelecida por Bertoncello & Gomes (2009), o Quadro 1 representa a composição estrutural dos grupos de cadeiras de rodas mecanomanuais, eletromecânicas e eletroeletrônicas, assim como a descrição detalhada de cada um destes componentes. Nota-se que os elementos mecânicos que compõem uma cadeira de rodas mecanomanual se fazem presente em cadeira de rodas eletromecânica e eletroeletrônica acrescidas de elementos eletromecânicos que objetivam a automação deste equipamento assistivo, a fim de auxiliar a mobilidade e trazer conforto ao usuário. A Figura 3 ilustra a cadeira de rodas mecanomanual e seus componentes.

Quadro 1 – Composição estrutural dos grupos de cadeira de rodas pela complexidade tecnológica.

Grupo	Componente	Descrição
Cadeira de Rodas Eletromecânica/ Eletroeletrônica	Estrutura Tubular	Quadro ou <i>frame</i> , desenvolvida de acordo com o usuário, considerando-se biótipo e seqüela da deficiência.
	Rodas Traseiras	Compostas de pneus, aros, raios, cubos e aro de propulsão. Variam de 24 a 26 polegadas de diâmetro, de acordo com o usuário. São fixadas na cadeira através de eixos removíveis.
	Rodas Dianteiras	Confeccionadas em poliuretano, pelo fato de ser resistente e macio, facilitando o deslize. Geralmente apresentam de 3 a 5 polegadas de diâmetro. São fixadas em garfos, com sistema giratório o qual permite direcionar a cadeira
	Pedal	Destinado ao posicionamento dos pés, geralmente é regulável.
	Protetor Lateral	Favorecer o equilíbrio do quadril e proteger o contato da roda com as pernas do usuário.
	Aro ou Volante Propulsor	Utilizado para dar propulsão à cadeira, facilitando o toque e a empunhadura, proporcionando agilidade à cadeira.
	Protetor de Raio	Proteger os raios das rodas, assim como os dedos do usuário.
	Controle	Geralmente é utilizado joystick controlado para regular a velocidade e direção da cadeira.
	Sistema de Transmissão	Interliga motor às rodas da cadeira, variam entre transmissão por engrenagem, transmissão direta e transmissão por correia.
	Baterias	Fator fundamental na determinação de autonomia e potência da cadeira. Variam entre diferentes composições, tais como, baterias de ácido, gel, ou baterias lacradas.

Fonte: ALVES, 2010.



Figura 3 - Cadeira de rodas mecanomanual e seus componentes.

Fonte: AUTOR, 2017.

3. REQUISITOS DE PROJETO

A criação de uma máquina segura, funcional e com confiabilidade é um dos aspectos do projeto de engenharia, o qual pode ser definido como: “O processo de aplicação de várias técnicas e princípios científicos com o intuito de definir um dispositivo, um método ou um sistema suficientemente pormenorizado para permitir sua realização”.

Estabelecer uma metodologia de projeto pela abordagem centrada ao usuário contribui significativamente para o seu sucesso. Desta forma, entender as características físicas, faixa etária, qualificação do usuário, atributos físicos e sensoriais e condições de saúde são fundamentais nesta abordagem. Contudo, faz-se necessário adicionar à esta metodologia o estudo de ergonomia e ambiente a ser utilizado o produto.

Tomando-se como fundamento principal o projeto centrado nas necessidades do usuário, faz-se necessário uma pesquisa de usabilidade das cadeiras de rodas em ambientes externos para o entendimento das dificuldades enfrentadas na execução de tarefas diárias relacionadas ao deslocamento em grandes distâncias por pessoas cadeirantes. A compreensão destas dificuldades enfrentadas diariamente pelos usuários auxilia na determinação dos requisitos funcionais do projeto como segurança, conforto, esforço físico e custo de aquisição. Requisitos de grande relevância ao público alvo de pesquisa e devem ser tratados com a sua devida importância.

Os equipamentos assistivos, como dito anteriormente, possuem extrema importância na vida diária das pessoas com deficiência, contudo, o desenvolvimento desses equipamentos deve ser rigorosamente avaliado em relação às exigências de Normas Técnicas específicas para cada grupo de produtos funcionais. A Organização Internacional de Normalização (ISO) desenvolveu Normas internacionais para o projeto de cadeiras de rodas mecanomanuais e motorizadas, conhecida como a série ISO 7176. Esta série especifica uma terminologia e métodos para avaliar o desempenho, tamanho, resistência, durabilidade e segurança da cadeira de rodas. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) adota esta série ISO sob o título geral “Cadeira de rodas” para a regulamentação das cadeiras de rodas e outros equipamentos de auxílio de mobilidade desenvolvidos no país.

A OMS define a importância do processo de desenvolvimento de uma cadeira de rodas que deve conter seis etapas desenvolvidas em consulta com usuários e outras pessoas familiarizadas com as necessidades dos usuários pretendidos e de acordo com os recursos disponíveis, o diagrama apresentado na Figura 4 representa esse processo de desenvolvimento. (WHO,2008), cada uma das etapas é detalhada a seguir:

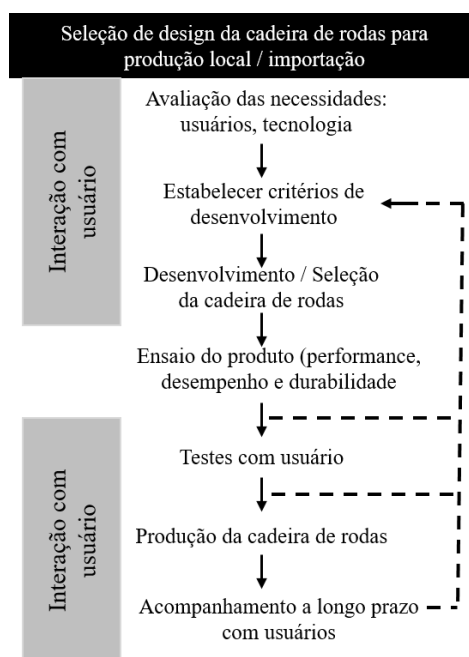


Figura 4 - Processo de desenvolvimento de cadeira de rodas.
Fonte: WHO, 2008.

1. Projeto inicial contendo uma lista de critérios e necessidades para a cadeira de rodas. A organização mundial de saúde ainda indica os seguintes fatores de análise:
 - Restrições ambientais (físicas, culturais, sociais);
 - Recursos locais de produção, como materiais e recursos humanos;
 - Requisitos de desempenho; e
 - Preço praticado.
2. Desenvolvimento da cadeira de rodas. Nesta etapa, após a conclusão do projeto inicial, os protótipos são construídos e ensaiados em laboratório por repetidas vezes de modo a atender aos requisitos definidos pela etapa 1.

3. Teste do produto. Quando um protótipo atende aos critérios de desempenho e requisitos estabelecidos nas etapas anteriores, ele deve ser testado para garantir que atenda aos requisitos de resistência e durabilidade. Se a cadeira de rodas falhar os testes, o projeto precisa ser reavaliado e modificado, se necessário.
4. Testes por usuários. Uma vez que o protótipo atende a todos os requisitos de desempenho, resistência, durabilidade e segurança, deve ser testado por usuários que vivem no ambiente destinado para o uso do equipamento. Os resultados obtidos nesta etapa auxiliam na avaliação de desempenho do dispositivo por parte do usuário.
5. Produção e fornecimento. Se os resultados obtidos na etapa 4 forem satisfatórias, a produção e distribuição da cadeira de rodas podem ser iniciadas.
6. Acompanhamento a longo prazo. Nesta etapa, o acompanhamento a longo prazo deve ser utilizado para avaliar o desempenho da cadeira de rodas ao longo do tempo (por exemplo, ao longo de vários meses). O feedback assim obtido deve então ser usado para melhorar a concepção.

O processo de desenvolvimento do veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal em cadeiras de rodas mecanomaneuáveis fundamento desta tese busca integrar as etapas 1 a 4 propostas por WHO (2008) de modo a assegurar a concepção, ensaio e testes de usabilidade com usuários. Por conseguinte, as etapas de desenvolvimento do equipamento proposto serão descritas como sendo:

Etapa 1: Requisitos de projeto;

Etapa 2: Desenvolvimento;

Etapa 3: Ensaio de funcionamento com base em Normas técnicas;

Etapa 4: Teste de usabilidade com usuário.

A concepção do veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal em cadeira de rodas mecanomaneuável em questão tem como ponto focal o usuário, mas também se utiliza de outras premissas fundamentais como análise de produtos de mercado, também conhecido por *benchmarking*, e atendimento às Normas técnicas específicas para o desenvolvimento de equipamentos assistivos e veículos automotores. Portanto, a primeira etapa de desenvolvimento pode ser dividida em três fases, onde cada fase apresenta os seguintes pontos focais de análise:

1. Usuário;
2. Benchmarking;
3. Normas técnicas.

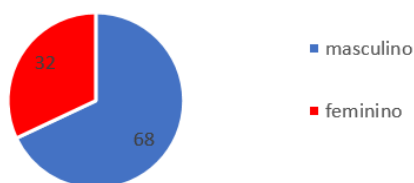
Ao término da terceira fase, um diagrama final de requisitos de projeto é apresentado contendo todos os parâmetros definidos em cada uma das fases, assim como a identificação das áreas de desenvolvimento a serem aplicadas.

3.1 FASE 1 - USUÁRIO

Tomando-se como fundamento principal o desenvolvimento centrado no usuário, a fase 1 se inicia a partir da pesquisa cognitiva com pessoas usuárias de cadeira de rodas no Brasil. A metodologia adotada foi a aplicação de um formulário *on-line* encaminhado ao público em questão por meio de grupos de apoio e blogs direcionados aos usuários de cadeira de rodas em redes sociais. Durante esta etapa foi analisado uma amostra de 100 pessoas, buscou-se entender a visão dos usuários em relação à três vertentes principais: Capacidade funcional do usuário, acessibilidade pública e receptividade do usuário à inovação. Com isso, um formulário de pesquisa foi encaminhado

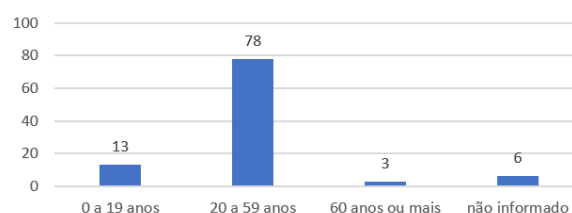
Os gráficos da Figura 5 apresentam uma análise global dos resultados obtidos na pesquisa. Nota-se a presença de um público masculino de 68% assim como um público feminino de 32%. Grande parte do público é formado por uma população adulta com faixa etária entre 20 e 59 anos, este grupo representa 78% do total de entrevistados. Um dos pontos importantes a serem apontados nessa análise global é classificação do público em relação ao seu tempo de uso da cadeira de rodas, onde 38% do grupo utiliza a cadeira de rodas a mais de 11 anos, seguido por 30% de usuários entre 5 a 10 anos, esses dados nos possibilitam entender com maior clareza as dificuldades enfrentadas pela população cadeirante ao longo dos anos. Por fim, a maior parte desse público, representado por 76% da amostragem, utiliza-se de cadeira de rodas manual para a sua locomoção diária.

Classificação do Público: Sexo



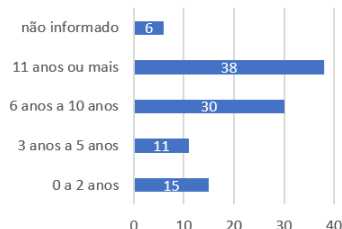
(a)

Classificação do público: faixa etária



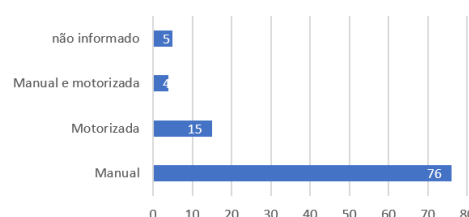
(b)

Classificação do público: Tempo de uso da cr



(c)

Classificação do público: modelo de cr



(d)

Figura 5 – Gráficos classificação do público: (a) sexo; (b) faixa etária; (c) tempo de uso da cadeira de rodas; (d) modelo de cadeira de rodas.

Fonte: AUTOR, 2017.

A etapa seguinte da pesquisa buscou identificar as três vertentes principais: Capacidade funcional do usuário, acessibilidade pública e receptividade do usuário à inovação por meio da classificação de importância por quatro níveis: péssimo, ruim, bom e ótimo.

Em nenhuma etapa de pesquisa com os usuários foi informado o projeto de pesquisa em desenvolvimento, de modo a permitir alcançar resultados satisfatórios com base em respostas não tendenciosas por parte dos entrevistados.

A primeira vertente, capacidade funcional do usuário foi avaliada a partir de dois questionamentos, conforme apresentado a seguir:

1. Qual a classificação da sua facilidade de transferência de um assento para outro ou até mesmo para outra cadeira?
2. Como você classificaria a maneira como você conduz a sua cadeira de rodas, como exemplo, seus braços, seu tronco, o cansaço?

O resultado apresentado para o primeiro questionamento, ilustrado pelo gráfico na Figura 6, aponta um leve equilíbrio entre o grau de funcionalidade dos entrevistados quando questionados sobre a sua facilidade de transferência entre locais para assento, no entanto a maior parte do público, 54%, classificou esta funcionalidade como ruim ou

péssimo. Essa atividade é realizada diariamente pelos usuários de modo a permitir que acessem veículos, banheiros e outros locais em sua residência ou trabalho e exige força muscular para a sua execução, contudo, os resultados apontam que a maioria do público necessita de auxílio em alguma dessas atividades, visto o grau de dificuldade apontado.

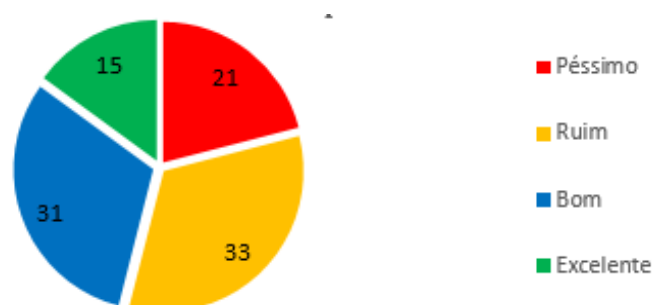


Figura 6 – Gráfico pergunta 1: Qual a classificação da sua facilidade de transferência de um assento para outro ou até mesmo para outra cadeira de rodas?
Fonte: AUTOR, 2017

O resultado para o segundo questionamento demonstra a capacidade de condução das cadeiras de rodas manuais e motorizadas pelo usuário quando avaliado a sua capacidade motora para movimento dos braços e equilíbrio de tronco, além de avaliar o cansaço gerado durante o uso da cadeira. O gráfico na Figura 7 apresenta os dados obtidos, onde 46% das pessoas entrevistadas possuem boa capacidade de manuseio, enquanto 30% se classificam com uma capacidade ruim para tal atividade.

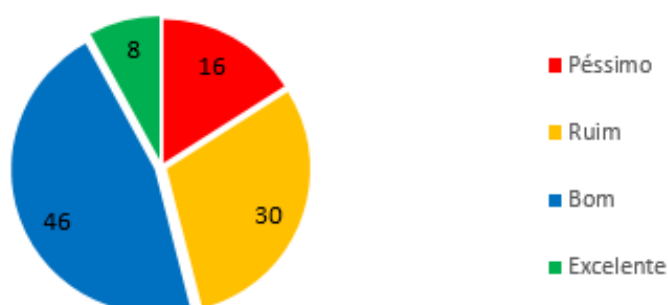


Figura 7 – Gráfico pergunta 2: Como você classificaria a maneira como conduz a sua cadeira de rodas, como exemplo, força nos braços, troco ou cansaço?
Fonte: AUTOR, 2017.

A segunda vertente, acessibilidade pública, busca o entendimento da visão dos entrevistados em relação à infraestrutura de acessibilidade em sua cidade e locais de frequência diária, com isso três questionamentos foram realizados, conforme segue:

3. Como classificaria os obstáculos em sua cidade em relação à acessibilidade?
4. Se você utiliza carro adaptado, como seria a sua classificação em relação a estacionar o seu carro? (Tempo para encontrar vagas, o respeito das pessoas com a vaga destinada à pessoas com deficiência)
5. Como classificaria os meios de transporte público adaptado?

Grande parte dos usuários, 74%, indicaram grande insatisfação com a infraestrutura da cidade em que vivem quando questionados sobre a classificação dos obstáculos infraestruturais nos locais em que frequentam, conforme visto no gráfico da Figura 8.

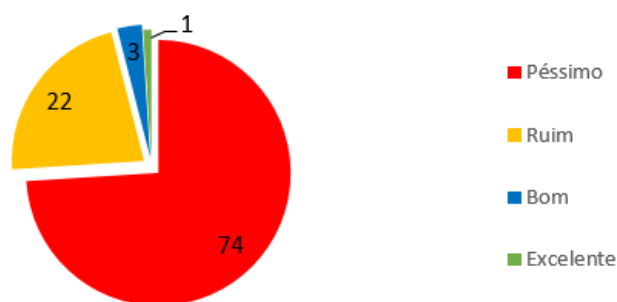


Figura 8 - Pergunta 3: Como você classificaria os obstáculos em sua cidade em relação à acessibilidade?
Fonte: AUTOR, 2017.

Quando questionados sobre as dificuldades na utilização de carro adaptado em relação ao estacionamento e respeito pelas vagas especiais destinadas às pessoas com deficiência, 82% dos entrevistados classificaram como ruim ou péssimo a dificuldade em estacionar o veículo, conforme notado no gráfico da Figura 9.

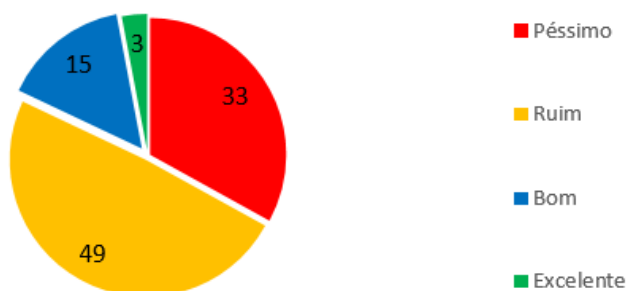


Figura 9 - Pergunta 4: Se você utiliza carro adaptado, como seria a sua classificação em relação a estacionar o seu carro? (Tempo para encontrar vagas, o respeito das pessoas com a vaga destinada à pessoas com deficiência)
Fonte: AUTOR, 2017.

Em relação ao serviço de transporte público adaptado presente em suas cidades, o gráfico na Figura 10 aponta que 40% das pessoas entrevistaram classificaram como ruim, enquanto 41% classificaram como péssimo.

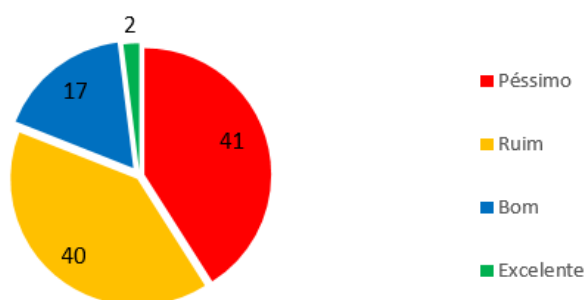


Figura 10 - Pergunta 5: Como classificaria os meios de transporte público adaptado?
Fonte: AUTOR, 2017.

Os resultados obtidos nesta etapa da pesquisa apontaram grande insatisfação com a atual infraestrutura para a acessibilidade dos cadeirantes em locais públicos, assim como a sua locomoção em veículos adaptados ou transporte público.

Seguindo para a última vertente de receptividade do usuário à inovação, alguns questionamentos foram realizados baseados no conceito inicial de desenvolvimento de um veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal em cadeira de rodas mecanomanual. Nesta fase final de pesquisa, busca-se identificar o potencial de aceitação da solução por parte do usuário, assim como entender o nível de receptividade à novas soluções direcionadas a este público. Para isso, os seguintes questionamentos foram abordados:

6. Se você tivesse um produto assistivo, leve, compacto e simples para te ajudar na locomoção em seu dia-a-dia como você o classificaria?
7. Como você classificaria se esse veículo fosse prático o suficiente para você não precisar de ajuda para o dirigir?
8. Se esse veículo fosse um veículo elétrico e que você não precisasse mais de alguém para auxiliar e/ou empurrar a sua cadeira, como você o classificaria?
9. Se você pudesse continuar em sua cadeira de rodas neste veículo e ainda ir a parques, shoppings, cinema e sair com a família, como você classificaria isso em sua vida?
10. Como você classificaria se a sua cadeira de rodas fosse considerada um veículo e pudesse transitar em meios aos carros em avenidas e vias públicas?
11. Você estaria disposto em experimentar um novo veículo e ser tratado com mais dignidade no trânsito e ainda continuar usando a sua cadeira de rodas? Como você classificaria essa experiência?

Analisados sobre o ponto de vista de receptividade à inovação, os usuários se apresentaram como pessoas altamente capazes de buscar por soluções facilitadoras em seu dia-a-dia. O gráfico da Figura 11 apresenta os resultados ao sexto questionamento, onde é possível perceber o total interesse do público em questão ao uso de um equipamento de auxílio à locomoção que possua como principais características a leveza, simplicidade e tamanho reduzido.

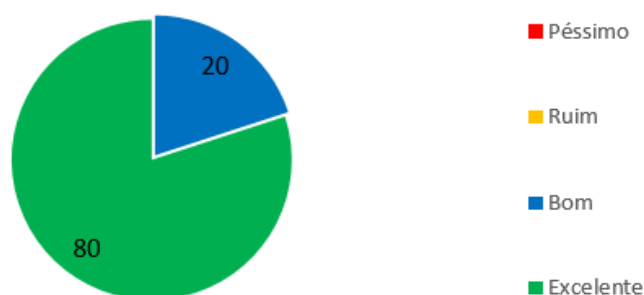


Figura 11 - Pergunta 6: Se você tivesse um produto assistivo, leve, compacto e simples para te ajudar na locomoção em seu dia-a-dia como você o classificaria?

Fonte: AUTOR, 2017.

Em seguida, note pelo gráfico da Figura 12 os resultados obtidos ao questionamento referente à autonomia oferecida por um equipamento de auxílio de mobilidade que possibilite ao usuário o utilizar sem a intervenção de uma pessoa para lhe auxiliar. Novamente, 100% dos entrevistados se mostraram receptivos à tecnologia capaz de lhes proporcionar tal benefício.

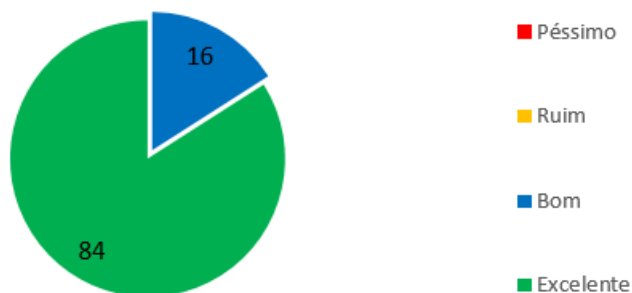


Figura 12 - Pergunta 7: Como você classificaria se esse veículo fosse prático o suficiente para você não precisar de ajuda para o dirigir?
Fonte: AUTOR, 2017.

O oitavo questionamento foi direcionado à percepção de autonomia e independência do usuário em relação às pessoas em sua volta presente em seu cotidiano, nota-se pelo gráfico na Figura 13 o alto nível de aceitação de uma solução capaz de contribuir com a sua independência, 81% classificaram como excelente essa possibilidade.

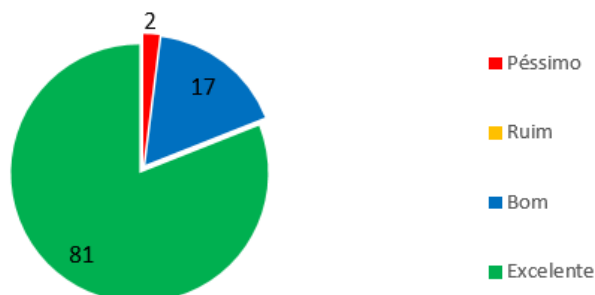


Figura 13 - Pergunta 8: Se esse veículo fosse um veículo elétrico e que você não precisasse mais de alguém para auxiliar e/ou empurrar a sua cadeira, como você o classificaria?
Fonte: AUTOR, 2017.

Na sequência, o nono questionamento se baseou na praticidade que o veículo possa oferecer ao usuário em termos de interatividade com outras pessoas, assim como facilidade de utilização em ambientes comuns, como parques. O resultado foi altamente satisfatório, onde 87% dos entrevistados classificaram como excelente a praticidade proposta no equipamento, conforme apresentado no gráfico da Figura 14.

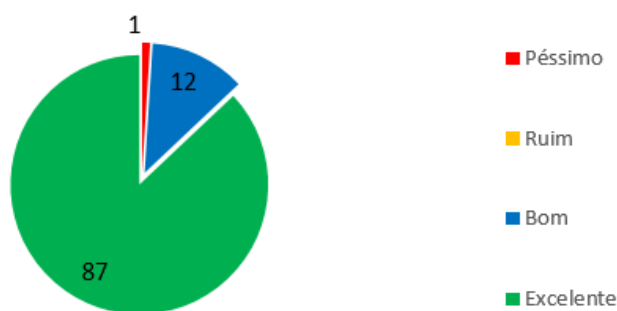


Figura 14 - Pergunta 9: Se você pudesse continuar em sua cadeira de rodas neste veículo e ainda ir a parques, shoppings, cinema e sair com a família, como você classificaria isso em sua vida?

Fonte: AUTOR, 2017

Quando questionados sobre considerar a sua cadeira de rodas como um veículo e transitar em vias públicas, 5% dos usuários consideraram ruim ou péssimo, justificando-se sobre o risco pelo qual o cadeirante estaria sujeito ao transitar com a sua cadeira de rodas em tais vias. Contudo, novamente grande parte das pessoas entrevistadas apontaram como bom ou excelente essa possibilidade, conforme apresentado no gráfico da Figura 15.

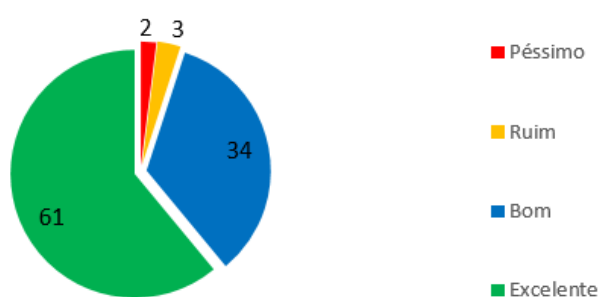


Figura 15 - Pergunta 10: Como você classificaria se a sua cadeira de rodas fosse considerada um veículo e pudesse transitar em meio aos carros em avenidas e vias públicas?

Fonte: AUTOR, 2017.

Por fim, os entrevistados foram questionados sobre a sua disposição na experimentação de novas soluções de auxílio em mobilidade que possa lhes oferecer mais autonomia, independência e dignidade no trânsito. Através do gráfico na Figura 16 é possível observar que 77% das pessoas classificaram como excelente essa possibilidade de experimentação, de modo a evidenciar a alta receptividade à novas tecnologias.

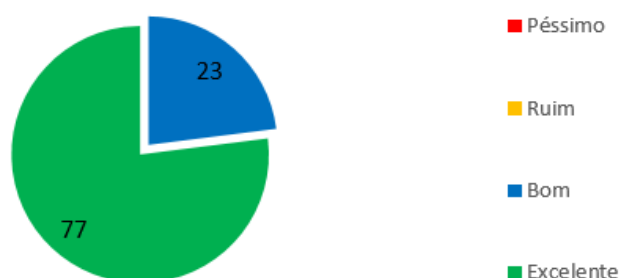


Figura 16 - Pergunta 11: Você estaria disposto em experimentar um novo veículo e ser tratado com mais dignidade no trânsito e ainda continuar usando a sua cadeira de rodas? Como você classificaria essa experiência?
Fonte: AUTOR, 2017.

Ao término do formulário, os entrevistados tiveram a oportunidade de expor a sua opinião, sugestão ou crítica, onde foi possível notar um fator de importância para o desenvolvimento do equipamento em questão. Grande parte das pessoas entrevistadas citaram a dificuldade em encontrar equipamentos assistivos que possam estar alinhados com a sua capacidade financeira para aquisição, com isso, torna-se necessário a viabilidade financeira do projeto de pesquisa de modo a proporcionar um custo acessível para o público de destino. Observe na Tabela 1 os resultados gerais obtidos durante a fase de pesquisa cognitiva com usuários de cadeira de rodas.

Tabela 1 – Resultados da pesquisa cognitiva com usuários de cadeira de rodas.

Pergunta	Respostas (%)			
	Péssimo	Ruim	Bom	Ótimo
1). Qual a classificação da sua facilidade de transferência de um assento para outro ou até mesmo para outra cadeira de rodas?	21	33	31	15
2). Como você classificaria a maneira como conduz a sua cadeira de rodas, como exemplo, força nos braços, troco ou cansaço?	16	30	46	8
3). Como você classificaria os obstáculos em sua cidade em relação à acessibilidade?	74	22	3	1
4). Se você utiliza carro adaptado, como seria a sua classificação em relação a estacionar o seu carro? (Tempo para encontrar vagas, o respeito das pessoas com a vaga destinada à pessoas com deficiência)	33	49	15	3
5). Como classificaria os meios de transporte público adaptado?	41	40	17	2
6). Se você tivesse um produto assistivo, leve, compacto e simples para te ajudar na locomoção em seu dia-a-dia como você o classificaria?	0	0	20	80
7). Como você classificaria se esse veículo fosse prático o suficiente para você não precisar de ajuda para o dirigir?	0	0	16	84
8). Se esse veículo fosse um veículo elétrico e que você não precisasse mais de alguém para auxiliar e/ou empurrar a sua cadeira, como você o classificaria?	2	0	17	81
9). Se você pudesse continuar em sua cadeira de rodas neste veículo e ainda ir a parques, shoppings, cinema e sair com a família, como você classificaria isso em sua vida?	1	0	12	87
10). Como você classificaria se a sua cadeira de rodas fosse considerada um veículo e pudesse transitar em meio aos carros em avenidas e vias públicas?	2	3	34	61
11). Você estaria disposto em experimentar um novo veículo e ser tratado com mais dignidade no trânsito e ainda continuar usando a sua cadeira de rodas? Como você classificaria essa experiência?	0	0	23	77

Fonte: AUTOR, 2017.

Como resultado desta primeira fase de desenvolvimento, torna-se possível parametrizar os principais requisitos funcionais e ergonômicos que atendam às necessidades e expectativas do público cadeirante, ponto central desta pesquisa. Contudo, o diagrama de requisitos de projeto sob ponto focal no usuário pode ser observado pela Figura 17.

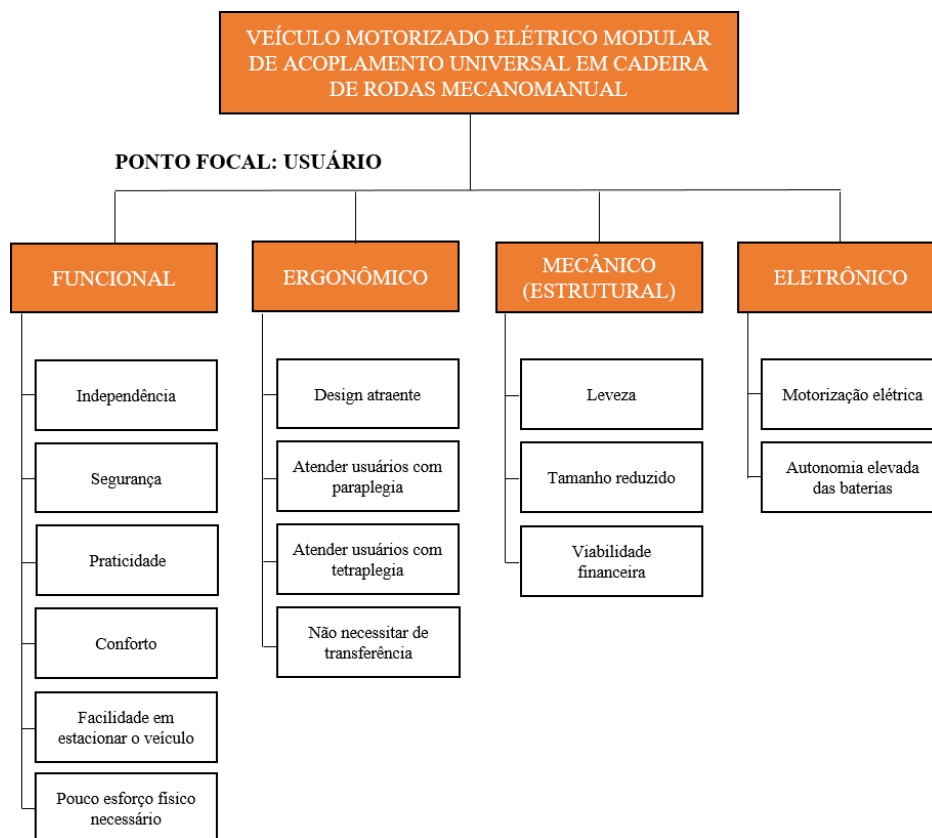


Figura 17 - Requisitos de projeto FASE 1 - Ponto focal: usuário.
Fonte: AUTOR, 2017.

3.2 FASE 2 - BENCHMARKING

Com base nas necessidades e expectativas apresentadas pelo usuário durante a Fase 1 de parametrização dos requisitos de projeto, uma pesquisa de mercado foi realizada de modo a verificar as soluções existentes no Brasil e no mundo capazes de atender aos requisitos de projeto definidos na fase anterior, assim como uma pesquisa direcionada ao estudo de veículos urbanos de mobilidade pessoal capazes de atender aos mesmos requisitos de projeto.

Conhecido por *benchmarking*, esse processo de pesquisa é uma análise comparativa de produtos ou de serviços da concorrência, para um produto existente, ou para um setor de uma determinada atividade no quadro da concepção de um novo produto, também pode ser tratado como um processo contínuo de comparação dos produtos, serviços e práticas empresariais entre os mais fortes concorrentes ou empresas

reconhecidas como líderes. A técnica de *benchmarking* visa, portanto, o desenvolvimento de estudos que comparem o desempenho com a concorrência e com referenciais de excelência, objetivando o atingimento de uma posição de liderança em Qualidade.

Busca-se nesta etapa definir os requisitos de projeto fundamentados nas seguintes figuras de mérito: velocidade máxima alcançada; autonomia das baterias; peso total suportado; modelos de transmissão, suspensão e motorização; e geometria do veículo. Essa segunda fase de parametrização permite a definição das características funcionais, mecânicas e eletrônicas na concepção do veículo motorizado elétrico em questão.

Após o levantamento das tendências de equipamentos de auxílio em mobilidade no setor de tecnologia assistiva, assim como os novos meios de mobilidade pessoais utilizados ao redor do mundo, foi possível identificar quatro equipamentos inovadores capazes de atender aos requisitos iniciais de projeto, sendo classificados como, dois equipamentos de auxílio à mobilidade e dois veículos urbanos de mobilidade individual autropelido, conhecidos respectivamente por Kenguru, Kit Livre, I-Road e EV4-quad bike.

3.2.1 KENGURU

O conceito do KENGURU, Figura 18, é baseado em um carro compacto, totalmente integrado com tecnologias de acionamento de entrada no veículo e movimentação. Nele há um painel de controle, portas de saída de emergência com vidros laterais, rodas pequenas e uma entrada traseira para o cadeirante acessar no veículo.



Figura 18 – KENGURU.
Fonte: PRWEB, 2017.

O acesso do cadeirante ao veículo é simples, basta ele acionar o controle remoto para que a porta se abra e uma rampa de acesso seja acionada, a partir disso ele movimenta sua cadeira para cima da rampa e se acomoda dentro do veículo, onde a própria cadeira de rodas fica como banco; e após o fechamento da porta, basta o cadeirante comandar o veículo pelo uso dos braços. (CASA ADAPTADA, 2016)

O carro foi anunciado como o primeiro totalmente adaptado para cadeirantes e elétrico. Em suas medidas, ele é bem compacto, tendo cerca de dois metros de comprimento, autonomia média de 80 km a uma velocidade de quase 50 km/h.

A venda é exclusiva nos Estados Unidos, sendo que a empresa fabricante é do Texas e se chama Community Car's, uma fabricante totalmente independente do mercado automobilístico que o disponibiliza no mercado pelo preço médio de 25 mil dólares americanos.

3.2.2 KIT LIVRE – MÓDULO DE ACOPLAMENTO MOTORIZADO ELÉTRICO

A sensação é de um passeio de bicicleta, vento no rosto, autonomia para subir e descer calçadas, percorrer vias pavimentadas e não pavimentadas. O KIT LIVRE ® é um equipamento motorizado em formato de acessório que possui a função de transformar a cadeira de rodas em um triciclo motorizado elétrico que permite uma autonomia média de 25 km de deslocamento e pode chegar a até 20 km/h. Conforme

apresentado na Figura 19, o equipamento é portátil, leve e permite ao cadeirante o instalar sem auxílio de ninguém. (KIT LIVRE, 2017)



Figura 19 - KIT LIVRE: (a) desacoplado; (b) acoplado na cadeira de rodas.
Fonte: KIT LIVRE, 2017.

Testado em diversos tipos de terreno, como, terra, grama, asfalto, concreto, etc, e locais com superfície irregular, como buracos e lombadas, o KIT LIVRE ® é capaz de suportar usuários de até 150 kg em condições diversas.

O manuseio e transporte deste equipamento é facilitado pela sua estrutura física dobrável e desmontável, de modo a permitir o armazenamento em locais de pequeno volume. O KIT LIVRE ® possui um sistema de ajuste telescópico que permite a instalação em diferentes modelos de cadeira de rodas manuais.

Fabricado e comercializado no Brasil com preços a partir de 2 mil dólares americanos, o KIT LIVRE ® é desenvolvido pela empresa Livre – Soluções em Mobilidade, tal qual têm se destacado no mercado nacional pela inovação presente em seus produtos.

3.2.3 EV4 – QUAD BIKE

O EV4 – QUAD BIKE pode ser considerado uma bicicleta elétrica de quatro rodas, que apresenta maior velocidade e estabilidade que uma bicicleta convencional, sem deixar de ser eficiente em seus deslocamentos. Confeccionado em liga de alumínio

aeronáutico 6061, o seu design robusto com rebites aparentes reflete a base tecnológica da empresa, a Aero Service, empresa polonesa que desenvolve equipamentos de mobilidade inspirados em conceitos de aerodinâmica e aeronáutica. (AERO SERVICE, 2017)

Conforme apresentado na Figura 20, as quatro rodas estão firmemente sobre o chão por meio de um sistema de suspensão ativo composto por amortecedores e braços de direção em alumínio ajustáveis de acordo com o terreno a ser percorrido.



Figura 20 - EV4 - QUAD BIKE
Fonte: AERO SERVICE, 2017

O EV4 é alimentado por baterias de íons de lítio com capacidade média de 90 quilômetros rodados, atinge uma velocidade máxima de 40 km/h através do conjunto de dois motores elétricos de 800W a 2100W de potência. Disponível na Europa, o EV4 possui o preço médio de vendas em 3 mil e novecentos dólares americanos.

3.2.4 TOYOTA I-ROAD

O veículo de mobilidade pessoal elétrico I-ROAD, fabricado pela japonesa Toyota, Figura 21, apresenta um sistema de suspensão ativa inteligente, onde as rodas dianteiras esquerda e direita se movem para cima e para baixo sincronizadas de forma independente em resposta à direção do condutor de modo que o veículo define automaticamente o ângulo de inclinação ideal para as curvas. (TOYOTA, 2017)



Figura 21 - I-ROAD
Fonte: TOYOTA, 2017.

O I-ROAD possui uma largura de 850 mm que facilita o manuseio em espaços confinados. Pode transitar em estradas urbanas utilizando um espaço reduzido, similar ao de utilização por motocicletas e possui a grande vantagem de estacionar em locais equivalentes à metade de uma vaga para automóveis.

A facilidade de utilização é a mesma que uma motocicleta, no entanto, não há necessidade de usar capacete, visto que o veículo é responsável em manter o equilíbrio e não o condutor, deste modo, a estabilidade é mantida não só em curvas, mas em declives e superfícies irregulares.

Este é um veículo elétrico com autonomia média de 50 km a cada carga completa das baterias, sendo estas compostas por elementos de íons de lítio. Equipado com uma motorização dupla dianteira de 2000W de potência cada, o I-ROAD apresenta grande agilidade para a utilização em ambientes urbanos devido ao seu alto torque e promete ser a grande tendência nas grandes metrópoles ao redor do mundo, mesmo ainda em fase de testes.

3.2.5 ANÁLISE COMPARATIVA E DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS

Com base no estudo realizado nos diferentes equipamentos apresentados anteriormente, uma análise comparativa de suas especificações técnicas apresentado na

Tabela 2 permite com que seja verificado os melhores parâmetros dinâmico, mecânicos e eletrônicos a serem adotados no projeto de pesquisa que estejam alinhados aos requisitos iniciais estabelecidos em sua primeira fase de concepção.

Tabela 2 - Análise comparativa de especificações técnicas

	KENGURU	KIT LIVRE	EV4	I-ROAD
PAÍS	EUA	BRASIL	POLÔNIA	JAPÃO
FABRICANTE	COMMUNITY CAR'S	LIVRE - SOLUÇÕES EM MOBILIDADE	AERO-SERVICE	TOYOTA
PREÇO DE VENDA (2017)	\$ 25.000,00	\$ 2.000,00	\$ 3.900,00	não divulgado
MOTORIZAÇÃO	ELÉTRICA	ELÉTRICA	ELÉTRICA	ELÉTRICA
POTÊNCIA	2 x 2000W	350W A 1500W	2 x 800W A 2100W	2 x 2000W
BATERIAS	ÍON LÍTIO 48V	ÍON LÍTIO 36V9AH / 48V13AH	ÍON LÍTIO 36V52AH / 48V40AH	ÍON LÍTIO 48V
AUTONOMIA MÉDIA	80 km	25 km	90 km	50 km
VELOCIDADE MÁXIMA	45 km/h	20 km/h	40 km/h	60 km/h
CAPACIDADE	200 kg	150 kg	150 kg	200 kg
SISTEMA DE FREIO	FREIO QUÁDRUPLO À DISCO HIDRÁULICO	FREIO DUPLO: V-BREAK E À DISCO MECÂNICO	FREIO QUÁDRUPLO À DISCO HIDRÁULICO	FREIO DUPLO À DISCO HIDRÁULICO
SISTEMA DE TRANSMISSÃO	TRANSMISSÃO DIRETA	TRANSMISSÃO DIRETA	CORREIA DENTADA	TRANSMISSÃO DIRETA
SISTEMA DE SUSPENSÃO	duplo A	mola/amortecedor	ativa por mola/amortecedor	ativa automatizada com controle dinâmico de estabilidade por mola/amortecedor
RODAS	175/60 R16	aro 16" ou aro 20" bicicleta	aro 16" bicicleta	80/80 R16 dianteiro - 130/70 R10 traseiro
PESO	500 kg	15 kg A 35 kg	53 kg	300 kg
DISTÂNCIA ENTRE EIXOS	1875 mm	1000 mm	1000 mm	1700 mm
COMPRIMENTO	2918 mm	1500 mm	1500 mm	2350 mm
LARGURA	1520 mm	Ajustável com a cadeira de rodas	600 mm	850 mm
ALTURA	1500 mm	950 mm	1100 mm	1445 mm
MATERIAL DA ESTRUTURA	ALUMÍNIO 6061	AÇO CARBONO 1020	ALUMÍNIO 6061	ALUMÍNIO 6061

Fonte: AUTOR, 2017.

Nesta fase, buscou-se definir os parâmetros eletrônicos identificando o tipo de motorização, potência e modelo de bateria a serem adotados; os parâmetros mecânicos, a fim de dimensionar a geometria do equipamento, peso e material de estrutura desejados; parâmetros dinâmicos que definam a velocidade máxima desejada, autonomia média das baterias, capacidade de carga do equipamento, sistemas de freio,

transmissão e suspensão; por fim definir os parâmetros de segurança, assim como alguns requisitos de funcionalidade.

A técnica de *benchmarking* contribuiu de maneira significativa para o direcionamento da estratégia deste projeto que possui foco principal no usuário. Baseado nos melhores conceitos e parâmetros apresentados pela pesquisa de mercado, a conclusão da segunda fase para definição dos requisitos de projeto é apresentada na Figura 22.

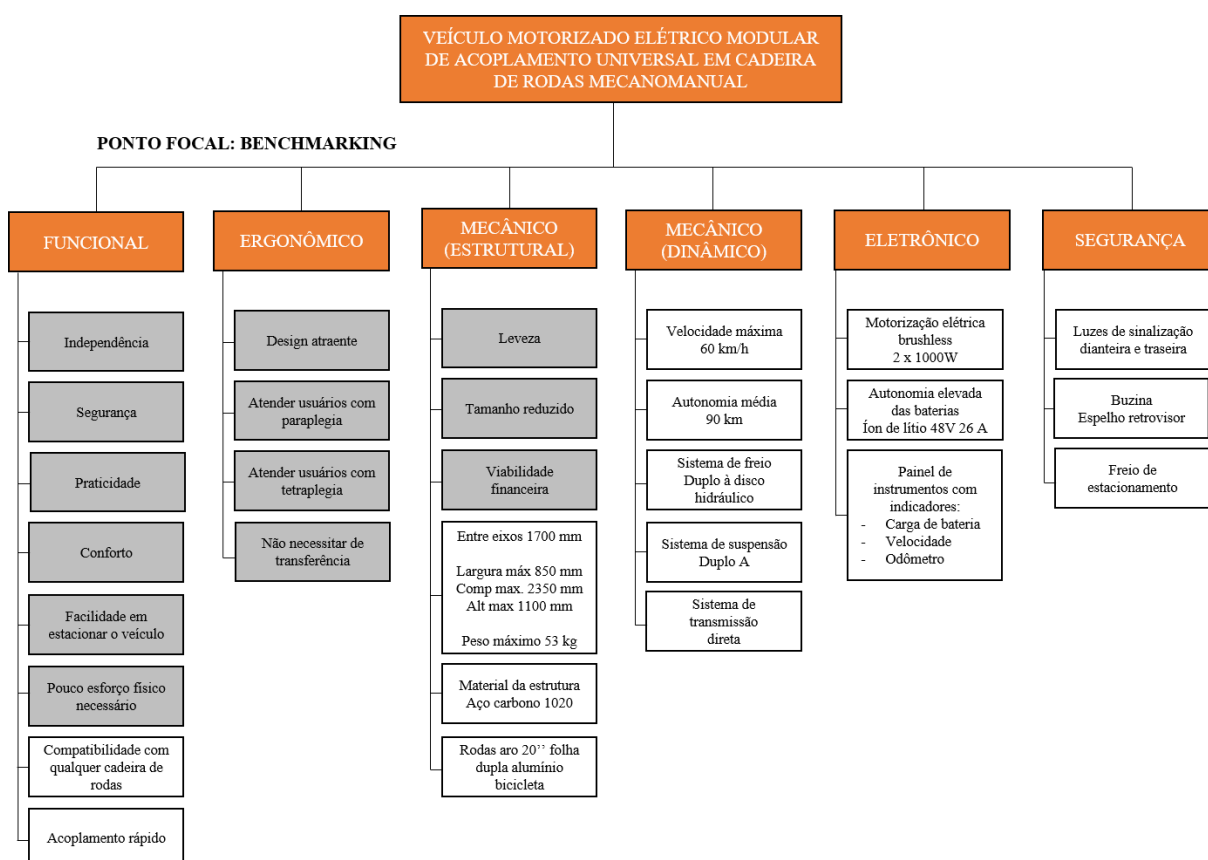


Figura 22 - Requisitos de projeto FASE 2 - Ponto focal: benchmarking
Fonte: AUTOR: 2017.

3.3 FASE 3 – NORMAS TÉCNICAS

Nesta fase final, buscou-se tornar possível o desenvolvimento do veículo motorizado elétrico modular se atentando aos requisitos regulamentatórios estabelecidos para a concepção de equipamentos ou correlatos de saúde, tal qual é gerido

pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e exige o atendimento às Normas Técnicas a eles relacionados. Em paralelo, um levantamento das Normas Técnicas direcionadas para a fabricação de componentes em veículos autopropeidos de duas rodas, tais como bicicletas, motonetas e motocicletas foi realizado de modo auxiliar na parametrização dos requisitos finais.

Ao término desta fase, o diagrama de requisitos final para a concepção do veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal em cadeira de rodas mecanomanual é apresentado.

3.3.1 NORMA ABNT NBR 9050:2002

Muitas associações de engenharia e agências governamentais desenvolveram normas para áreas específicas de projetos de engenharia. A maior parte delas são apenas recomendações, no entanto, algumas têm força de lei. Tratando-se de equipamentos assistivos no Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece na Norma NBR 9050:2004 critérios e parâmetros técnicos a serem observados quando do projeto, construção, instalação e adaptação de edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos às condições de acessibilidade. No estabelecimento desses critérios e parâmetros técnicos foram consideradas diversas condições de mobilidade e de percepção do ambiente, com ou sem a ajuda de aparelhos específicos, como: próteses, aparelhos de apoio, cadeiras de rodas, bengalas de rastreamento, sistemas assistivos de audição ou qualquer outro que venha a complementar necessidades individuais. Esta Norma visa proporcionar à maior quantidade possível de pessoas, independentemente de idade, estatura ou limitação de mobilidade ou percepção, a utilização de maneira autônoma e segura do ambiente, edificações, mobiliário, equipamentos urbanos e elementos. (ABNT, 2004)

Para o projeto de um equipamento assistivo com capacidade de instalação em diferentes modelos de cadeira de rodas mecanomanuais é fundamental a utilização das dimensões referenciais (Figura 23) estabelecidas pela Norma NBR 9050:2004 para a

definição de condições iniciais de projeto e posteriores análises cinemáticas e dimensionamento das peças.

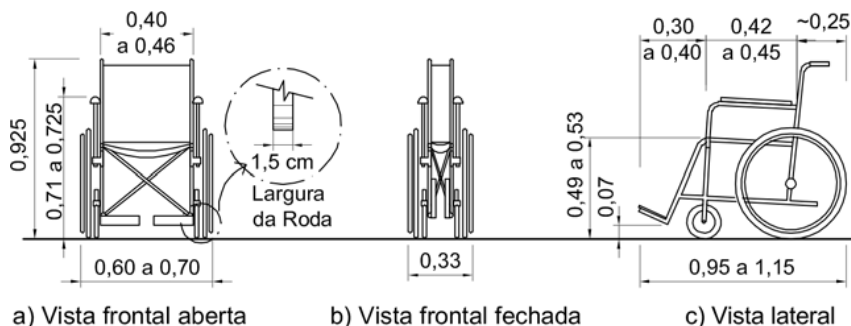


Figura 23 – Dimensões limites para a construção de cadeira de rodas.
Fonte: ABNT, 2004

3.3.2 NORMA ABNT NBR ISO 7176

A ABNT NBR ISO 7176-1 foi elaborada no Comitê Brasileiro Odonto-Médico-Hospitalar (ABNT/CB-26), pela Comissão de Estudo de Cadeira de Rodas (CE-26:120.01). O seu 1º projeto circulou sob Consulta Nacional conforme Edital nº 08, de 06.08.2007 a 04.09.2007, com o número de Projeto 26:120.01-001/1. O seu 2º projeto circulou sob Consulta Nacional conforme Edital nº 02, de 04.02.2009 a 05.03.2009, com o número de 2º Projeto 26:120.01-001/1.

Segundo a ABNT (2012), esta Norma é uma adoção idêntica, em conteúdo técnico, estrutura e redação, à ISO 7176-1:1999, que foi elaborada pelo Technical Committee Technical system and aids for disable or handicapped persons (ISO/TC 173), Wheelchairs (SC 1).

A ABNT NBR ISO 7176, sob o título geral “Cadeira de rodas”, tem previsão de conter as seguintes partes:

1. Determinação da estabilidade estática;
2. Determinação da estabilidade dinâmica em cadeira de rodas;
3. Determinação da eficiência de freios;
4. Consumo de energia de cadeira de rodas elétricas e scooters para determinação teórica da variação da distância;

5. Determinação de dimensões, massa e espaço manobrável;
6. Determinação da velocidade máxima, aceleração, desaceleração de cadeira de rodas elétricas;
7. Medidas do assento e dimensões da roda;
8. Requisitos e métodos de ensaios para as forças estática, de impacto e de fadiga;
9. Ensaio climáticos para cadeira de rodas elétricas;
10. Determinação da capacidade de transposição de obstáculo das cadeiras de rodas motorizadas;
11. Bonecos de ensaio;
12. Determinação do coeficiente de fricção nos ensaios de superfície;
13. Determinação do coeficiente de atrito nos ensaios de superfície;
14. Força e controle de sistemas de cadeira de rodas elétricas – Requisitos e métodos de ensaio.
15. Requisitos para divulgação da informação, documentação e etiquetagem;
16. Resistência a ignição das partes estofadas – Requisitos e métodos de ensaio;
19. Dispositivos de mobilidade para uso em veículos motorizados;
21. Requisitos e métodos de ensaio para compatibilidade eletromagnética de cadeiras elétricas e scooters e recarregadores de baterias;
22. Procedimentos de ajuste;
23. Requisitos e métodos de ensaio para dispositivos de atendimento na operação de subida de degraus;
24. Requisitos e métodos de ensaio para dispositivos de uso na operação de subida de degraus, e;
26. Vocabulário.

Além dessas partes, também deve se atentar à ISO 7176 parte 25 “ Wheelchairs Part 25: Batteries and chargers for powered wheelchairs” que indica requisitos para teste de baterias e carregadores de bateria em cadeiras de rodas motorizadas.

As partes listadas anteriormente são destinadas à definição de padrões de segurança para a construção e requisitos de ensaio em cadeiras de rodas manuais, motorizadas e scooters para uso de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida.

Contudo, algumas partes da ISO 7176 não são utilizadas como requisitos de projeto nesta fase do desenvolvimento, desta forma, prioriza-se o uso das partes que melhor contribuem para o desenvolvimento do equipamento em questão para assegurar os parâmetros de segurança necessários.

Considerando-se as seis macro-áreas definidas na segunda fase, pelo diagrama de requisitos de projeto apresentado anteriormente, as seguintes partes desta Norma técnica são utilizadas:

1. Funcional: partes 10 e 15;
2. Ergonômico: parte 22;
3. Mecânico (estrutural): parte 5;
4. Mecânico (dinâmico): partes 1, 2 e 6;
5. Eletrônico: partes 4 e 25;
6. Segurança: parte 3.

3.3.3 NORMA ABNT NBR 15916

A Norma ABNT NBR 15916, intitulada Baterias de chumbo-ácido para uso em motocicletas, triciclos e quadriciclos – Requisitos e simbologia, publicada em Outubro de 2012 busca estabelecer parâmetros dimensionais e simbologia de segurança para o desenvolvimento de baterias para uso em veículos motorizados.

Esta Norma se aplica às baterias utilizadas como fonte de energia para partida, iluminação e ignição de motores à combustão interna ou equivalentes, no entanto, o uso de seus requisitos neste projeto de pesquisa, permite estabelecer requisitos de segurança em termos de simbologia para identificação de riscos ao usuário.

3.3.4 NORMA ABNT NBR 14868

Segundo a ABNT (2015), esta Norma técnica intitulada Veículo de ruas rodas – bicicleta – conjunto de freio – requisitos e métodos de ensaio estabelece os requisitos de

segurança e os métodos de ensaio para o conjunto de freio de bicicleta a ser utilizado em bicicletas de uso geral.

Os testes de freio realizados no equipamento proposto são baseados na Norma ABNT NBR 14868, que determina o método de ensaio em pista para a definição da eficiência dos freios a disco adotados.

3.4 SISTEMA DE SUSPENSÃO INDEPENDENTE DUPLO A

Segundo Milliken (1995), a suspensão independente duplo “A” se caracteriza por ter o montante da roda sustentado por duas bandejas uma inferior e outra superior, sendo denominada SLA (*short-long arm*), ou seja, possuem comprimentos diferentes. Essa configuração permite que as extremidades das bandejas descrevam uma trajetória em semi-arco, de acordo com a movimentação da roda entre o *bound* e o *rebound*, conforme ilustrado na Figura 24.

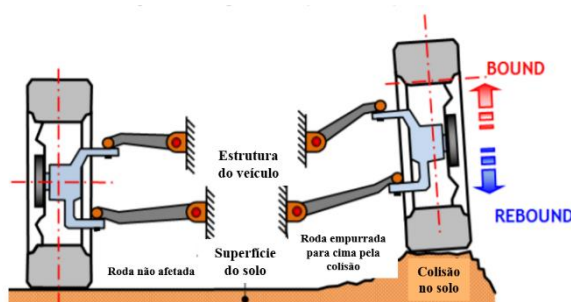


Figura 24 – Sistema de suspensão independente duplo “A”.
Fonte: ABREU et al., 2014.

A seguir, são descritos cada fator relevante na projeção de uma suspensão independente de configuração duplo A:

- Massa suspensa é definida por Carvalho (2011) como aquela que é direta ou indiretamente sustentada através do sistema de suspensão do veículo como carroceria, passageiros, cargas, motor, câmbio, depósito de combustível.
- Massa não suspensa traduz o somatório das massas de todos os componentes que estão ligadas à suspensão, mas não sustentados diretamente por ela, fazem parte deste grupo os freios, os pneus, as rodas, amortecedores, molas, braços de

suspensões, mangas de eixo e componentes do sistema de direção (ABREU et al, 2014).

- Bitola ou *track width* é o termo atribuído à distância entre os planos centrais da roda direita e da roda esquerda de um mesmo eixo. Essa dimensão é muito importante em curvas já que possui forte influência na resistência à rolagem do automóvel devido ao momento causado pela inércia do carro atuando em seu centro de gravidade (CG) que tende a “empurrá-lo” para fora do traçado e das forças laterais que agem nos pneus fazendo com que o carro se mantenha na pista. Desta forma, a bitola é um parâmetro que, associado à altura do CG, afeta diretamente a transferência lateral de carga. As bitolas dianteira e traseira não precisam necessariamente ser iguais (Almeida, 2012).
- Entre eixos ou *wheelbase* é o nome que se dá à distância entre o centro da roda dianteira e o centro da roda traseira, medida lateralmente, estando ambas as rodas com ângulos de esterçamento nulos. Quanto maior o entre eixos do veículo maior a estabilidade deste em linha reta, já que, dentre outros motivos, o momento de inércia de guinada (yaw) torna-se maior com o aumento desta medida.
- Ângulo de câmbor, segundo Merling (2007), traduz o ângulo entre a roda e o plano vertical quando observado frontalmente, conforme pode ser observado na Figura 25. Por convenção, o ângulo de câmbor é considerado negativo quando a roda está inclinada com a parte superior apontada para o centro do veículo. De uma forma geral, deseja-se que o câmbor do veículo esteja na maior parte do tempo o mais próximo possível de zero grau quando o veículo estiver percorrendo trajetórias retas, desta forma reduz o desgaste do pneu e aumenta a aderência entre os pneus e o solo garantindo o melhor desempenho nas frenagens e acelerações. Referente à cambagem das rodas, Nicolazzi et al. (2012) afirma o ângulo deve possuir o menor valor possível, em torno de 0° a -1° ;

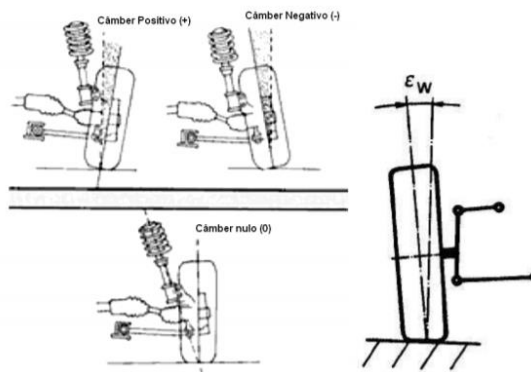


Figura 25 – Ângulo de câmbio.
Fonte: MERLING, 2007.

- Ângulo de cáster é definido por Almeida (2012) pelo ângulo gerado entre a linha vertical no referencial do solo e a linha de giro da roda na vista lateral, ilustrado pela Figura 26. O cáster possibilita a estabilidade da direção, sendo responsável pelo retorno da direção à posição de trajetória em linha reta após as curvas. Valores positivos deste ângulo tornam a direção mais estável, no entanto, quanto mais positivo ele for, maior será o esforço necessário para alterar a trajetória retilínea do veículo. Nicolazzi et al. (2012) apresentam uma análise da frequência de utilização do ângulo cáster em função da concepção do veículo, com valores variando nas seguintes faixas: Motor dianteiro e tração traseira: Cáster = 0° a 4° Motor e tração traseiros: Cáster = 8° a 12° . Motor e tração dianteiros: Cáster = -1° a $+3^\circ$. Tolerância: $\pm 0,5^\circ$;

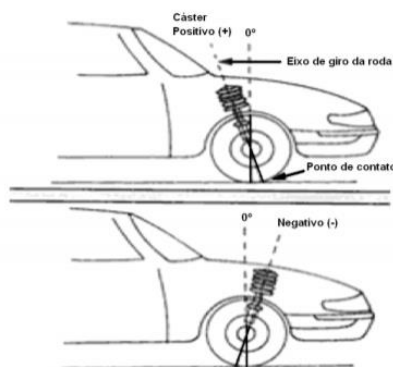


Figura 26 – Ângulo de cáster.
Fonte: ALMEIDA, 2012.

- Ângulo do pino mestre ou *King Pin Inclination (KPI)* se refere ao ângulo formado entre o plano central da roda e a linha que une o ponto superior ao ponto inferior de intersecção da manga de eixo com os braços da suspensão, conforme ilustrado na Figura 27. Esse parâmetro existe para diminuir a distância entre o ponto em que as forças são aplicadas no pneu (centro da área de contato com o solo) e o eixo de esterçamento, diminuindo os esforços realizados pelo condutor. Gillespie (1992) afirma que a inclinação do pino mestre na maioria das aplicações é convergente para o centro do veículo e determina usualmente valores entre 0° e 5° para caminhões e valores entre 10° e 15° para veículos de passeio. Este vetor corresponde ao eixo de rotação da roda, sendo o mesmo utilizado para a determinação do cáster, porém em outra vista. Quando prolongado o vetor do pino mestre em relação ao solo, torna-se possível identificar o *king pin offset*, ou seja, a distância horizontal entre o centro da banda de rodagem do pneu e o ponto de contato entre este prolongamento do vetor, esta, por sua vez, deve ser a menor possível para que ocorra o mínimo de arraste do pneu em manobras a baixa velocidade, diminuindo o esforço do usuário e do sistema de direção;

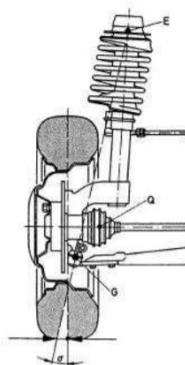


Figura 27 – Ângulo do pino mestre.
Fonte: GILLESPIE, 1992.

- Raio de deslizamento ou *scrub radius* (δ) é obtido pela distância, medida no plano de contato pneu-solo, do prolongamento da linha de rotação da roda e linha de centro vertical da roda (Figura 28). Rezende (2007) afirma que, o uso de valores pequenos do raio, minimiza o emprego de maiores esforços para esterçar as

rodas, sendo que uma das maneiras de diminuir o raio de deslizamento é utilizar rodas com valores negativos ou com valor nulo de offset. Por outro lado, Merling (2007) afirma que o motorista sentirá menos as reações das frenagens em linha reta. Costuma-se utilizar valores negativos para veículos de tração dianteira ou nos dois eixos e valores positivos em veículos de tração traseira;

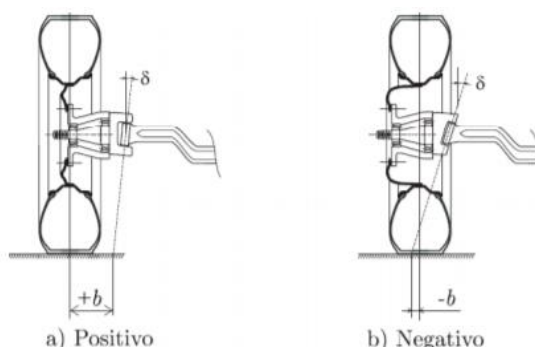


Figura 28 – Raio de deslizamento (*scrub radius*).
Fonte: REZENDE, 2007.

- Centro instantâneo (IC), segundo Erthal (2010), define-se como a localização instantânea de um par de pontos coincidentes de dois corpos rígidos distintos. No que se refere a uma suspensão do tipo duplo-A, o centro instantâneo na vista frontal do veículo é o ponto comum entre os prolongamentos dos braços de suspensão superior e inferior, conforme mostra a Figura 29 (a) (ALMEIDA, 2012). É importante considerar uma visão geral do sistema em duas posições, frontal e lateral durante o projeto de um sistema de suspensão, obtendo-se a partir desta, um sistema tridimensional. A Figura 29 (b) destaca o posicionamento do centro instantâneo em vista frontal e em vista lateral e ilustra também o eixo instantâneo de rotação, eixo este obtido por uma reta que liga os dois centros instantâneos representados.

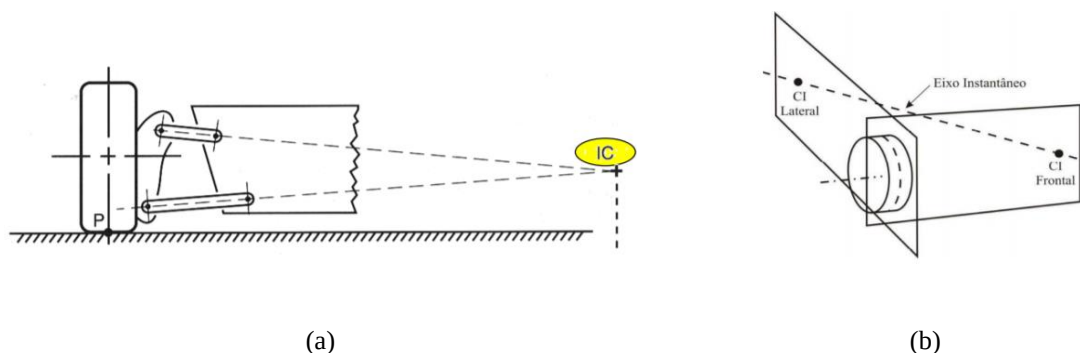


Figura 29 – Centro instantâneo de rotação: (a) vista frontal; (b) vista tridimensional.
Fonte: ALMEIDA, 2012.

- Centro de rolagem (RC), segundo Milliken (1995) é o ponto que corresponde ao centro de rotação do chassi do veículo em relação ao solo, Figura 30. Neste ponto podemos relacionar as forças atuantes na massa suspensa (chassi, carroceria e sistemas internos) e na massa não suspensa (massa dos componentes que se encontram entre o chassi e o solo). O centro de rolagem é importante para evitar os efeitos *Jacking*. Quando o centro de rolagem se encontra abaixo do centro de gravidade, à medida em que a distância entre estes pontos aumenta, maior será a alavanca e a força de inércia na curva, que farão o veículo rolar em torno do RC. Se o centro de rolagem e o centro de gravidade estiverem localizados no mesmo ponto, o veículo não irá rolar de forma alguma e se o RC estiver acima do centro de gravidade, o veículo irá se comportar como uma motocicleta, inclinando-se para dentro da curva (Salinet, s.d.);

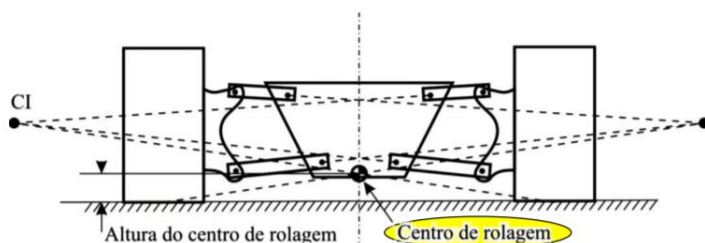


Figura 30 – Centro de rolagem.
Fonte: ALMEIDA, 2012.

- Convergência ou *toe setting* é definida, pela vista de topo do veículo como convergência (toe setting) a abertura horizontal entre duas rodas de um mesmo

eixo. Se estiverem mais afastadas na frente, a direção é definida como divergente (*toe out*) e, se mais abertas atrás, convergentes (*toe in*), conforme Figura 31. (Almeida, 2012). De acordo com Merling (2007), os carros de tração traseira utilizam rodas dianteiras convergentes e traseiras divergentes. Da mesma forma, os de tração dianteira, possuem rodas dianteiras divergentes e traseiras convergentes. Estas implementações aos sistemas de suspensão do veículo são utilizadas desta maneira, pois o torque responsável para tracionar ou parar o veículo ocasiona a geração de força nos braços da suspensão, para frente no caso de tração no eixo e para trás no caso de frenagem. O eixo sem tração deve ser sempre considerado como se estivesse executando uma pequena frenagem, pois mesmo que não esteja atuando o freio, a força de resistência ao rolamento do pneu estará apontando sempre para a traseira do veículo;



Figura 31 – Convergência do veículo.
Fonte: MERLING, 2007.

3.5 DIAGRAMA DE REQUISITOS DE PROJETO – MODELO FINAL

Com base nos estudos realizados nesta seção, torna-se possível definir o modelo final de diagrama para assim, iniciar o desenvolvimento do veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal em cadeira de rodas mecanomanual.

Estabelecido no diagrama final de requisitos de projetos as seis áreas macro: funcional; ergonômico; normas técnicas; mecânico e eletrônico, têm-se melhor visualização das necessidades a serem atendidas ao longo do desenvolvimento. Esta última fase permite integrar as três premissas fundamentais de projeto: usuário, benchmarking e Normas técnicas em um diagrama unificado representado na Figura 32.

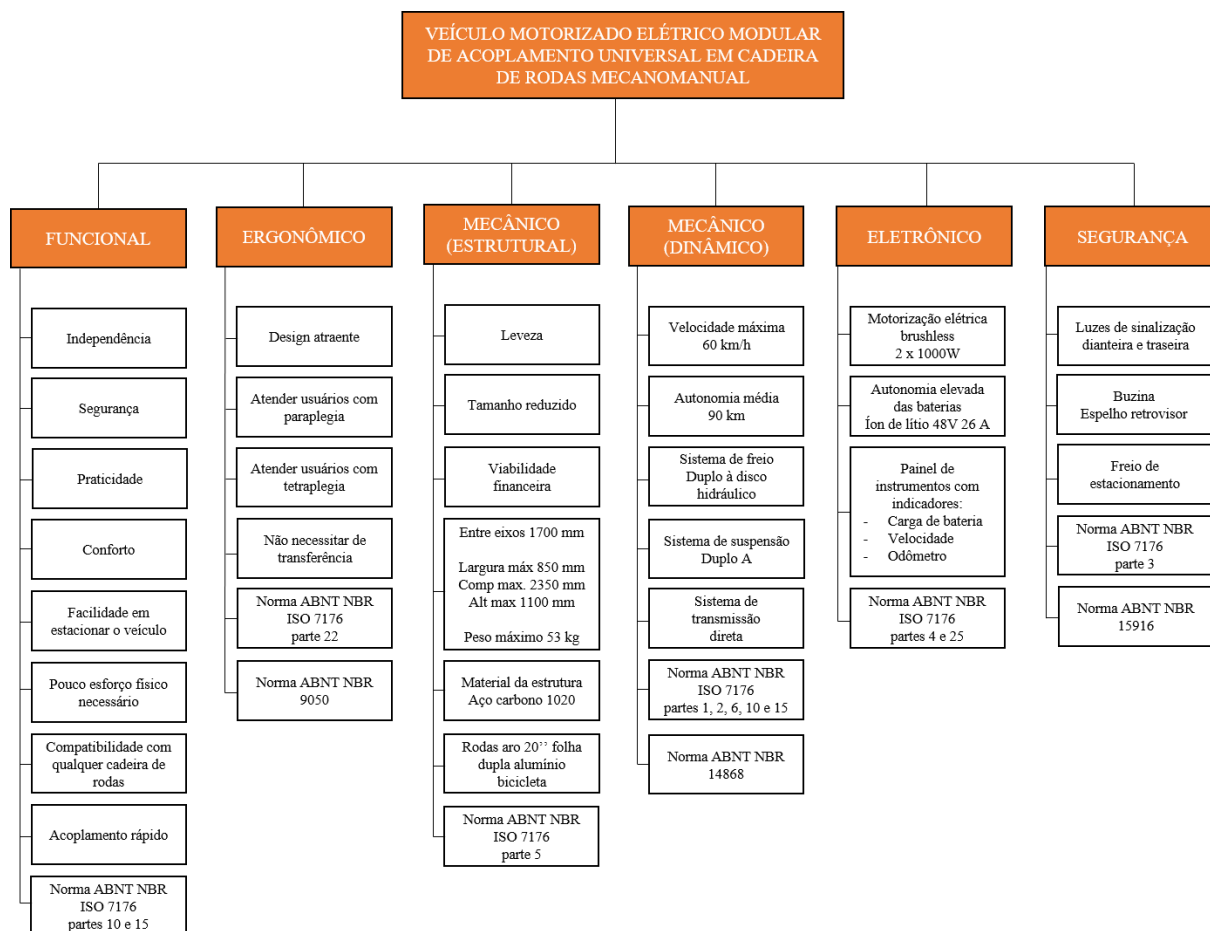


Figura 32 - Requisitos de projeto modelo final.
Fonte: AUTOR, 2017.

4. METODOLOGIA DE PROJETO

Segundo Alves, 2011, durante o projeto de uma máquina, diversas possibilidades de soluções são analisadas a fim de se obter um resultado eficiente. O desenvolvimento de veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal em cadeira de rodas mecanomanual necessita de uma análise minuciosa da estrutura buscando a utilização de materiais de baixo custo aliados a um desenho otimizado com o menor peso possível que seja capaz de suportar as solicitações físicas impostas pelo movimento.

A estrutura mecânica do equipamento é dividida em duas partes, sendo estas o suporte universal para a cadeira de rodas e parte frontal do veículo motorizado elétrico. A primeira destas é constituída de estrutura simplificada capaz de instalação em diversos modelos de cadeira de rodas. A parte seguinte é acoplada à primeira de forma rápida e segura, onde neste dispositivo se encontram todos os elementos eletrônicos e atuadores para a movimentação do cadeirante.

O conceito de modularidade no projeto dos componentes estruturais aliado ao conhecimento dos limites geométricos e alcances manuais dos cadeirantes explicitados pela norma NBR 9050 permitem multiconfigurações do veículo de modo a atender às necessidades específicas de cada usuário. Utiliza-se de um *software* gráfico CAD Solid Edge ST8 ®, fabricado pela SIEMENS para a modelagem sólida em ambiente tridimensional.

Os desenhos técnicos do projeto mecânico do veículo motorizado elétrico modular não são apresentados ao longo do trabalho de pesquisa devido à proteção da propriedade intelectual relacionada à tecnologia resultante do equipamento desenvolvido, no entanto, as imagens ilustrativas do funcionamento de todos os dispositivos mecânicos e eletrônicos do projeto são apresentadas detalhadamente ao decorrer de cada etapa desta seção.

O projeto e desenvolvimento são direcionados pelo conceito de design inclusivo para o atendimento da variedade ergonômica e funcional do público cadeirante baseado no mapa de requisitos estabelecidos na seção anterior. A metodologia de projeto elaborada nesta seção apresenta as etapas de design do equipamento em suas duas partes. A partir desses modelos projetados, uma análise de estabilidade estática e dinâmica é

abordada para determinar condições limite de utilização do equipamento assistivo sem a ocorrência de qualquer tipo de tombamento. Os procedimentos adotados durante toda a etapa de desenvolvimento do veículo proposto, conforme a sequência estabelecida a seguir:

- Design do suporte universal para cadeira de rodas;
- Design da parte frontal do veículo motorizado elétrico modular;
- Análise do centro de gravidade;
- Análise teórica de estabilidade estática e dinâmica;
- Montagem de protótipo funcional e
- Design do sistema de motorização traseira.

4.1 DESIGN DO SUPORTE UNIVERSAL PARA CADEIRA DE RODAS

Iniciou-se o projeto pelo desenvolvimento do suporte universal para cadeira de rodas. A diversidade funcional dos usuários de cadeira de rodas em termos de baixa capacidade física e/ou comprometimento no movimento dos membros superiores e capacidade de alcance frontal com os braços exige que o veículo motorizado em questão atenda a estas necessidades específicas de cada usuário fundamentado ao requisito fundamental que se destina à compatibilidade com qualquer modelo de cadeira de rodas, desta forma , torna-se possível a utilização por usuários com capacidades funcionais distintas.

No Brasil, o estudo realizado pela Associação Brasileira da Indústria de Artigos e Equipamentos Médicos, Odontológicos, Hospitalares e de Laboratórios (ABIMO) aponta a presença de 95 indústrias brasileiras de cadeira de rodas mecanomanuais, juntamente a estes fabricantes, existem os distribuidores brasileiros de marcas internacionais de cadeiras de rodas mecanomanuais.

Atualmente, as fabricantes brasileiras de maior relevância no mercado nacional são representadas pelas marcas OrtoBrás, Ottobock, Freedom e Jaguaribe, as quais possuem uma ampla gama de configurações nos seus principais modelos de cadeira de

rodas mecanomanuais quando avaliados pelas variáveis de largura e profundidade de assento assim como a altura de encosto.

Dentre as diversas características presentes nos variados modelos de cadeiras de rodas mecanomanuais, tais como, tipo de material, modelo estrutural, dimensionamento do assento e encosto, acessórios, entre outros, pode-se classificar dois grandes grupos desses equipamentos assistivos de acordo com o modelo estrutural adotado em sua concepção, conforme pode ser observado na Figura 33, sendo eles, cadeira de rodas com estrutura dobrável em duplo X e cadeira de rodas com estrutura rígida monobloco.



(a)



(b)

Figura 33 – Cadeira de rodas mecanomaneal: (a) estrutura dobrável em duplo X; (b) estrutura rígida monobloco.

Fonte: AUTOR, 2017.

Entender as diferentes configurações das cadeiras de rodas mecanomanuais existentes no mercado nacional é fundamental para o ótimo desenvolvimento do sistema de acoplamento do veículo motorizado junto à estrutura física da cadeira de rodas, uma vez que a modularidade no projeto dos componentes estruturais do suporte universal permite a universalidade da instalação deste dispositivo em qualquer cadeira de rodas mecanomaneal. Após uma análise criteriosa de seis marcas nacionais e quatro marcas internacionais de cadeiras de rodas mecanomanuais comercializadas no país, compreendendo sessenta e seis modelos distintos, tornou-se possível observar algumas características relevantes entre todos os modelos estudados, tais quais são descritos:

- a) Estrutura construída por barras tubulares de diâmetro 1" ou 1.1/4" em aço carbono 1020, alumínio de liga 6061 ou fibra de carbono;
- b) Apoio de pés ajustáveis fixos ou móveis;

- c) Barras verticais frontais de sustentação dos rodízios dianteiros paralelas e simétricas;
- d) Barras horizontais superiores para sustentação do assento paralelas e simétricas;
- e) Abertura frontal mínima equivalente à 340 mm para os modelos fabricados em série;
- f) Abertura frontal máxima equivalente à 440 mm para os modelos fabricados em série.

Após análise crítica das características comuns entre os modelos estudados, o suporte universal (Figura 34) foi projetado em formato modular que permite a sua instalação tanto em cadeira de rodas com estrutura com estrutura dobrável em duplo X quanto estrutura rígida monobloco, devido ao uso de dois acoplamentos laterais afixados nas barras verticais ou horizontais da cadeira de rodas por onde o suporte se mantém posicionado durante o uso do veículo motorizado elétrico.

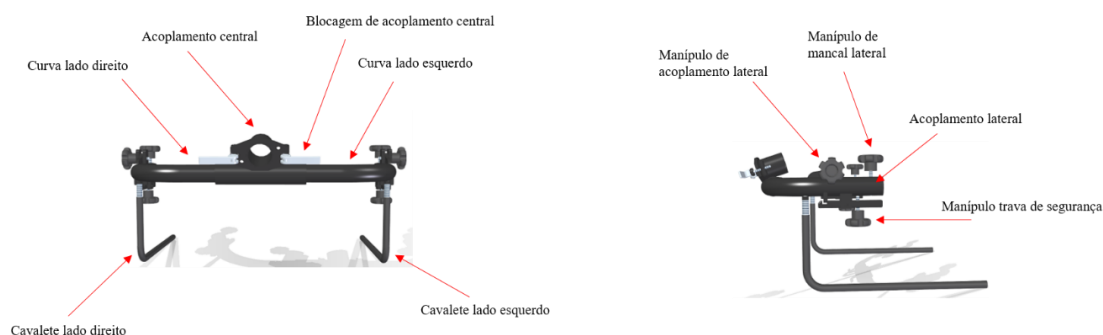


Figura 34 - Suporte universal para cadeira de rodas mecanomanual.
Fonte: AUTOR, 2017.

A flexibilidade na instalação dos mancais de apoio do suporte universal permite que estes possam ser instalados sobre as barras verticais frontais de sustentação dos rodízios dianteiros das cadeiras com estrutura rígida monobloco conforme ilustrado na Figura 35, assim como possam ser instalados sobre as barras horizontais superiores de sustentação do assento para alguns modelos de cadeira de rodas com estrutura dobrável em duplo X. Contudo, esses componentes apresentam três configurações distintas:

1. Mancal de apoio com fixação para tubo de diâmetro 1" e mancal soldado perpendicularmente à fixação tubular;

2. Mancal de apoio com fixação para tubo de diâmetro 1" e mancal soldado paralelamente à fixação tubular;
3. Mancal de apoio com fixação para tubo de diâmetro 1.1/4" e mancal soldado perpendicularmente à fixação tubular.



Figura 35–Posicionamento dos mancais de apoio na cadeira de rodas: (a) vista lateral; (b) vista superior.
Fonte: AUTOR, 2017.

O estudo apontou a necessidade de desenvolvimento de um componente adicional ao suporte universal para garantir o maior alcance em profundidade durante a sua instalação em cadeiras de rodas com estrutura dobrável em duplo X ou em situações em que o usuário possua comprometimento no dobramento dos membros inferiores. Denominado alongador lateral (Figura 36), este componente pode ser inserido sobre o mancal de apoio lateral afim de aumentar a profundidade de instalação do suporte sobre a cadeira de rodas.



Figura 36 – (a) alongador lateral; (b) instalação do alongador lateral sobre o mancal lateral.
Fonte: AUTOR, 2017.

Devido às diferentes configurações dimensionais de largura e profundidade de assento, assim como modelo estrutural adotado em cadeiras de rodas mecanomanuais, fez-se um levantamento dos principais modelos presentes no mercado nacional afim de definir a melhor configuração adotada no suporte universal do equipamento desenvolvido para a instalação em cada modelo de cadeira de rodas estudado, conforme apresentado no ANEXO I.

De modo a garantir os requisitos fundamentais relacionados à segurança, praticidade, conforto, independência, pouco esforço físico e acoplamento rápido, projetou-se um dispositivo de acoplamento bipartido. A primeira parte deste dispositivo, denominado acoplamento central, aloja a parte frontal motorizada do veículo, já a segunda parte é alojada na cadeira de rodas de maneira a permitir a interface entre o veículo motorizado elétrico e a cadeira de rodas mantendo a estabilidade do conjunto cadeira de rodas/veículo motorizado. A Figura 37 ilustra o suporte universal desenvolvido e suas partes citadas.

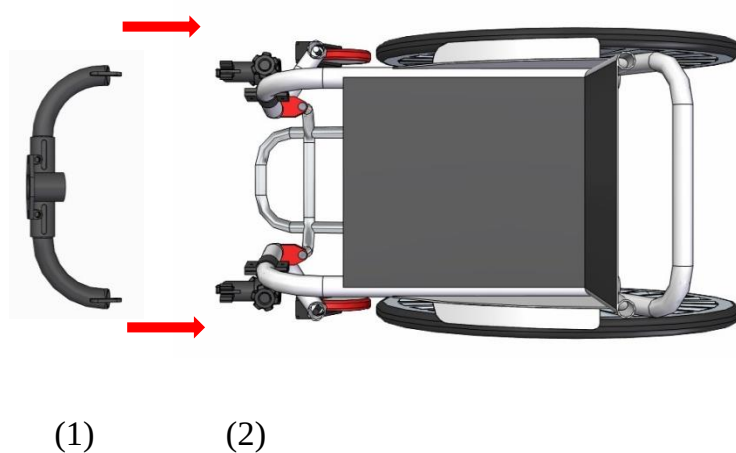


Figura 37 - Suporte universal para cadeira de rodas: (1) Acoplamento central; (2) Acoplamento lateral.

Fonte: AUTOR, 2017.

De modo a permitir a instalação do suporte em cadeira de rodas com variação na largura do assento, o componente com ajuste telescópico presente no acoplamento central, Figura 38, permite a adequação deste dispositivo em cadeira de rodas com variação de largura do assento entre 340 mm e 440 mm.



Figura 38 - Regulagem da abertura da parte frontal do suporte.
Fonte: AUTOR, 2017.

Por fim, a modularidade no projeto do acoplamento central do suporte permite a sua instalação nas cadeiras de rodas por meio de quatro diferentes combinações do seu componente central, conforme ilustrado na Figura 39, as configurações são distintas pelo posicionamento angular deste componente em relação às barras curvas laterais do dispositivo. Adota-se como configuração original o componente central posicionado acima das barras curvas laterais e alinhado paralelamente a elas; a segunda configuração apresenta o deslocamento angular de 6° no sentido anti-horário em relação à primeira configuração; na terceira configuração o componente central é posicionado abaixo das barras curvas laterais e alinhado paralelamente a elas; por fim, a quarta configuração apresenta o componente central deslocado angularmente em 6° no sentido anti-horário a partir da terceira configuração.

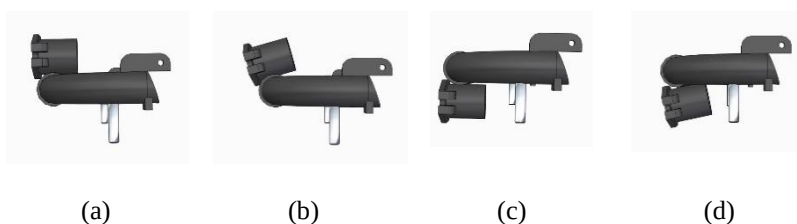


Figura 39 – Configurações do acoplamento central: (a) posição original; (b) parte central deslocada 6° em relação à posição original; (c) parte central invertida em relação à posição original; (d) parte central deslocada 6° em relação à posição anterior.

Fonte: AUTOR, 2017.

A adoção da melhor configuração do acoplamento central é definida durante a instalação do veículo motorizado sobre a cadeira de rodas de modo a permitir o levantamento das rodas dianteiras da cadeira de rodas em uma altura média $h1$ de 50 a 70 mm em relação ao piso, de modo a alcançar um ângulo de inclinação mínimo de 15° ,

como pode ser notado na Figura 40. Esta altura é necessária para a transposição de obstáculos durante o deslocamento do conjunto com segurança e conforto ao usuário.

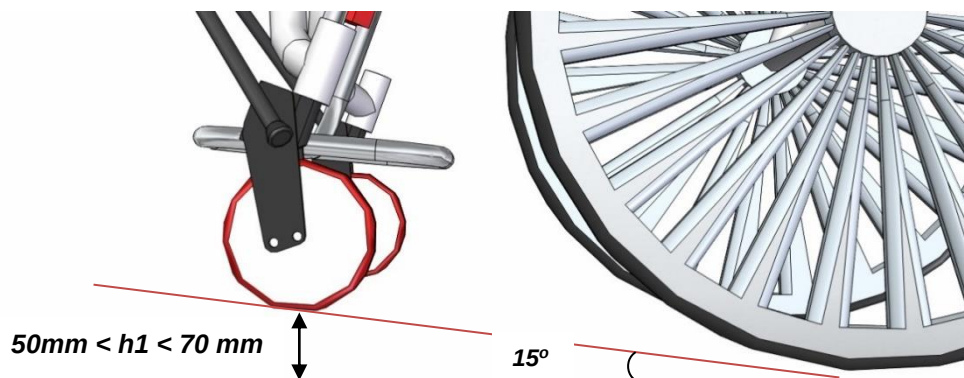


Figura 40 - Verificação da altura de levantamento dos rodízios dianteiros da cadeira de rodas
Fonte: AUTOR, 2017.

4.2 DESIGN DA PARTE FRONTAL DO VEÍCULO MOTORIZADO ELÉTRICO MODULAR

Nesta etapa de desenvolvimento, buscou-se iniciar a criação do protótipo virtual da parte frontal motorizada do veículo baseado nos seguintes requisitos correlacionados aos limitantes de alcance manual de um usuário de cadeira de rodas:

- Design atraente e
- Não necessitar de transferência do usuário entre a cadeira e o veículo.

Este projeto acompanha o mesmo conceito de modularidade anteriormente aplicado na concepção do suporte universal para cadeira de rodas mecanomanual, de modo a facilitar a construção do protótipo funcional, assim como facilitar a combinação de componentes de freios, suspensão e eletromecânicos. A parte frontal do veículo motorizado elétrico modular foi desenvolvido baseado nas restrições estruturais de dimensões estabelecidos no mapa de requisitos, assim como os requisitos dinâmicos relacionados ao sistema de suspensão, transmissão e frenagem.

Buscou-se projetar a parte frontal motorizada do veículo de maneira a ser acoplada ao suporte universal para a cadeira de rodas de modo rápido e seguro, conforme

pode ser observado na Figura 41, de modo a facilitar ao usuário o manuseio do equipamento em ações de acoplamento e desacoplamento sobre a cadeira de rodas e garantir desta forma, o atendimento ao segundo requisito listado nesta seção.



Figura 41 – Parte frontal motorizada do veículo para acoplamento em cadeira de rodas.
Fonte: AUTOR, 2017

Uma vez que a parte frontal do equipamento motorizado esteja acoplada ao suporte universal, torna-se possível o acoplamento deste conjunto à cadeira de rodas mecanomanual e a sua transformação em um veículo motorizado elétrico modular apresentado na Figura 42.



Figura 42 – Veículo motorizado elétrico modular.
Fonte: AUTOR, 2017.

Inicialmente, o chassi central foi projetado de modo a receber o sistema de suspensão duplo A sobre ele. Nesta etapa, verificou-se os limitantes dimensionais para

atendimento dos requisitos pré-estabelecidos, com grande atenção à largura máxima equivalente a 850 mm.

A escolha pelo modelo de motorização *brushless* de corrente contínua afetou diretamente o dimensionamento da suspensão, uma vez que a manga de eixo foi projetada em formato de estrutura de garfo para a utilização de roda motorizada com potência nominal de 1000 W e transmissão direta. O motor pode ser montado em aro de folha dupla em alumínio com diâmetro de 20" que permite grande capacidade de absorção de impactos. A combinação desses componentes eletromecânicos compõe o conjunto de tração dianteira do veículo apresentado na Figura 43.

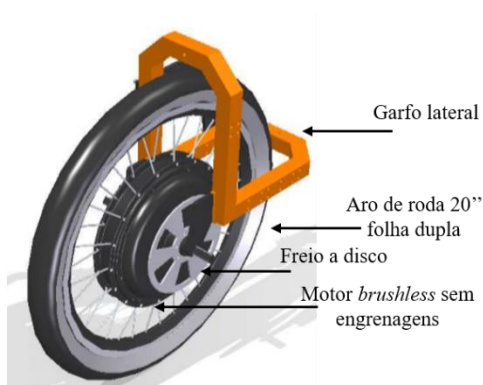


Figura 43 – Conjunto de tração dianteira do veículo motorizado elétrico modular.
Fonte: AUTOR, 2017.

O garfo desenvolvido apresenta suporte para a instalação de um sistema de freio duplo a disco. A sua largura de 175 mm afetou diretamente no dimensionamento das bandejas superior e inferior da suspensão.

As bandejas de suspensão superior e inferior são simétricas e apresentam em sua extremidade o terminal esférico de ligação ao garfo que permite o ajuste do ângulo de câmbio, de forma a permitir a variação de 2° negativos e 3° positivos. O ângulo do pino mestre foi projetado de modo a se manter fixo em 12°. O design do sistema de suspensão desenvolvido pode ser observado na Figura 44.

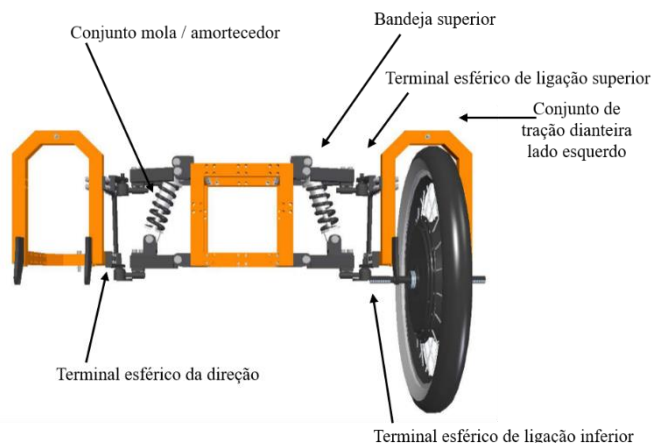


Figura 44 - Sistema de suspensão duplo A do veículo motorizado elétrico modular.
Fonte: AUTOR, 2017.

O ângulo de câster não pode ser ajustado diretamente na suspensão projetada, inicialmente ajustado em 0° , no entanto, ele pode ser ajustado indiretamente através do ajuste angular do acoplamento central do suporte universal sobre a cadeira de rodas, tal qual ocasiona a variação do ângulo de câster do conjunto veículo motorizado elétrico modular.

O veículo apresenta um sistema de direção direta por meio de um guidão direcional ergonômico ligado à coluna de direção, que por sua vez se comunica aos braços de direção direito e esquerdo instalados sobre a suspensão duplo A. Faz-se uso de terminais esféricos para a sua ligação aos conjuntos de tração dianteira. Os braços de direção permitem o ajuste de convergência em modo *Toe in* para facilitar o auto alinhamento da direção, uma vez que se faz uso de tração dianteira no veículo.

Definidos os sistemas de suspensão e direção, dimensionou-se o quadro dianteiro para alojamento de quatro conjuntos de baterias de lítio com capacidade nominal de 48V 13Ah e dois módulos de controle integrado com corrente máxima de 35 A. Tratando-se de um veículo para utilização em vias públicas, o parachoque dianteiro foi projetado para garantir a segurança do usuário. A estrutura física da parte frontal do veículo projetado e seus componentes mecânicos e eletromecânicos podem ser notados pela Figura 45.

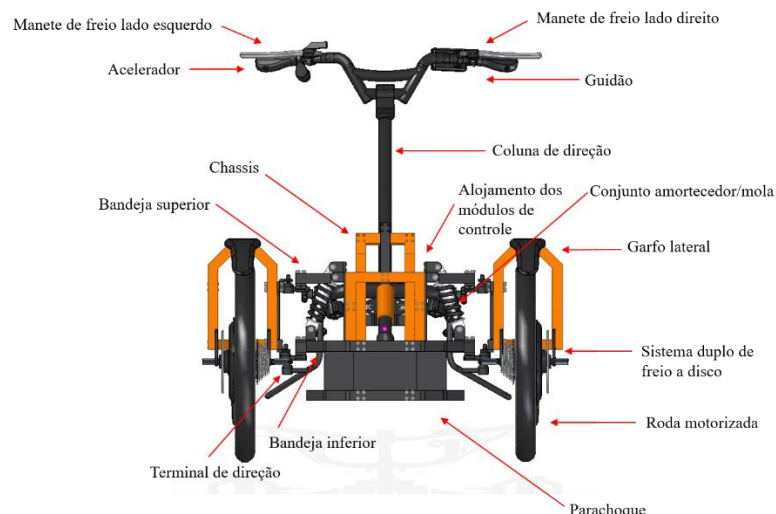


Figura 45 - Estrutura física da parte frontal do veículo motorizado elétrico modular.
Fonte: AUTOR, 2017.

A estrutura do veículo foi protegida por uma carenagem projetada em material plástico. O bagageiro dianteiro e o espelho parabrisa também incorporam o equipamento de modo a oferecer maior conforto, comodidade e segurança ao usuário.

O sistema de acoplamento central da parte frontal do veículo foi desenvolvido de modo a ser compatível com o suporte universal para cadeira de rodas mecanomanual. Quando ambos os sistemas estão conectados entre si, o conjunto se apresenta no formato de utilização pelo usuário, conforme apresentado na Figura 46.

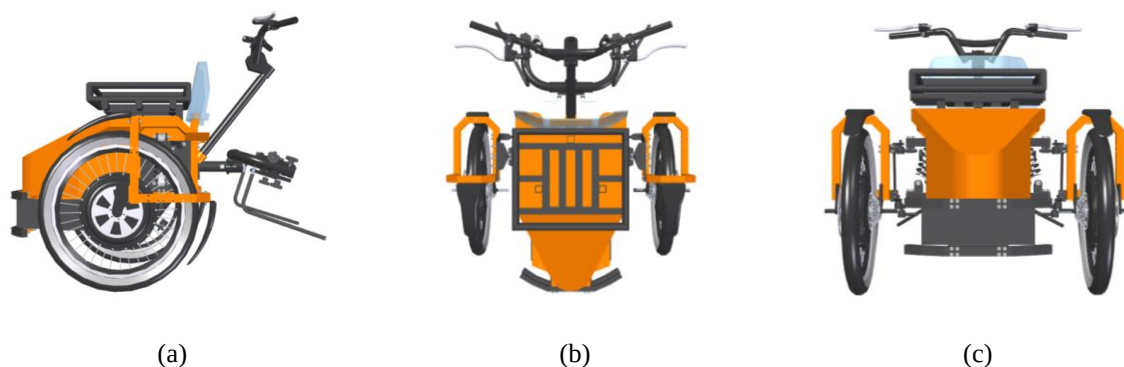


Figura 46 – Versão final do protótipo virtual da parte frontal do veículo motorizado elétrico modular: (a) vista lateral; (b) vista superior; (c) vista posterior.
Fonte: AUTOR, 2017.

O conjunto parte frontal do veículo motorizado e suporte universal pode ser instalado em qualquer modelo de cadeira de rodas mecanomanual. O modelo virtual da cadeira de rodas ilustra uma cadeira de rodas de fabricada pela Ortobras, modelo Star Lite. O protótipo virtual apresentou a distância entre eixos de 1035 mm, bitola de 715 mm, comprimento total de 1600 mm, largura total de 900 mm, altura máxima de 1015 mm. O veículo motorizado elétrico modular, assim como o suporte universal para cadeira de rodas mecanomanual foram projetados com estrutura metálica em aço carbono 1020, enquanto a cadeira de rodas apresentou estrutura elaborada em liga de alumínio 6061. O conjunto apresentou peso total estimado em 127 kg e é apresentado na Figura 47.

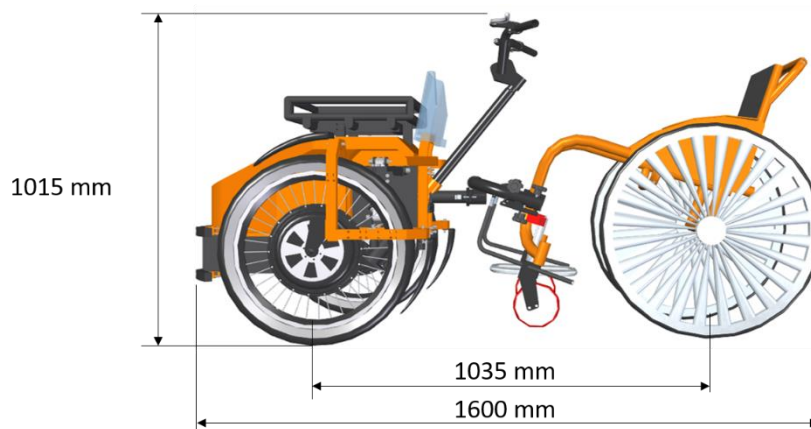


Figura 47 - Versão final do protótipo virtual do conjunto veículo motorizado elétrico modular de acoplamento em cadeira de rodas mecanomanual.

Fonte: AUTOR, 2017.

4.3 ANÁLISE DO CENTRO DE GRAVIDADE

Conhecer os limitantes do alcance manual para a execução de tarefas durante o uso de cadeira de rodas é de extrema importância no dimensionamento do equipamento assistivo proposto neste estudo, onde o seu acionamento deve ser realizado por meio de um dispositivo eletromecânico localizado a frente do usuário. É possível a identificação destes limitantes pela Figura 48 e Quadro 2 explicativa (ABNT, 2004). Nota-se que os valores dimensionais estabelecidos pela Norma ABNT NBR 9050 são apresentados em metros.

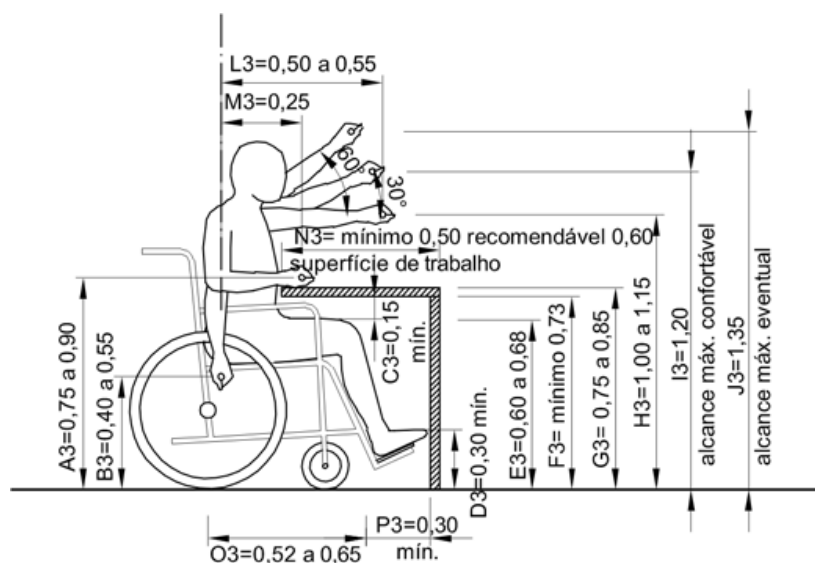


Figura 48 – Limites do alcance manual de cadeirantes em metros.
Fonte: ABNT, 2004

Quadro 2 – Descrição dos limitantes do alcance manual de cadeirantes

Sigla	Descrição
A3	Altura do centro da mão com antebraço formando 90° com o tronco
B3	Altura do centro da mão estendida ao longo do eixo longitudinal do corpo
C3	Altura mínima livre entre a coxa e a parte inferior de objetos e equipamentos
D3	Altura mínima livre para encaixe dos pés
E3	Altura do piso até a parte superior da coxa
F3	Altura mínima livre para encaixe da cadeira de rodas sob o objeto
G3	Altura das superfícies de trabalho ou mesas
H3	Altura do centro da mão com braço estendido paralelo ao piso
I3	Altura do centro da mão com o braço estendido, formando 30° com o piso = alcance máximo confortável
J3	Altura do centro da mão com o braço estendido formando 60° com o piso = alcance máximo eventual
L3	Comprimento do braço na horizontal, do ombro ao centro da mão
M3	Comprimento do antebraço (do centro do cotovelo ao centro da mão)
N3	Profundidade da superfície de trabalho necessária para aproximação total
O3	Profundidade da nádega à parte superior do Joelho
P3	Profundidade mínima necessária para encaixe dos pés

Fonte: ABNT, 2004

O cálculo do centro de gravidade (CG) do veículo motorizado elétrico modular de acoplamento em cadeiras de rodas mecanomanual se faz pela subdivisão em corpos compostos, conforme segue descrito:

- Usuário;
- Veículo motorizado elétrico modular:
 - Cadeira de rodas;
 - Suporte para cadeira de rodas;
 - Parte frontal motorizada;

Um ponto em um corpo material no qual está aplicada a resultante das forças que agem sobre ele, em virtude da sua presença num campo gravitacional é considerado centro de gravidade (CG). Quando a aceleração da gravidade é a mesma para todos os pontos do corpo, o CG coincide com o centro de massa (CM). (RODITI, 2005)

Esse ponto depende da geometria do corpo e da massa das partículas que o compõe, e age como se toda a massa inercial do sistema estivesse concentrada nele.

Beer & Johnston, 1990, defendem que um dado corpo, podendo ser dividido em diversos outros que possuem formas geométricas mais usuais é considerado um corpo composto. Para a determinação de seu baricentro basta igualar o momento de seu peso em relação a uma referência O aos momentos dos pesos das várias partes componentes em relação a este mesmo ponto, sendo definido pelas equações (1) a (3):

$$\bar{X} \sum W = \sum \bar{x} \cdot W \quad (1)$$

$$\bar{Y} \sum W = \sum \bar{y} \cdot W \quad (2)$$

$$\bar{Z} \sum W = \sum \bar{z} \cdot W \quad (3)$$

Para corpos homogêneos, o baricentro coincide com o centróide do sólido de volume V representativo do corpo, representados pelas equações (4) a (6):

$$\bar{x}V = \int \bar{x} \cdot V \quad (4)$$

$$\bar{y}V = \int \bar{y} \cdot V \quad (5)$$

$$\bar{z}V = \int \bar{z} \cdot V \quad (6)$$

Vale salientar que sendo o corpo simétrico em um dos planos, seu centróide se localiza neste plano, para simetria em dois planos, seu centróide estará localizado na intersecção entre ambos. Por fim, possuindo simetria nos três planos, seu ponto de simetria coincide com seu centróide. (BEER & JOHNSTON, 1990)

A primeira parte deste estudo se faz pelo cálculo do CG do corpo humano, onde o CG total depende do CG relativo de cada segmento do mesmo, o que implica que ele seja dividido em vários corpos com CG conhecido.

Considerando o modelo proposto por Hamill e Knutzen (1999), a Tabela 3 apresenta valores para calcular as massas (m_i) e posição do CG (G_i) a partir do ponto proximal de cada segmento, relacionando-os às porcentagens da posição do CG ($\%G_i$) e massa ($\%m_i$) do corpo como um todo.

Tabela 3 - Razões de massa e posição do CG

Razões de massa e posição do CG		
Segmento	$\%m_i$	$\%G_i$
Braço Esquerdo	0,027	0,436
Braço Direito	0,027	0,436
Antebraço Esquerdo	0,016	0,436
Antebraço Direito	0,016	0,436
Mão Esquerda	0,006	0,506
Mão Direita	0,006	0,506
Pé Esquerdo	0,014	0,429
Pé Direito	0,014	0,429
Perna Esquerda	0,045	0,433
Perna Direita	0,045	0,433
Coxa Esquerda	0,097	0,433
Coxa Direita	0,097	0,433
Cabeça e pescoço	0,079	0,500
Tronco	0,514	0,450

Fonte: HAMILL & KNUTZEN, 1999.

O comprimento de cada segmento está de acordo com a Figura 49.

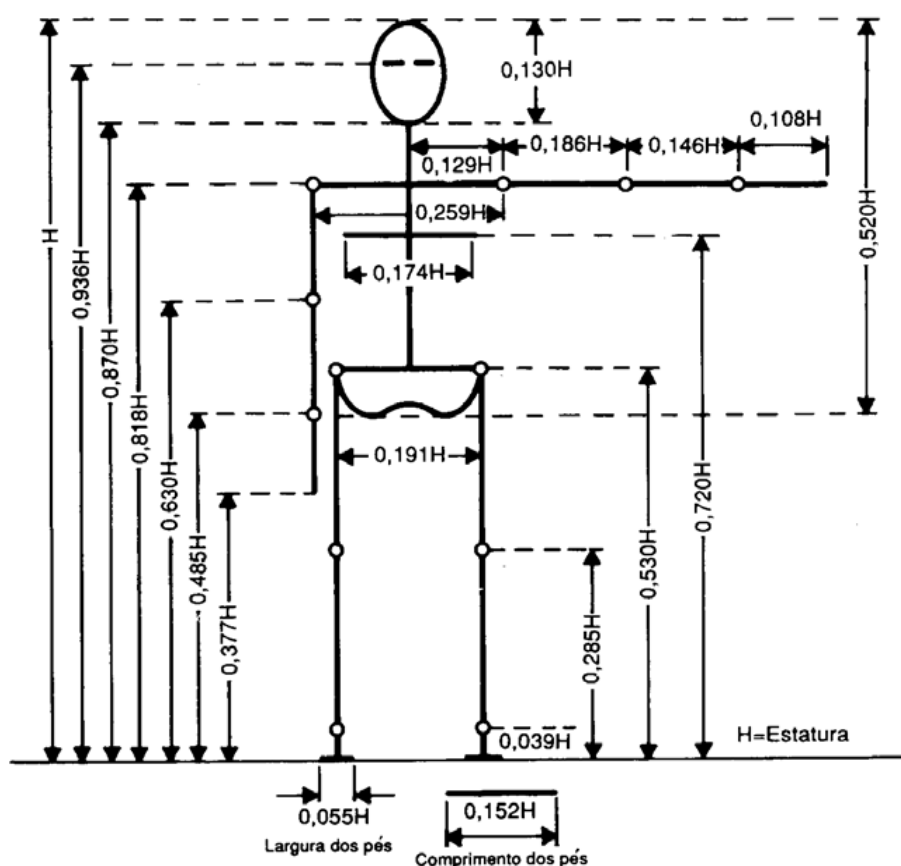


Figura 49 – Comprimentos estimados de partes do corpo em pé, em função da estatura H.
Fonte: CONTINI & DRILLIS *apud* IDA,1990.

De posse desses dados, conhecendo a porcentagem do comprimento (%C_i) de cada segmento, altura (H) e massa (m) do indivíduo, se obtém:

O comprimento de cada segmento é obtido a partir da equação (7):

$$C_i = h \cdot \%C_i \quad (7)$$

A massa de cada segmento pode ser expressa pela equação (8):

$$m_i = m \cdot \%m_i \quad (8)$$

Pela equação (9) determina-se a localização do CG de cada segmento a partir do ponto proximal:

$$G_i = C_i \cdot \%G_i \quad (9)$$

Utilizando as equações (7) à (9) em uma planilha eletrônica é possível calcular o CG para qualquer massa e altura segundo a Tabela 4. O modelo analisado é de um indivíduo pesando 90 kg, e 1,75 m representando a estatura média do homem brasileiro segundo o Censo de 2010.

Tabela 4 - Cálculos para massa, comprimento e posição do CG para cada segmento do corpo humano.

Cálculos para massa, comprimento e posição do CG para cada segmento do corpo humano						
Massa do indivíduo		Altura do indivíduo				
90 kg		1,75 m				
Segmento	%Mi	Mi	%Ci	Ci	%Gi	Gi
Braço Esquerdo	2,65%	2,38 kg	18,60%	0,32 m	43,60%	0,1419 m
Braço Direito	2,65%	2,38 kg	18,60%	0,32 m	43,60%	0,1419 m
Antebraço Esquerdo	1,55%	1,39 kg	14,60%	0,25 m	43,60%	0,1113 m
Antebraço Direito	1,55%	1,39 kg	14,60%	0,25 m	43,60%	0,1113 m
Mão Esquerda	0,60%	0,54 kg	10,80%	0,18 m	50,60%	0,0956 m
Mão Direita	0,60%	0,54 kg	10,80%	0,18 m	50,60%	0,0956 m
Pé Esquerdo	1,40%	1,26 kg	3,90%	0,06 m	42,90%	0,0292 m
Pé Direito	1,40%	1,26 kg	3,90%	0,06 m	42,90%	0,0292 m
Perna Esquerda	4,50%	4,05 kg	24,60%	0,43 m	43,30%	0,1864 m
Perna Direita	4,50%	4,05 kg	24,60%	0,43 m	43,30%	0,1864 m
Coxa Esquerda	9,65%	8,68 kg	24,50%	0,42 m	43,30%	0,1856 m
Coxa Direita	9,65%	8,68 kg	24,50%	0,42 m	43,30%	0,1856 m
Cabeça e pescoço	7,90%	7,11 kg	18,20%	0,31 m	50,00%	0,1592 m
Tronco	51,40%	46,26 kg	28,80%	0,50 m	45,00%	0,2268 m
Corpo Σ	100,00%	90,00 kg	100,00%	1,75 m		

Fonte: AUTOR, 2017.

Dessa forma, podem-se determinar os pontos do centro de gravidade do corpo humano no sistema de coordenadas XZ com simetria sobre o eixo coordenado Y. Os pontos supracitados estão indicados na Figura 50.

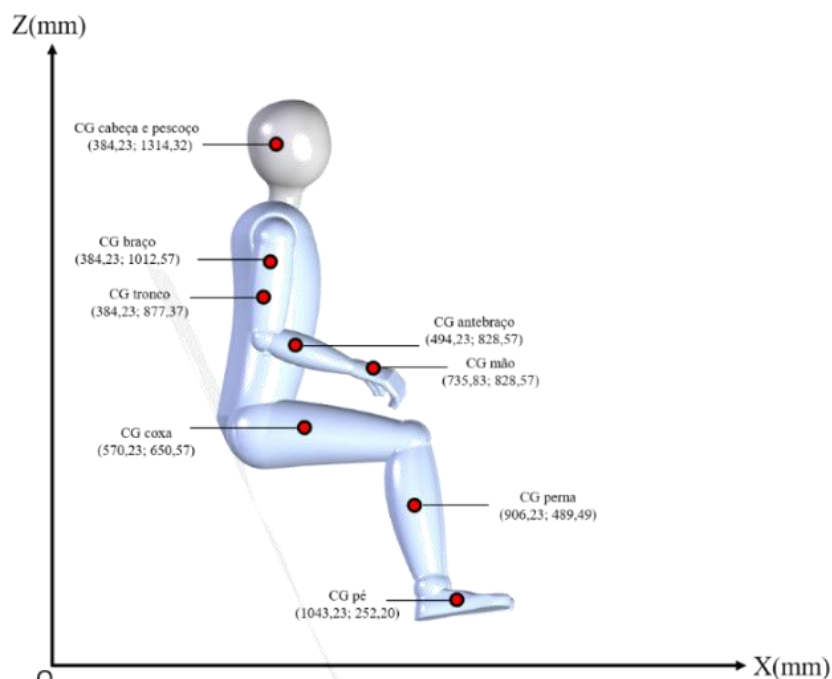


Figura 50 – Posições dos CG's de cada membro do sistema
Fonte: AUTOR, 2017.

A Tabela 5 apresenta as coordenadas calculadas para o modelo proposto:

Tabela 5 – Cálculo de centro de massa – usuário 90 kg – 1,75 m.

Cálculo de centro de massa – usuário 90 kg – 1,75 m					
Segmento	M_i (kg)	x_i (mm)	z_i (mm)	$m_i \cdot x_i$ (kg.mm)	$m_i \cdot z_i$ (kg.mm)
Cabeça e pescoço	7,11	384,00	1473,60	2730,24	10477,08
Tronco	46,26	384,00	902,57	17763,84	41752,89
Braço esquerdo	2,39	384,00	1012,60	915,84	2414,97
Braço direito	2,39	384,00	1012,60	915,84	2415,05
Antebraço esquerdo	1,40	494,00	828,57	689,13	1155,86
Antebraço direito	1,40	494,00	828,57	689,13	1155,86
Mão esquerda	0,54	735,60	828,57	397,22	447,43
Mão direita	0,54	735,60	828,57	397,22	447,43
Coxa esquerda	8,69	570,00	650,57	4950,45	5650,20
Coxa direita	8,69	570,00	650,57	4950,45	5650,20
Perna esquerda	4,05	906,00	489,49	3669,30	1982,43
Perna direita	4,05	906,00	489,49	3669,30	1982,43
Pé esquerdo	1,26	1045,50	247,87	1317,33	312,32
Pé direito	1,26	1045,50	247,87	1317,33	312,32
Σ	90			44372,63	76156,47

Fonte: AUTOR, 2017.

Assim,

$$\bar{x} = 493,03 \text{ mm}$$

$$\bar{z} = 846,18 \text{ mm}$$

A posição do CG do corpo humano é representada graficamente pela Figura 51:

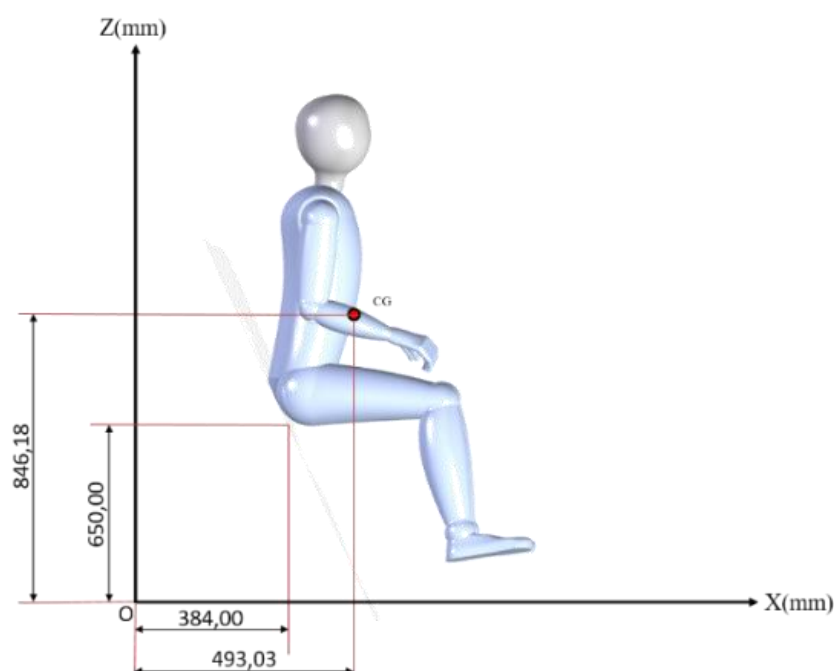


Figura 51 - Posição do CG do corpo humano para o modelo proposto
Fonte: AUTOR, 2017.

Seguindo para a análise das estruturas envolvidas na concepção do veículo motorizado elétrico modular, considera-se que são desprezados os pinos, porcas, parafusos, rolamentos e alguns itens de pouca massa na determinação do CG das estruturas mecânicas. O material adotado para a construção do protótipo virtual é o aço SAE 1020 (0,20 % de carbono) com massa específica equivalente a $7,85 \times 10^{-5} \text{ kg/mm}^3$. Todos os corpos compostos apresentam simetria sobre o eixo coordenado e as suas posições do CG são analisados a partir do ponto de referência situado na origem do plano conforme indicação em cada análise realizada individualmente.

Utilizando-se do procedimento de subdivisão em pequenos corpos geométricos usuais, a determinação do CG na cadeira de rodas, suporte para cadeira de rodas e na parte frontal motorizada se faz pelo auxílio do *software* gráfico CAD Solid Edge ST8®, o qual realiza o cálculo dos baricentros dos componentes geométricos.

Quando ocorre o acoplamento entre a cadeira de rodas e a parte frontal motorizada do veículo, surge o ângulo de inclinação Θ sob os rodízios dianteiros da cadeira de rodas. Esta inclinação pode variar conforme a instalação dos mancais de apoio do suporte universal sobre a cadeira de rodas, a qual deve ser ajustada com base na necessidade de maior ou menor altura de elevação das rodas dianteiras da cadeira de rodas, este deslocamento é fundamental para a superação de pequenos obstáculos e visa o alcance de melhores resultados.

O modelo apresentado (Figura 52) utiliza uma inclinação de acoplamento de 15° como requisito de projeto, definida por permitir ao veículo superar obstáculos, tais como guias e pequenos objetos localizados abaixo do equipamento. Este modelo gráfico é composto pelos grupos especificados no início desta seção.

Com base nos resultados obtidos nas análises anteriores é possível a determinação do CG do conjunto veículo/usuário a partir da integralização de todos os corpos compostos.

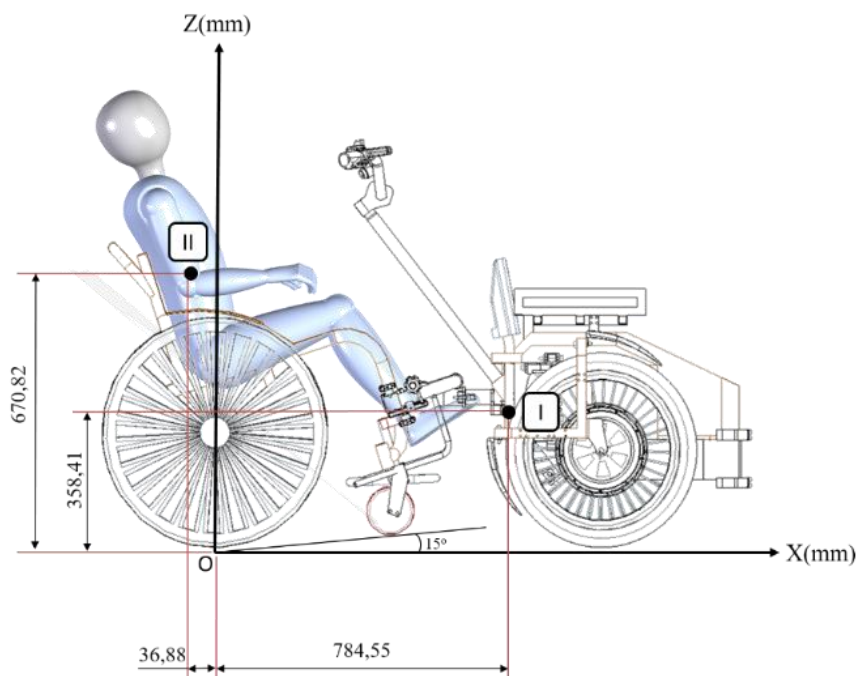


Figura 52 - Sistema de eixos coordenados para análise de CG – veículo motorizado elétrico modular.
Fonte: AUTOR, 2017.

As coordenadas resultantes do CG do veículo motorizado elétrico modular ocupado pelo usuário são apresentadas pela Tabela 6 representada graficamente pela Figura 53.

Tabela 6 – Cálculo de centro de massa – veículo motorizado elétrico modular / usuário

Cálculo de centro de massa – conjunto veículo motorizado elétrico modular / usuário					
Sub-grupo	M_i (kg)	x_i (mm)	z_i (mm)	$m_i \cdot x_i$ (kg.mm)	$m_i \cdot z_i$ (kg.mm)
Veículo motorizado elétrico modular	127,00	784,55	358,41	99637,85	45518,07
Usuário	90,00	-36,88	670,82	-3319,20	60373,80
Σ	217,00			96318,65	105891,87

Fonte: AUTOR, 2017.

Sendo,

$$\bar{x} = 443,86 \text{ mm}$$

$$\bar{z} = 487,98 \text{ mm}$$

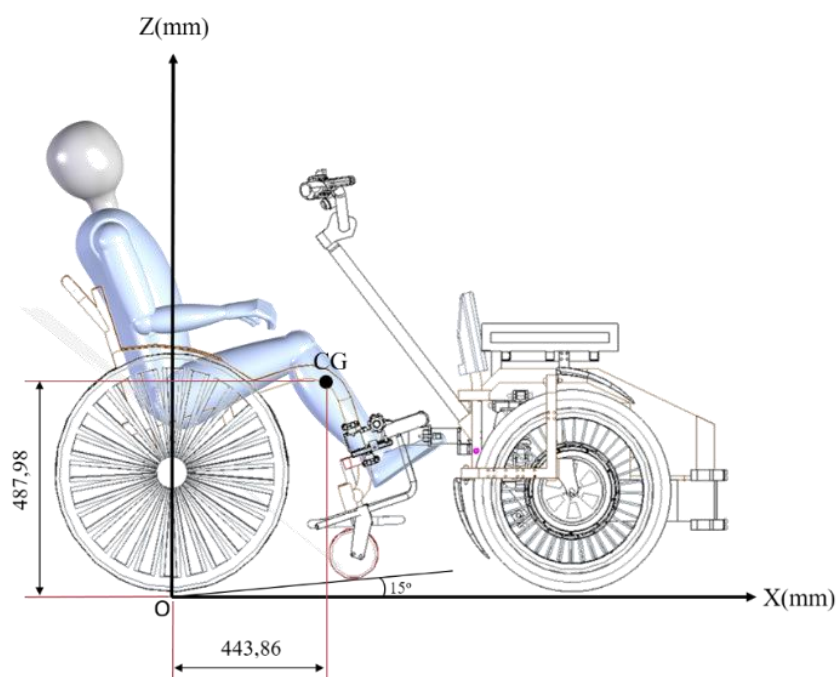


Figura 53 - Coordenadas do CG do conjunto veículo motorizado modular / usuário.

Fonte: AUTOR, 2017.

4.4 ANÁLISE TEÓRICA DE ESTABILIDADE ESTÁTICA E DINÂMICA

Durante a análise teórica de estabilidade estática, busca-se determinar o valor angular máximo θ na iminência dos tombamentos longitudinais traseiro e dianteiro, assim como o valor angular máximo γ para o tombamento lateral. Já a análise dinâmica busca determinar o modelo matemático capaz de expressar a velocidade máxima atingida pelo veículo na iminência do tombamento lateral ou longitudinal quando ocorre inclinações nos planos *pitch* e *roll*. Nesta última etapa de análise, algumas situações de variações angulares dos planos são simuladas em *software* matemático.

O entendimento dos limites de segurança relacionados ao tombamento longitudinal e lateral de uma cadeira de rodas ou qualquer outro equipamento para auxílio de mobilidade é de extrema importância para a determinação de parâmetros angulares para a execução dos ensaios de estabilidade estática e dinâmica nestes equipamentos. Os ensaios propostos para a análise de estabilidade estática descritos na Parte 1 da Norma ABNT NBR ISO 7176 serão comparados aos valores teóricos calculados.

4.4.1 ESTABILIDADE ESTÁTICA

Seguindo o modelo proposto por Becker (2000) a análise de estabilidade estática e dinâmica em cadeira de rodas é realizada a partir do somatório de momentos gerados pelas forças atuantes sobre a mesma em relação a um eixo de referência pré-determinado TT. O modelo de estudo utiliza o sistema de coordenadas XYZ representado pela Figura 54.

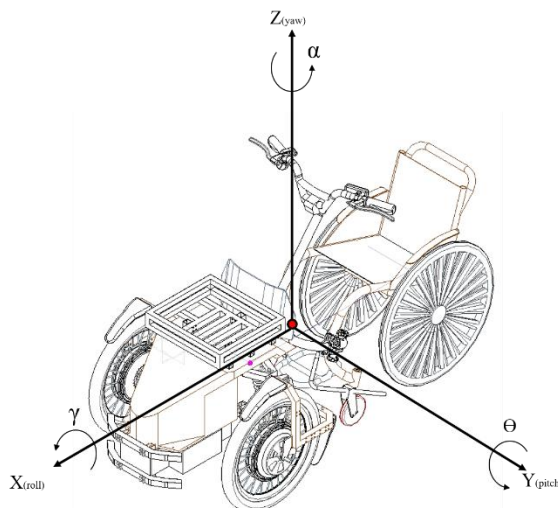


Figura 54 - Sistema de coordenadas cartesianas.
Fonte: AUTOR, 2017.

A análise de estabilidade no modelo proposto busca identificar as inclinações máximas suportadas e velocidade limites de deslocamento na iminência do tombamento lateral e longitudinal. Deste modo, o diagrama de corpo livre (DCL) ilustrado pela Figura 55 representa o conjunto veículo motorizado elétrico modular e usuário.

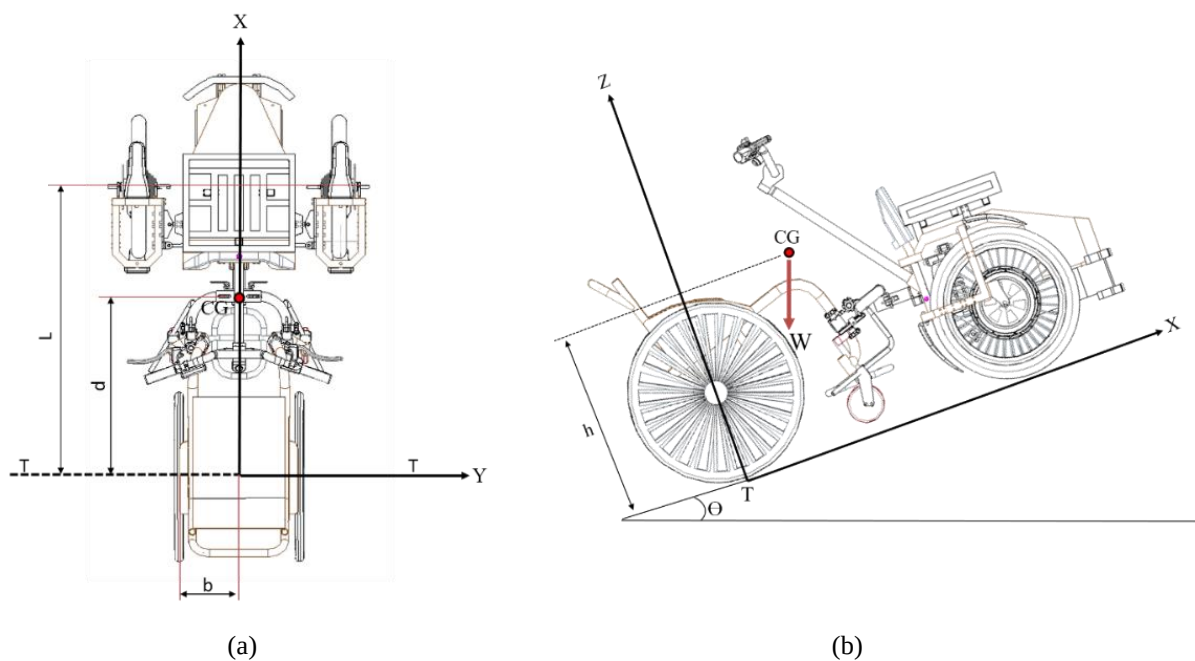


Figura 55 – DCL para análise de estabilidade estática longitudinal: (a) vista superior; (b) vista lateral.
Fonte: AUTOR, 2017.

Os parâmetros dimensionais considerados no estudo são apresentados a seguir pela Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros dimensionais para análise de estabilidade

Parâmetros dimensionais para análise de estabilidade estática e dinâmica		
Sigla	Descrição	Módulo
L	Comprimento entre eixos dianteiro e traseiro	1033,95 mm
d	Distância entre o CG e o eixo traseiro sobre o eixo coord. X	443,86 mm
b	Distância entre o CG e o eixo traseiro sobre o eixo coord. Y	227,42 mm
h	Altura do CG em relação ao solo	487,98 mm
W	Peso do sistema equipamento/usuário	2170,00 N

Fonte: AUTOR, 2017.

Inicia-se o estudo de estabilidade estática do sistema para a verificação do ângulo máximo suportado para tombamento longitudinal traseiro a partir da equação (10):

$$\theta = \tan^{-1} d/h \quad (10)$$

$$\theta = \tan^{-1} (443,86/487,98)$$

$$\theta = 42,29^\circ$$

O ângulo máximo suportado na iminência de tombamento longitudinal dianteiro, obtido pela equação (11) é apresentado:

$$\theta = \tan^{-1} (L - d)/h \quad (11)$$

$$\theta = \tan^{-1} (1033,95 - 443,86/487,98)$$

$$\theta = 50,41^\circ$$

O veículo projetado é analisado em relação ao limite máximo ao risco de tombamento lateral por meio da análise de estabilidade estática, conforme ilustrado na Figura 56. Considerando-o um veículo de quatro rodas, onde o eixo dianteiro apresenta a sua largura superior ao eixo de rodas traseiro, o braço de momento b' em relação ao eixo TT deve ser calculado. Um ângulo φ é gerado entre o novo eixo e o eixo coordenado Y, obtido pela equação (12).

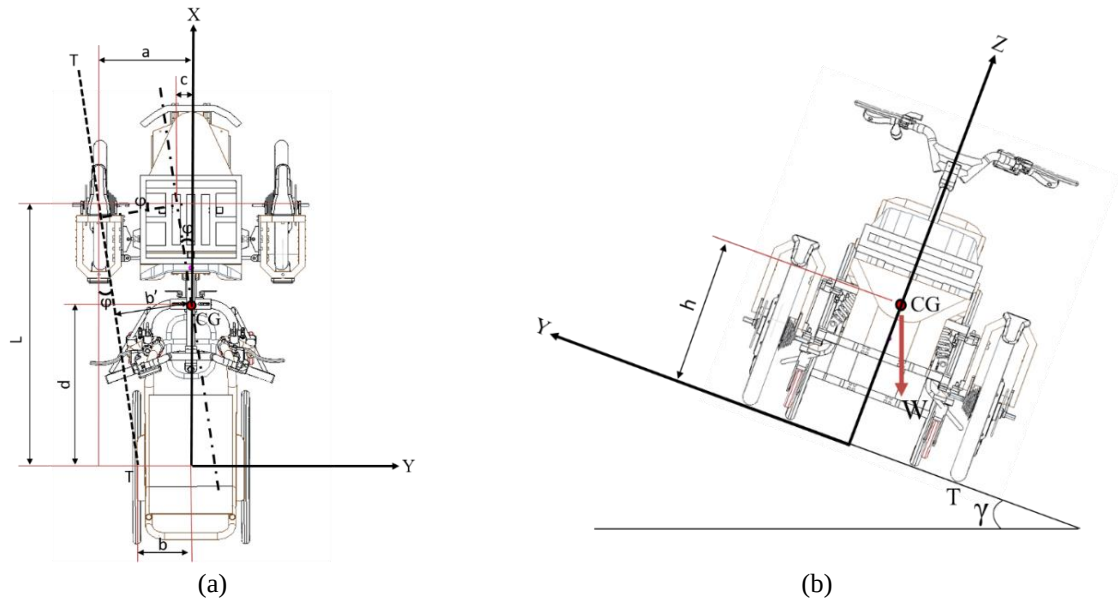


Figura 56 - DCL para análise de estabilidade lateral estática: (a) vista superior; (b) vista posterior.
Fonte: AUTOR, 2017.

$$\varphi = \tan^{-1} (a - b) / L \quad (12)$$

$$\varphi = \tan^{-1} (360,53 - 227,42) / 1033,95$$

$$\varphi = 7,34^\circ$$

O braço de momento b' do CG em relação ao eixo de tombamento TT é obtida pela equação (13) e (14):

$$c = (L - d) \tan \varphi \quad (13)$$

$$c = (1033,95 - 443,86) \tan 7,34^\circ$$

$$c = 76,01 \text{ mm}$$

$$b' = (a - c) \cos \varphi \quad (14)$$

$$b' = (360,53 - 64,52) \cos 7,34^\circ$$

$$b' = 282,23 \text{ mm}$$

Os parâmetros dimensionais adotados nesta fase analítica são mantidos equivalentes aos utilizados durante a análise estática. Ângulos efetivos de esterçamento são gerados durante os movimentos curvilíneos em cada uma das rodas dianteiras, sendo representados por δ_0 e δ_1 . Por fim, o raio de curvatura é representado por ρ .

Durante a manobra em curva encontra-se a presença de três forças, sendo estas a força radial atuante no CG, a força inercial devido à aceleração e a força peso, representadas respectivamente pelos vetores (16), (17) e (18).

$$\{E\} = m_t \cdot \left(v_x^2 / \rho \right) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\{A\} = -v_x \cdot a_t \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\{W\} = -m_t \cdot g \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Onde:

- a) m_t - massa total (equipamento / usuário) [kg];
- b) v_x - velocidade longitudinal [m/s];
- c) g - aceleração da gravidade [m/s²];
- d) a_t - aceleração tangencial [m/s²].

As matrizes de transformação são formuladas a partir da análise do DCL representado na Figura 58, os ângulos de rotação γ , θ e α agem respectivamente sobre os eixos X, Y e Z conforme ilustração da Figura 54:

$$R_{x,\gamma} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$R_{y,\theta} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$R_{z,\alpha} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

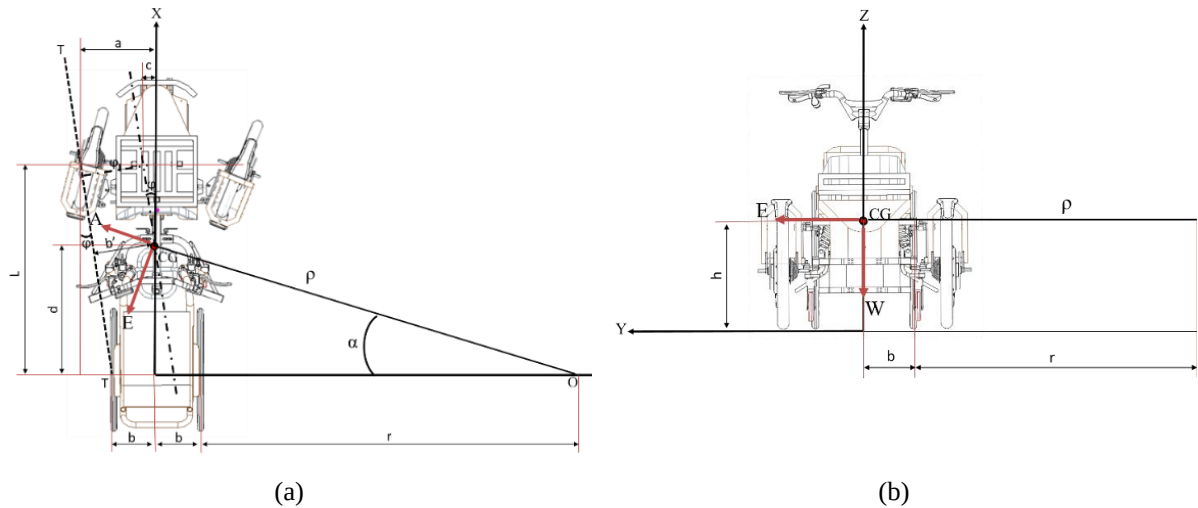


Figura 58 - DCL para análise de estabilidade dinâmica: (a) vista superior; (b) vista posterior.
Fonte: AUTOR, 2017.

A partir da combinação das matrizes (19), (20) e (21) é possível a obtenção da matriz de transformação do sistema de coordenadas inercial fixo 0 localizado no plano para o sistema de coordenadas móvel 1 representado no conjunto veículo motorizado elétrico modular (BECKER, 2000).

$$R_0^1 = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cdot \cos \theta & \cos \alpha \cdot \sin \theta \cdot \sin \gamma - \sin \alpha \cdot \cos \gamma & \sin \alpha \cdot \sin \gamma + \cos \alpha \cdot \sin \theta \cdot \cos \gamma \\ \sin \alpha \cdot \cos \theta & \cos \alpha \cdot \cos \gamma + \sin \alpha \cdot \sin \theta \cdot \sin \gamma & \sin \alpha \cdot \sin \theta \cdot \cos \gamma - \cos \alpha \cdot \sin \gamma \\ -\sin \theta & \sin \gamma \cdot \cos \theta & \cos \gamma \cdot \cos \theta \end{bmatrix} \quad (22)$$

O braço de momento do sistema é representado pelo vetor (22):

$$\{k\} = [0 \quad h \quad b'] \quad (23)$$

Com posse da matriz de transformação entre os sistemas de coordenadas e os vetores das forças atuantes sobre o sistema fixo, torna-se possível a representação dessas forças sobre o sistema móvel:

$$\begin{aligned} \{E_1\} &= R_0^1 \cdot \{E_0\} \\ \{E_1\} &= \frac{m_t \cdot v_x^2}{\rho} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned}\{A_1\} &= R_0^1 \cdot \{A_0\} \\ \{A_1\} &= -m_t \cdot a_t\end{aligned}\tag{25}$$

$$\begin{aligned}\{W_1\} &= R_0^1 \cdot \{W_0\} \\ \{W_1\} &= -m_t \cdot g\end{aligned}\tag{26}$$

Onde, os vetores colunas $\{E^*\}$, $\{A^*\}$ e $\{W^*\}$ são representados por:

$$\{E^*\} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cdot \sin \theta \cdot \sin \gamma - \sin \alpha \cdot \cos \gamma \\ \cos \alpha \cdot \cos \gamma + \sin \alpha \cdot \sin \theta \cdot \sin \gamma \\ \sin \gamma \cdot \cos \theta \end{bmatrix}\tag{27}$$

$$\{A^*\} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cdot \cos \theta \\ \sin \alpha \cdot \cos \theta \\ -\sin \theta \end{bmatrix}\tag{28}$$

$$\{W^*\} = \begin{bmatrix} \sin \alpha \cdot \sin \gamma + \cos \alpha \cdot \sin \theta \cdot \cos \gamma \\ \sin \alpha \cdot \sin \theta \cdot \cos \gamma - \cos \alpha \cdot \sin \gamma \\ \cos \gamma \cdot \cos \theta \end{bmatrix}\tag{29}$$

Pelo somatório de momentos em relação ao eixo de tombamento TT igualado a zero o qual garante a estabilidade do sistema, isolando-se o termo v_x desta equação é possível determinar a velocidade limite para a não ocorrência de tombamento lateral durante a análise dinâmica de estabilidade.

$$\begin{aligned}\sum M &= \{k\} \cdot \{E_1\} + \{k\} \cdot \{A_1\} + \{k\} \cdot \{W_1\} = 0 \\ v_x &= \sqrt{\frac{\rho \cdot (a_t \cdot \{k\} \cdot \{A^*\} + g \cdot \{k\} \cdot \{W^*\})}{\{k\} + \{E^*\}}}\end{aligned}\tag{30}$$

A partir desta última equação (30) é possível a verificação das combinações angulares dos planos inclinados que ocasionem o tombamento lateral do equipamento durante sua utilização pelo usuário. Uma simulação dinâmica do sistema móvel foi realizada por meio de um código de programação executado no *software* matemático *Matlab R2007a*®, tal qual é apresentado no ANEXO II. Durante a simulação, admite-

se um raio de curvatura ρ variável em 1000, 2000, 2500 e 5000 milímetros, aceleração tangencial a_t equivalente a 5 m/s^2 e *ranges* de inclinações θ, α, γ baseados nos limites de tombamento longitudinal e lateral estático definidos anteriormente. Durante a parametrização desses parâmetros no código de programação, torna-se possível a análise dinâmica da velocidade máxima suportada durante o movimento na iminência do tombamento lateral. Os resultados gráficos das análises efetuadas são apresentados na Figura 59.

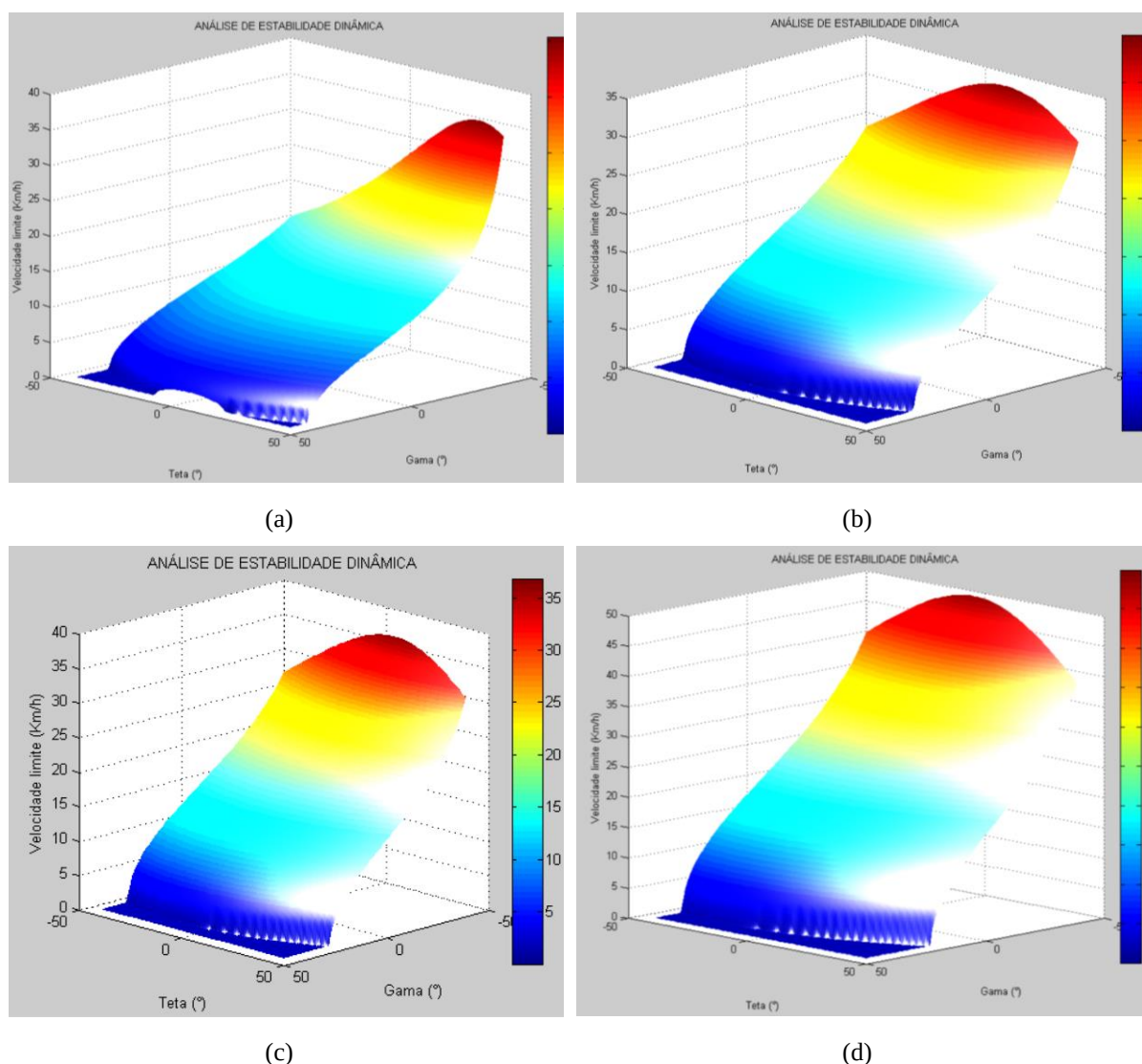


Figura 59 - Análise de estabilidade dinâmica considerando raio de curvatura: (a) $\rho = 1000 \text{ mm}$; (b) $\rho = 2000 \text{ mm}$; (c) $\rho = 2500 \text{ mm}$; (d) $\rho = 5000 \text{ mm}$.

Fonte: AUTOR, 2017.

Pela análise gráfica é possível identificar os valores de velocidade limite que representam a iminência para o tombamento lateral, entendendo as condições desfavoráveis à estabilidade do movimento, comparando-se os resultados apresentados em cada um dos gráficos, é possível compreender a influência significativa do raio de curvatura ρ sobre a estabilidade dinâmica do sistema.

Nota-se que em ambos os gráficos ocorre instabilidade do sistema por variações de gama γ acima dos valores limites pré-estabelecidos durante a análise estática de tombamento lateral abordadas no tópico anterior. Apesar deste fato, os resultados obtidos pela simulação virtual indicam alta eficiência do equipamento assistivo projetado, tendo apresentado velocidade máximas suportadas entre 35 km/h e 50 km/h para ρ no intervalo de 1 e 5 metros.

Os resultados das simulações realizadas apontam instabilidade para valores elevados de inclinações sobre o eixo de tombamento lateral, enquanto que apresenta grande capacidade em superar inclinações sobre o eixo de tombamento longitudinal.

4.5 MONTAGEM DE PROTÓTIPO FUNCIONAL

O desenvolvimento, construção e montagem do protótipo funcional foram realizados a partir do modelo virtual desenvolvido em software CAD, os quais refletem as necessidades especificadas no mapa de requisitos de projeto.

A escolha do motor se fez pela necessidade de atender ao requisito da velocidade máxima equivalente a sessenta quilômetros por hora. O motor de ímã permanente *brushless* sem engrenagens, modelo Ultra, da marca Leaf Motor Technology Co Ltd. de fabricação chinesa apresentou características funcionais que atendem a este requisito dinâmico, tais quais podem ser observadas na Tabela 8:

Tabela 8 – Características motor de imã permanente *brushless* sem engrenagens 48 V 1500W modelo Ultra, marca Leaf Motor.

Descrição	Característica
Modelo	<i>Brushless</i> sem engrenagens de corrente contínua
Tensão de alimentação	48 V
Potência nominal	1500 W
Eficiência máxima	90,7 %
Velocidade máxima	72,9 km/h
Compatibilidade de freio	<i>v-brake</i> e disco
Largura do corpo do motor	135 mm
Nível de ruído	< 60 dB
Peso	8,5 kg
Rolamentos	NSK de alta rotação

Fonte: LEAF BIKE, 2017

Nota-se que o motor escolhido apresenta potência nominal superior ao requisito pré-estabelecido de 1000 watts, tal escolha se justifica pela análise da curva de desempenho do motor (ANEXO III). Quando analisada pelo segundo melhor aproveitamento de eficiência do motor, 90,1 %, a potência nominal de saída equivale a 1125 watts, deste modo o motor tende a exercer um baixo nível de esforço para a obtenção da potência necessária de trabalho pré-estabelecida no mapa de requisitos, necessitando de uma tensão de entrada equivalente a 48 volts e uma corrente de 25,90 amperes.

De forma a atender à necessidade de corrente elétrica exigida para o melhor desempenho do motor, fez-se uso do módulo controlador também desenvolvido pela fabricante Leaf Motors com a configuração capaz de fornecer uma corrente máxima de alimentação do motor equivalente a 40 A pela utilização de um circuito de potência composto por 12 transistores de potência MOSFET. Este módulo apresenta uma tensão de corte mínima de 40 V que impede o sobreaquecimento do circuito eletrônico. A velocidade do motor é controlada a partir da modulação da largura de pulso na tensão de saída do controlador, também conhecido por controle PWM. O módulo controlador é capaz de suportar uma variação na temperatura de trabalho entre – 20° e 45° Celsius.

O motor apresenta um enrolamento trifásico, com três bobinas defasadas 120°. É importante destacar a necessidade de sensores de posição dentro desses motores, os

sensores de efeito *Hall*, sendo eles, dispositivos semicondutores onde o fluxo de elétrons é afetado por um campo magnético perpendicular à direção do mesmo. A Figura 60 (a) apresenta um esquema de funcionamento de um motor *brushless* assim como a Figura 60 (b) traz a sequência de acionamento das bobinas considerando o eixo de referência do rotor no pólo sul, com uma rotação no sentido anti-horário. Vale lembrar que a posição do rotor é detectada pelos sensores e essa informação é transmitida ao controlador, o qual energiza as bobinas corretas.

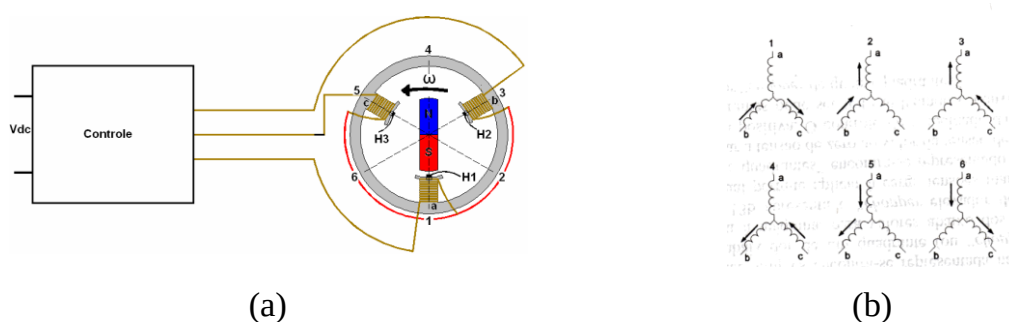


Figura 60 – Motor elétrico *brushless*: (a) Esquema de acionamento; (b) Sequência de chaveamento das bobinas.
Fonte: ANDRADE & SIQUEIRA, 2008.

Um circuito eletrônico de chaveamento foi desenvolvido para inverter o sentido de rotação do motor, uma vez que o módulo controlador utilizado não disponibiliza esta função. O circuito realiza a inversão dos sinais recebidos pelo seguinte método: Os sinais enviados pelos sensores de efeito *Hall* das fases 2 e 3 ao controlador passam pelo circuito de chaveamento por relês de potência, enquanto o sinal da fase 1 se mantém inalterada. As tensões de saída enviadas pelo módulo controlador a cada um dos enrolamentos do motor também passam pelo circuito de chaveamento, onde os enrolamentos equivalentes às fases 1 e 3 são chaveados, enquanto a tensão destinada ao enrolamento da fase 2 não é modificada.

A Figura 61 apresenta os componentes eletrônicos e eletromecânicos utilizados na construção do protótipo funcional.



Figura 61 - Componentes eletromecânicos do protótipo funcional: (a) motor; (b) módulo controlador;
Fonte: AUTOR, 2017.

Um veículo elétrico necessita de um eficiente sistema de energia para o seu ótimo desempenho em questões de autonomia, potência e tempo de recarga. Considerando-se os conceitos de energia e potência específicas de uma bateria, é possível obter uma comparação de tecnologias através da sua potência, capacidade e peso. Carl Bonfiglio, 2009 apresenta uma análise comparativa entre as baterias de Chumbo ácido (Pb-acid), Níquel-hidreto metálico (NiMH) e íons de lítio (Li-íon) ilustrada pela Figura 62. Busca-se a utilização de bateria composta por íons de lítio no veículo desenvolvido.

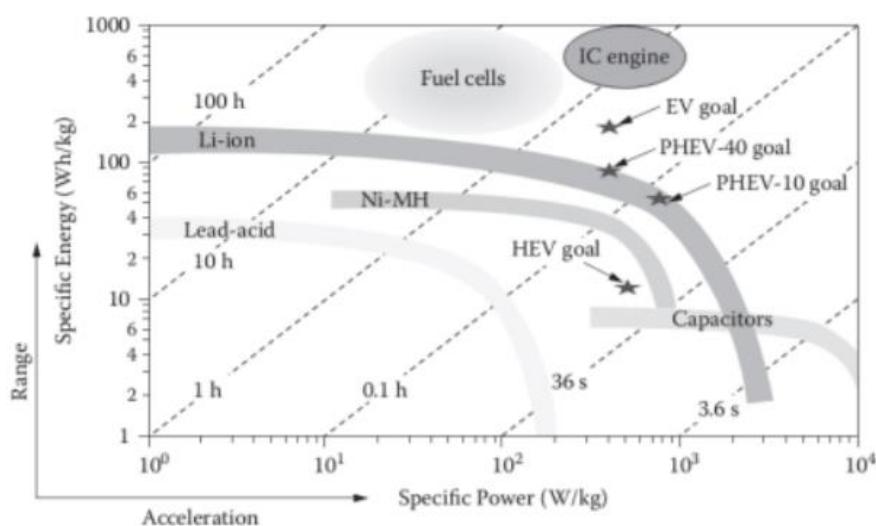


Figura 62 – Análise comparativa entre as baterias Pb-acid, NiMH e Li-íon.
Fonte: CARL BONFIGLIO, 2009.

A escolha da bateria de lítio como fonte de energia do veículo se fez pelas vantagens oferecidas por este modelo. Os seus materiais garantem diversas vantagens em comparação com os outros tipos de baterias, nomeadamente altas densidades energética e potência, baixo efeito de memória, longos ciclos de vida, bom funcionamento a uma grande gama de temperaturas, maior tensão de descarga, baixa auto descarga e baixo tempo de carga, para além de ser reciclável. Apesar de todas estas vantagens, o seu preço e a necessidade de um complexo circuito de controle para evitar sobrecarga ou subcarga são desvantagens apresentadas em comparação aos demais modelos de bateria. Uma análise comparativa das principais características pode ser observada na Tabela 9.

Tabela 9 – Características das baterias Pb-Acid, NiCd, NiMH e Li-íon.

Características	Modelo de bateria			
	Pb-Acid	NiCd	NiMH	Li-ion
Tensão nominal de cada célula (V)	2	1,25	1,25	3,6
Densidade de energia (Wh/dm ³)	[8;16]	45-80	60-120	110-160
Energia específica (Wh/kg)	--	[30;60]	[50;90]	[90;115]
Densidade de potência (W/dm ³)	60	60	320	2900
Potência específica (W/kg)	250	<1000	<1000	<2000
Ciclo de vida (80% da capacidade inicial)	[200;300]	[300;1500]	[300;2000]	[500;2000]
Tempo para carga rápida (horas)	[8;16]	1	[2;4]	[2;4]
Auto descarga (% / mês a 20° C)	5	[10;20]	[20;30]	[2;4]
Carga contínua máxima (C)	5	20	5	>2

Fonte: CARL BONFIGLIO. 2009.

A bateria utilizada no protótipo funcional possui as seguintes características descritas na Tabela 10.

Tabela 10 - Características bateria íons de lítio 48V 13 Ah.

Descrição	Característica
Tensão nominal	48 V
Capacidade nominal	13 Ah
Resistência	40 mΩ
Combinação das células	13 paralela / 5 séries
Quantidade de células	65
Tensão de corte	26 V
Corrente máxima de descarga	50 A
Modo de recarga	CC – CV
Corrente de carga do carregador	1,8 A
Tempo de recarga	6 horas
Temperatura de carga	-20 a 55° C
Temperatura de descarga	-20 a 55° C
Quantidade de ciclos	> 1000 vezes
Dimensões	184 mm (comp.) x 138 mm (larg.) x 76 mm (alt.)
Peso	4,06 kg

Fonte: LEAF BIKE, 2017.

Durante o desenvolvimento do veículo, buscou-se a viabilidade econômica em sua construção, para isto, tomou-se como referência o padrão de construção de bicicletas e motocicletas, observando com atenção os diferentes formatos de quadros e diâmetros de tubos quadrados e redondos utilizados.

A escolha de elementos usuais na construção de bicicletas foi fundamental para a sua concepção. Elementos como guidão e sistema de freio por pastilhas foram utilizados no equipamento desenvolvido, aliados aos elementos dimensionados, tais como conjunto de tração dianteira, sistema de suspensão e direção.

O sistema de suspensão fez uso de um conjunto de amortecedores modelo full suspension com comprimento de 170 mm em descanso. O quadro principal foi confeccionado modularmente conforme projeto virtual e a sua montagem ocorreu pela utilização de fixadores e terminais esféricos que mantém a interligação entre cada um dos módulos, conforme apresentado na Figura 63.



Figura 63 – Detalhes do sistema de suspensão do protótipo funcional.
Fonte: Autor, 2017.

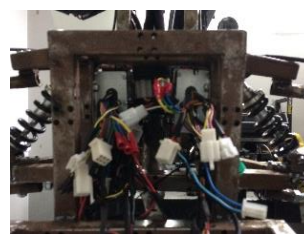
Uma central de controle, Figura 64 (a), foi confeccionada para permitir a seleção de cada um dos conjuntos de baterias a ser utilizado pelos módulos de controle das rodas tracionárias esquerda e direita, deste modo, torna-se possível buscar a melhor eficiência energética do veículo. O veículo também possui o acompanhamento real do consumo de energia e velocidade através de um painel de controle ilustrado na Figura 64 (b). O veículo apresenta dois módulos de controle capazes de fornecer 40 A de carga máxima a cada um dos motores, esses módulos realizam o controle individual de cada conjunto de tração e foi instalado na base da sistema de suspensão conforme apresentado na Figura 64 (c).



(a)



(b)



(c)

Figura 64 - Detalhes dos dispositivos de controle do protótipo funcional: (a) chave seletora das baterias; (b) painel de controle de velocidade e bateria; (c) compartimento dos módulos de controle.
Fonte: AUTOR, 2017.

O sistema de direção foi confeccionado de modo a permitir uma condução leve e segura pelo usuário. Dois painéis de instrumentos foram confeccionados para o controle de algumas funções do veículo, Figura 65, sendo eles:

- Painel 1: controle de reversão conjunta no sentido de rotação dos motores e controle individual de potência de cada motor;
- Painel 2: acionamento de farol baixo e alto, sistema de setas e pisca-alerta.

Além desses comandos, o acelerador utilizado foi do modelo indutivo em forma de punho e também apresenta botão de acionamento de buzina.

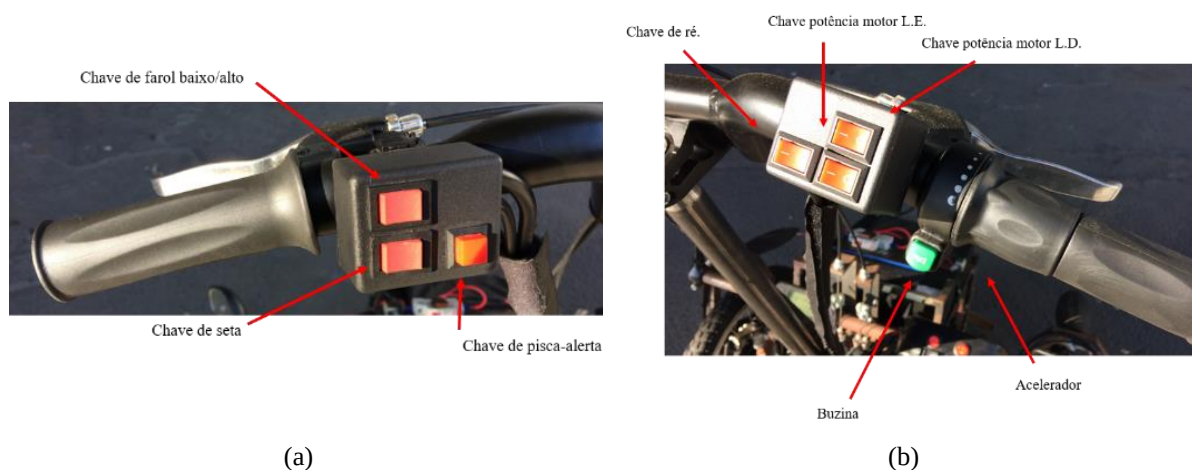


Figura 65 - Guidão de direção e painéis de instrumentos: (a) painel 1; (b) painel 2.
Fonte: AUTOR, 2017.

Os motores de potência 1500 W foram instalados em aros de folha dupla em alumínio de diâmetro 20" com pneus de modelos fora de estrada com especificação 2.125 de espessura.

O sistema de freio duplo foi confeccionado por meio de um suporte instalado em cada um dos garfos laterais e se fez uso de duas pinças de freio mecânico de marca Shimano em cada conjunto de tração dianteira. Detalhes da montagem parcial, assim como a fixação do sistema de freio podem ser observados na Figura 66.



(a)



(b)

Figura 66 - Detalhes da montagem parcial: (a) sistema de suspensão e direção; (b) sistema de freio duplo a disco.
Fonte: AUTOR, 2017.

Por fim, a parte frontal do protótipo funcional foi instalada à cadeira de rodas de modelo M3 e fabricação OrtoBrás por meio do suporte universal. O equipamento foi ajustado sobre a cadeira de rodas de modo a elevar os rodízios dianteiros em 50 mm do solo mantendo uma condição satisfatória para a realização dos ensaios e testes de usabilidade. Note pela Figura 67.



Figura 67 - Montagem final do protótipo funcional sem as capas protetoras.
Fonte: Autor, 2017.

A configuração final da montagem do protótipo funcional apresentou as características descritas na Tabela 11.

Tabela 11 - Dimensões reais do protótipo funcional

Característica	Dimensão
Distância entre eixos	1050 mm
Comprimento total	1630 mm
Largura total	925 mm
Bitola	735 mm
Altura total	930 mm
Peso total	230 kg

Fonte: AUTOR, 2017.

4.6 DESIGN DO SISTEMA DE MOTORIZAÇÃO TRASEIRA

A importância da segurança como fator primordial na utilização de um veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal em cadeira de rodas mecanomanual exige o estudo de novos meios de impedirem a ação de forças excessivas sobre a estrutura da cadeira de rodas sujeita aos esforços resultantes do movimento junto ao solo. Desta forma, projetar um sistema de tração traseira capaz de elevar por completo a cadeira de rodas e assim inibir o seu contato direto ao solo permite maior estabilidade e segurança ao usuário sem o risco de danificá-la.

O projeto do sistema de tração traseira buscou permitir que o usuário, acoplado ao veículo motorizado elétrico modular possa realizar o duplo acoplamento da cadeira de rodas sobre o equipamento motorizado traseiro. O sistema é composto por uma roda motorizada com 3000 W de potência instalada sobre um quadro com suspensão dimensionado de modo a acomodar um sistema duplo de amortecedor/mola e alojamento para bateria e módulo de controle que pode ser conectado à cadeira de rodas por meio de engate rápido em sua parte posterior. O sistema de engate rápido desenvolvido apresenta três pontos de fixação frontais distribuídos conforme ilustrado na Figura 68.

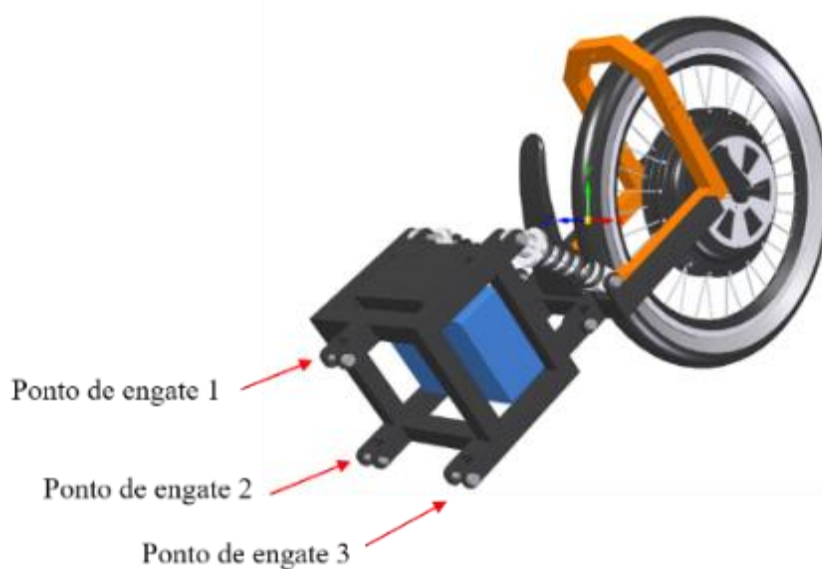


Figura 68 - Projeto virtual do sistema de tração traseira para cadeira de rodas mecanomanual.
Fonte: AUTOR, 2017.

Sobre o sistema de tração ainda é possível adicionar o banco para o transporte de um passageiro com peso máximo de 100 kg conforme ilustrado na Figura 69.

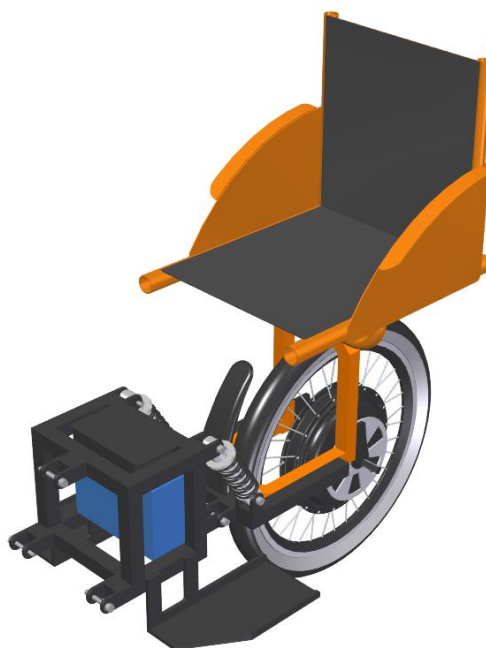


Figura 69 – Banco para transporte de passageiro no sistema de tração.
Fonte: AUTOR, 2017.

Visto a necessidade de acoplamento do sistema de tração traseiro junto à cadeira de rodas, o suporte de acoplamento traseiro na cadeira de rodas foi desenvolvido para o engate rápido dos dispositivos. Um conjunto de mancais de fixação foram desenvolvidos de modo a acomodar a placa de acoplamento na cadeira de rodas. A Figura 70 apresenta os componentes do suporte desenvolvido, assim como o seu posicionamento sobre o eixo principal das rodas traseiras.

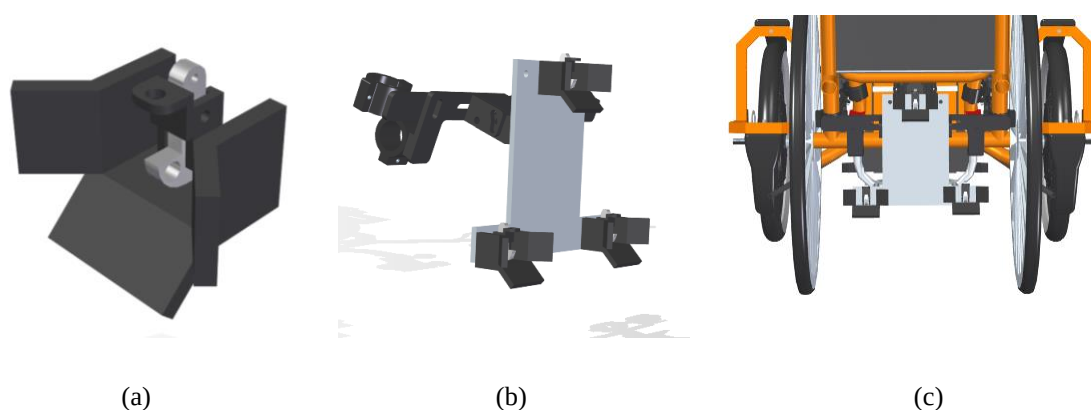


Figura 70 – Sistema de acoplamento na cadeira de rodas: (a) sistema de trava; (b) suporte traseiro; (c) instalação.
Fonte: AUTOR, 2017.

Com o auxílio de um sistema de travamento por pino com mola, o usuário se aproxima em marcha ré ao sistema de tração traseiro. Primeiramente, o acoplamento é realizado sobre a trava superior da cadeira de rodas. Quando esta trava se fixa ao sistema de tração, o movimento de marcha a ré eleva a cadeira de rodas do solo até a ocorrência do engate das duas travas inferiores. Após esse movimento de engate, a cadeira de rodas se mantém suspensa do solo e o veículo passa a se manter apoiado em três rodas, sendo elas, as duas rodas motorizadas da parte frontal do veículo e a roda traseira motorizada do sistema de tração. A Figura 71 ilustra os procedimentos de acoplamento. O desacoplamento pode ser realizado pelo acionamento do manete de trava localizado próximo ao apoio de braço da cadeira, o qual está ligado às travas traseiras por meio de cabos de aço.

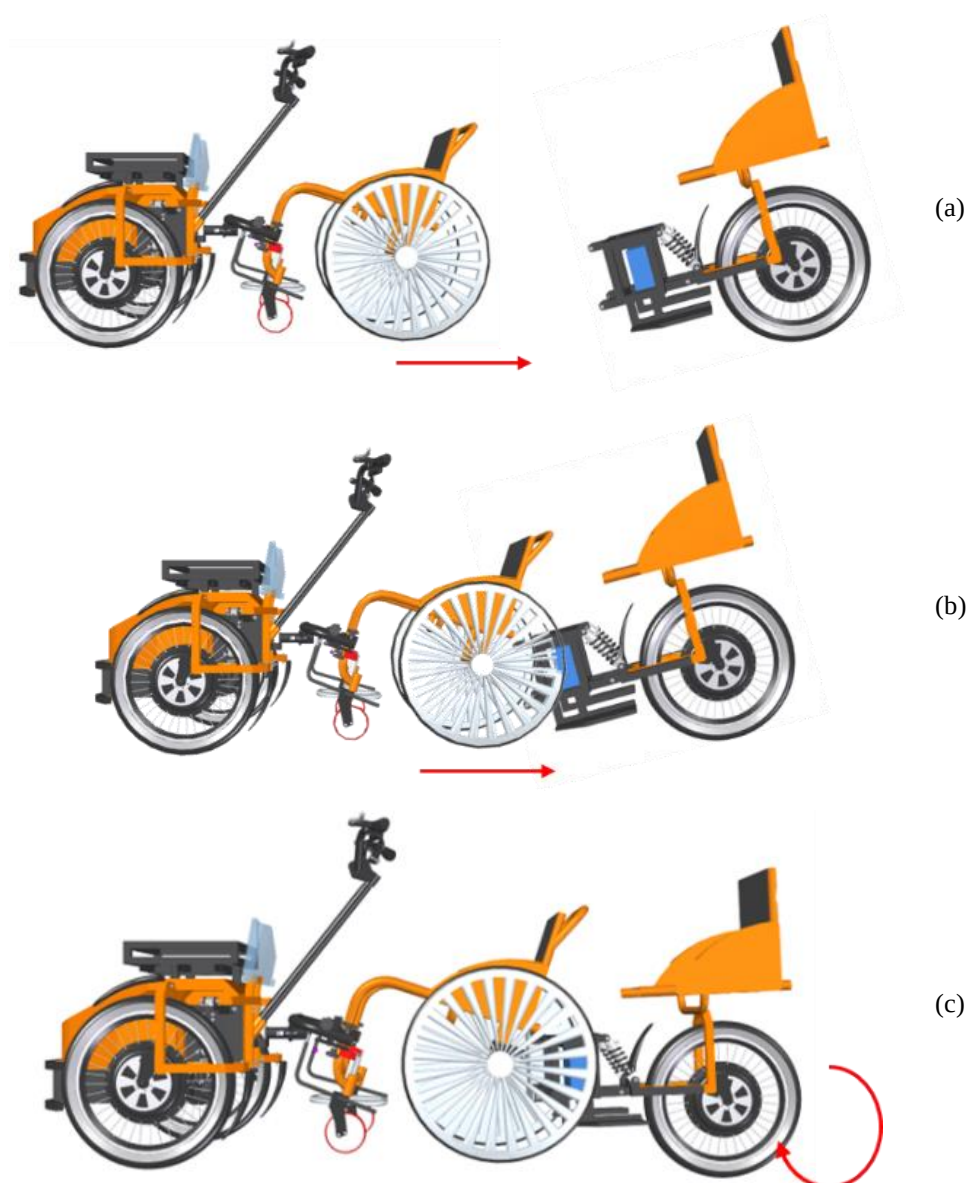


Figura 71 – Procedimentos para acoplamento do sistema de tração traseiro: (a) marcha a ré em direção ao sistema; (b) acoplamento da trava superior; (c) acoplamento das travas inferiores.
Fonte: AUTOR, 2017.

5. ENSAIOS DE FUNCIONAMENTO E TESTES DE USABILIDADE

A metodologia desta etapa contempla os ensaios que reproduzem o cotidiano dos usuários das cadeiras de rodas. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece os critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade para Cadeiras de Rodas, com foco na segurança, por meio de mecanismo de certificação, atendendo aos requisitos estabelecidos na Instrução Normativa Anvisa nº 04/2015, ou suas substitutivas, a qual relaciona para fins de ensaios as normas aplicáveis da série ISO 7176 – Cadeiras de Rodas, visando à prevenção de acidentes e propiciando a segurança para o usuário do produto.

Busca-se a avaliação de funcionalidade do veículo motorizado elétrico modular desenvolvido com base nas diretrizes de ensaios em cadeiras de rodas mecanomaneuáveis e motorizadas estabelecidas pela ANVISA. Deste modo, torna-se possível avaliar as características dinâmicas, assim como o nível de segurança do equipamento.

A Norma ISO 7176 contempla 26 partes, no entanto, foram selecionados os ensaios mais relevantes em termos de segurança e durabilidade para a fase de testes, os quais são descritos a seguir:

- Parte 1: Determinação da estabilidade estática;
- Parte 3: Determinação da eficácia dos freios;
- Parte 4: Consumo de energia de cadeiras de rodas motorizadas e scooters para a determinação da autonomia teórica de distância;
- Parte 6: Determinação da velocidade máxima, aceleração e desaceleração de cadeiras de rodas motorizadas;
- Parte 10: Determinação da capacidade de transposição de obstáculos das cadeiras de rodas motorizadas.

Em complemento às partes selecionadas, faz-se uso de partes adicionais que permitem a padronização dos procedimentos de ensaios, assim como a apresentação de resultados, conforme são descritas:

- Parte 7: Medição de dimensões de assentos e rodas;
- Parte 11: Bonecos de ensaio;

- Parte 13: Determinação do coeficiente de atrito de superfícies de ensaio;
- Parte 15: Requisitos de divulgação de informação, documentação e identificação;
- Parte 22: Procedimentos de ajustes.

O veículo motorizado elétrico modular propõe um novo formato de dirigibilidade para as cadeiras de rodas mecanomanuais de maneira a permitir a sua utilização em velocidades superiores às aquelas apresentadas em cadeiras de rodas motorizadas convencionais. A segurança do usuário é premissa fundamental na concepção deste trabalho de pesquisa, desta forma, adota-se algumas Normas Técnicas adicionais que buscam garantir a ótima utilização do equipamento, tais quais são apresentadas:

- ABNT NBR 15916: Baterias chumbo-ácido para uso em motocicletas, triciclos e quadriciclos – Requisitos e simbologia;
- ABNT NBR 14868: Veículos de duas rodas – Bicicleta – Conjunto de freio – Requisitos e métodos de ensaio.

5.1 EQUIPAMENTOS DE ENSAIO

A Parte 26 da Norma ABNT NBR ISO 7176 define os equipamentos necessários para a aplicação dos ensaios descritos nesta seção, sendo estes:

- Boneco de ensaio, conforme especificado na Parte 11 da Norma ABNT NBR ISO 7176;
- Meios para medir dimensões lineares de até 2000 mm com uma precisão de $\pm 1\text{mm}$;
- Meios para medir ângulos de superfícies em relação umas às outras e/ou direção vertical ou horizontal, com precisão de $\pm 0,2^\circ$;
- Um plano de ensaio horizontal rígido, de tamanho suficiente para suportar o veículo em estudo durante o ensaio de tal forma que toda a superfície esteja contida entre dois planos paralelos imaginários distantes de 5 mm entre eles;

Os ensaios de estabilidade necessitam de aparelhagem adicional, conforme listado a seguir:

- Meios pelos quais a descida da superfície de ensaio pode ser ajustada;

- Meios de prevenir que as rodas rolem e que não afetem a liberdade do veículo para reclinar apropriadamente no eixo para o ensaio;
- Meios de prevenir que as rodas deslizem e que não afetem a liberdade do veículo para reclinar sobre os pontos de contato na superfície de ensaio;
- Meios de limitar a extensão da inclinação do veículo em relação à superfície de ensaio;

Foram confeccionadas duas plataformas de ensaio para análise de estabilidade longitudinal, estabilidade lateral. Esses planos de ensaio apresentam dimensões de 2,20 m x 1,10 m capazes de acomodar o conjunto veículo motorizado acoplado à cadeira de rodas mecanomanual.

A plataforma para análise de estabilidade longitudinal apresenta um sistema de ajuste da inclinação do plano por meio de um fuso que permite uma variação de 0° a 50° com precisão de $\pm 0,2^\circ$, conforme pode ser observado na Figura 72.

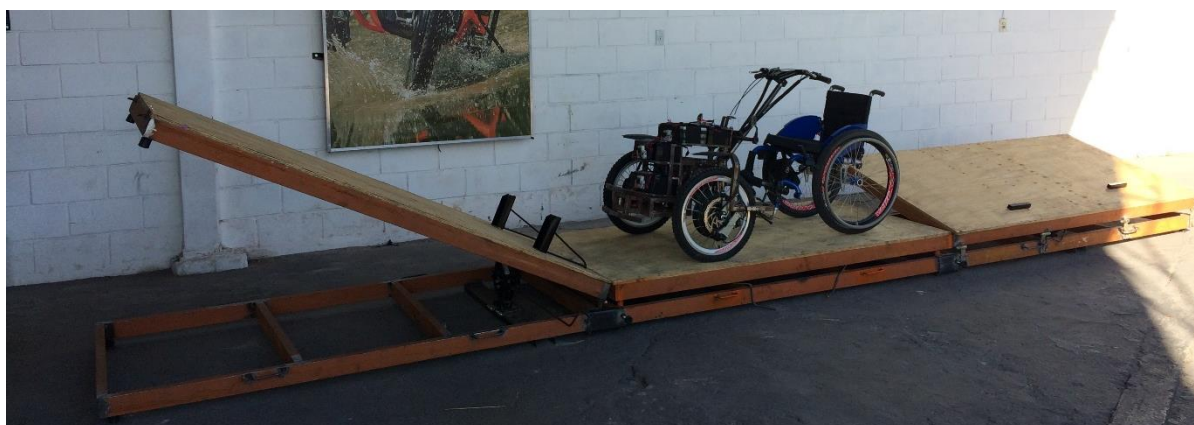


Figura 72 – Plataforma construída para análise de estabilidade longitudinal.
Fonte: AUTOR, 2017.

A análise de estabilidade lateral utiliza uma segunda plataforma que apresenta uma variação angular de 0° a 40° com precisão de $\pm 0,2^\circ$ por meio de um sistema de ajuste equivalente à primeira plataforma como observado pela Figura 73.



Figura 73 – Plataforma construída para análise de estabilidade lateral.
Fonte: AUTOR, 2017.

Ambas as plataformas possuem um conjunto de fixadores flexíveis, assim como obstáculos de rolagem que auxiliam na execução precisa dos ensaios.

As Normas ABNT NBR 14868 e a Parte 3 da Norma ABNT NBR ISO 7176 referentes à determinação da eficácia dos freios estabelecem algumas instrumentações, assim como condições da superfície para ensaio, conforme são descritas a seguir:

- Velocímetro ou tacômetro calibrado (com precisão de $\pm 5\%$) para indicar ao ocupante humano a velocidade aproximada no início da frenagem;
- Dispositivo de registro de velocidade (com precisão de $\pm 2\%$) para registrar a velocidade no início da frenagem;
- Sistema de registro a distância (com precisão de $\pm 1\%$) para registrar a distância de frenagem;
- Sistema de pulverização de água, para molhar a superfície de frenagem, constituído por um reservatório de água ligado por tubos a um par de bicos nas rodas motorizadas. A ação rápida de ligar e desligar a válvula deve ser incluída para controle do ocupante humano;
- Superfície rígida, plano de ensaio horizontal;
- Superfície rígida, rampa plana de ensaio.

Os ensaios referentes ao consumo de bateria também necessitam de alguns requisitos de ensaio específicos, sendo eles apresentados:

- Pista de teste com comprimento de 50 a 100 m em seu lado maior, onde o veículo seja capaz de atingir a sua velocidade máxima. Enquanto, o lado menor deve ter um comprimento suficiente para a manobra sem parada;
- Aparelho de consumo de energia, capaz de medir a energia elétrica, expressa em watts hora, fornecida pelos terminais do conjunto de bateria do veículo, com precisão de 2%

Durante a realização dos ensaios de velocidade máxima, aceleração e desaceleração, faz-se uso de mesmos instrumentos de medição e pista de teste utilizados nos ensaios de consumo de bateria com a adição de um dispositivo de medição de aceleração/desaceleração com faixa de até 5 m/s², precisão de 0,2 m/s², taxa de amostragem de 60 Hz e uma resposta de frequência que rejeite frequências acima de 30 Hz.

A Parte 10 da Norma ABNT NBR ISO 7176 estabelece alguns itens necessários para o ensaio do veículo em termos de capacidade de transposição de obstáculo, sendo necessário um obstáculo de ensaio com uma altura variada de 5 mm a 200 mm, com tolerância relativa de 5% ou tolerância de ± 2 mm. A altura nominal inicial deve ser de 10mm ou qualquer múltiplo de 5mm. Uma plataforma de ensaio foi confeccionada para este ensaio e apresenta dimensões de 2,20 m x 1,10 m capazes de acomodar o conjunto veículo motorizado acoplado à cadeira de rodas mecanomanual. Durante os ensaios, ela pode ser utilizada em conjunto com as plataformas de ensaio de estabilidade de modo a formar um único plano horizontal com altura do obstáculo ajustável.

5.2 DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE ESTÁTICA

A Parte 1 da Norma ABNT NBR ISO 7176 especifica ensaios nos quais a estabilidade estática é medida com os freios estacionários da cadeira de rodas ativados e desativados, de forma a simular situações em que o usuário esteja parado em uma descida utilizando os freios da cadeira ou apoiado sobre algum obstáculo, assim como a situação em nível da superfície com as rodas destravadas e o usuário alcançando um objeto, ou instabilidade enquanto está rolando. Estes ensaios permitem identificar os

limites angulares relativos à iminência aos tombamentos longitudinal e lateral do equipamento desenvolvido.

A preparação do veículo para o ensaio seguiu as orientações impostas pela Norma citada nesta seção, o ensaio requer que cada parte ajustável do equipamento seja fixada com as maiores e menores configurações estáveis na direção da inclinação. Os ajustes a serem considerados são baseados na Parte 22 da Norma ABNT NBR ISO 7176 e busca ser coerente com a operação normal do veículo desenvolvido conforme resultados teóricos obtidos.

O ensaio de estabilidade propõe o uso de um dos bonecos de ensaio especificados pela Parte 11 da Norma ABNT ISO 7176, cuja massa seja igual ao máximo da massa do ocupante recomendado ao uso do equipamento proposto, estipulado nas premissas de projeto. No entanto, a falta de um boneco de ensaio padronizado impediu a sua utilização durante os procedimentos de teste, o qual foi substituído por um ocupante humano com perfil similar ao modelo teórico utilizado para cálculos, ou seja, peso de 90 kg e estatura de 1,80m.

O primeiro estudo avaliou a estabilidade longitudinal frontal do veículo, posicionado na superfície de ensaio da plataforma de estabilidade longitudinal com a frente posicionada para o eixo de rotação da plataforma, no sentido de descida quando a plataforma se mantém inclinada. Foi indicado o seu posicionamento de maneira que uma linha através dos eixos em declínio estivesse paralela em $\pm 3^\circ$ para o eixo de inclinação da superfície de ensaio. Um obstáculo de rolagem foi posicionado à frente das rodas dianteiros de modo a impedir a rolagem inesperada do veículo em análise, assim como fixadores flexíveis foram instalados sobre o eixo traseiro da cadeira de rodas, afim de impedir o prolongamento do tombamento durante a análise.

Iniciado o procedimento de análise através do aumento da inclinação do plano gradualmente em 1° , o veículo alcançou o ângulo de $45,0^\circ$ antes de suas rodas traseiras perderem o contato com o solo. Note pela Figura 74 o momento em que o veículo se manteve na iminência do tombamento longitudinal frontal.

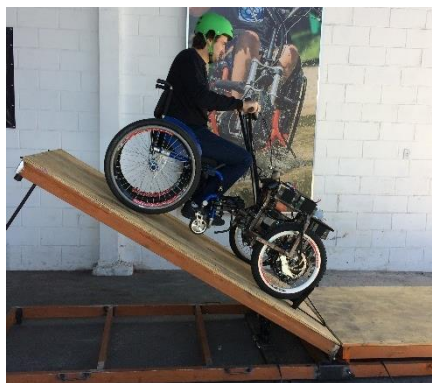


Figura 74 – Inclinação máxima suportada para estabilidade longitudinal frontal.
Fonte: AUTOR, 2017.

O veículo foi reposicionado sobre a plataforma de ensaio para a análise de tombamento longitudinal traseiro. Desta vez, o obstáculo de rolagem foi posicionado atrás das rodas traseiras, no sentido de descida da rampa.

O resultado obtido durante a análise de estabilidade longitudinal traseira foi de 41,0 ° alcançado na iminência do tombamento observado na Figura 75.

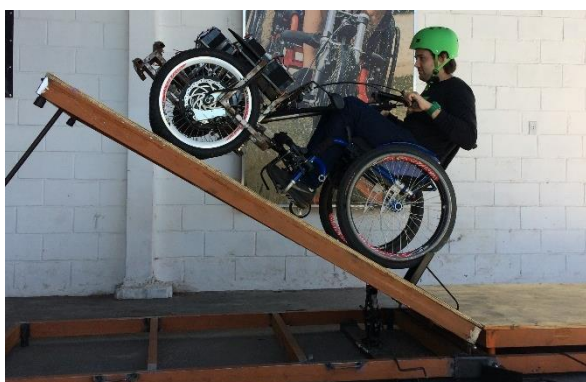
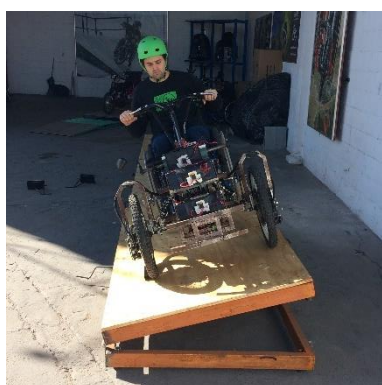


Figura 75 – Inclinação máxima suportada para estabilidade longitudinal traseira menos estável.
Fonte: AUTOR, 2017.

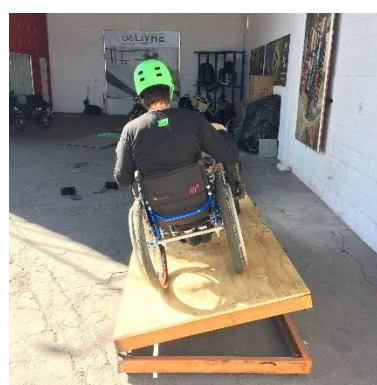
O primeiro ensaio de estabilidade lateral considerou o veículo posicionado na superfície de ensaio da segunda plataforma com o seu lado direito sobre o eixo de rotação da plataforma, ajustando o eixo de rotação paralelo do veículo $\pm 3^\circ$ para o eixo de rotação da superfície de ensaio.

O equipamento analisado apresenta os rodízios dianteiros da estrutura da cadeira de rodas suspensos, desta forma, o ensaio desconsiderou as configurações de estabilidade desses componentes ajustáveis. Contudo, a configuração adotada do veículo para esta análise foi o alinhamento paralelo das rodas dianteiras em relação às rodas traseiras da cadeira de rodas acoplada. Dois fixadores flexíveis foram adicionados sobre as rodas dianteira e traseira esquerdas de modo a impedir o prolongamento do tombamento lateral.

O procedimento foi realizado de forma análoga ao lado esquerdo do veículo posicionado sobre o eixo de rotação da plataforma. Os resultados angulares obtidos para cada um dos lados foram equivalentes em $32,0^\circ$, os momentos exatos da iminência ao tombamento foram registrados e apresentados na Figura 76.



(a)



(b)

Figura 76 - Inclinação máxima suportada para estabilidade lateral: (a) lado direito; (b) lado esquerdo.
Fonte: AUTOR, 2017.

Após essa etapa de ensaios de estabilidade, os limites angulares de tombamento longitudinal e lateral foram identificados conforme as diretrizes da Norma ABNT NBR ISO 7176 e são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados dos ensaios de estabilidade estática (°)

Direção da estabilidade		Ângulo de inclinação (°)
Longitudinal Frontal		45,0 °
Longitudinal traseiro		41,0 °
Lateral	Direita	32,0 °
	Esquerda	32,0 °

Fonte: AUTOR, 2017.

Uma vez que os arquitetos expressam os ângulos em rampas em porcentagem, o ângulo de estabilidade também pode ser expresso como uma porcentagem, seguindo a equação (31):

$$P = \frac{1}{4} \cdot D \quad (31)$$

Onde:

- P é o ângulo em porcentagem;
- D é o ângulo em graus, sendo que o erro é inferior a 1% para ângulos inferiores a 10% e o erro é inferior a 4% para ângulos inferiores a 20%.

A Tabela 13 apresenta os resultados de estabilidade estática em termos de porcentagem:

Tabela 13- Resultados dos ensaios de estabilidade estática (%)

Direção da estabilidade		Ângulo de inclinação (%)
Longitudinal Frontal		11,25 %
Longitudinal traseiro		10,25 %
Lateral	Direita	8%
	Esquerda	8%

Fonte: AUTOR, 2017.

5.3 DETERMINAÇÃO DA EFICÁCIA DOS FREIOS

O desempenho dos freios de uma cadeira de rodas pode ser crítico para a segurança. Os ensaios especificados pela Parte 3 da Norma ABNT NBR ISO 7176 determinam a capacidade de uma cadeira de rodas parar de forma segura no nível do solo e em uma inclinação, bem como determinam a capacidade de uma cadeira de rodas ficar parada quando estacionada em um declive.

O veículo motorizado elétrico modular combina as características de uma cadeira de rodas às características de veículos elétricos como bicicletas, triciclos e motocicletas, deste modo, os procedimentos de ensaio que determinam a eficácia dos freios em veículos de duas rodas descritos na Norma ABNT NBR 14868 também auxiliam na determinação dos parâmetros de frenagem do equipamento desenvolvido.

A Parte 3 da Norma ABNT NBR ISO 7176 especifica métodos para a medição da eficácia dos freios de cadeiras de rodas manuais e motorizadas com velocidade não superior a 15 km/h, enquanto a Norma ABNT NBR 14868 estabelece os requisitos de segurança e os métodos de ensaio para o conjunto de freio de bicicleta em velocidade máxima de 25 km/h em pista seca e 16 km/h em pista molhada.

Considerando-se as condições de ensaio de cada Norma citada e entendendo que a velocidade do veículo supera 25 km/h, buscou-se realizar as combinações de ensaios especificadas por ambas as Normas em três condições de velocidade atingida, sendo elas, 15 km/h, 25 km/h e velocidade máxima de 42 km/h, conforme identificado durante a etapa de ensaios de velocidade máxima atingida. As etapas de aceleração e frenagem de cada ensaio foram realizadas dentro do período de 5 minutos, conforme estabelecido pela Parte 3 da Norma ABNT NBR ISO 7176.

A primeira etapa de ensaios consistiu em determinar as distâncias de frenagem em superfície plana horizontal. Os meios de operação dos freios foram realizados em três modos de acionamento dos manetes de freio, sendo eles:

- Modo 1: acionamento de ambos os manetes de freio;
- Modo 2: acionamento do manete lado direito;
- Modo 3: acionamento do manete lado esquerdo.

Conforme a Parte 3 da Norma ABNT NBR ISO 7176 estabelece, o ensaio foi realizado em local com piso rígido em concreto em condição seca, onde o veículo foi dirigido por 10 minutos antecedentes ao início do ensaio para o atingimento de sua temperatura de trabalho. Logo após essa etapa, foram realizadas três repetições do ensaio em movimento à frente para cada modo de operação em combinação às três velocidades máximas alcançadas pelo veículo. Os resultados obtidos foram registrados e no relatório de ensaio disponibilizado no ANEXO IV. Os procedimentos de ensaio foram repetidos em superfície plana horizontal em movimento de reversão do veículo, nesta segunda etapa, os ensaios ocorreram apenas em condições de velocidade máxima equivalente a 15 km/h de modo a garantir a segurança do piloto de teste, descartando assim as demais velocidades máximas atingidas durante a primeira etapa.

A Parte 3 da Norma ABNT NBR ISO 7176 cita que se uma cadeira de rodas tiver uma velocidade nominal superior a 10 km/h, é improvável que seja capaz de acelerar até sua velocidade máxima e parar sobre o plano de ensaio, uma vez que este possui 10 m de comprimento na maioria dos casos. Esta Norma ainda indica um método de ensaio alternativo para esses casos de velocidades superiores a 10 km/h, onde o plano de ensaio pode ser substituído por uma rampa de ensaio que deve ter uma região inclinada em relação à horizontal na inclinação exigida de ± 1 m de comprimento, suficiente para que a cadeira de rodas, deslocando-se para baixo no plano em sua velocidade máxima, esteja apta a parar sobre ele. O coeficiente de atrito desta rampa não precisa estar em conformidade com a Parte 13 da Norma ABNT NBR ISO 7176, mas deve estar seca, livre de gelo e material solto, e suficientemente plana, podendo ser asfalto ou concreto.

Para esta etapa de ensaios em rampa foi utilizado um trecho de rua asfaltada com inclinação de 8 % de 50 m de comprimento, neste trecho o veículo foi submetido aos mesmos procedimentos adotados na superfície plana horizontal em movimento à frente no sentido de descida. O procedimento também foi realizado em movimento de reversão do veículo sobre a rampa de inclinação em sentido de descida e os resultados compilados referentes aos ensaios de eficiência dos freios sob condição seca são apresentados na Tabela 14. Note que os modos de operação 1,2 e 3 são identificados pelas siglas M.1, M.2 e M.3 nesta tabela.

Tabela 14 – Resultados da execução de ensaios de freio em condição seca.

Inclinação do plano de ensaio	Direção do movimento	Velocidade								
		15 km/h			25 km/h			42 km/h		
		M.1 (m)	M. 2 (m)	M. 3 (m)	M. 1 (m)	M. 2 (m)	M. 3 (m)	M. 1 (m)	M. 2 (m)	M. 3 (m)
Horizontal	Em frente	1,48	2,08	1,80	1,93	3,37	2,85	4,69	7,35	5,97
Horizontal	Reverso	2,84	2,30	2,67	X	X	X	X	X	X
Inclinação XX %	Em frente	3,91	2,33	2,13	2,00	3,71	3,42	4,36	8,92	7,39
Inclinação XX %	Reverso	4,49	3,61	4,06	X	X	X	X	X	X

Fonte: AUTOR, 2017.

A Norma ABNT NBR 14868 indica o método de ensaio sob condições molhadas, onde um sistema de pulverização deve ser inserido no sistema de freio do veículo e o ocupante humano deve iniciar o seu acionamento pelo menos 25 m antes do início da frenagem e continuar até que o equipamento esteja completamente em repouso. O sistema de pulverização indicada pela ABNT pode ser observado na Figura 77.

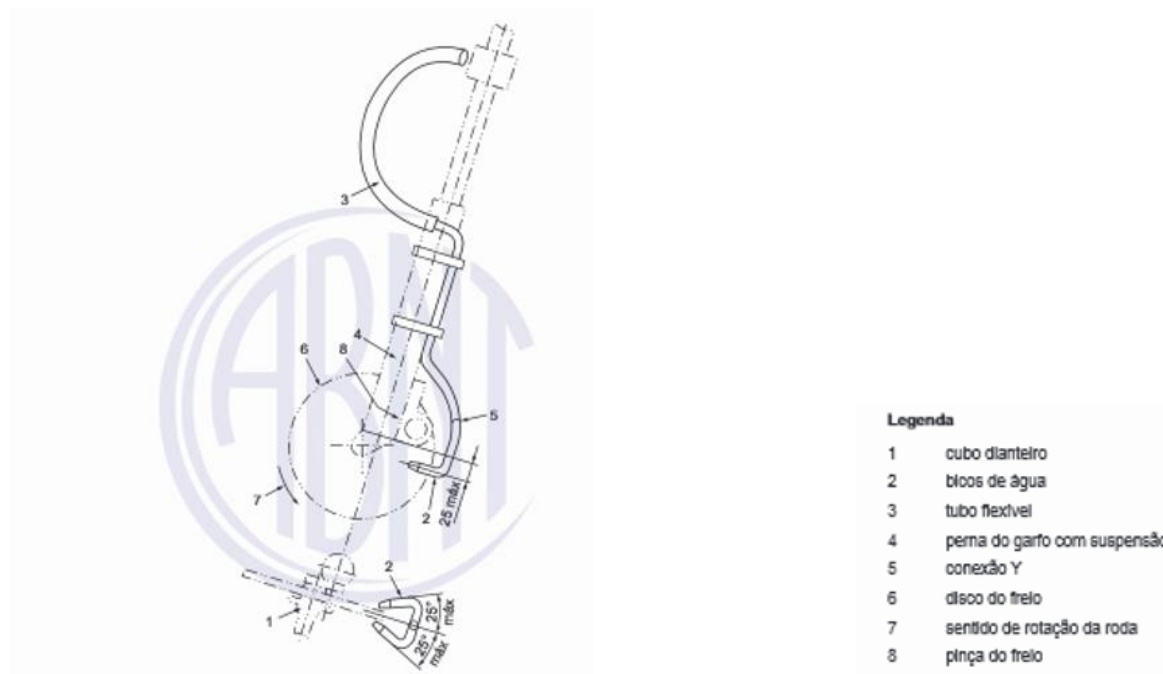


Figura 77 – Sistema de pulverização de água para freio a disco (dianteiro).

Fonte: ABNT, 2015.

Nesta etapa de ensaios, os procedimentos efetuados em condição molhada foram executados conforme descrito na Norma ABNT NBR 14868 e na mesma sequência que em os ensaios realizados em condição seca. Os resultados obtidos nesta etapa foram compilados e estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados da execução de ensaios de freio em condição molhada.

Inclinação do plano de ensaio	Direção do movimento	Velocidade								
		15 km/h			25 km/h			42 km/h		
		M.1 (m)	M. 2 (m)	M. 3 (m)	M. 1 (m)	M. 2 (m)	M. 3 (m)	M. 1 (m)	M. 2 (m)	M. 3 (m)
Horizontal	Em frente	1,68	2,57	2,20	2,18	4,21	3,33	5,09	8,42	6,70
Horizontal	Reverso	3,15	2,91	2,83	X	X	X	X	X	X
Inclinação XX %	Em frente	1,74	2,87	2,57	2,86	4,00	3,87	5,43	9,25	8,11
Inclinação XX %	Reverso	5,78	4,97	4,30	X	X	X	X	X	X

Fonte: AUTOR, 2017.

5.4 CONSUMO DE ENERGIA

A parte 4 da Norma ABNT NBR ISO 7176 esclarece que a autonomia de distância percorrida por uma cadeira de rodas motorizada é influenciada pelo consumo de energia e condição da bateria. O consumo de bateria é afetado por vários fatores, como temperatura ambiente, peso total e distribuição de peso do ocupante, topografia, características de superfície e pneus. A condição da bateria é afetada por fatores como temperatura, tempo de uso, histórico dos ciclos de carga e descarga.

Esta etapa de ensaios foi dividida em dois tipos de condução:

- Condução contínua e
- Manobragem.

O ensaio de condução contínua ocorreu em uma sequência de dez voltas em sentido horário e dez voltas no sentido anti-horário em torno de uma pista de teste, durante este percurso o consumo de energia foi medido. A pista de testes adotada nesta fase de ensaios foi uma quadra poliesportiv. A Figura 78 ilustra o local escolhido para a execução dos ensaios.



Figura 78 - Pista de testes para consumo de bateria.
Fonte: AUTOR, 2017.

A primeira etapa do ensaio de condução contínua iniciou pelo carregamento total do conjunto de baterias. Logo em seguida, aqueceu-se o sistema de acionamento do veículo através de sua condução ao redor da pista de testes dez vezes no sentido horário e dez vezes no sentido anti-horário, mantendo-se dentro dos limites da pista. Durante a última volta do percurso, o veículo foi parado à 2 metros de distância do ponto de partida. O consumo de energia foi medido durante as vinte voltas realizadas.

Imediatamente após o aquecimento, o veículo foi conduzido em sua velocidade máxima dentro da pista de teste conforme procedimento descrito anteriormente após a etapa de ensaio, o resultado obtido do consumo de energia foi de 2200 watts hora. A partir desse resultado, tornou-se possível determinar o consumo específico de energia conforme a equação (32). Os modelos matemáticos utilizados nesta etapa de ensaios são definidos pela Parte 4 da Norma ABNT NBR ISO 7176.

$$e_c = \frac{1000 \cdot E_c}{D_c} \quad (32)$$

Onde:

- e_c é o consumo específico de energia do ensaio de condução contínua da cadeira de rodas, expresso em watts hora por quilômetro;
- E_c é o consumo de energia durante o ensaio de condução contínua, expresso em watts hora;

- D_c é equivalente a 20 vezes o comprimento da linha de centro da pista de teste ou, se o veículo parar durante o ensaio, a distância total registrada em metros.

Para o ensaio realizado, o consumo específico de energia obtido pela equação (31) foi de 11,0 watts hora por quilômetro.

Com posse desse resultado, tornou-se possível calcular a autonomia teórica de distância por meio da equação (33).

$$R_c = \frac{E_{bat}}{e_c} \quad (33)$$

Onde:

- R_c é a autonomia teórica de distância de condução de bateria do veículo, expressa em quilômetros;
- E_{bat} é a capacidade nominal de energia do conjunto de bateria do veículo, expressa em watts hora.

A capacidade nominal de energia do conjunto de bateria por sua vez pode ser definida pela equação (34).

$$E_{bat} = V_{nom} \cdot C_5 \quad (34)$$

Onde:

- V_{nom} é a tensão nominal do conjunto de bateria, expressa em volts;
- C_5 é a capacidade de carga da bateria por um tempo de descarga de 5 horas, conforme declarado pelo fabricante da bateria, expressa em amperes hora.

O conjunto de baterias utilizado no veículo é composto por quatro módulos de baterias que possuem uma tensão nominal de 48 volts e uma capacidade de carga de 9 amperes hora cada. É possível a combinação dos módulos de bateria para a utilização em cada um dos motores individualmente, sem que haja compartilhamento de módulos

entre eles. Desta forma, sugere-se três combinações dos módulos de bateria em relação a cada um dos motores para a melhor performance do veículo:

- Quatro módulos de bateria em um único motor;
- Três módulos de bateria para o primeiro motor e um módulo de bateria para o segundo motor;
- Dois módulos de bateria para cada motor.

O ensaio de condução contínua considerou uma distribuição equilibrada dos módulos de bateria aos motores por meio da utilização da terceira configuração sugerida, tal qual fornece a capacidade de carga de 18 amperes hora a cada motor. Por meio da equação (34) foi possível determinar a capacidade nominal de energia do conjunto de bateria, sendo ela equivalente a 864 watts hora.

Por fim, a equação (33) permitiu a definição da autonomia teórica de distância do veículo, o qual apresentou um resultado de 75,55 quilômetros sob condução contínua.

O ensaio de manobragem do veículo foi realizado de forma a conduzi-lo em um circuito entre dois marcadores distantes entre si de 5 metros, parando e virando pelo lado de fora dos marcadores, repetindo-se dez vezes o movimento em cada sentido, enquanto o consumo de energia estava sendo medido, conforme ilustrado na Figura 79.

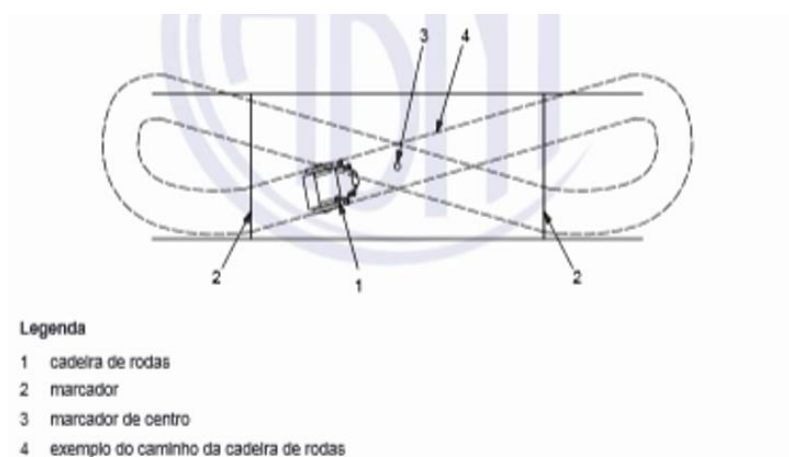


Figura 79 – Pista de teste para manobragem.
Fonte: ABNT, 2015.

O recarregamento do conjunto de baterias foi necessário para a execução deste ensaio. Inicialmente o veículo foi posicionado na pista de teste com uma roda dianteira

sobre um dos marcadores e de frente para o outro marcador localizado a 5 metros de distância. Neste momento, o aparelho de medição do consumo de energia foi reiniciado.

O veículo foi conduzido em uma linha reta na velocidade máxima possível até passar sobre o marcador central da pista de teste, dirigindo-se até o marcador oposto. Quando a roda dianteira atingiu este marcador, a aceleração foi imediatamente interrompida e o veículo foi direcionado ao lado oposto da pista fazendo uma curva em direção ao marcador. Novamente a condução foi realizada entre os dois marcadores repetidamente por dez voltas em um circuito em forma de oito.

Ao término do ensaio, o consumo específico de energia foi calculado a partir da equação (35).

$$e_m = 10 \cdot E_m \quad (35)$$

Onde:

- e_m é o consumo específico de energia do veículo no ensaio de manobragem, expresso em watts hora por quilômetro;
- E_m é o consumo de energia elétrica durante o ensaio de manobragem, expresso em watts hora.

Deste modo, determinou o consumo específico de energia equivalente a 2500 watts hora por quilômetro.

A autonomia teórica de distância conforme ensaio de manobragem pôde ser obtida pelo auxílio da equação (36).

$$R_m = \frac{E_{bat}}{e_m} \quad (36)$$

Onde:

- R_m é a autonomia teórica de distância do ensaio de manobragem do veículo, expresso em quilômetros.

Por fim, a autonomia teórica de distância obtida por meio de ensaio de manobragem foi equivalente a 34,56 quilômetros.

5.5 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE MÁXIMA, ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO

Segundo a Parte 6 da Norma ABNT NBR ISO 7176, a velocidade máxima pode influenciar se uma cadeira de rodas pode ser utilizada em caminhos para pedestres, ruas, ou ambos, dependendo da legislação local. A aceleração e desaceleração máxima são preocupações relacionadas ao conforto do usuário, pois valores elevados podem perturbar e conduzir a problemas de estabilidade postural. Os ensaios realizados nesta etapa especificam um método consistente para determinar os valores máximos de velocidade, aceleração e desaceleração que podem ser usados para fornecer resultados comparáveis.

O veículo foi preparado para esta fase de ensaios conforme especificado pela Parte 22 da Norma ABNT NBR ISO 7176 e o aquecimento do sistema de controle foi efetuado por um período de 5 minutos antecedente aos ensaios.

Iniciado pelo ensaio de velocidade máxima, o ocupante humano conduziu o veículo em uma linha reta sobre o plano horizontal acionando os comandos no sentido à frente até a velocidade máxima ser atingida. Esse momento foi registrado e duas novas repetições foram realizadas. A velocidade máxima real Vm_m foi definida pela média aritmética dos três valores registrados Vm_1 , Vm_2 e Vm_3 . Os registros podem ser verificados no ANEXO IV.

$$Vm_m = 11,75 \text{ m/s}$$

Em seguida, o ensaio de aceleração foi realizado, após um período de 5 minutos para aquecimento do sistema de controle. Novamente, o veículo foi conduzido em linha reta sobre o plano horizontal na direção para a frente até que fosse atingido uma velocidade dentro de 3% da velocidade máxima média, Vm_m . Neste exato momento, o tempo foi medido em segundos, de modo a identificar o intervalo gasto para o equipamento acelerar de $10\% \pm 3\%$ a $90\% \pm 3\%$ da sua velocidade máxima média. Com esse tempo, tornou-se possível determinar a aceleração geral através da equação (37).

Os modelos matemáticos utilizados nesta etapa de ensaios são definidos pela Parte 6 da Norma ABNT NBR ISO 7176.

$$A_0 = \frac{0,8}{T_A} \cdot Vm_m \quad (37)$$

Onde:

- A_0 é a aceleração geral, expresso em metros por segundo ao quadrado;
- T_A é o tempo de aceleração medido em segundos.

Esse procedimento foi repetido por mais duas vezes de modo a registrar valores suficientes para garantir a segurança das informações. A Tabela 16 reúne todos os dados obtidos nesta etapa de ensaios.

Tabela 16 – Resultados da aceleração geral.

	Vm_m (m/s)	T_A (s)	A_0 (m/s ²)
Teste 1	11,75 +- 3%	4,52	2,08
Teste 2	11,75 +- 3%	4,38	2,14
Teste 3	11,75 +- 3%	4,41	2,13

Fonte: AUTOR, 2017.

A aceleração geral final foi obtida pela média aritmética das acelerações calculadas anteriormente.

$$A_{0f} = 2,12 \text{ m/s}^2$$

O ensaio de desaceleração ocorreu de maneira de modo inverso ao ensaio anterior, de modo que o veículo foi conduzido em linha reta no plano horizontal, com o seu dispositivo de controle acionado para velocidade máxima em direção para a frente, até atingir uma velocidade dentro de 3% da sua velocidade máxima média Vm_m . Quando atingida essa velocidade, o sistema de frenagem foi acionado no Modo 1, ou seja, pelo acionamento de ambas as manetes de freio conforme definido na etapa de ensaio da eficácia dos freios, até que ela fosse reduzida de $90\% \pm 3\%$ a $10\% \pm 3\%$ da

sua velocidade máxima média. O tempo de desaceleração foi medido e registrado. Esse procedimento foi repetido por mais duas vezes.

A desaceleração geral foi obtida pela equação (38) e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 17.

$$R_0 = \frac{0,8}{T_R} \cdot Vm_m \quad (38)$$

Tabela 17 – Resultados de desaceleração geral

	Vm_m (m/s)	T_R (s)	R_0 (m/s ²)
Teste 1	11,75 +- 3%	2,81	3,35
Teste 2	11,75 +- 3%	2,32	4,05
Teste 3	11,75 +- 3%	2,44	3,85

Fonte: AUTOR, 2017.

A desaceleração geral final foi obtida pela média aritmética das acelerações calculadas anteriormente.

$$R_{0f} = 3,75 \text{ m/s}^2$$

5.6 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRANSPOSIÇÃO DE OBSTÁCULOS

As alturas dos obstáculos que uma cadeira de rodas é capaz de subir pode diferir das que podem descer e essa capacidade de transposição de obstáculos pode ser um fator importante em termos de acesso e segurança segundo a Parte 10 da Norma ABNT NBR ISO 7176. Esta parte da Norma especifica um método eficiente para determinar a capacidade das cadeiras de rodas de subida e descida nos obstáculos, a fim de obter resultados comparativos.

O ensaio foi realizado com o veículo configurado com todas as baterias inseridas sobre ele a fim de apresentar o maior peso especificado no projeto, além disso, configurou-se a maior altura possível entre o componente mais baixo do veículo e o

plano horizontal de modo a facilitar a subida de obstáculos e prevenir que eles colidam primeiramente com o obstáculo. Um ocupante humano realizou a sua condução durante todo o ensaio conforme demonstrado na Figura 80.



Figura 80 – Ensaio de capacidade para transposição de obstáculo.
Fonte: AUTOR, 2017.

O primeiro ensaio ocorreu com o veículo posicionado sobre a plataforma de ensaio em um ângulo de incidência para o obstáculo de $90^\circ \pm 5^\circ$, com as suas rodas alinhadas na posição do movimento para a frente mantendo contato com o obstáculo. O acionamento do dispositivo de controle foi acionado em velocidade máxima até que o veículo superou o obstáculo com todas as rodas sobre a plataforma elevada. Este procedimento foi repetido até que não fosse possível a superação do obstáculo. Após a última tentativa de subida, a altura máxima foi registrada e apresentada a seguir:

$$Hmax_{sf1} = 110 \text{ mm}$$

Onde:

- $Hmax_{sf1}$ é a altura máxima de transposição de obstáculo em subida na direção para frente com ponto de origem tangente ao plano do obstáculo, expressado em milímetros.

Em seguida, a segunda fase do ensaio considerou um aumento de $500\text{mm} \pm 25\text{mm}$ na distância horizontal entre o obstáculo e a parte dianteira do veículo na direção do

movimento para a frente. Os procedimentos de subida do obstáculo foram executados de mesmo modo como ocorrido na primeira análise e a altura máxima registrada segue:

$$Hmax_{sf2} = 150 \text{ mm}$$

Onde:

- $Hmax_{sf2}$ é a altura máxima de transposição de obstáculo em subida na direção para frente com ponto de origem 500 mm distante ao plano do obstáculo, expressado em milímetros.

Também foram realizados os procedimentos de subida do veículo sobre o obstáculo em modo de reversão, ou seja, marcha a ré. Os resultados obtidos nessas etapas são apresentados:

$$Hmax_{sr1} = 100 \text{ mm}$$

$$Hmax_{sr2} = 140 \text{ mm}$$

Onde:

- $Hmax_{sr1}$ é a altura máxima de transposição de obstáculo em subida na direção para frente com ponto de origem tangente ao plano do obstáculo, expressado em milímetros.
- $Hmax_{sr2}$ é a altura máxima de transposição de obstáculo em subida na direção para frente com ponto de origem 500 mm distante ao plano do obstáculo, expressado em milímetros.

Logo após, o veículo foi posicionado sobre a plataforma elevatória para o ensaio de capacidade máxima de descida. Nesta fase, o veículo foi posicionado em um ângulo de incidência de $90^\circ \pm 5^\circ$ e com a distância de $500 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm}$ entre a borda e o ponto de contato das rodas dianteiras com a direção do movimento para a frente. Então, o

ocupante humano conduziu o veículo para fora da plataforma até que todas as rodas estivessem no plano horizontal abaixo da plataforma. Os procedimentos foram repetidos até que não fosse mais possível descer o obstáculo. A altura máxima registrada é apresentada a seguir:

$$Hmax_{df} = 180 \text{ mm}$$

Onde:

- $Hmax_{df}$ é a altura máxima de transposição de obstáculo em descida na direção para frente com ponto de origem 500 mm distante a borda do plano elevado, expressado em milímetros.

Por fim, os procedimentos foram realizados para o veículo em movimento para trás em descida da plataforma elevada. O resultado máximo obtido é apresentado:

$$Hmax_{dr} = 180 \text{ mm}$$

Onde:

- $Hmax_{dr}$ é a altura máxima de transposição de obstáculo em descida na direção para trás com ponto de origem 500 mm distante a borda do plano elevado, expressado em milímetros.

5.7 ANÁLISE DE RESULTADOS

A Tabela 18 apresenta uma visão geral do cumprimento de requisitos após o desenvolvimento e ensaios do veículo motorizado elétrico modular.

Tabela 18 - Cumprimento de requisitos.

Grupo	Requisito de projeto	Resultado dos ensaios
FUNCIONAL	Independência	Independência
	Segurança	Segurança em baixa velocidade
	Praticidade	Praticidade
	Conforto	Conforto
	Facilidade em estacionar o veículo	Não mensurado
	Pouco esforço físico necessário	Pouco esforço físico necessário
	Compatibilidade com qualquer cadeira de rodas	Compatibilidade com qualquer cadeira de rodas
	Acoplamento rápido	Acoplamento rápido
ERGONÔMICO	Design atraente	Design atraente
	Atender usuários com paraplegia	Atender usuários com paraplegia
	Atender usuários com tetraplegia	Não atendido
	Não necessitar de transferência	Não necessitar de transferência
MECÂNICO (ESTRUTURAL)	Leveza	Não atendido. Peso elevado
	Tamanho reduzido	Tamanho reduzido
	Viabilidade financeira	Não mensurado
	Entre eixos: 1700 mm Largura máx.: 850 mm Comprimento máx.: 2350 mm Altura máxima: 1100 mm Peso máximo: 53 kg	Entre eixos: 1050 mm Largura máx.: 925 mm Comprimento máx.: 1630 mm Altura máxima: 930 mm Peso máximo: 140 kg
	Material – Aço carbono 1020	Material – Aço carbono 1020
	Rodas 20” folha dupla alumínio	Rodas 20” folha dupla alumínio
MECÂNICO (DINÂMICO)	Velocidade máxima: 60 km/h	Velocidade máxima: 42 km/h
	Autonomia média: 90km	Autonomia média - Condução contínua: 75,55 km; - Condução manobragem: 34,56 km.
	Sistema de freio duplo à disco hidráulico	Sistema de freio duplo à disco mecânico
	Sistema de transmissão direta	Sistema de transmissão direta
ELETRÔNICO	Motorização elétrica <i>brushless</i> 2 x 1000 W	Motorização elétrica <i>brushless</i> 2 x 1500 W
	Autonomia elevada das baterias de íons de lítio 48V 26 A	Autonomia baixa das baterias de Chumbo-ácido 48V 18 A
	Painel de instrumentos com indicadores: Carga da bateria, velocidade e odômetro	Painel de instrumentos com indicadores: Carga da bateria, velocidade e odômetro
SEGURANÇA	Luzes de sinalização dianteira e traseira	Luzes de sinalização dianteira e traseira
	Buzina, espelho retrovisor	Buzina, espelho retrovisor
	Freio de estacionamento	Não atendido

Fonte: AUTOR, 2017.

Através da tabela de cumprimento de requisitos é possível notar previamente o não atendimento de alguns parâmetros pré-estabelecidos no mapa de requisitos, tais como o não atendimento aos usuários com quadro de tetraplegia e a leveza estrutural do equipamento desenvolvido, entre outros que serão discutidos a seguir nesta seção. Em contra-partida, alguns parâmetros foram otimizados de modo a contribuir com a melhoria de desempenho dos dispositivos criados, sendo eles a forma geométrica de tamanho inferior ao recomendado, assim como a motorização com potência elevada.

Após a série de ensaios e testes pelos quais o veículo motorizado elétrico foi submetido fundamentado pelas Normas Técnicas da ABNT, torna-se possível a análise de alguns fatores dinâmicos, ergonômicos e construtivos do projeto em comparação aos parâmetros pré-definidos pelo mapa de requisitos, assim como as grandezas físicas calculadas teoricamente.

Primeiramente, os ensaios de estabilidade estática apresentaram resultados satisfatórios em relação aos limites de tombamento longitudinal e lateral calculados teoricamente. O ensaio longitudinal apontou o limite de tombamento frontal 10,73 % inferior ao limite calculado, enquanto para o tombamento traseiro essa diferença reduziu para 3,05 % em relação ao valor teórico, já durante o ensaio lateral, o veículo suportou uma inclinação lateral 6,52 % superior ao limite calculado. Alguns fatores contribuem para a característica estável do equipamento desenvolvido, a distância entre eixos de 1050 mm combinada à largura de 925 mm e o posicionamento do CG à altura baixa a 490 mm do solo assim como próxima ao ponto central da linha de entre eixos permitem ao usuário total segurança na sua utilização.

A segunda fase de ensaios buscou identificar a eficácia do sistema de freios pela combinação de métodos estabelecidos pelas Normas ABNT NBR ISO 7176 e ABNT NBR 14868. Nesta etapa o veículo foi submetido à uma série de testes de frenagem em condições seca e molhada. Quando comparados os resultados obtidos pela ação conjunta dos dois conjuntos de freios, modo 1, o veículo apresentou baixa variação de desempenho em qualquer condição climática, cerca de 8,50 %. Por outro lado, cada um dos sistemas acionados individualmente apresentaram um baixo desempenho quando exigidos em velocidades superiores à 15 km/h, tornando-os ineficientes em situações em que se faz uso de apenas um conjunto de freios. Em situações de velocidade máxima

equivalentes a 42 km/h o sistema de freios não apresentou resultados aceitáveis sob condições seca e molhada, necessitando de grandes distâncias para a sua desaceleração, em alguns ensaios o veículo percorreu aproximadamente nove metros até se manter totalmente em repouso, uma distância equivalente a cinco vezes o seu comprimento total.

O mapa de requisitos apontou a necessidade de um sistema de freio a disco hidráulico no veículo, no entanto, a viabilidade financeira não permitiu o atendimento ao requisito pré-estabelecido, desta forma, os resultados insatisfatórios obtidos podem ser justificados pelo sistema de freio a disco mecânico adotado na construção do protótipo que não atendeu às expectativas de segurança de frenagem. Contudo, na configuração atual, o protótipo não apresenta eficiência de frenagem em condições de velocidade máxima de 42 km/h e este fator pode oferecer risco operacional ao condutor nessas condições.

Durante a etapa de testes, o veículo utilizou como fonte de energia um conjunto de baterias de chumbo-ácido em substituição à bateria de íons de lítio estabelecidos no mapa de requisitos. A escolha se fez pela dificuldade de aquisição desses componentes, o estudo de um novo posicionamento das baterias foi realizado para garantir uma distribuição de massa de equilibrada sobre a estrutura do veículo de modo a não prejudicar a dirigibilidade. O novo conjunto de baterias acrescentou 40 kg de massa total ao veículo. O mapa de requisitos do projeto apontou a necessidade de autonomia média de 90 km para cada carga completa do sistema de energia, tomando-se como referência a utilização das baterias de íon de lítio. Após os ensaios, o veículo apresentou uma autonomia estimada em 75,55 km em condução contínua, enquanto em condução por manobragem a autonomia reduziu significativamente para 34,56 km. Apesar dos resultados se mostrarem abaixo do esperado, os valores se mostraram satisfatórios e aceitáveis nas condições de operação, dois fatores justificam essa conclusão, a utilização de motores de potência 50% superior ao requisito estabelecido e utilização de bateria com composição de chumbo ácido que apresentam uma potência específica extremamente baixa, representando 10% em relação à bateria de íons de lítio.

Os resultados dinâmicos alcançados nos ensaios determinaram uma velocidade máxima de 11,75 m/s, equivalente a 42 km/h, submetido à uma aceleração de 2,12 m/s².

O valor alcançado se manteve abaixo do requisito inicial de 60 km/h, ou seja, 30% inferior ao limite desejado. Durante esta fase de ensaio o veículo foi submetido às condições máximas de aceleração de modo a alcançar os limites de velocidade, no entanto, em velocidades acima de 35 km/h se observou uma instabilidade no sistema de direção. Notou-se uma variação no ângulo de cáster do veículo quando submetido à aceleração, fato consequente de uma variação angular no sistema de acoplamento do veículo à cadeira de rodas que apresentou uma folga excessiva em seus pontos de travamento devido ao peso excessivo do equipamento à frente decorrente da substituição do conjunto de baterias, tal qual elevou a massa do veículo em 36% em relação ao valor inicial projetado.

A construção do protótipo favoreceu a última etapa de ensaios que buscou identificar a capacidade de transposição de obstáculo. O equipamento automotor apresentou alta capacidade de superação em subidas quanto descidas, assim como grande resistência a impactos. Os motores com potência de 1500 W forneceram torque suficiente para a transposição de obstáculos em altura máxima de 150 mm em subida à frente sem exercer esforço excessivo ao equipamento. Pode-se notar que a utilização de rodas motorizadas montadas sobre aros de folha dupla de diâmetro 20" e pneus com espessura de 2.125" forneceram aceitáveis níveis de amortecimento ao veículo quando em contato frontal com o obstáculo.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Após uma longa etapa de pesquisa direcionada ao levantamento das melhores técnicas e práticas no desenvolvimento de produtos correlacionados à área de saúde, tornou-se possível a definição de um mapa de requisitos focado na necessidade do usuário de cadeira de rodas de modo a construir o protótipo funcional de um veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal em qualquer modelo de cadeira de rodas mecanomanual. Contudo, o projeto em questão apresentou uma amplitude de necessidades construtivas diferenciadas em questão de modularidade e simplicidade operacional para o atendimento de grande parte dos requisitos pré-estabelecidos relacionados ao design inclusivo, base fundamental para o alcance dos objetivos propostos. As etapas de design dos grupos de componentes relacionados ao suporte universal para instalação em cadeira de rodas, assim como a parte frontal do veículo motorizado atenderam às necessidades estabelecidas para a obtenção de qualidades funcionais e ergonômicas que favorecem a utilização de uma ampla gama de usuários com diferentes limitações.

O suporte universal desenvolvido atendeu aos requisitos impostos ao equipamento em termos de pouco esforço físico necessário e acoplamento rápido dele sobre a cadeira de rodas, mostrando-se um dispositivo prático e usual. O design da parte frontal do veículo apresentou um aspecto funcional bem estabelecido pelo atendimento aos usuários com quadro de paraplegia, no entanto, não foi possível a sua utilização por pessoas tetraplégicas. O projeto de um sistema de tração traseira para a utilização em conjunto com o veículo motorizado permitiu a compreensão de uma nova forma de locomoção de pessoas com deficiência, onde a cadeira de rodas que habitualmente é utilizada por eles em ambiente internos e em baixa velocidade, se transforma na parte central de um veículo motorizado para deslocamento em vias públicas capaz de transportar um passageiro junto ao usuário, permitindo a sua maior autonomia e independência.

Em relação aos requisitos estruturais, o veículo projetado foi desenvolvido baseado nos fatores limitantes de espaço de manobra, limites dimensionais e viabilidade financeira pela utilização de componentes mecânicos usualmente encontrados no

mercado nacional. Desta forma, a ineficiência apresentada na fase de ensaios dinâmicos relacionados ao sistema de frenagem e velocidade máxima atingida pode ser justificada pela ausência de um projeto de dimensionamento dos sistemas de suspensão e direção do veículo, tal qual apresentou instabilidade em velocidades superiores a 35 km/h.

A motorização escolhida forneceu um alto desempenho no equipamento assistivo devido ao seu tamanho reduzido, alto torque, peso e ausência de perdas pelo sistema de transmissão, possibilitando a sua utilização em terrenos variados e capacidade de transposição de obstáculo. O estudo das Normas Técnicas aplicadas ao desenvolvimento de cadeira de rodas mecanomanuais e motorizadas contribuiu significativamente para o entendimento dos principais fatores relevantes para a concepção e avaliação do protótipo funcional desenvolvido e tornou possível a validação de alguns requisitos construtivos e comparativos ao protótipo virtual, assim como os resultados teóricos obtidos.

Tomando-se como referência o processo de desenvolvimento de cadeira de rodas indicado pela Organização Mundial da Saúde, o resultado final da Tese permite entender a importância sobre a criação de produtos sob o olhar do usuário. O entendimento das necessidades do público cadeirante permitiu a definição dos principais parâmetros construtivos que possam atender às suas expectativas.

Contribuir com a inclusão social e acessibilidade foi um grande motivador durante o desenvolvimento deste projeto que buscou apresentar problemas e possíveis soluções para beneficiar esta parcela da população deficiente. É possível afirmar que os objetivos principais da Tese desenvolvida foram alcançados, onde o protótipo funcional foi construído a partir de uma série de requisitos pré-estabelecidos, baseado em um protótipo virtual desenvolvido. Em complemento, o trabalho de pesquisa oferece uma contribuição acadêmica pela criação de uma metodologia de projetos direcionado ao desenvolvimento de pesquisas relacionadas à área de Tecnologia Assistiva, tal qual não apresenta uma base de dados científicos sólida e capaz de contribuir com a evolução da área e criação de novas soluções.

Pela amplitude do assunto abordado, fica expresso a outros pesquisadores o convite de prosseguir com este trabalho aprofundando em outros pontos relevantes, tais como a utilização de materiais mais leves e estudo de novos desenhos estruturais que colaborem com a eficiência do equipamento.

Nota-se que novas pesquisas podem ser realizadas ao projeto de estudo em questão visando oferecer maior segurança ao cadeirante. Algumas melhorias futuras podem ser realizadas num espaço médio de tempo, como a análise de materiais que favoreçam a eficiência dinâmica do veículo desenvolvido, assim como o dimensionamento de um sistema de suspensão e direção eficiente que possibilite uma direção segura. O estudo de fadiga nos componentes mecânicos dimensionados em conjunto com o ensaio de forças estáticas, impacto e fadiga estabelecidos pela Parte 8 da Norma ABNT NBR ISO 7176 são de grande importância para a avaliação de confiabilidade projetual do equipamento desenvolvido. É importante ressaltar a importância da viabilidade econômica em qualquer pesquisa relacionada à acessibilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR ISO 7176-1. **Cadeira de rodas Parte 1: Determinação da estabilidade estática.** 14 f. 2009.

ABNT NBR ISO 7176-3. **Cadeira de rodas Parte 3: Determinação da eficácia dos freios.** 15 f. 2015.

ABNT NBR ISO 7176-4. **Cadeira de rodas Parte 4: Consumo de energia de cadeira de rodas motorizadas e scooters para a determinação da autonomia teórica de distância.** 9 f. 2015.

ABNT NBR ISO 7176-5. **Cadeira de rodas Parte 5: Determinação das dimensões, massa e espaço para manobra.** 88 f. 2015.

ABNT NBR ISO 7176-6. **Cadeira de rodas Parte 6: Determinação da velocidade máxima, aceleração e desaceleração de cadeiras de rodas motorizadas.** 6 f. 2015.

ABNT NBR ISO 7176-7. **Cadeira de rodas Parte 7: Medição de dimensões de assentos e rodas.** 47 f. 2009.

ABNT NBR ISO 7176-10. **Cadeira de rodas Parte 10: Determinação da capacidade de transposição de obstáculo da cadeiras de rodas motorizadas.** 6 f. 2015.

ABNT NBR ISO 7176-11. **Cadeira de rodas Parte 11: Bonecos de ensaio.** 32 f. 2016.

ABNT NBR ISO 7176-22. **Cadeira de rodas Parte 22: Procedimentos de ajuste.** 32 f. 2016.

ABNT NBR 14868. **Veículo de duas rodas – bicicleta – conjunto de freio – requisitos e métodos de ensaio** 35 f. 2015.

ABREU, M. F. Y; et al. **Sistema de suspensão veicular otimizado por meio de um controle eletromecânico do conjunto mola e amortecedor.** [artigo científico]. Disponível em: <<http://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/05/322275.pdf>>. Acesso em Julho de 2017.

AERO-SERVICE, Disponível em: <<http://www.ev4.pl/index-en.html>>. Acesso em Março de 2017

ALMEIDA, D. de A. **Dimensionamento cinemático e dinâmico de suspensão Duplo A.** 2012. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília, 2012. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/4137/1/2012_DanieldeAraujoAlmeida.pdf>. Acesso em Julho de 2017.

ALVES, J.O. **Protótipo de sistema automotor para cadeira de rodas**. 157 f. Dissertação [Mestrado em Engenharia Mecânica] – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, 2011.

AMARAL, L.A. **Espelho convexo: o corpo desviante no imaginário coletivo, pela voz da literatura infanto-juvenil**. São Paulo: SP. Tese de doutorado em Psicologia, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo. 1992.

AMIRALIAN, M. L. T., et al. **Conceituando a deficiência**. Revista de Saúde Pública, 34 (1), 97-103; 2000.

ARAÚJO, L.A.D. **A proteção constitucional das pessoas portadoras de deficiência** (2a ed.). Brasília, CORDE. 1997

BERGER, M. **A Projeção da Deficiência**. Dissertação de mestrado em Antropologia Social, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 1999.

BERSCH, R. **Introdução à tecnologia assistiva**. Disponível em <www.assistiva.com.br>. Acesso em Outubro de 2016.

BOER, VHT. **Trauma raquimedular**. In: Kruehl NF, Araújo PA, editores. Manual de terapêutica-cirurgia. Florianópolis: Associação Catarinense de Medicina; 1997; p. 166-71.

BRASIL, Decreto nº 3.298, de 20 de Dezembro de 1999. Regulamenta a Lei nº 7.853 de 24 de Outubro de 1989. **Diário oficial da República do Brasil**. Disponível em <www.planalto.gov.br/ccivil/decreto/d3298.htm>. Acesso em Outubro de 2016.

BRASIL, Decreto nº 5.296 de 02 de Dezembro de 2004. Regulamenta as Leis nº 10.048, de 08 de Novembro de 2000 e 10.098 de 19 de Dezembro de 2000. **Diário oficial da República do Brasil**. Disponível em <www.planalto.gov.br/ccivil/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm>. Acesso em Janeiro de 2017.

BRASIL, Lei nº 10.098. **Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção de acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida**. Disponível em <www.planalto.gov.br/ccivil/LEIS/L10098.htm>. Acesso em Janeiro de 2017.

CAMPOS, A. L.V; NASCIMENTO, D.R.; MARANHÃO, E. **A história da poliomielite no Brasil e seu controle por imunização**. História, Ciências, Saúde: Manguinhos, Rio de Janeiro, v. 10, supl. 2, p. 573-600, 2003.

CAMPOS, M. F.; RIBEIRO, A. T.; LISTIK, S.; PEREIRA, C.; SOBRINHO, J. A.; ECBC-SPV; RAPOPORT A.; ECBC-SPV. **Epidemiologia do traumatismo da coluna**

vertebral. Rev. Col. Bras. Cir. vol.35 no.2 Rio de Janeiro Mar./Apr. 2008. Disponível em <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69912008000200005>. Acesso em Fevereiro de 2017.

CARLO, Marysia M.R.Prado; BARTALOTTI, Celina C.; **Terapia ocupacional no Brasil: Fundamentos e perspectivas**; Brasil; Plexus; 2001.

CARRIEL, I. R. R. **Recomendações ergonômicas para o projeto de cadeira de rodas: considerando os aspectos fisiológicos e cognitivos dos idosos.** 244 f. Dissertação [Mestrado em Desenho Industrial] – Universidade Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Bauru, 2007.

CARL BONFIGLIO, W.R. **A Cost Optimized Battery Management System with Active Cell Balancing for Lithium Ion Battery Stacks.** Infineon Technologies AG, 2009.

CARVALHO, F. L; CARVALHO, V. O. Simpel: **Sistema Inteligente Híbrido para Apoio a Manutenção Preditiva em Equipamentos Lubrificados.** Disponível em <www2.imse-cnm.csic.es/Xfuzzy/>. Acesso em Janeiro de 2012.

CARVALHO, R. O. de. **Dimensionamento de suspensões veiculares para isolamento de vibrações excitadas pela via.** 2011. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/118584/carvalho_ro_tcc_guara.p>. Acesso em Julho de 2017.

CENTER FOR UNIVERSAL DESIGN, **Principles of Universal Design.** Disponível em: <http://www.ncsu.edu/ncsu/design/cud/about_ud/about_ud.htm>. Acesso em Abril de 2017.

CENTRE FOR EXCELLENCE IN UNIVERSAL DESIGN (CEUD). **What is Universal Design.** Disponível em: <<http://universaldesign.ie/What-is-Universal-Design/Definition-and-Overview>>. Acesso em Abril de 2017.

CHAU L., et al. **Women living with a spinal cord injury: perceptions about their chanced bodies.** Qual. Health Res. 2008 February; 18(2):209-11.

COOK & HUSSEY. **Assistive Technologies: Principles and Practices.** Mosby – Year Book, Inc., 1995

DEFINO, H. **Trauma Raquimedular.** Medicina, Ribeirão Preto, 32: 388-400, out/dez. 1999.

ERTHAL, L. J. **Modelo cinestático para análise de rolagem em veículos.** 2010. Dissertação (Pós-graduação em engenharia mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/93976/280433.pdf?sequence>>
 . Acesso em Julho de 2017.

GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992.

GRAYSON, E., & MARINI, I. **Simulated disability exercises and their impact on attitudes toward persons with disability**. International Journal of Rehabilitation Research, 19 (2), 123-131. Heckhausen, J., Dixo. 1996.

HERWIG, Oliver; **UNIVERSAL DESIGN – Solutions for a barrier-free living**; Basel; Birkhäuser; 2008.

KENGURU. Disponível em <<http://www.prweb.com/releases/2015/09/prweb12963175.htm>> Acesso em Março de 2017.

KIT LIVRE. Disponível em < <http://www.kitlivre.com>> Acesso em Março de 2017.

LEAF BIKE. Disponível em <http://www.leafbike.com/u_file/images/15_01_05/0a32577ead.jpg>. Acesso em Março de 2017.

MASINI M. **Tratamento das fraturas e luxações da coluna toracolombar por descompressão pósterio-lateral e fixação posterior com retângulo e fios segmentares sublaminares associados a enxerto ósseo** [dissertação]. São Paulo (SP): Escola Paulista de Medicina; 2000.

MERLING, M. C. C. **Uma abordagem gerencial para o procedimento de projeto de suspensões de veículos terrestres**. 2007. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11506/11506_1.PDF>. Acesso em Julho. 2017.

MILLIKEN, W. F; MILLIKEN, D. L. **Race car vehicle dynamics**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1995.

MONTANARI, P.M. **Jovens e deficiência: comportamento e corpos desviantes**. In N. Schor, M.S.F.T. Mota, & V.C. Branco (Orgs.). Cadernos juventude, saúde, desenvolvimento (pp.97-108). Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria de Políticas de Saúde; 1999.

NAKAO, J; et al. **Cadeira de rodas automatizada com nivelamento de assento**. 140 f. Trabalho de graduação [Engenharia Mecatrônica] – Universidade Paulista, São José dos Campos, 2008.

NICOLAZZI, L. C. et al. **Uma introdução à modelagem quase-estática de veículos automotores de rodas**. 2012. Blumenau: UFSC, 2012. Publicação interna do GRANTE

– Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM053/Bibliografia/Apostila_Veiculos_2012_Cap1_12.pdf>. Acesso em Julho de 2017.

NORMAN, Donald; **Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things**; New York: Basic Books; 2004.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas**. Segunda Edição. São Paulo: BOOKMAN, 2004.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. Quarta Edição. Rio de Janeiro: PRENTICE HALL DO BRASIL, 2007.

PACHECO KMB, Alves VLR. **A história da deficiência, da marginalização à inclusão social: uma mudança de paradigma**. Acta Fisiátrica. 2007; 4(14):242-8.

REZENDE, J. C. C. **Projeto e implementação de um modelo de suspensão automotiva em bancada de laboratório**. 2007. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp050394.pdf>>. Acesso em Julho de 2017.

ROCHA E. F. **Corpo deficiente em busca da reabilitação? Uma reflexão a partir da ótica das pessoas portadoras de deficiência física** [dissertação de mestrado]. São Paulo (SP): Universidade de São Paulo. Instituto de Psicologia; 1991.

ROCHA , E. F.; CASTIGLIONI, M. C. **Reflexões sobre recursos tecnológicos: ajudas técnicas, tecnologia assistiva, tecnologia de assistência e tecnologia de apoio**. Ver. Ter. Ocup. Univ. São Paulo, v.16, n. 3, p. 97-104, set/dez, 2005.

ROWE, J.W., & Kahn, R.L. **Successful aging**. Gerontologist, 37 (4), 433-440. 1997.

SANTOS, R. & Senna, C. & Vieira, S. **Acessibilidade e Design Inclusivo - Um estudo sobre a aplicação do design universal ns produtos industriais**. Seminário de Produção Acadêmica em Design, Florianópolis. 2007.

SIMÕES, J. F.; BISPO, R.; **Design inclusivo, Acessibilidade e Usabilidade em Produtos, Serviços e Ambientes**; Lisboa: Centro Português de Design; 2006.

STERNBERG, Robert J.; **Psicologia Cognitiva**. Tradução de Maria Regina Borges. Porto Alegre: Artes Médicas Sul; 2000.

TOYOTA, Disponível em <http://www.toyota-global.com/innovation/personal_mobility/i-road/>. Acesso em Março de 2017

TSENG K. J., CHEN G. H. **Computer-Aided Design and Analysis of Direct-Driven Wheel Motor Drive**. IEEE Transactions on Power Electronics. – 1997. – Vol. 12, No. 3. – P. 517–527.

World Health Organization (WHO) **WHO Library Cataloguing-in-Publication Data Guidelines on the provision of manual wheelchairs in less-resourced settings**. World Health Organization, 2008

World Health Organization (WHO). **World Request on Desability 2011**. Disponível em <www.who.int/disabilities/world_report/2011/report.pdf>. Acesso em Março de 2017.

ANEXO I - MODELOS DE CADEIRAS DE RODAS E COMPONENTES UTILIZADOS NO SUPORTE UNIVERSAL

Modelos de cadeiras de rodas e componentes utilizados no suporte universal

ITEM	MARCA	MODELO	ESTRUTURA	MANCAL	ALONGADOR	PESO DO USUÁRIO
1	ORTOBRAS	AKTIVA ULTRA LITE	X	1" 90°	SIM	120 KG
2	ORTOBRAS	AVD ALUMINIO	X	1" RETO	SIM	100 KG
3	ORTOBRAS	GAZELA ULTRA LITE	X	1" 90°	SIM	120 KG
4	ORTOBRAS	K1	X	1" 90°	SIM	100 KG
5	ORTOBRAS	K2	X	1" 90°	SIM	120 KG
6	ORTOBRAS	K3	X	1" 90°	SIM	120 KG
7	ORTOBRAS	M3	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	110 KG
8	ORTOBRAS	STAR LITE	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	100 KG
9	OTTOBOCK	START M0	X	1" RETO	SIM	125 KG
10	OTTOBOCK	VENTUS	MONOBLOCO	1.1/4"	NÃO	100 KG
11	OTTOBOCK	ADVANTGARDE CS	X	1" 90°	NÃO	100 KG
12	OTTOBOCK	ADVANTGARDE CV	X	1" RETO	SIM	100 KG
13	FREEDOM	CLEAN	X	1" 90°	SIM	130 kg
14	FREEDOM	PLUS	X	1" 90°	SIM	150 KG
15	FREEDOM	CLEAN NYL	X	1" 90°	SIM	130 kg
16	FREEDOM	LIFE	MONOBLOCO	1" 90°	SIM	130 KG
17	FREEDOM	TEEN	X	1" 90°	SIM	70 KG
18	FREEDOM	LUMINA LG	X	1" 90°	SIM	140 KG
19	FREEDOM	LUMINA LM	X	1" 90°	SIM	140 KG
20	FREEDOM	LUMINA LP	X	1" 90°	SIM	70 KG
21	JAGUARIBE	FIT	X	1" 90°	SIM	100 KG
22	JAGUARIBE	POTY	X	1" 90°	SIM	120 KG
23	JAGUARIBE	TAIPU	X	1" RETO	SIM	120 KG
24	JAGUARIBE	BIG	X	1" RETO	SIM	160 KG
25	JAGUARIBE	AGILE	X	1" 90°	SIM	130 KG
26	JAGUARIBE	AGILE 2009	X	1" 90°	SIM	120 KG
27	JAGUARIBE	AGILE FAT	X	1" 90°	SIM	130 KG
28	JAGUARIBE	AGILE INFANTIL	X	1" 90°	SIM	55 KG
29	JAGUARIBE	FREE	X	1" 90°	SIM	90 KG
30	JAGUARIBE	SPEED	X	1.1/4" 90°	SIM	90 KG

ITEM	MARCA	MODELO	ESTRUTURA	MANCAL	ALONGADOR	PESO DO USUÁRIO
31	ORTOMIX	DINÂMICA LITE	X	1"RETO	SIM	100 KG
32	ORTOMIX	DINÂMICA LITE 60°	X	1" RETO	SIM	100 KG
33	ORTOMIX	DINÂMICA LITE 60° STANDARD	X	1" RETO	SIM	100 KG
34	ORTOMIX	DINÂMICA LITE 90°	X	1" RETO	SIM	100 KG
35	ORTOMIX	DINÂMICA LITE STANDARD	X	1" 90° / 1" RETO	NÃO / SIM	100 KG
36	ORTOMIX	DINÂMICA LITE STANDARD XD	X	1" 90° / 1" RETO	NÃO / SIM	100 KG
37	ORTOMIX	DINÂMICA M ADULTO AÇO	MONOBLOCO	1" 90° / 1" RETO	NÃO / SIM	100 KG
38	ORTOMIX	DINÂMICA M ADULTO ALUMÍNIO	MONOBLOCO	1" 90° / 1" RETO	NÃO / SIM	100 KG
39	ORTOMIX	DINÂMICA NEW AJUSTÁVEL	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	100 KG
40	ORTOMIX	DINÂMICA PLUS	X	1" 90° / 1" RETO	SIM	100 KG
41	ORTOMIX	DINÂMICA PLUS LITE	X	1" 90° / 1" RETO	SIM	100 KG
42	ORTOMIX	DINÂMICA SPORT	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	100 KG
43	ORTOMIX	DINÂMICA SPORT LITE	MONOBLOCO	1" 90°	NÃO	100 KG
44	ORTOMIX	DINÂMICA SPORT NEW	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	100 KG
45	ORTOMIX	DINÂMICA STANDARD XD	X	1" 90° / 1" RETO	NÃO / SIM	100 KG
46	ORTOMIX	DINÂMICA ELITE	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	100 KG
47	SMART	ONE SPORT	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	100 KG
48	SMART	VEGA SPORT	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	100 KG
49	PANTHERA	S2	MONOBLOCO	1" 90°	NÃO	100 KG
50	PANTHERA	S2 SWING	MONOBLOCO	1" 90°	SIM	100 KG
51	PANTHERA	U2 LIGHT	MONOBLOCO	1" 90°	NÃO	100 KG
52	PANTHERA	X	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	100 KG
53	INVACARE	TOP END CROSSFIRE T7A	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	100 KG
54	QUICKIE	2 LIGHT	MONOBLOCO	1" 90°	SIM	120 KG
55	QUICKIE	2 LIGHT PÉ REMOVÍVEL	MONOBLOCO	1" 90°	SIM	120 KG
56	QUICKIE	GT	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	120 KG
57	QUICKIE	Q7	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	120 KG
58	QUICKIE	QRI	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	120 KG
59	TILITE	2GX FIXA	X	1" 90°	SIM	113 KG
60	TILITE	2GX SWING - AWAY	X	1" 90°	SIM	113 KG
61	TILITE	AERO R FIXA	MONOBLOCO	1" 90°	NÃO	113,3 KG
ITEM	MARCA	MODELO	ESTRUTURA	MANCAL	ALONGADOR	PESO DO USUÁRIO

62	TILITE	AERO R SWING	MONOBLOCO	1" 90°	NÃO	113,3 KG
63	TILITE	AERO T	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	120,2 KG
64	TILITE	AERO Z	MONOBLOCO	1.1/4" 90°	NÃO	120 KG
65	TILITE	TR	MONOBLOCO	1" 90°	NÃO	113 KG
66	TILITE	TX	X	1" 90°	NÃO	113 KG

Fonte: AUTOR, 2017.

ANEXO II - CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO PARA O SIMULADOR DE ANÁLISE DE ESTABILIDADE DINÂMICA REALIZADO NO SOFTWARE MATEMÁTICO MATLAB R2012B ®

```

clc
%% Declaração das constantes do protótipo
L=1033.95; %1072
d=443.86; %321.22
b=227.42; %340
h=487.98; %799.64
m=217; %132
a=360.53

% L=500;
% b=350;
% h=700;
% d=100;

g=9.81;
W=m*g;

%% Cálculo de estabilidade estática
% Tombamento traseiro - ângulo limite
tetae=(atan(d/h))
tetaedeg=rad2deg(tetae)
% Tombamento dianteiro - ângulo limite
tetae2=(atan((L-d)/h))
tetae2deg=rad2deg(tetae2)
% Tombamento lateral
phi=(atan((a-b)/L))
phideg=rad2deg(phi)

c=(L-d)*tan(phi)

%betae=atan(b/L)
%betaedeg=rad2deg(betae)

b2=(a-c)*cos(phi)           %b2=(L-d)*sin(betae)

gamae=atan(b2/h)
gamaedeg=rad2deg(gamae)

%% Cálculo de estabilidade dinâmica
% Matrizes de transformação

tetaedeg=45
gamaedeg=45

a=-tetaedeg;
b=-gamaedeg;
for(i=1:(2*tetaedeg))
    for(j=1:(2*gamaedeg))
        teta=deg2rad(a);

```

```

gama=deg2rad(b);

TETA(i,j)=a;
GAMA(i,j)=b;

Rxxgama=[1 0 0;0 cos(gama) -sin(gama); 0 sin(gama) cos(gama)];
Ryrteta=[cos(teta) 0 sin(teta);0 1 0; -sin(teta) 0 cos(teta)];

ro=2500;

alfa=asin(d/ro);
Rzalfa=[cos(alfa) -sin(alfa) 0;sin(alfa) cos(alfa) 0;0 0 1];

R01=Rxxgama.*Ryrteta.*Rzalfa;

% Matriz de transformação do sistema de coordenadas inercial fixo 0 para o
% sistema móvel 1

R012=[cos(alfa)*cos(teta) cos(alfa)*sin(teta)*sin(gama)-
sin(alfa)*cos(gama) sin(alfa)*sin(gama)+cos(alfa)*sin(teta)*cos(gama);
sin(alfa)*cos(teta)
cos(alfa)*cos(gama)+sin(alfa)*sin(teta)*sin(gama)
sin(alfa)*sin(teta)*cos(gama)-cos(alfa)*sin(gama);
-sin(teta) sin(gama)*cos(teta) cos(gama)*cos(teta)];

% Vetor braço de momento

K=[0 h/1000 b2/1000];

% Vetores coluna {E*}, {A*}, {P*}

E=[cos(alfa)*sin(teta)*sin(gama)-sin(alfa)*cos(gama);
cos(alfa)*cos(gama)+sin(alfa)*sin(teta)*sin(gama);
cos(teta)*sin(gama)];

A=[cos(alfa)*cos(teta);
sin(alfa)*cos(teta);
-sin(teta)];

P=[cos(alfa)*sin(teta)*cos(gama)+sin(alfa)*sin(gama);
-cos(alfa)*sin(gama)+sin(alfa)*sin(teta)*cos(gama);
cos(teta)*cos(gama)];

% Somatório de momentos em relação ao eixo de tombamento TT
% Isolando vx

at=5;
vx(i,j)=sqrt((ro/1000*(at*K*A+g*K*P))/(K*E));
if(vx(i,j)<0.0001)
    vx(i,j)=0;
    tomb=[TETA,GAMA];
end
VXKM(i,j)=vx(i,j)*3.6;
b=b+1;

end
b=-gamaedeg;
a=a+1;

```

```

end
i=0;
%subplot(1,2,1);
surf(GAMA,TETA,VXKM);
shading('interp')
light
lighting('phong')
campos([500 500 100])
camlight('left')
camproj('orthographic')
title('ANÁLISE DE ESTABILIDADE DINÂMICA');
xlabel('Gama (°)');
ylabel('Teta (°)');
zlabel('Velocidade limite (Km/h)');
colormap(jet);
colorbar('location','eastoutside');
%subplot(1,2,2);
%contour(VXKM);

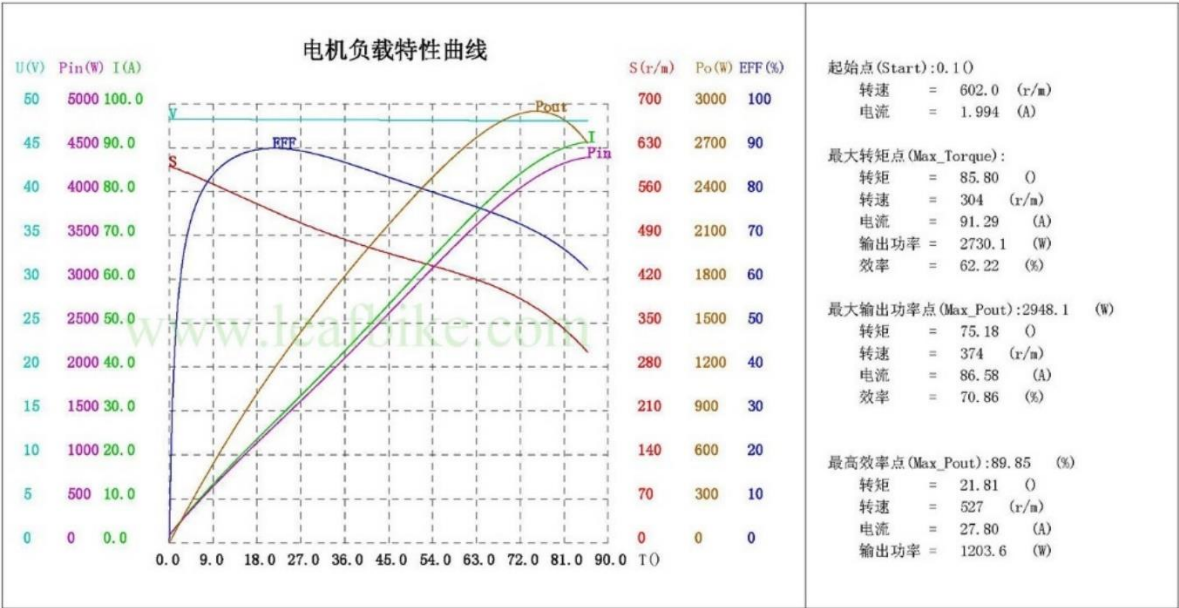
```

ANEXO III - CURVA DE DESEMPENHO – MOTOR BRUSHLESS SEM ENGRENAGENS 1500 W

Leaf Motor Technology Co Ltd.

电机型号 (Type): 205 / 35H Hub Motor
单位名称 (Company): Leaf Motor
测试人 (Tester):
测试日期 (Test Date): Jan 5th, 2015

额定电压 (Voltage): 48V
额定电流 (Current Rated):
额定功率 (Power Rated): 1500W
额定转速 (Speed Rated):



电机型号				额定电压	0 (V)		
单位名称				额定电流	0 (A)		
测试人				额定功率	0 (W)		
测试日期	2014-8-12			额定转速	0 (r/m)		
No.	U (V)	I (A)	Pin (W)	T (O)	N (r/m)	Pout (W)	η (%)
001	48.24	1.994	96.23	0.1	602.0	8.30	8.6
002	48.24	2.034	98.14	0.1	602.0	8.30	8.6
003	48.24	2.727	131.5	0.5	600.0	33.14	26.0
004	48.23	4.648	224.2	2.1	594.0	131.0	60.4
005	48.23	7.928	382.4	4.8	583.0	297.8	77.9
006	48.22	11.65	562.0	8.0	574.0	482.7	85.9
007	48.22	15.91	767.3	11.4	560.0	675.2	88.0
008	48.21	20.58	992.4	15.6	549.0	900.6	90.7
009	48.20	25.90	1248	20.0	534.0	1125	90.1
010	48.19	31.23	1505	24.8	519.0	1352	89.8
011	48.18	37.03	1784	29.7	504.0	1579	88.5
012	48.16	43.09	2075	35.1	489.0	1799	87.0
013	48.15	49.42	2380	40.4	474.0	2023	85.3
014	48.13	55.98	2694	46.8	454.0	2228	82.7
015	48.12	62.82	3023	52.6	442.0	2453	81.1
016	48.10	70.21	3377	59.3	426.0	2648	78.4
017	48.08	77.66	3734	65.7	410.0	2841	76.1
018	48.06	85.82	4124	72.4	393.0	2979	72.2
019	48.03	89.34	4291	79.0	356.0	3019	70.3
020	48.07	90.77	4364	85.8	301.0	2705	58.0

ANEXO IV - RELATÓRIOS DE ENSAIO

Estabilidade estática

O relatório de ensaio apresentado busca identificar os limites angulares máximos suportados pelo veículo analisado na iminência do tombamento. Toma-se como referência a Parte 1 da Norma ABNT NBR ISO 7176, tal qual especifica um método eficiente para determinar as inclinações máximas suportadas antes que ocorram os tombamentos lateral ou longitudinal por meio de uma análise estática, a fim de obter resultados comparativos.

1) Técnicos: Júlio Oliveto Alves, Lúcio Oliveto Alves e Ramon Almeida.

2) Local de realização: Livre – Montagem de Produtos Assistivos

3) Endereço: Rua das Petúncias, 20. Jardim Motorama. CEP: 12.224-240. São José dos Campos/SP. Brasil.

4) Requisitos para o ensaio:

1. Plataforma de inclinação longitudinal variável de 0 a 50°;
2. Plataforma de inclinação lateral variável de 0 a 40°;
3. Meios pelos quais a descida da superfície de ensaio pode ser ajustada;
4. Meios de prevenir que as rodas rolem e que não afetem a liberdade do veículo para reclinar apropriadamente no eixo para o ensaio;
5. Meios de prevenir que as rodas deslizem e que não afetem a liberdade do veículo para reclinar sobre os pontos de contato na superfície de ensaio;
6. Meios de limitar a extensão da reclinção do veículo em relação à superfície de ensaio;



Plataforma de inclinação longitudinal variável



Plataforma de inclinação lateral variável

5) Ocupante humano: Estatura: 1,80 m; Massa: 90 kg.

7) Equipamento ensaiado:

1. Veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal;
2. Cadeira de rodas: Marca Ortobrás, modelo M3, configuração de 400 mm de largura, 400 mm de profundidade do assento e 400 mm altura do encosto.

8) Configuração do equipamento ensaiado:

1. Distância entre eixos: 1050 mm
2. Altura do componente mais próximo ao plano horizontal: 50 mm
3. Foto do equipamento ensaiado:



9) Resultados do ensaio:

Estabilidade longitudinal

Ensaio	Inclinação suportada (°)
Tombamento frontal	45,0 °
Tombamento traseiro	41,0 °

Fotos



Tombamento frontal

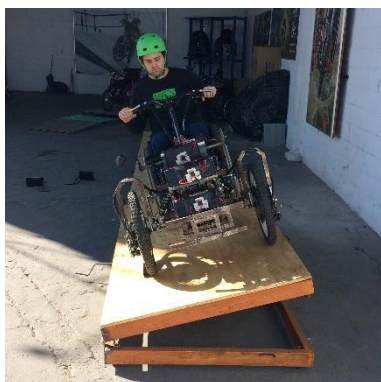


Tombamento traseiro

Estabilidade lateral

Ensaio	Inclinação suportada (°)
Tombamento lado direito	32,00 °
Tombamento lado esquerdo	32,00 °

Fotos



Tombamento lado direito



Tombamento lado esquerdo

10) Detalhes da técnica utilizada:

A preparação do veículo para o ensaio seguiu as orientações impostas pela Norma citada nesta seção, o ensaio requer que cada parte ajustável do equipamento seja fixada com as maiores e menores configurações estáveis na direção da inclinação. Os ajustes a serem considerados são baseados na Parte 22 da Norma ABNT NBR ISO 7176 e busca ser coerente com a operação normal do veículo desenvolvido conforme resultados teóricos obtidos.

O ensaio de estabilidade propõe o uso de um dos bonecos de ensaio especificados pela Parte 11 da Norma ABNT ISO 7176, cuja massa seja igual ao máximo da massa do ocupante recomendado ao uso do equipamento proposto, estipulado nas premissas de projeto. No entanto, a falta de um boneco de ensaio padronizado impediu a sua utilização durante os procedimentos de teste, o qual foi substituído por um ocupante humano com perfil similar ao modelo teórico utilizado para cálculos, ou seja, peso de 90 kg e estatura de 1,70m.

O primeiro estudo avaliou a estabilidade longitudinal frontal do veículo, posicionado na superfície de ensaio da plataforma de estabilidade longitudinal com a frente posicionada para o eixo de rotação da plataforma, no sentido de descida quando a plataforma se mantém inclinada. Foi indicado o seu posicionamento de maneira que uma linha através dos eixos em declínio estivesse paralela em $\pm 3^\circ$ para o eixo de inclinação da superfície de ensaio. Um obstáculo de rolagem foi posicionado à frente das rodas dianteiros de modo a impedir a rolagem inesperada do veículo em análise, assim como fixadores flexíveis foram instalados sobre o eixo traseiro da cadeira de rodas, afim de impedir o prolongamento do tombamento durante a análise.

Iniciado o procedimento de análise através do aumento da inclinação do plano gradualmente em 1° o veículo alcançou o ângulo de tombamento e esse momento foi registrado.

O veículo foi reposicionado sobre a plataforma de ensaio para a análise de tombamento longitudinal traseiro. Desta vez, o obstáculo de rolagem foi posicionado atrás das rodas traseiras, no sentido de descida da rampa.

O primeiro ensaio de estabilidade lateral considerou o veículo posicionado na superfície de ensaio da segunda plataforma com o seu lado direito sobre o eixo de rotação da plataforma, ajustando o eixo de rotação paralelo do veículo $\pm 3^\circ$ para o eixo de rotação da superfície de ensaio.

O equipamento analisado apresenta os rodízios dianteiros da estrutura da cadeira de rodas suspensos, desta forma, o ensaio desconsiderou as configurações de estabilidade desses componentes ajustáveis. Contudo, a configuração adotada do veículo para esta análise foi o alinhamento paralelo das rodas dianteiras em relação às rodas traseiras da cadeira de rodas acoplada. Dois fixadores flexíveis foram adicionados sobre as rodas dianteira e traseira esquerdas de modo a impedir o prolongamento do tombamento lateral.

O procedimento foi realizado de forma análoga ao lado esquerdo do veículo posicionado sobre o eixo de rotação da plataforma. Após essa etapa de ensaios de estabilidade, os limites angulares de tombamento longitudinal e lateral foram identificados conforme as diretrizes da Norma ABNT NBR ISO 7176.

11) Data de emissão: 24/07/2017**12) Assinaturas:**

Júlio Oliveto Alves

Lúcio Oliveto Alves

Ramon Almeida

RELATÓRIO DE ENSAIO

Capacidade de transposição de obstáculo

O relatório de ensaio apresentado busca identificar as alturas máximas para subir e descer obstáculos suportadas pelo veículo analisado. Toma-se como referência a Parte 10 da Norma ABNT NBR ISO 7176, tal qual especifica um método eficiente para determinar a capacidade das cadeiras de rodas de subida e descida nos obstáculos, a fim de obter resultados comparativos.

1) Técnicos: Júlio Oliveto Alves, Lúcio Oliveto Alves e Ramon Almeida.

2) Local de realização: Livre – Montagem de Produtos Assistivos

3) Endereço: Rua das Petúnias, 20. Jardim Motorama. CEP: 12.224-240. São José dos Campos/SP. Brasil.

4) Requisitos para o ensaio:

7. Plataforma elevatória com altura variável de 0 a 240 mm;
8. Plataforma fixa para deslocamento;

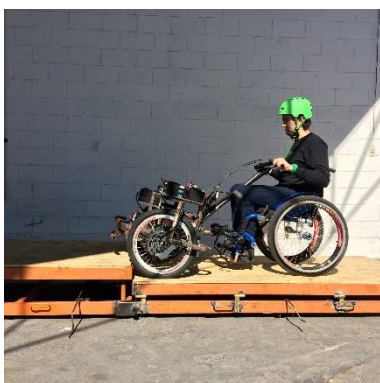
5) Ocupante humano: Estatura: 1,80 m; Massa: 90 kg.

7) Equipamento ensaiado:

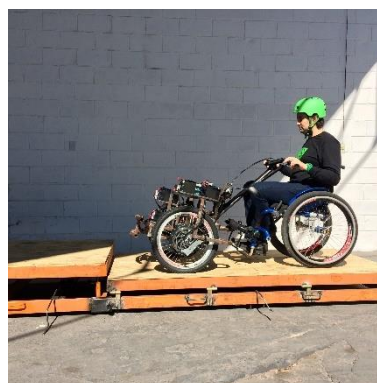
3. Veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal;
4. Cadeira de rodas: Marca Ortobrás, modelo M3, configuração de 400 mm de largura, 400 mm de profundidade do assento e 400 mm altura do encosto.

8) Configuração do equipamento ensaiado:

4. Distância entre eixos:
5. Altura do componente mais próximo ao plano horizontal:
6. Foto do equipamento ensaiado:



Ensaio com ponto de partida na origem em 0



Ensaio com ponto de partida à 500mm da origem

9) Resultados do ensaio:

Ensaio	Altura máxima (subida) H_{max_s} (mm)	Altura máxima (descida) H_{max_d} (mm)
Frente (posição de partida na origem)	110 mm	180 mm
Frente (posição de partida em 500mm da origem)	150 mm	180 mm
Ré (posição de partida na origem)	100 mm	150 mm
Ré (posição de partida em 500mm da origem)	140 mm	150 mm

10) Detalhes da técnica utilizada:

Subida: O primeiro ensaio ocorreu com o veículo posicionado sobre a plataforma de ensaio em um ângulo de incidência para o obstáculo de $90^\circ \pm 5^\circ$, com as suas rodas alinhadas na posição do movimento para a frente mantendo contato com o obstáculo. O acionamento do dispositivo de controle foi acionado em velocidade máxima até que o veículo superou o obstáculo com todas as rodas sobre a plataforma elevada. Este procedimento foi repetido até que não fosse possível a superação do obstáculo. Após a última tentativa de subida, a altura máxima foi registrada. Em seguida, a segunda fase do ensaio considerou um aumento de 500mm $\pm$ 25mm na distância horizontal entre o obstáculo e a parte dianteira do veículo na direção do movimento para a frente. Os procedimentos de subida do obstáculo foram executados de mesmo modo como ocorrido na primeira análise. Também foram realizados os procedimentos de subida do veículo sobre o obstáculo em modo de reversão, ou seja, marcha a ré seguindo os mesmos procedimentos.

Descida: o veículo foi posicionado sobre a plataforma elevatória para o ensaio de capacidade máxima de descida. Nesta fase, o veículo foi posicionado em um ângulo de incidência de $90^\circ \pm 5^\circ$ e com a distância de 500 mm $\pm$ 25mm entre a borda e o ponto de contato das rodas dianteiras com a direção do movimento para a frente. Então, o ocupante humano conduziu o veículo para fora da plataforma até que todas as rodas estivessem no plano horizontal abaixo da plataforma. Os procedimentos foram repetidos até que não fosse mais possível descer o obstáculo. Por fim, os procedimentos foram realizados para o veículo em movimento para trás em descida da plataforma elevada.

11) Data de emissão: 24/07/17

12) Assinaturas:

Júlio Oliveto Alves

Lúcio Oliveto Alves

Ramon Almeida

RELATÓRIO DE ENSAIO

Eficácia dos freios

O relatório de ensaio apresentado busca identificar o desempenho dos freios no veículo analisado. Toma-se como referência a Parte 3 da Norma ABNT NBR ISO 7176, tal qual especifica um método eficiente a capacidade de uma cadeira de rodas parar de forma segura no nível do solo e em uma inclinação, bem como determina a capacidade de uma cadeira de rodas ficar parada quando estacionada em um declive, a fim de obter resultados comparativos. Neste estudo também é referenciado pela Norma ABNT NBR 14868 que estabelece os requisitos de segurança e os métodos de ensaio para o conjunto de freio de bicicleta em velocidade máxima de 25 km/h em pista seca e 16 km/h em pista molhada.

1) Técnicos: Júlio Oliveto Alves, Lúcio Oliveto Alves e Ramon Almeida.

2) Local de realização: Livre – Montagem de Produtos Assistivos

3) Endereço: Rua das Petúncias, 20. Jardim Motorama. CEP: 12.224-240. São José dos Campos/SP. Brasil.

4) Requisitos para o ensaio:

9. Pista de teste com comprimento de 50 a 100m em seu lado maior, onde o veículo seja capaz de atingir a sua velocidade máxima. Enquanto, o lado menor deve ter um comprimento suficiente para a manobra sem parada;
10. Velocímetro ou tacômetro calibrado (com precisão de $\pm 5\%$) para indicar ao ocupante humano a velocidade aproximada no início da frenagem;
11. Dispositivo de registro de velocidade (com precisão de $\pm 2\%$) para registrar a velocidade no início da frenagem;
12. Sistema de registro a distância (com precisão de $\pm 1\%$) para registrar a distância de frenagem.



Pista de teste

5) Ocupante humano: Estatura: 1,80 m; Massa: 90 kg.

7) Equipamento ensaiado:

5. Veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal;
6. Cadeira de rodas: Marca Ortobrás, modelo M3, configuração de 400 mm de largura, 400 mm de profundidade do assento e 400 mm altura do encosto.

8) Configuração do equipamento ensaiado:

7. Distância entre eixos: 1050 mm
8. Altura do componente mais próximo ao plano horizontal: 50 mm

9. Foto do equipamento ensaiado:



Ensaio de eficácia dos freios em pista concretada com 50 m de comprimento.

9) Resultados do ensaio:**Direção em frente em condição seca sobre superfície plana horizontal**

Velocidade máxima	15 km/h			25 km/h			42 km/h		
Ensaio	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)
1	1,18	1,96	1,91	2,18	3,15	2,57	4,18	9,63	5,39
2	1,17	2,13	1,66	1,86	3,43	3,02	5,07	7,34	6,25
3	1,04	2,16	1,83	1,78	3,52	2,96	4,82	7,78	6,28
Resultado final (média aritmética)	1,48	2,08	1,80	1,93	3,37	2,85	4,69	7,35	5,97

Direção em reversão em condição seca sobre superfície plana horizontal.

Velocidade máxima	15 km/h			25 km/h			42 km/h		
Ensaio	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)
1	3,23	2,34	2,67	X	X	X	X	X	X
2	2,69	2,35	2,56	X	X	X	X	X	X
3	2,60	2,21	2,77	X	X	X	X	X	X
Resultado final (média aritmética)	2,84	2,30	2,67	X	X	X	X	X	X

Direção em frente em condição seca sobre superfície inclinada em 8 %.

Velocidade máxima	15 km/h			25 km/h			42 km/h		
Ensaio	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)
1	1,32	2,30	1,98	2,01	3,75	3,20	4,38	9,11	7,58
2	1,34	2,17	2,23	2,05	3,29	3,59	4,47	8,95	7,31
3	1,25	2,51	2,18	1,94	4,09	3,48	4,23	8,71	7,28
Resultado final (média aritmética)	1,30	2,33	2,13	2,00	3,71	3,42	4,36	8,92	7,39

Direção em reversão em condição seca sobre superfície inclinada em 8 %.

Velocidade máxima	15 km/h			25 km/h			42 km/h		
Ensaio	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)
1	4,64	3,79	3,98	X	X	X	X	X	X
2	4,31	3,45	4,15	X	X	X	X	X	X
3	4,51	3,60	4,06	X	X	X	X	X	X
Resultado final (média aritmética)	4,49	3,61	4,06	X	X	X	X	X	X

Direção em frente em condição seca molhada sobre superfície plana horizontal

Velocidade máxima	15 km/h			25 km/h			42 km/h		
Ensaio	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)
1	1,51	2,66	2,27	1,98	4,15	3,40	5,02	8,40	6,57
2	1,79	2,35	2,35	2,34	3,96	3,25	5,07	8,35	6,75
3	1,74	2,70	1,98	2,22	4,52	3,34	5,18	8,51	6,78
Resultado final (média aritmética)	1,68	2,57	2,20	2,18	4,21	3,33	5,09	8,42	6,70

Direção em reversão em condição molhada sobre superfície plana horizontal.

Velocidade máxima	15 km/h			25 km/h			42 km/h		
Ensaio	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)
1	3,14	2,94	2,87	X	X	X	X	X	X
2	3,01	3,05	2,86	X	X	X	X	X	X
3	3,30	2,74	2,76	X	X	X	X	X	X
Resultado final (média aritmética)	3,15	2,91	2,83	X	X	X	X	X	X

Direção em frente em condição molhada sobre superfície inclinada em 8 %.

Velocidade máxima	15 km/h			25 km/h			42 km/h		
Ensaio	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)
1	1,72	2,90	2,58	2,94	3,79	3,93	5,55	9,31	8,08
2	1,80	2,97	2,55	2,75	4,09	3,80	5,41	9,25	8,31
3	1,70	2,74	2,58	2,89	4,12	3,88	5,33	9,19	7,94
Resultado final (média aritmética)	1,74	2,87	2,57	2,86	4,00	3,87	5,43	9,25	8,11

Direção em reversão em condição molhada sobre superfície inclinada em 8 %.

Velocidade máxima	15 km/h			25 km/h			42 km/h		
Ensaio	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)	Modo 1 (m)	Modo 2 (m)	Modo 3 (m)
1	5,80	5,03	4,33	X	X	X	X	X	X
2	5,81	4,81	4,15	X	X	X	X	X	X
3	5,73	5,07	4,42	X	X	X	X	X	X
Resultado final (média aritmética)	5,78	4,97	4,30	X	X	X	X	X	X

Ensaio em condição seca (Dados compilados)

Os resultados compilados referentes aos ensaios de eficiência dos freios sob condição seca são apresentados a seguir:

Inclinação do plano de ensaio	Direção do movimento	Velocidade								
		15 km/h			25 km/h			42 km/h		
		M.1 (m)	M. 2 (m)	M. 3 (m)	M. 1 (m)	M. 2 (m)	M. 3 (m)	M. 1 (m)	M. 2 (m)	M. 3 (m)
Horizontal	Em frente	1,48	2,08	1,80	1,93	3,37	2,85	4,69	7,35	5,97
Horizontal	Reverso	2,84	2,30	2,67	X	X	X	X	X	X
Inclinação XX %	Em frente	3,91	2,33	2,13	2,00	3,71	3,42	4,36	8,92	7,39
Inclinação XX %	Reverso	4,49	3,61	4,06	X	X	X	X	X	X

Ensaios em condição molhada (Dados compilados)

Inclinação do plano de ensaio	Direção do movimento	Velocidade								
		15 km/h			25 km/h			42 km/h		
		M.1 (m)	M. 2 (m)	M. 3 (m)	M. 1 (m)	M. 2 (m)	M. 3 (m)	M. 1 (m)	M. 2 (m)	M. 3 (m)
Horizontal	Em frente	1,68	2,57	2,20	2,18	4,21	3,33	5,09	8,42	6,70
Horizontal	Reverso	3,15	2,91	2,83	X	X	X	X	X	X
Inclinação XX %	Em frente	1,74	2,87	2,57	2,86	4,00	3,87	5,43	9,25	8,11
Inclinação XX %	Reverso	5,78	4,97	4,30	X	X	X	X	X	X

10) Detalhes da técnica utilizada:

Considerando-se as condições de ensaio de cada Norma citada e entendendo que a velocidade do veículo supera 25 km/h, buscou-se realizar as combinações de ensaios especificadas por ambas as Normas em três condições de velocidade atingida, sendo elas, 15 km/h, 25 km/h e velocidade máxima de 42 km/h, conforme identificado durante a etapa de ensaios de velocidade máxima atingida. As etapas de aceleração e frenagem de cada ensaio foram realizadas dentro do período de 5 minutos, conforme estabelecido pela Parte 3 da Norma ABNT NBR ISO 7176. A primeira etapa de ensaios consistiu em determinar as distâncias de frenagem em superfície plana horizontal. Os meios de operação dos freios foram realizados em três modos de acionamento dos manetes de freio, sendo eles: Modo 1: acionamento do manete lado direito; Modo 2: acionamento do manete lado esquerdo; Modo 3: acionamento de ambos os manetes de freio.

Conforme a Parte 3 da Norma ABNT NBR ISO 7176 estabelece, o ensaio foi realizado em local com piso rígido em concreto em condição seca, onde o veículo foi dirigido por 10 minutos antecedentes ao início do ensaio para o atingimento de sua temperatura de trabalho. Logo após essa etapa, foram realizadas três repetições do ensaio em movimento à frente para cada modo de operação em combinação às três velocidades máximas alcançadas pelo veículo.

Os procedimentos de ensaio foram repetidos em superfície plana horizontal em movimento de reversão do veículo, em velocidade máxima de 15 km/h como critério de segurança. A Parte 3 da Norma ABNT NBR ISO 7176 cita que se uma cadeira de rodas tiver uma velocidade nominal superior a 10 km/h, é improvável que seja capaz de acelerar até sua velocidade máxima e parar sobre o plano de ensaio, uma vez que este possui 10 m de comprimento na maioria dos casos. Esta Norma ainda indica um método de ensaio alternativo para esses casos de velocidades superiores a 10 km/h, onde o plano de ensaio pode ser substituído por uma rampa de ensaio que deve ter uma região inclinada em relação à horizontal na inclinação exigida de +- 1 m de comprimento, suficiente para que a cadeira de rodas, deslocando-se para baixo no plano em sua velocidade máxima, esteja apta a parar sobre ele. O

coeficiente de atrito desta rampa não precisa estar em conformidade com a Parte 13 da Norma ABNT NBR ISO 7176, mas deve estar seca, livre de gelo e material solto, e suficientemente plana, podendo ser asfalto ou concreto. Para esta etapa de ensaios em rampa foi utilizado um trecho de rua asfaltada com inclinação de 8 % de 50 m de comprimento, neste trecho o veículo foi submetido aos mesmos procedimentos adotados na superfície plana horizontal em movimento à frente no sentido de descida.

O procedimento também foi realizado em movimento de reversão do veículo sobre a rampa de inclinação em sentido de descida.

A Norma ABNT NBR 14868 indica o método de ensaio sob condições molhadas, onde um sistema de pulverização deve ser inserido no sistema de freio do veículo e o ocupante humano deve iniciar o seu acionamento pelo menos 25 m antes do início da frenagem e continuar até que o equipamento esteja completamente em repouso.

Nesta etapa de ensaios, os procedimentos efetuados em condição molhada foram executados conforme descrito na Norma ABNT NBR 14868 e na mesma sequência que em os ensaios realizados em condição seca.

11) Data de emissão: 26/07/17

12) Assinaturas:

Júlio Oliveto Alves

Lúcio Oliveto Alves

Ramon Almeida

RELATÓRIO DE ENSAIO

Determinação de velocidade máxima, aceleração e desaceleração

O relatório de ensaio apresentado busca identificar a velocidade máxima, aceleração e desaceleração do veículo analisado. Toma-se como referência a Parte 6 da Norma ABNT NBR ISO 7176, tal qual especifica um método consistente para determinar os valores máximos de velocidade, aceleração e desaceleração, a fim de obter resultados comparativos.

1) Técnicos: Júlio Oliveto Alves, Lúcio Oliveto Alves e Ramon Almeida.

2) Local de realização: Livre – Montagem de Produtos Assistivos

3) Endereço: Rua das Petúncias, 20. Jardim Motorama. CEP: 12.224-240. São José dos Campos/SP. Brasil.

4) Requisitos para o ensaio:

13. Pista de teste com comprimento de 50 a 100m em seu lado maior, onde o veículo seja capaz de atingir a sua velocidade máxima. Enquanto, o lado menor deve ter um comprimento suficiente para a manobra sem parada;
14. Dispositivo de medição de aceleração/desaceleração com faixa de até 5m/s², precisão de 0,2 m/s², taxa de amostragem de 60Hz e uma resposta de frequência que rejeite frequências acima de 30Hz.
15. Velocímetro ou tacômetro calibrado (com precisão de +- 5%) para indicar ao ocupante humano a velocidade aproximada no início da frenagem;
16. Dispositivo de registro de velocidade (com precisão de +- 2%) para registrar a velocidade no início da frenagem;
17. Sistema de registro a distância (com precisão de +- 1%) para registrar a distância de frenagem.



Pista de teste

5) Ocupante humano: Estatura: 1,80 m; Massa: 90 kg.

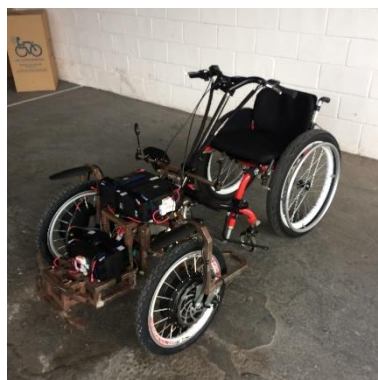
7) Equipamento ensaiado:

7. Veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal;
8. Cadeira de rodas: Marca Ortobrás, modelo M3, configuração de 400 mm de largura, 400 mm de profundidade do assento e 400 mm altura do encosto.

8) Configuração do equipamento ensaiado:

10. Distância entre eixos: 1050 mm
11. Altura do componente mais próximo ao plano horizontal: 50 mm

12. Foto do equipamento ensaiado:



9) Resultados do ensaio:

Velocidade máxima

Ensaio	Velocidade máxima V_m (m/s)
1	11,10
2	11,67
3	12,50
Média Aritmética	11,75

Velocidade máxima média: $V_{m_m} = 11,75 \text{ m/s}$

Aceleração

Considerando-se $V_{m_m} = 11,75 \text{ m/s}$

Ensaio	Tempo T_A (s)	Aceleração Geral A_0 (m/s^2)
1	4,52	2,08
2	4,38	2,14
3	4,41	2,13
Média Aritmética	4,44	2,12

Aceleração Geral final: $A_{0f} = 2,12 \text{ m/s}^2$

Desaceleração

Considerando-se $V_{m_m} = 11,75 \text{ m/s}$

Ensaio	Tempo T_R (s)	Desaceleração Geral R_0 (m/s^2)
1	2,81	3,35
2	2,32	4,05
3	2,44	3,85
Média Aritmética	2,52	3,75

Desaceleração Geral final: $R_{0f} = 3,75 \text{ m/s}^2$

10) Detalhes da técnica utilizada:

O veículo foi preparado para os ensaios conforme especificado pela Parte 22 da Norma ABNT NBR ISO 7176 e o aquecimento do sistema de controle foi efetuado por um período de 5 minutos antecedente aos ensaios.

Iniciado pelo ensaio de velocidade máxima, o ocupante humano conduziu o veículo em uma linha reta sobre o plano horizontal acionando os comandos no sentido à frente até a velocidade máxima ser atingida. Esse momento foi registrado e duas novas repetições foram realizadas.

Em seguida, o ensaio de aceleração foi realizado, após um período de 5 minutos para aquecimento do sistema de controle. Novamente, o veículo foi conduzido em linha reta sobre o plano horizontal na direção para a frente até que fosse atingido uma velocidade dentro de 3% da velocidade máxima média, Vm_m . Neste exato momento, o tempo foi medido em segundos, de modo a identificar o intervalo gasto para o equipamento acelerar de 10% +3% a 90%+3% da sua velocidade máxima média. Esse procedimento foi repetido por mais duas vezes de modo a registrar valores suficientes para garantir a segurança das informações. Com esse tempo, tornou-se possível determinar a aceleração geral através da equação:

$$A_0 = \frac{0,8}{T_A} \cdot Vm_m$$

Onde:

- A_0 é a aceleração geral, expresso em metros por segundo ao quadrado;
- T_A é o tempo de aceleração medido em segundos.

O ensaio de desaceleração ocorreu de maneira de modo inverso ao ensaio anterior, de modo que o veículo foi conduzido em linha reta no plano horizontal, com o seu dispositivo de controle acionado para velocidade máxima em direção para a frente, até atingir uma velocidade dentro de 3% da sua velocidade máxima média Vm_m . Quando atingida essa velocidade, o sistema de frenagem foi acionado até que ela fosse reduzida de 90% +3% a 10% +-3% da sua velocidade máxima média. O tempo de desaceleração foi medido e registrado. Esse procedimento foi repetido por mais duas vezes. A desaceleração geral foi obtida pela equação:

$$R_0 = \frac{0,8}{T_R} \cdot Vm_m$$

11) Data de emissão: 27/07/17

12) Assinaturas:

Júlio Oliveto Alves

Lúcio Oliveto Alves

Ramon Almeida

RELATÓRIO DE ENSAIO

Consumo de energia

O relatório de ensaio apresentado busca identificar o consumo de energia do veículo analisado. Toma-se como referência a Parte 4 da Norma ABNT NBR ISO 7176, tal qual especifica um método eficiente para determinar a capacidade de autonomia das baterias através de dois tipos de condução, contínua e manobragem, a fim de obter resultados comparativos.

1) Técnicos: Júlio Oliveto Alves, Lúcio Oliveto Alves e Ramon Almeida.

2) Local de realização: Livre – Montagem de Produtos Assistivos

3) Endereço: Rua das Petúncias, 20. Jardim Motorama. CEP: 12.224-240. São José dos Campos/SP. Brasil.

4) Requisitos para o ensaio:

18. Pista de teste com comprimento de 50 a 100m em seu lado maior, onde o veículo seja capaz de atingir a sua velocidade máxima. Enquanto, o lado menor deve ter um comprimento suficiente para a manobra sem parada;
19. Velocímetro ou tacômetro calibrado (com precisão de $\pm 5\%$) para indicar ao ocupante humano a velocidade aproximada no início da frenagem;
20. Aparelho de consumo de energia, capaz de medir a energia elétrica, expressa em watts hora, fornecida pelos terminais do conjunto de bateria do veículo, com precisão de 2%



Pista de teste

5) Ocupante humano: Estatura: 1,80 m; Massa: 90 kg.

7) Equipamento ensaiado:

9. Veículo motorizado elétrico modular de acoplamento universal;
10. Cadeira de rodas: Marca Ortobrás, modelo M3, configuração de 400 mm de largura, 400 mm de profundidade do assento e 400 mm altura do encosto.

8) Configuração do equipamento ensaiado:

13. Distância entre eixos: 1050 mm
14. Altura do componente mais próximo ao plano horizontal: 50 mm

9) Resultados do ensaio:

Capacidade nominal da bateria: $E_{bat} = 864 Wh$

Comprimento da linha de centro: $C_c = 10\text{ m}$

Condução contínua

Distância percorrida D_c (voltas)	Consumo de energia E_c (watt hora)
10	2200

Consumo específico de energia: $e_c = 11,00\text{ Wh/km}$

Autonomia teórica de distância: $R_c = 75,55\text{ km}$

Condução manobragem

Distância percorrida D_m (voltas)	Consumo de energia E_m (watt hora)
10	2500

Consumo específico de energia: $e_m = 25\text{ Wh/km}$

Autonomia teórica de distância: $R_m = 34,56\text{ km}$

10) Detalhes da técnica utilizada:

O ensaio de condução contínua ocorreu em uma sequência de dez voltas em sentido horário e dez voltas no sentido anti-horário em torno de uma pista de teste, durante este percurso o consumo de energia foi medido. A pista de testes adotada nesta fase de ensaios foi uma área de galpão industrial com comprimentos do lado maior e lado menor de 10 m e 4 m metros respectivamente. A primeira etapa do ensaio de condução contínua iniciou pelo carregamento total do conjunto de baterias. Logo em seguida, aqueceu-se o sistema de acionamento do veículo através de sua condução ao redor da pista de testes dez vezes no sentido horário e dez vezes no sentido anti-horário, mantendo-se dentro dos limites da pista. Durante a última volta do percurso, o veículo foi parado à 2 metros de distância do ponto de partida. O consumo de energia foi medido durante as vinte voltas realizadas.

Imediatamente após o aquecimento, o veículo foi conduzido em sua velocidade máxima dentro da pista de teste conforme procedimento descrito anteriormente. A partir desse resultado, tornou-se possível determinar o consumo específico de energia conforme a equação:

$$e_c = \frac{1000 \cdot E_c}{D_c}$$

Onde:

- e_c é o consumo específico de energia do ensaio de condução contínua da cadeira de rodas, expresso em watts hora por quilômetro;
- E_c é o consumo de energia durante o ensaio de condução contínua, expresso em watts hora;
- D_c é equivalente a 20 vezes o comprimento da linha de centro da pista de teste ou, se o veículo parar durante o ensaio, a distância total registrada em metros.

Com posse desse resultado, tornou-se possível calcular a autonomia teórica de distância por meio da equação:

$$R_c = \frac{E_{bat}}{e_c}$$

Onde:

- R_c é a autonomia teórica de distância de condução de bateria do veículo, expressa em quilômetros;
- E_{bat} é a capacidade nominal de energia do conjunto de bateria do veículo, expressa em watts hora.

A capacidade nominal de energia do conjunto de bateria por sua vez pode ser definida pela equação:

$$E_{bat} = V_{nom} \cdot C_5$$

Onde:

- V_{nom} é a tensão nominal do conjunto de bateria, expressa em volts;
- C_5 é a capacidade de carga da bateria por um tempo de descarga de 5 horas, conforme declarado pelo fabricante da bateria, expressa em amperes hora.

O ensaio de manobragem do veículo foi realizado de forma a conduzi-lo em um circuito entre dois marcadores distantes entre si de 5 metros, parando e virando pelo lado de fora dos marcadores, repetindo-se dez vezes o movimento em cada sentido. O recarregamento do conjunto de baterias foi necessário para a execução deste ensaio. Inicialmente o veículo foi posicionado na pista de teste com uma roda dianteira sobre um dos marcadores e de frente para o outro marcador localizado a 5 metros de distância. Neste momento, o aparelho de medição do consumo de energia foi reiniciado. O veículo foi conduzido em uma linha reta na velocidade máxima possível até passar sobre o marcador central da pista de teste, dirigindo-se até o marcador oposto. Quando a roda dianteira atingiu este marcador, a aceleração foi imediatamente interrompida e o veículo foi direcionado ao lado oposto da pista fazendo uma curva em direção ao marcador. Novamente a condução foi realizada entre os dois marcadores repetidamente por dez voltas em um circuito em forma de oito. Ao término do ensaio, o consumo específico de energia foi calculado a partir da equação:

$$e_m = 10 \cdot E_m$$

Onde:

- e_m é o consumo específico de energia do veículo no ensaio de manobragem, expresso em watts hora por quilômetro;
- E_m é o consumo de energia elétrica durante o ensaio de manobragem, expresso em watts hora.

A autonomia teórica de distância conforme ensaio de manobragem pôde ser obtida pelo auxílio da equação:

$$R_m = \frac{E_{bat}}{e_m}$$

Onde:

- R_m é a autonomia teórica de distância do ensaio de manobragem do veículo, expresso em quilômetros

11) Data de emissão: 28/07/2017

12) Assinaturas:

Júlio Oliveto Alves

Lúcio Oliveto Alves

Ramon Almeida