

TESE DEFENDIDA POR FLÁVIA BONILHA
ALVARENGA E APROVADA PEL
COMISSÃO JULGADORA EM 1/12/02.

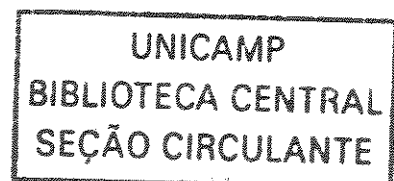
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**Desenvolvimento de Sistemas de Motorização
Alternativa para Cadeiras de Rodas
Convencionais**

Autor: Flávia Bonilha Alvarenga
Orientador: Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini

08/02



200307165

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

Desenvolvimento de Sistemas de Motorização Alternativa para Cadeiras de Rodas Convencionais

Autor: Flávia Bonilha Alvarenga

Orientador: Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini

Curso: Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2002
S.P. – Brasil

INICIAL EX
 1ª CHAMADA UNICAMP
AL86d
 / EX
 OMBO BC/ 52584
 ROC. 16-124/03
 C ☐ D ☒
 REÇO R\$ 11,00
 IATA 13103/03
 1ª CPD

CM00180700-3

B 10 284897

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
 BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

AL86d Alvarenga, Flávia Bonilha
 Desenvolvimento de sistemas de motorização
 alternativa para cadeiras de rodas convencionais / Flávia
 Bonilha Alvarenga.--Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Franco Giuseppe Dedini.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Cadeiras de rodas. 2. Deficientes físicos. 3.
 Ergonomia. 4. Desdobramento da função qualidade. 5.
 Análise do valor (Controle de custo). 6. Estabilidade. I.
 Dedini, Franco Giuseppe. II. Universidade Estadual de
 Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III.
 Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**Desenvolvimento de Sistemas de Motorização
Alternativa para Cadeiras de Rodas
Convencionais**

Autor: Flávia Bonilha Alvarenga

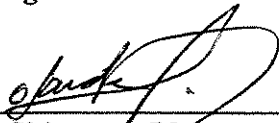
Orientador: Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini



**Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini
Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP**



**Prof. Dr. Paulo Sollero - UNICAMP
Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP**



**Prof. Dr. Paulo Shigueme Ide
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI**

Campinas, 26 de agosto de 2002

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais e aos meus irmãos *Nelson* e *Maíra*.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Aos meus pais e minha família pelo incentivo em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador Franco Giuseppe Dedini, que sempre me motivou em todos os momentos em que precisei e que me mostrou os caminhos a serem seguidos.

A todos os professores e colegas do departamento, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho.

A CAPES pelo apoio financeiro.

*Há duas formas para se viver a vida:
Uma é acreditar que não existe milagre,
A outra é acreditar que todas as coisas são um milagre.*

Albert Einstein(1879 – 1955)

Resumo

ALVARENGA, Flávia Bonilha, *Desenvolvimento de Sistemas de Motorização Alternativa para Cadeiras de Rodas Convencionais*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 192 p. Dissertação (Mestrado).

A cadeira de rodas é provavelmente a mais importante ferramenta na reabilitação social de pessoas com deficiência física. A cadeira de rodas convencional é composta de quatro rodas de larguras estreitas. Duas delas com diâmetro grande estão montadas no eixo posicionado abaixo da porção do assento da cadeira. As outras duas com diâmetro menor (normalmente denominado Castors) podem ser posicionadas em frente ou atrás das de diâmetro grande. O objetivo deste trabalho é analisar as possibilidades de se motorizar cadeiras de rodas convencionais, visto que as cadeiras de rodas manuais representam a maioria (~75%) das cadeiras de rodas existentes. Este trabalho apresenta uma introdução sobre as pessoas portadoras de deficiência física, aspectos sociais e problemas enfrentados com a acessibilidade. Foram feitos estudos sobre os tipos de cadeiras de rodas, um breve histórico, classificação e suas características. Foram também apresentados os tipos de motorização existentes no mercado atual, suas limitações e aplicações. Em seguida foram apresentados aspectos ergonômicos que devem ser considerados no projeto de um veículo para deficientes físicos (usuários de cadeiras de rodas). Foi aplicada uma metodologia de projeto para uma melhor análise das possibilidades de motorização. Através do equilíbrio dinâmico foi feita a análise de estabilidade dinâmica e de dirigibilidade para duas configurações básicas de cadeiras de rodas (4 rodas e 3 rodas – 1 frontal), para diferentes formas de acionamento e esterçamento. E, finalmente foram feitas simulações para obter o comportamento do produto.

Palavras Chave

- Cadeira de rodas, Mobilidade, Motorização, Metodologia de projeto.

Abstract

ALVARENGA, Flávia Bonilha, *Development of Systems of Alternative Motorization for Conventional Wheelchairs*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 192 p. Dissertação (Mestrado).

The wheelchair is probably the most important tool in the social rehabilitation of disabled people. The conventional wheelchair is comprised of four ground engaging and narrow width wheels. Two of them with large diameter are mounted on an axle positioned below the seat portion of the chair. The other two with smaller diameter (usually castor wheels) may be positioned on front or behind the large ones. The objective of this work is analyze the possibilities to motorize a conventional wheelchair, because the manual wheelchairs represent most (~75%) of the existent wheelchairs. This work presents an introduction on the disabled people, social aspects and problems faced with the accessibility. They were made studies on the types of wheelchairs, a historical abbreviation, classification and their characteristics. They were also presented the existent motorization types in the current market, their limitations and applications. Soon afterwards they were presented ergonomic aspects that they should be considered in the project of a vehicle for disabled people (users of wheelchairs). A project methodology was applied for a better analysis of the motorization possibilities. Through of the dynamic balance the analysis of dynamic stability and dirigibility for two basic configurations of wheelchairs was made (4 wheeled and 3 wheeled – 1 front wheel, for different forms of driving and steering. Finally was made simulations to obtain the behavior of the product.

Key Words:

Wheelchair, Mobility, Motorization, Project methodology.

Índice

Lista de Figuras.....	v
Lista de Tabelas.....	ix
Nomenclatura.....	x
1- Introdução.....	1
2- Pessoas Portadoras de Deficiência Física	5
2.1 Histórico da Deficiência	6
2.2 Generalização da Deficiência.....	8
2.3 Relação Trabalho, Educação e Lazer.....	9
2.3.1 A Deficiência Física.....	9
2.3.2 A Deficiência Física e o Trabalho	10
2.3.3 A Educação e o Lazer da Pessoa Portadora de Deficiência	12
2.4 Acessibilidade	14
2.4.1 Acessibilidade no Transporte	21
2.5 Dados Estatísticos.....	22
2.5.1 Dados Brasileiros.....	23
2.5.2 Dados Americanos	27
2.6 Sumário	28
3- Revisão da Literatura	29
3.1 Breve Histórico.....	30

3.2	Cadeira de Rodas.....	31
3.3	Cadeiras de Rodas Manuais:	37
3.3.1	Tipos de Cadeiras de Rodas Manuais	38
3.3.2	Elementos Básicos da Cadeira de Rodas.....	41
3.3.3	Custo da Cadeira de Rodas Manual.....	42
3.4	Cadeiras de Rodas Motorizadas	42
3.4.1	Partes de uma Cadeira de Rodas Motorizada	44
3.4.2	Custo das Cadeiras de Rodas Motorizadas.....	45
3.5	Selecionando uma Cadeira de Rodas.....	46
3.6	Métodos Alternativos para Motorização de Cadeira de Rodas Convencionais	47
3.6.1	Rebocador de Cadeiras de Rodas.....	54
3.7	Engenharia de Reabilitação.....	57
3.7.1	Tecnologia Assistiva	60
3.7.2	Tipos de Tecnologia Assistiva.....	61
3.8	Sumário.....	62
4-	Ergonomia	63
4.1	Definição de Ergonomia	64
4.2	Biomecânica	65
4.3	Fisiologia.....	68
4.4	Processo de Propulsão da Cadeira de Rodas Manual	70
4.5	Avanços na Tecnologia de Propulsão	71
4.6	Sistemas Motorizados Assistidos	73
4.7	Antropometria.....	75
4.7.1	Características dos homens e mulheres sentados.....	79
4.8	Sumário.....	84
5-	Metodologia de Projeto	85
5.1	Processo de Desenvolvimento do Produto.....	86
5.2	Processo de Criatividade.....	89
5.3	<i>Brainstorming</i>	90
5.4	Método Morfológico.....	91
5.4.1	Análise das Soluções Encontradas no Quadro Morfológico	95

5.5	<i>Quality Function Deployment (QFD)</i>	97
5.5.1	Breve Histórico	99
5.5.2	As Diferentes Abordagens.....	100
5.5.2.1	Abordagem de Akao.....	101
5.5.2.2	Abordagem de Bob King.....	102
5.5.2.3	Abordagem de Macabe.....	102
5.5.3	Implementação do QFD	103
5.5.4	A Casa da Qualidade.....	104
5.5.5	Execução da Casa da Qualidade.....	104
5.6	Análise do Valor.....	111
5.6.1	Matriz de Consumo de Recursos	113
5.6.2	Diagrama de <i>Mudge</i>	114
5.6.3	Gráfico <i>Compare</i>	115
5.7	Sumário.....	116
6-	Estudo e Modelagem da Cadeira de Rodas	118
6.1	Tipos de Movimento da Roda	118
6.1.1	Escorregamento	119
6.2	Tipos de rodas	119
6.3	Modelagem linear das rodas - Huston (1982).....	120
6.4	Análise da Estabilidade Longitudinal e Lateral	121
6.4.1	Estabilidade Estática	122
6.5	Estabilidade Dinâmica	125
6.5.1	Modelo Linear	125
6.5.2	Estabilidade Lateral – Escorregamento.....	125
6.5.3	Estabilidade Lateral – Tombamento	133
6.5.3.1	Aplicação da Força Lateral.....	133
6.5.3.2	Plano Inclinado e Movimento Retilíneo.....	135
6.5.3.3	Curva Plana com Aceleração Positiva	139
6.5.3.4	Curva Inclínada com Aceleração Positiva.....	144
6.6	Parâmetros das Simulações.....	146
6.7	Sumário	148

7- Dirigibilidade	149
7.1 Cadeira de 4 Rodas com Acionamento Traseiro e Esterçamento Frontal	150
7.2 Cadeira de rodas com três rodas (1F) com Acionamento e Esterçamento Frontal	153
7.3 Simulações	155
7.4 Rebocador de Cadeiras de Rodas	158
7.5 Sumário.....	163
8- Conclusões	165
8.1 Sugestões para Próximos Trabalhos	167
Referências Bibliográficas	168
Sites	174
Apêndice 1	176
Apêndice 2	179
Apêndice 3	181
Apêndice 4	185
Apêndice 5	190

Lista de Figuras

2.1 Dificuldades com a acessibilidade	14
2.2 Foto de uma palestrante que não teve acesso ao palco de um curso sobre "Acessibilidade para todos"- Hospital Nossa Senhora	16
2.3 Exemplo de local com rampas	19
2.4 Exemplo de dificuldade devido à ausência de rampa	20
2.5 Dificuldade que um usuário de cadeiras de rodas encontra para abrir portas	20
2.6 Elevador eletro- hidráulico para cadeiras de rodas em ônibus urbano	21
2.7 Distribuição dos tipos básicos de deficiências, em 1991	23
2.8 Distribuição da população portadora de deficiência no Brasil, em 1991	24
2.9 Distribuição percentual dos casos de deficiência, segundo o tipo de deficiência.....	25
2.10 Participação relativa de cada tipo de deficiência, por sexo - Brasil – 1991	26
2.11 Tipo de deficiência de acordo com a idade, em 1997	27
3.1 Foto de uma cadeira de rodas capaz de subir e descer degraus	33
3.2 Fotos do Stair - Trac no aeroporto de Viracopos .Campinas - Dezembro, 2001	34
3.3 Prendendo a cadeira de rodas no Stair – Trac	34
3.4 Utilização do Stair – Trac	35
3.5 Cadeira que posiciona o indivíduo em pé	37
3.6 Triciclos, geralmente utilizados em shoppings e supermercados	37
3.7 Cadeira de rodas convencional manual	38
3.8 Cadeiras de rodas esportivas	39
3.9 Cadeira de rodas para obesos	41
3.10 Cadeira de rodas motorizada	43
3.11 A primeira Hoveround e seus criadores e o atual modelo esportivo Teknik GT	43

3.12	Cadeira de rodas montada e detalhe do dispositivo de motorização	49
3.13	Sistema de motorização servo assistida da Yamaha	50
3.14	Sistema de montagem do e- fix	51
3.15	Sistema e-fix montado em cadeira de rodas manual	51
3.16	Selecionando a potência, a sensibilidade e desmontagem das baterias-emotion	52
3.17	Foto do sistema emotion montado na cadeira de rodas convencional	53
3.18	Cadeira de rodas motorizada da Yamaha modelo JW-III	55
3.19	Distribuição dos tipos de acidentes causadores de TBIs nos EUA, em 1996	59
3.20	Distribuição das principais causas de lesão traumática da medula	60
4.1	Sistema JW-II montado em uma cadeira de rodas convencional	68
4.2	Detalhes do sistema servo - assistido JW-II	69
4.3	Usuário da cadeira de rodas preparado para aquisição de dados durante a propulsão	70
4.4	Medidas de antropometria estática, resumidas da norma alemã DIN 33402 de 1981	77
4.5	Medidas da cadeira de rodas segundo o Institute of Industrial Design	79
4.6	Máximo alcance transversal para deficientes (d) e população padrão (s)	80
4.7	Alcance máximo sagital para a população deficiente(d) e população padrão(s)	81
4.8	Limites de construção de cadeiras de rodas , segundo NBR 9050 (1994)	82
4.9	Máximo alcance trasnversal , segundo a NBR 9050, 1994	83
4.10	Máximo alcance no plano sagital, segundo NBR 9050, 1994	83
5.1	Roteiro de projeto	87
5.2	Lidando com a inspiração	91
5.3	Detalhe da motorização na roda traseira através do contato com a polia	96
5.4	Foto da cadeira com motorização interna nas rodas traseiras	96
5.5	Ciclo de melhorias trazidas pela utilização do QFD	98
5.6	<i>Benchmarking</i> da voz do consumidor	107
5.7	<i>Casa da qualidade</i>	110
5.8	Diagrama <i>Fast</i>	112
5.9	Diagrama de <i>Mudge</i> para o rebocador de cadeiras de rodas	114
5.10	Gráfico <i>Compare</i> para o rebocador de cadeiras de rodas	115
6.1	Movimento de rolamento	118
6.2	Roda rolando	119

6.3 Esquema das forças que atuam na roda em movimento	120
6.4 Distribuição de peso em cadeiras de rodas (quatro rodas) com acionamento traseiro	121
6.5 Diagrama de corpo livre para a análise de estabilidade longitudinal estática , tombamento para trás : (a) configuração com quatro rodas e (b) configuração com três rodas	122
6.6 Comportamento da estabilidade longitudinal estática (eixo Pitch) quanto ao tombamento para trás para as configurações com quatro e três rodas	123
6.7 Comportamento do ângulo crítico δ em função das variáveis l_2 e h	124
6.8 Comportamento da estabilidade longitudinal estática (eixo Pitch) quanto ao tombamento para frente para as configurações com quatro e três rodas	124
6.9 Componentes das forças do modelo bicicleta adotado para a cadeira	126
6.10 Modelo da cadeira com quatro rodas	127
6.11 Modelo para cadeira triciclo	129
6.12 Velocidade crítica para escorregamento lateral	132
6.13 Modelo de cadeira de quatro rodas em movimento retilíneo , submetido a uma força lateral externa	133
6.14 Modelo da cadeira triciclo, em movimento retilíneo, submetido a uma força lateral externa.	134
6.15 Modelo da cadeira de quatro rodas em movimento retilíneo uniforme,num plano inclinado..	135
6.16 Comportamento do ângulo crítico δ em função das variáveis b e h – 4 rodas	136
6.17 Comportamento do ângulo crítico δ em função das variáveis b e h – 4 rodas	137
6.18 Modelo da cadeira triciclo, em movimento retilíneo uniforme , num plano inclinado.....	137
6.19 Comportamento do ângulo crítico δ em função das variáveis h e l_1 - triciclo.....	138
6.20 Comportamento do ângulo crítico δ em função das variáveis h e l_1 – triciclo, vistos separadamente.....	139
6.21 Modelo de cadeira de rodas com quatro rodas em curva, com $a>0$	140
6.22 Comportamento da velocidade crítica em uma curva plana com aceleração em função das variáveis b e h	141
6.23 Comportamento da velocidade crítica em uma curva plana com aceleração em função das variáveis b e h , vistos separadamente	141
6.24 Comportamento da velocidade crítica em uma curva plana com aceleração em função das variáveis R e γ - 4 rodas.....	142

6.25 Comportamento da velocidade crítica em uma curva plana com aceleração em função das variáveis R e γ , vistos separadamente	143
6.26 Modelo para cadeira de rodas triciclo, em curva com $a>0$	143
6.27 Modelo de cadeira de rodas com quatro rodas em curva inclinada, com $a>0$	144
6.28 Comportamento da velocidade crítica em uma curva inclinada com aceleração	145
6.29 Comportamento da velocidade crítica em uma curva inclinada com aceleração	145
6.30 Modelo de cadeira de rodas triciclo, em curva inclinada, com $a>0$	146
6.31 Comportamento dinâmico para as duas configurações: (a) Velocidade limite para estabilidade lateral - tombamento em curva com $a > 0$, (b) curva inclinada ($\delta = 5,73^\circ$), com $a > 0$, (c) ângulo máximo para estabilidade lateral - tombamento em pista inclinada, e (d) influência do ângulo de inclinação da pista na velocidade limite.....	147
7.1 Diagrama de corpo livre para a cadeira de rodas com 4 rodas, com acionamento traseiro e esterçamento frontal	150
7.2 Diagrama de corpo livre para a cadeira triciclo com esterçamento frontal e acionamento frontal.....	153
7.3 Exemplo de cálculo de ângulo de esterçamento	156
7.4 Comportamento da cadeira com quatro rodas com acionamento traseiro e esterçamento frontal, quanto à variação da posição do C.G.	157
7.5 Comportamento da cadeira triciclo (1 roda frontal) com acionamento frontal e esterçamento frontal, quanto à variação da posição do C.G.	158
7.6 Cadeira de rodas manual com o rebocador	159
7.7 Simulação do conjunto cadeira-rebocador em pista plana	160
7.8 Simulação do conjunto cadeira-rebocador em pista inclinada	161
7.9 Simulação do conjunto cadeira-rebocador em pista inclinada, com aumento do diâmetro da roda motora	162

Lista de Tabelas

2.1 Condições mínimas para rampas	19
3.1 Pesquisa de métodos disponíveis (tecnologia) para aumentar a mobilidade	32
3.2 Especificações técnicas do equipamento Stair-Trac	35
3.3 Quadro comparativo dos modelos de motorização alternativa encontrados no mercado atual ..	48
4.1 Média da potência aplicada no dinamômetro	69
4.2 Resultados de consumo de oxigênio(O ₂) e batimentos cardíacos(BC)	69
4.3 Medidas de antropometria estática, resumidas da norma alemã DIN 33402 de 1981	76
5.1 Tabela com parâmetros e soluções parciais resultantes do <i>Brainstorming</i>	92
5.2 Quadro morfológico das possibilidades de motorização de cadeiras de rodas convencionais manuais	94
5.3 Desdobramento da qualidade do ponto de vista japonês	99
5.4 Fases do modelo conceitual de Akao	101
5.5 Fases de desdobramento do modelo conceitual de Macabe	102
5.6 Matriz de consumo de recursos para o rebocador de cadeiras de rodas	114
6.1 Condições Geométricas para Estabilidade Lateral – Escorregamento	132
6.2 Parâmetros de simulação	146
7.1 Parâmetros usados nas simulações	156
7.2 Variação do ângulo de esterçamento em função do tempo	157

Nomenclatura

Latinas

A e B - Constantes positivas dependentes das propriedades da roda (Huston)

$\bar{A}$ - Força de inércia causada pela aceleração longitudinal a

a - Aceleração longitudinal

a_x - Aceleração no eixo X

a_y - Aceleração no eixo Y

B - Matriz dos coeficientes das equações diferenciais

b - Largura da cadeira

b_i - Coeficientes da equação característica

C_n - Carga normal à roda

$C_{\psi F}$ - Rigidez ao escorregamento das rodas frontais (F)

$C_{\psi T}$ - Rigidez ao escorregamento das rodas traseiras (T)

c_i - Coeficientes da equação característica

$\bar{E}$ - Força de inércia causada pela aceleração lateral

F - Força externa aplicada no cadeira

F_{SR} - Força de reação do solo na roda

F_{RS} - Força de reação da roda no solo

F_{ξ} - Força de cisalhamento longitudinal da roda

F_{η} - Força de cisalhamento lateral da roda

g - Aceleração da gravidade

h - Altura do C.G. do cadeira
 I_z - Momento de inércia com relação ao eixo vertical (Z) no C.G. do cadeira
 K_f - Rigidez à inclinação frontal
 K_t - Rigidez à inclinação traseira
 K_{us} - Coeficiente de estabilidade do cadeira
 L - Distância total entre o eixo frontal e traseiro
 l_1 - Distância do C.G. do cadeira ao eixo frontal
 l_2 - Distância do C.G. do cadeira ao eixo traseiro
 M - Torque interno da roda
 m - Massa total do cadeira
 m - Posição da máxima ativação do vetor
 $P(t)$ - Potência aplicada nas rodas
 Q - Componente de S na direção do centro de curvatura
 R - Raio de curvatura
 r - Raio da roda
 T_f e T_t - Momento de inclinação frontal e traseiro
 TT - Eixo de tombamento
 U_w - Velocidade longitudinal da roda
 U_i - Forças longitudinais das rodas
 $V_{critica}$ - Velocidade limite para estabilidade lateral - escorregamento
 V_{RS} - Velocidade da roda em relação ao solo
 V_X - Velocidade do cadeira na direção do eixo X
 V_Y - Velocidade do cadeira na direção do eixo Y
 W - Peso efetivo sobre as rodas
 W_F - Peso efetivo do cadeira sobre o eixo frontal
 W_T - Peso efetivo do cadeira sobre o eixo traseiro
 $\vec{Z}$ - Resultado da soma vetorial de $\vec{A}$ e $\vec{E}$

Gregas

- β - Ângulo entre a direção do movimento e a direção de rolamento da roda (torque auto-alinhante)
- β - Ângulo entre o vetor resultante $\vec{Z}$ e a linha que define a distância entre o centro de massa do cadeira e o eixo de tombamento
- β_i - Ângulo entre a força S_i e o eixo X
- δ - Ângulo de inclinação da rampa
- δ_f - Ângulos de esterçamento frontal
- δ_t - Ângulos de esterçamento traseiro
- ϕ - Ângulo de inclinação do cadeira
- γ - Ângulo formado entre as linhas que unem o centro de curvatura da trajetória, o centro de massa do cadeira e o eixo traseiro
- φ - Ângulo formado entre o vetor $\vec{Z}$ e o eixo Y
- μ - Coeficiente de adesão entre o solo e a roda
- θ - Ângulo formado pela linha que define a distância entre o centro de massa do cadeira e o eixo de tombamento ($l_2 \cdot \sin\theta$) e a linha de centro do Cadeira
- τ - Torque aplicado nas rodas
- ω - Velocidade angular da roda
- ω_z - Velocidade angular do cadeira no eixo Z
- ψ - Ângulo de escorregamento

Abreviações

AACD – Associação de Assistência à Criança Deficiente

ADA – *American with Disabilities*

ADL – *Activities of Daily Living*

AGV - *Automatic Guided Vehicle*

AMR - *Autonomous Mobile Robot*

AV – Análise do Valor
AVD – *Autonomous Vehicle for Disabled*
CG – Centro de Gravidade
IADL – *Instrumental of Daily Living*
PAPAW - *Power - assisted wheelchair*
QFD - *Quality Function Deployment*
QFDVA - *Quality Function Deployment with Value Analysis*
TBI – *Traumatic Brain Injury*
VAHM - *Véhicule Autonome pour Handicapés Moteurs*

Siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIIPD – Ano Internacional das Pessoas Deficientes
ASI – *American Supplier Institute*
CVI – Centro de Vida Independente
DAS – *Disabled Statistic Abstract*
DIN – *Deutsches Institut für Normung*
EUA – Estados Unidos da América
FAST – *Function Analysis Sistem Technique*
FMEA – Análise de Modo e Efeito de Falhas
FTA – Análise de Árvore de Falhas
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
NR – Norma Regulamentadora
OIT – Organização Internacional do Trabalho
OMS – Organização Mundial da Saúde
ONU – Organização das Nações Unidas

Capítulo 1

Introdução

O tema deste trabalho foi escolhido devido à necessidade crescente do desenvolvimento de produtos que atendam às pessoas portadoras de deficiências, visando a melhoria de sua qualidade de vida e sua integração na sociedade. Esta necessidade, ao contrário do que possa parecer, não é uma exclusividade de países desenvolvidos, mas está cada vez mais presente nos países em desenvolvimento, como o Brasil. As causas são as mais diversas, desde o aumento da expectativa de vida da população e das exigências de qualidade de vida, até a conscientização de que o fato de uma pessoa portadora de uma deficiência é para todos os efeitos, um cidadão comum, com direitos e deveres.

A idéia de facilitar a vida das pessoas portadoras de deficiências físicas já existe há muito tempo, o que vem mudando atualmente é a maneira de como este assunto tem sido tratado pelas pessoas e pela indústria de um modo geral.

Uma das dificuldades enfrentadas por deficientes com lesões medulares (paraplégicos e tetraplégicos) além das evidentes limitações motoras de locomoção ou de integração social, é a aquisição de um equipamento indispensável ao suprimento de suas necessidades cotidianas: a cadeira de rodas.

O custo de uma cadeira de rodas motorizada é um investimento muito alto, logo a maioria dos deficientes opta pela cadeira de rodas manual convencional.

A motorização é ideal para dar autonomia em casos de subida e descida de rampas, percorrer longas distâncias, e para deficientes físicos que não possuem membros superiores aptos para impulsionar a cadeira.

O objetivo deste trabalho é analisar as possibilidades de se motorizar cadeiras de rodas convencionais, visto que existe um grande número de cadeira de rodas convencionais que são utilizadas em hospitais, residências e asilos, existe a necessidade de melhorar a mobilidade destas e oferecer maior autonomia ao usuário.

Essa aplicação será de grande viabilidade e praticidade, visto que os kits de motorização serão acoplados nas cadeiras de rodas manuais convencionais. Dessa forma o usuário poderá optar pelo uso manual da cadeira e quando necessário utilizar a motorização. O custo comparado a uma cadeira motorizada padrão deverá ser mínimo, tendo em vista o aproveitamento da cadeira convencional.

O objetivo é promover a melhoria da qualidade de vida dos usuários de cadeira de rodas, com a perfeita integração entre conforto, segurança e praticidade, promovendo a integração social e a inserção no mercado de pessoas excluídas por impossibilidade de locomoção.

Atualmente, o mercado oferece opções antagônicas para tais pessoas. A grande maioria das cadeiras acessível mostra-se bastante deficitária no atendimento das necessidades específicas.

O público alvo desse trabalho são pessoas adultas que possuem qualquer tipo de paralisia nos membros inferiores, os quais dependem da cadeira de rodas e que levam uma vida normal, ou seja, que trabalham geralmente em ambientes fechados (escritórios, comercial, escolas, etc). Também deve-se levar em consideração os momentos de lazer tais como ir ao shopping, teatro, cinema, etc.

Neste trabalho não será abordado o usuário de cadeira de rodas, o material nessa área pode ser encontrado na tese de doutorado de Becker (2000) que apresentou dados estatísticos (brasileiros e americanos) de pessoas portadoras de deficiência, usuários de cadeiras de rodas,

tipos de traumatismos e ergonomia e também pode ser encontrado em publicações específicas como: IEEE – Rehabilitation Engineering e publicações da Resna – Rehabilitation Engineering Society of North America. No entanto foram feitas pesquisas no aspecto de motorização de cadeiras de rodas convencionais e nada foi encontrado até o momento.

Os objetivos deste trabalho são evidenciados a seguir:

- Abordagens de problemas típicos em veículos autônomos utilizados em ambientes fechados, como: subida e descida de rampas, estabilidade em manobras, durabilidade de função;
- Aplicar uma metodologia de projeto no desenvolvimento de um novo produto, viabilizando a continuidade de novos melhoramentos explorando ao máximo as alternativas;
- Demonstrar como as ferramentas da Qualidade devem ser aplicadas no desenvolvimento de produto;
- Analisar as várias possibilidades de se motorizar cadeiras de rodas convencionais.

Neste trabalho o principal objetivo será o desenvolvimento de sistemas para motorização de cadeiras de rodas convencionais, sendo que a grande massa de cadeiras de rodas atualmente disponível no Brasil é do tipo mais simples que não permitem a conversão pura e simples para motorização. Neste aspecto o problema se apresenta como um desafio, pois a grande variedade de modelos e tipos de cadeiras de rodas e a falta de uma normalização rigorosa impõem o uso de tecnologias de procura de soluções e a aplicação de conhecimentos de metodologia e sistemática de projeto.

No Capítulo 2 é apresentado um estudo sobre a deficiência física, as barreiras sócio culturais e acessibilidade. O objetivo deste capítulo é mostrar as dificuldades que os usuários encontram em seu dia a dia.

No Capítulo 3 é apresentado um levantamento do estado da arte sobre o objeto cadeira de rodas, contendo: histórico, origem, tipos, características, especificações, geometria e usos. E

também uma pesquisa bibliográfica das motorizações de cadeiras de rodas convencionais existentes no mercado.

No Capítulo 4 é apresentado um estudo sobre a ergonomia que é um aspecto muito importante do deficiente físico em relação à cadeira e em relação ao espaço de trabalho.

O passo seguinte, no Capítulo 5, foi a procura das possibilidades de se motorizar cadeiras de rodas convencionais, limitações e aplicações e finalmente, após a definição de um tipo básico a servir de modelo, foi aplicada a sistemática de projeto para o desenvolvimento de um novo produto.

Nos capítulos 6 e 7 são apresentados os modelamentos cinemáticos e dinâmicos e feitas comparações entre os modos de motorização, suas vantagens e desvantagens.

No Capítulo 8, é feita a análise dos resultados obtidos nos capítulos antecedentes, comparando-se com os casos práticos em uso no mercado. São apresentadas também as conclusões e sugestões para próximos trabalhos.

Capítulo 2

Pessoas Portadoras de Deficiência Física

O público alvo deste trabalho são pessoas adultas que possuem qualquer tipo de paralisia nos membros inferiores, que possuem de 20 a 60 anos de idade, as quais dependem da cadeira de rodas e que levam uma vida normal, ou seja, que trabalham, geralmente em ambientes fechados (escritórios, comercial, escolas, etc). Também deve-se levar em consideração os momentos de lazer tais como ir ao shopping, teatro, cinema, etc. Neste aspecto é importante aprofundar um estudo sobre esse público, conhecer os aspectos sociais da deficiência física e saber como essas pessoas enfrentam os problemas de acessibilidade.

É definido para este estudo "pessoas portadoras de deficiência física" são as que apresentam grande perda ou perda total de movimento nos membros inferiores, necessitando portanto de cadeiras de rodas para locomoção.

São consideradas barreiras sócio-culturais os obstáculos que impedem ou dificultam o acesso das pessoas portadoras de deficiência ao lazer, educação e trabalho. Além das físicas ou arquitetônicas, existem algumas barreiras que não são próprias da deficiência, mas que são construídas historicamente pela sociedade que "cria" a deficiência (Cantareli, 1998).

As áreas de lazer tais como parques, hotéis, *shopping centers*, cinemas, e as mais variadas opções geralmente se instalam distantes dos centros das cidades. Essa distância entre a moradia e o lazer é um fator que exclui, principalmente, as pessoas que não tem independência na sua locomoção. Além de dependerem de transporte "especial", dependem de "voluntários" dispostos

a ajudar-lhes nas suas necessidades de locomoção. Soma-se a essas dificuldades as barreiras arquitetônicas, os equipamentos padronizados, a dificuldade econômica e a permanência nesses locais.

É importante considerar, além das barreiras físicas, também as barreiras sócio culturais, que se originam muitas vezes com a divisão de classes sociais e que podem ser agravadas com atitudes de preconceito em relação às pessoas portadoras de deficiência.

2.1 Histórico da Deficiência

A questão da "deficiência" tem acompanhado os homens desde os primórdios da civilização. Ao longo do tempo, foram sendo enfatizados diferentes aspectos, de acordo com o momento histórico e sócio-cultural em que a questão da "deficiência" se situava.

À medida que as ciências vão se modificando e assumindo novos paradigmas, também o conceito de deficiência vai sendo mais questionado e passa a ser concebido a partir de outras perspectivas, não se limitando assim, a uma visão simplesmente biológica, segundo a qual, muitas vezes, "deficiência" se confunde com doença.

É importante compreender como a questão da deficiência foi construída historicamente e de que forma os antepassados se relacionavam com as pessoas deficientes. Com esse estudo pode-se analisar quais atitudes em relação a pessoas portadoras de deficiência se reproduzem atualmente na sociedade.

Nas culturas primitivas, em que o estilo de vida era nômade e para sobreviver necessitava-se de caça e pesca, o fato de haver pessoas, no grupo, com dificuldades de locomoção, colocava em risco todo o grupo. Logo, era necessário abandonar idosos, doentes e portadores de deficiências.

Para os hebreus, "toda doença crônica ou deficiência física, ou qualquer deformação corporal simbolizava impureza ou pecado" (Silva, 1987). Exemplos de como a deficiência se relacionava com desarmonia, castigo e punição, também podem ser encontrados no museu de

Louvre, em Paris. Trata-se do código de Hamurabi, coleção mais antiga de leis conhecida, o qual indica que o castigo deveria ser a amputação de membros.

Entre os povos antigos, e até mesmo em algumas civilizações atuais, a prática de amputar membros como meio de punir e estigmatizar era considerada uma prática comum que objetivava informar a sociedade que o portador destes sinais - a amputação - era escravo, criminoso ou traidor.

De acordo com Carmo (1989), no que se refere à história dos deficientes físicos no Brasil, nos períodos colonial e imperial, os historiadores Soutley, Santos Filho e Silva descreveram que era raríssimo encontrar aleijados, cegos, surdos-mudos e coxos entre os indígenas nos primórdios da colonização. As poucas anomalias encontradas, eram resultado de guerras ou acidentes. Nos casos de deficiência congênita, as crianças eram sacrificadas pelos pais após o nascimento.

No campo da assistência ou reabilitação das pessoas deficientes, segundo Bueno (1993) somente em 1854 que as instituições começaram a surgir. Mais especificamente, na área de deficiência física, somente a partir de 1931 iniciaram as primeiras entidades voltadas ao atendimento do deficiente físico com a criação das seguintes instituições: Pavilhão Fernandinho Simonsen, na Santa Casa de Misericórdia (SP, 1931); Lar Escola São Francisco (SP, 1943) e Escola Nossa Senhora de Lourdes (Santos, 1949).

De acordo com Karhter & Pereira (1994) somente em 1979 aconteceu um movimento de âmbito mundial denotado pela ONU [2.4] ao instituir em 1981 como o Ano Internacional das Pessoas Deficientes - AIIPD. Como consequência, em 1980, em Brasília, aconteceu o "I Encontro Nacional de Entidades de Pessoas Deficientes" tendo como pauta principal a forma de representação, exercida agora pelos próprios portadores de deficiência e não mais via tutela das instituições assistenciais ou do próprio Estado.

Segundo Cantareli (1998), as pessoas portadoras de deficiência física são aquelas que se desviam em grau arbitrário das normas consideradas normais por determinado grupo social, as quais variam em função da cultura vivenciada e dos valores evidenciados pelo grupo, além dos

condicionantes sócio-econômicos que determinam as condições da pessoa portadora de deficiência.

A definição de deficiência está profundamente relacionada com o contexto social em que o deficiente vive, bem como a política à qual ele está submetido. Através das legislações as pessoas portadoras de deficiência poderão ou não ter garantido seu direito de locomoção, além de recursos tecnológicos que diminuem as limitações causadas pela deficiência (Cantareli, 1998).

2.2 Generalização da Deficiência

Para explicar o que se entende por generalização da deficiência é válido lembrar de três conceitos fundamentais na área da deficiência, publicados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) que tendem facilmente ser confundidos, são eles: *impedimento*, *deficiência* e *incapacidade* (Ribas, 1985):

O *impedimento* diz respeito a uma alteração (dano ou lesão) psicológica, fisiológica ou anatômica em um órgão ou estrutura do corpo humano. A *deficiência* está ligada a possíveis seqüelas que restringiriam a execução de uma atividade. A *incapacidade* diz respeito aos obstáculos encontrados pelos deficientes em sua interação com a sociedade, levando-se em conta a idade, o sexo, fatores sociais e culturais (Cantareli, 1998).

Como exemplos de *impedimento* pode-se citar a perda de uma perna, baixo nível de inteligência, perda parcial ou total da audição. Alguns meios de prevenção de primeiro nível podem ser: saneamento básico, educação sobre prevenção de acidentes, campanhas de vacinação.

No que se refere à *deficiência* tem-se como exemplos a deficiência visual (parcial ou total), deficiência física (amputação, paralisia), deficiência mental e deficiência múltipla. A prevenção de segundo nível pode ser feita através de reabilitação, educação especial, etc.

A *incapacidade* se refere a fatores sociais e ambientais que limitam ou impedem as ações das pessoas deficientes. Alguns exemplos como o preconceito, atitudes discriminatórias, barreiras

físicas nos espaços urbanos, nas edificações e nos transportes. O Centro de Vida Independente (CVI, 1995) sugere como forma de prevenção de terceiro nível a remoção das barreiras físicas (arquitetônicas) e sociais.

Para compreender o comportamento e o ajustamento das pessoas portadoras de deficiência é importante analisar as atitudes sociais que a maioria das pessoas tem para com as pessoas portadoras de deficiência, tais como: segregações, discriminações e rotulagem verbal.

Algumas dessas discriminações podem ser devido à ignorância sobre aspectos da deficiência, ou o desconhecimento de meios de se relacionar com indivíduos portadores de deficiência. Dessa forma tende-se a isolá-los ou simplesmente tratá-los de forma diferenciada.

Para muitas pessoas, o simples contato com o portador de deficiência, constitui-se numa situação ambígua, além de embaraçosa, pois não sabem se devem ajudar, ou tratar com igualdade. Enfim por não saberem como agir, acabam se omitindo, passando longe e fingem que não vêem. Para lidar com essas situações veja Apêndice 1.

2.3 Relação Trabalho, Educação e Lazer.

Será apresentada neste tópico alguma consideração sobre a deficiência física e as barreiras que as pessoas portadoras de deficiência encontram para ter acesso ao trabalho, educação e lazer.

Em um primeiro momento, é caracterizada a pessoa portadora de deficiência física, suas limitações, em seguida serão analisados alguns problemas que as pessoas portadoras de deficiência física encontram no trabalho, educação e lazer.

2.3.1 A Deficiência Física

A deficiência física é uma variedade de condições não sensoriais que afetam o indivíduo em termos de mobilidade, de coordenação motora geral ou da fala, como decorrência de lesões neurológicas, neuromusculares e ortopédicas, ou ainda de más formações congênicas ou adquiridas (Cantareli, 1998).

A etiologia dos defeitos físicos pode ser resultado de vários fatores, tais como: anomalias congênitas, infecções, distúrbios metabólicos, traumatismos, além de diversas causas desconhecidas.

As limitações provocadas pela deficiência em geral podem ser amenizadas com recursos tecnológicos específicos, tais como: cadeira de rodas, próteses, órteses, meios de transporte adaptados, entre outros. No entanto o elevado custo faz com que a pessoa portadora de deficiência física se torne limitada em função do poder aquisitivo.

Com o avanço da medicina, as campanhas de vacinação, o desenvolvimento da tecnologia, muitas doenças que antes causavam a deficiência motora, atualmente já estão erradicadas. No entanto, outros fatores tais como o aumento de acidentes, condições insalubres de trabalho, etc., têm contribuído para que a deficiência motora seja uma das deficiências mais comuns na sociedade.

As pessoas que utilizam cadeiras de rodas às vezes se acomodam e não encontram motivação para exercitar os membros que possuem movimentos. O lazer pode ser um meio de motivação para o movimento. Outra esfera social que poderia colaborar é o trabalho, porém as dificuldades para ingressar no mercado são grandes.

2.3.2 A Deficiência Física e o Trabalho

O valor que o trabalho representa na vida humana não pode ser questionado. É através dele que se garante a satisfação de várias necessidades, a autovalorização, o desenvolvimento de potencialidades, a auto-estima, a independência econômica, além da aceitação social.

A privação do trabalho pode decorrer do desemprego, da aposentadoria ou da deficiência que afasta as pessoas do trabalho.

O desemprego torna as pessoas portadoras de deficiência dependentes e gera stress e tensão. Os efeitos psicológicos oriundos da falta de trabalho afetam a pessoa.

Em geral, as pessoas portadoras de deficiência se submetem a trabalhar em funções bem abaixo das suas capacidades, ou recebem salários inferiores em relação às pessoas "normais" que desempenham a mesma função.

Existem ainda outros fatores que dificultam o ingresso e a manutenção das pessoas portadoras de deficiência, tais como: a exigência de requisitos básicos (boa aparência, escolaridade, experiência, exame de saúde, etc.); tendências do mercado de trabalho; diminuição de oferta de vagas; substituição gradativa do homem pela máquina; as atitudes familiares (superproteção, desvalorização, interferência na situação do trabalho).

Uma outra questão a ser considerada no aspecto do trabalho são as próprias atitudes que as pessoas portadoras de deficiência têm em relação a si mesmas que se manifestam por baixa auto-estima, insegurança, falta de iniciativa, medo de fracassar. Esses são alguns fatores que impedem a busca do trabalho.

A OIT, no que se refere aos direitos dos portadores de deficiência em relação ao trabalho, recomenda saúde e segurança no local de trabalho a fim de prevenir doenças profissionais e acidentes de trabalho, prevendo também indenizações aos trabalhadores e suas famílias por ferimentos ou morte no trabalho; reabilitação vocacional e integração comunitária.

Entende-se por reabilitação vocacional, que todas as pessoas portadoras de deficiência têm o direito a receber um treinamento que as capacite para o trabalho, para facilitar, identificar e aprender a solucionar os obstáculos na busca de um emprego. O financiamento para esse serviço de reabilitação vocacional deve ser responsabilidade do governo e deve contar também com o envolvimento ativo da comunidade (Cantareli, 1998).

É importante que a comunidade também se envolva no processo de preparação do profissional e compreenda que essas pessoas são capazes de realizar trabalho produtivo e devem ter direito ao emprego, sem exploração de sua mão de obra.

As pessoas portadoras de deficiência podem reivindicar seus direitos ao trabalho garantidos na Constituição.

No sentido de facilitar o acesso da pessoa portadora de deficiência, é preciso mais que uma legislação esquecida em papéis. Uma forma de ter o acesso seria garantir o cumprimento dessas legislações.

Outra forma também seria a de ouvir as próprias pessoas acerca de mudanças na remoção de algumas barreiras. É freqüente a queixa das pessoas portadoras de deficiência sobre as várias adaptações que são feitas nas cidades visando ajudá-las e que, no entanto, acabam sendo prejudiciais porque não levam em conta suas reais necessidades.

Cantareli (1998) relata em sua dissertação de mestrado, depoimentos de pessoas portadoras de deficiência física sobre o deslocamento ao trabalho na cidade de Campinas -SP a qual possui adaptações mal feitas. Tais como elevações nas guias das calçadas, as quais são tão altas que a cadeira "empina" e acaba por derrubar o usuário. Segundo as pessoas portadoras de deficiência física, isso acontece, porque quando os órgãos competentes da Prefeitura Municipal se propõem a "adaptar espaços" convoca para sua equipe de trabalho apenas engenheiros e técnicos, esquecendo-se do principal interessado, o usuário de cadeira de rodas, que deveria avaliar as possíveis mudanças.

2.3.3 A Educação e o Lazer da Pessoa Portadora de Deficiência

Um dos fatores condicionantes para ingressar no mercado de trabalho é o fator escolaridade. Mas como a pessoa portadora de deficiência pode ter uma educação de acordo com as exigências do mercado produtivo, se na prática ela encontra inúmeras barreiras sócio-culturais para ter acesso a essa educação?

Em virtude das limitações impostas pela própria deficiência e pelo despreparo da sociedade, a ausência da educação formal é uma realidade dramática que a maioria das pessoas portadoras de deficiência física enfrentam em suas vidas. Esse fator impede a uma grande parcela

dessas pessoas o ingresso ao mercado do trabalho, o qual prioriza cada vez mais a qualificação profissional.

No entanto para chegar até a escola, como se não bastassem as barreiras arquitetônicas, a pessoa portadora de deficiência física tem de superar ainda outros preconceitos que impossibilitam sua permanência na escola. Muitos são os professores que sob discurso da igualdade acabam por dificultar ainda mais a permanência dos deficientes na escola. Foi relatado por uma estudante usuária de cadeira de rodas que precisou contar com a ajuda dos colegas para subir escadas e assistir às aulas no segundo piso, porque o professor alegou que mudar as aulas para o térreo seria "privilegiar o deficiente" (Cantareli, 1998).

Acredita-se que não seria suficiente simplesmente remover as barreiras ambientais, uma vez que existem outras que também precisariam ser revistas, tais como aquelas que se referem às atitudes de todos os envolvidos no contexto escolar. Isso não implica que os recursos humanos devam realizar algum curso especial para receber o aluno deficiente. Pelo contrário, tudo deve ser feito no sentido de que a convivência seja a mais natural possível. É necessária somente uma orientação específica que permita solucionar adequadamente algumas dificuldades diferenciadas que a pessoa portadora de deficiência possui.

A fim de que seja garantido o princípio democrático de igualdade de oportunidades, algumas providências podem ser tomadas no sentido de facilitar o acesso da pessoa portadora de deficiência não só a escola, como também ao trabalho e lazer. No aspecto de remoção de barreiras arquitetônicas, a administração pública deveria se preocupar com guias rebaixadas, corrimãos, calçadas conservadas e livres de obstáculos, rampas ao lado de escadas, pisos antiderrapantes, portas e corredores mais largos, elevadores, sanitários adaptados, mesas que dêem acesso a cadeiras de rodas.

No que se refere à educação e reabilitação em uma perspectiva comunitária, é importante requerer maior mobilização e apoio da comunidade e do governo para que se organizem em grupos e sugiram idéias para a implementação de programas e formação de monitores e líderes comunitários.

Outro fator importante na educação é o vivenciamento da cultura esportiva na escola, pois dificilmente o aluno terá condições, na fase adulta, de participar de atividades que requeiram um certo nível técnico nas habilidades esportivas necessários à Educação Física. Com isso diminuiriam as chances de exclusão do lazer por falta de embasamento nos conteúdos.

Marcellino (1995), ao comentar sobre a relação entre educação e lazer, enfatiza dois importantes aspectos: primeiro que o lazer é um veículo privilegiado da educação e segundo que, para a prática positiva das atividades de lazer é necessário o aprendizado, o estímulo, a iniciação que possibilitam a passagem de níveis simples para níveis mais elaborados, complexos, com o enriquecimento do espírito crítico, na prática ou na observação. Dessa forma o lazer desempenha um duplo processo educativo, à medida que pode ser tanto um veículo como objeto de educação.

2.4 Acessibilidade

Segundo a Norma da ABNT 9050(1994) a acessibilidade é a possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, de edificações, espaço, mobiliário e equipamentos urbanos.

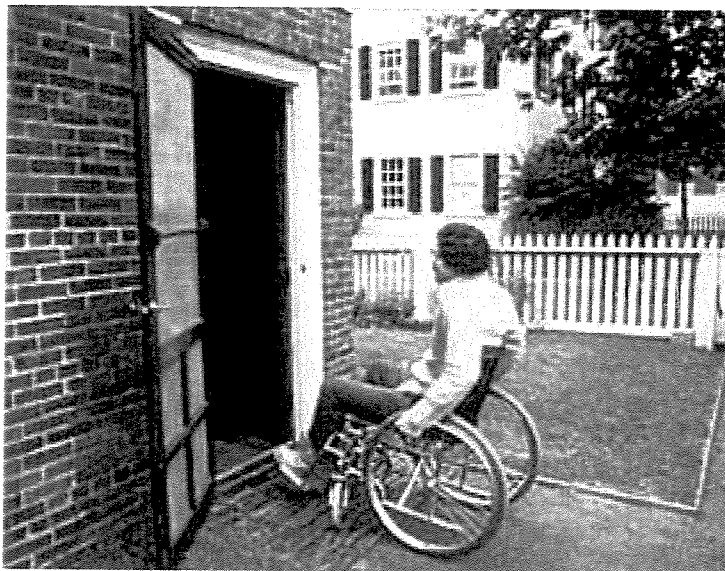


Figura 2.1 Dificuldades com a acessibilidade.

O SPTV [2.1] em entrevista pediu a um usuário de cadeira de rodas, Renato Laurenti, que enfrenta os obstáculos há dezoito anos para dar um exemplo de falta de acessibilidade. Ele sugere a Pinacoteca do Estado. Logo na entrada, existe acesso exclusivo para deficientes. Corredores largos, rampas entre uma sala e outra e um elevador facilitam o passeio pelas exposições. É o local perfeito? Quase.

Apesar de todos esses cuidados, o projeto de adaptação da Pinacoteca falhou ao lidar com uma das maiores dificuldades enfrentadas pelos deficientes físicos. Se Renato quisesse ir ao banheiro, ele teria problemas. O espaço é muito pequeno e para sair da cadeira de rodas, ele precisaria de ajuda.

Para discutir a situação dos deficientes em São Paulo, a prefeitura está promovendo uma campanha de conscientização. Já anunciou o rebaixamento de 50 mil guias até o final do governo e a obrigatoriedade de todas as novas construções terem acessos para portadores de deficiência.[2.1]

Para a maioria dos usuários de cadeira de rodas, somente um degrau pode parecer um grande obstáculo. Outras barreiras de acesso envolvendo diferenças de nivelamento do chão podem ser eliminados com o uso de uma ou mais rampas. Rampas deveriam ser empregadas além de escadas, devido ao fato de que deficientes físicos que não utilizam cadeiras de rodas preferem subir degraus a caminhar em uma inclinação (Alvarenga & Dedini, 2001).

Em 1999 o assunto de acessibilidade de “*Part M of the Building Regulations*” trouxe, pela primeira vez, exigências para que as construções de casas novas tivessem um grau de acessibilidade aplicado particularmente ao nível da entrada principal de uma casa. Isso para que deficientes físicos tenham mais liberdade para visitar a família e amigos. Enquanto as exigências não provêm uma cadeira de rodas completamente acessível a casas, deve-se prever uma base que pode estender a utilidade da casa se alguém se tornar um deficiente físico (Alvarenga & Dedini, 2001).

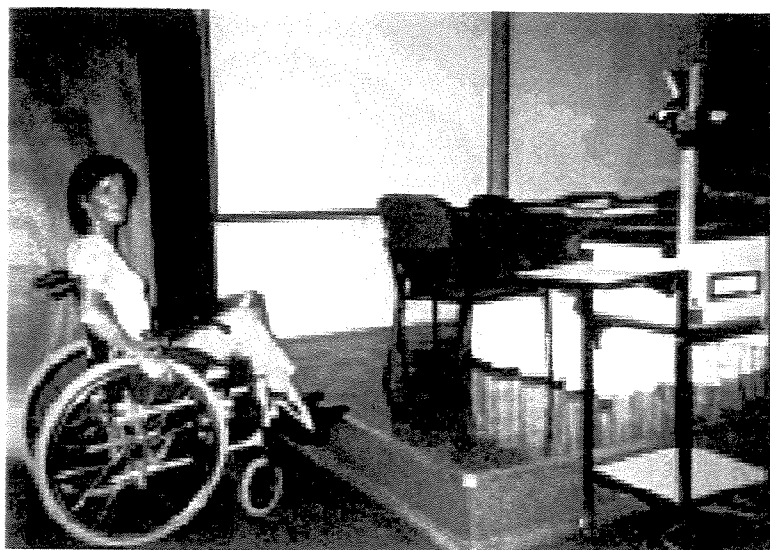


Figura 2.2 Foto de uma palestrante que não teve acesso ao palco de um curso sobre "Acessibilidade para todos"- Hospital Nossa Senhora [2.3].

Parece hilário, mas é pura realidade, a palestrante não teve acesso ao palco, pois é uma usuária de cadeira de rodas, em um curso sobre acessibilidade. O estrado onde estava colocada a mesa dos palestrantes (Figura 2.2) não era acessível - altura por volta de 20 centímetros. Impossível de transpor com a cadeira de rodas e inexistência de qualquer rampa[2.3].

Entende-se por cidade com acessibilidade para todos aquela que nas suas edificações, seu urbanismo, seu transporte e nos seus meios de comunicação, traz condições que permitam a qualquer pessoa a sua utilização com autonomia e segurança.

Atualmente as novas idéias que surgem devem seguir o conceito de acessibilidade para todos e não somente uma parcela da população.

Cantareli (1998) em seu estudo entrevistou um grupo de deficientes de Campinas (grupo Fraternidade Cristã de Doença e Deficiência de Campinas) e apresentou a síntese dos relatos sobre lazer:

Para os entrevistados, lazer significa:

- Aproveitar ao máximo o tempo;

- Sair de casa, passear;
- Jogar, praticar esporte;
- Coisa não obrigatória;
- Tudo aquilo que dá satisfação, que torna a pessoa feliz em algum lugar, com quem ela gosta de estar;
- Estar em um lugar com adaptações.

As atividades de lazer que os entrevistados mais praticavam foram:

- Passeios, saídas para barzinhos, lanchonete, sair com os amigos;
- Encontro mensal com o grupo;
- Leitura;
- Assistir TV;
- Assistir coral, orquestra sinfônica e conferências;
- Ir ao teatro;
- Ir ao shopping.

As barreiras sócio - culturais que interferem no lazer, segundo os entrevistados:

- Transporte;
- Barreiras arquitetônicas: escada, sanitários sem adaptação, corredores estreitos, adaptações mal feitas nas guias das calçadas, falta de telefones adaptados;
- Preconceito;
- Dificuldade da própria pessoa portadora de deficiência física em lidar com a deficiência;
- Problemas em relação à família;
- Condições financeiras;
- Violência.

É importante considerar a visão dos entrevistados ao afirmarem que "lazer significa estar num lugar com adaptações". Pode - se perceber que a falta de lugares adaptados pode ser considerada como uma grande barreira para o lazer.

No que diz respeito às barreiras sócio-culturais que influenciam no lazer, constatou-se que a *deficiência em si* não constitui um dos principais obstáculos na escolha das atividades de lazer. O que mais afasta as pessoas portadoras de deficiência física dos eventos de lazer são as barreiras sociais, como preconceito, e as barreiras físicas, como falta de adaptações nas ruas e construções em geral.

Sem essas barreiras, as pessoas até esquecem que têm uma deficiência, conforme relatou um dos entrevistados: *"só lembro que sou deficiente, quando vejo todo mundo me olhando, ou não consigo subir uma escada, porque não existe uma rampa ao lado. Se não fosse isso, eu nem lembrava que era deficiente, porque estou tão acostumada a ser desse jeito que para mim, ser assim é normal"* (Cantareli, 1998).

Pode-se perceber que o trabalho exerce influências no lazer à medida que aumenta o círculo de amizades, eleva a auto-estima, ajuda a romper barreiras, dá condições financeiras para a realização do lazer, promove a independência, reconhecimento das reais capacidades, eliminando-se assim muitos preconceitos.

□ Rampas

As rampas oferecem acessibilidade alternativa para os indivíduos com inaptidões de mobilidade e lhes permitem entrar e sair independentemente de suas casas e edifícios públicos. Elas também aliviam as dificuldades dos membros da família e de pessoas que cuidam do deficiente físico.

As melhores inclinações de rampas são de 1:20, no máximo de 1:12 que é permitido nas regulamentações de construção. A inclinação de 1:15 é a mais utilizada devido à facilidade do uso. Os usuários de cadeira de rodas podem inclinar para trás ou podem perder o controle diante de rampas mais íngremes que a inclinação de 1:12, assim eles não se sentem e não estão seguros.

Para subir uma rampa pode ser que o usuário necessite de dispor de muita força e por isso devem existir lugares de descanso, ou seja, entre uma rampa e outra devem haver locais planos para o descanso do usuário. Deve haver um corrimão aos lados de rampas para ajudar o usuário de cadeira de rodas.

A Tabela 2.1 mostra as condições mínimas para rampas que Norma ABNT 9050(1994) prescreve:

Tabela 2.1 Condições mínimas para rampas.

Inclinação Admissível	Desnível máximo de um único segmento de rampa	Número total permitido de seguimento de rampa	Desnível total de rampa acabada	Comprimento máximo de um único seguimento de rampa	Comprimento total de rampa permitido
1:8 ou 12,5%	0,183m	1	0,183m	1,22m	1,22m
1:10 ou 10%	0,274m	1	0,274m	2,1m	2,1m
1:12 ou 8,33%	0,793m	2	1,5m	9,15m	18,3m
1:16 ou 6,25%	0,793m	4	3,0m	12,2m	48,8m



Figura 2.3 Exemplo de local com rampas.

❑ Acesso à rua

Ao projetar uma propriedade ou várias casas, a provisão de bordas de calçadas (meio – fios) deve ser considerada cuidadosamente, de forma que residentes possam cruzar as ruas, visitar seus vizinhos e ir para áreas adjacentes. O acesso da rua para a casa também deve ser considerado. As regulamentações de construção requerem passagens suficientemente largas para passar pelos carros estacionados.



Figura 2.4 Exemplo de dificuldade devido à ausência de rampa.

❑ Acesso na casa

Deve haver um espaço de nível longo de 1200 mm fora do balanço da porta de entrada, de forma que o usuário de cadeira de rodas possa usar ambas as mãos quando estiver abrindo ou fechando a porta.



Figura 2.5 Dificuldade que um usuário de cadeiras de rodas encontra para abrir portas.

Deve ser tomado cuidado para que a entrada principal seja protegida de ventos prevalecentes e do tempo. Deve haver uma campainha na porta e uma caixa de correio a uma altura satisfatória para os usuários de cadeira de rodas e pessoas de baixa estatura, inclusive entregadores de jornal. Deve haver números claramente visíveis ou em caso de casas grandes, colocar um segundo jogo de números no portão dianteiro se os outros números da casa estiverem distantes ou se estiverem obscuros.

2.4.1 Acessibilidade no Transporte

A acessibilidade no transporte é uma das coisas que preocupam os deficientes físicos, que não tem acesso ao trabalho e ao lazer.

Dos 10 mil ônibus da frota de São Paulo, apenas 230 são adaptados para deficientes físicos. Segundo o Conselho Municipal da Pessoa Deficiente, o número está muito abaixo do que determina a lei, que exige um ônibus adaptado para cada linha. Na capital, existem mil linhas de ônibus, portanto deveriam existir pelo menos mil ônibus adaptados para deficientes na cidade [2.1].

Com a necessidade de implementar qualidade de vida às pessoas portadoras de deficiência física, as indústrias estão inovando seus produtos, como no caso do elevador para ônibus da Ortobras, fabricado no Brasil.



Figura 2.6 Elevador eletro- hidráulico para cadeiras de rodas em ônibus urbano.

Este elevador (Figura 2.6) foi especialmente desenhado para permitir o acesso de pessoas deficientes, principalmente as que utilizam cadeiras de rodas, em ônibus urbanos. A plataforma pode ser usada para pessoas deficientes e não deficientes, pois ela se transforma também em escada por meio de acionamento de comando que pode ser feita pelo motorista ou cobrador.

A plataforma viabiliza o acesso das pessoas portadoras de deficiência ao local de trabalho, locais de lazer, promovendo a integração social, especialmente quando se busca uma maior participação das pessoas deficientes no setor produtivo e no mercado de consumo em geral.

2.5 Dados Estatísticos

A Organização Mundial de Saúde (OMS), órgão da Organização das Nações Unidas (ONU) [2.4] estimou que em 1990 mais de 450 milhões de pessoas no mundo apresentavam alguma forma de deficiência física ou mental. O parâmetro utilizado para esta estimativa varia para cada país, de acordo com as condições sociais, políticas e econômicas. No caso de países subdesenvolvidos estima-se que 10% da população seja portadora de algum tipo de deficiência, no caso de países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, este valor pode chegar até a 25%. Em países envolvidos em guerras e conflitos, este número pode ser ainda maior, devido à grande quantidade de pessoas mutiladas. As principais causas de deficiência em todo o mundo são (Becker, 2000):

- ❑ **Acidentes:** particularmente acidentes domésticos, totalizando mais de 20 milhões por ano, deixando 110 mil pessoas por ano com deficiências permanentes;
- ❑ **Acidentes de Trânsito:** mais de 10 milhões de feridos por ano, cujas conseqüências podem incluir amputações, ferimentos cerebrais, paraplegia e tetraplegia;
- ❑ **Doenças Incapacitantes:** certas doenças metabólicas, infecciosas, degenerativas do sistema nervoso, muscular e cardiovascular;
- ❑ **Mutilações:** pessoas mutiladas em conflitos, guerras e acidentes de trabalho.

Se as deficiências forem classificadas em apenas 5 tipos básicos a distribuição da população mundial de portadora de deficiência (450 milhões de pessoas) segue a Figura 2.7 [2.3]:

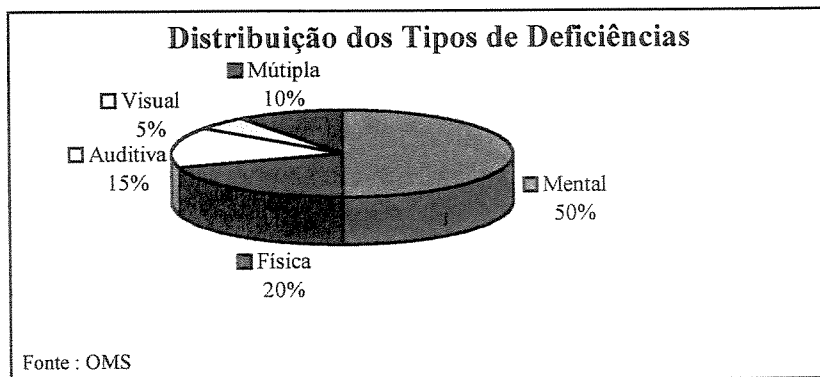


Figura 2.7 Distribuição dos tipos básicos de deficiências , em 1991.

2.5.1 Dados Brasileiros

Uma das questões que mais dificulta o desenvolvimento das políticas brasileiras de atenção à pessoa portadora de deficiência é a falta de dados que identifiquem e localizem as pessoas portadoras de deficiência, principalmente as de baixo nível de instrução, na maioria, sem acesso aos bens e serviços existentes.

Segundo a Organização Mundial de Saúde [2.3], a questão da deficiência atinge diretamente 10% e indiretamente 25% da população. Seguindo esta estimativa, no Brasil seriam respectivamente 16,1 milhões e 40,1 milhões de pessoas. A OMS [2.3] define, também, que 70% das deficiências são preveníveis.

A Lei 7853/89, de 24 de outubro de 1999 em seu art. 17 dispõe: "Serão incluídas no censo demográfico de 1990 e nos subseqüentes questões concernentes à problemática da pessoa portadora de deficiência, objetivando o conhecimento atualizado do número de pessoas portadoras de deficiência".

A lei em questão trouxe, entre outras garantias legais, a obrigatoriedade de se incluir nos censos nacionais questões específicas sobre as pessoas portadoras de deficiência, uma vez que o estudo dessa população-alvo passou a constituir condição indispensável para sustentar a definição de medidas específicas mais adequadas à realidade nacional.

O Censo 1990, realizado em 1991, incluiu a questão sobre a pessoa portadora de deficiência, mas, devido às falhas metodológicas, entre as quais a não divulgação do censo, treinamento inadequado dos pesquisadores e a falta de sensibilização da população para responder aos quesitos formulados, levaram a resultados que se mostram distorcidos dos dados oficialmente estimados pela OMS.

Segundo dados do IBGE [2.5] do Censo de 1991, de 146.815.750 habitantes, são deficientes 2.198.988 (1,49%) , com o tipo de deficiência distribuída da seguinte maneira , segue a Figura 2.8.

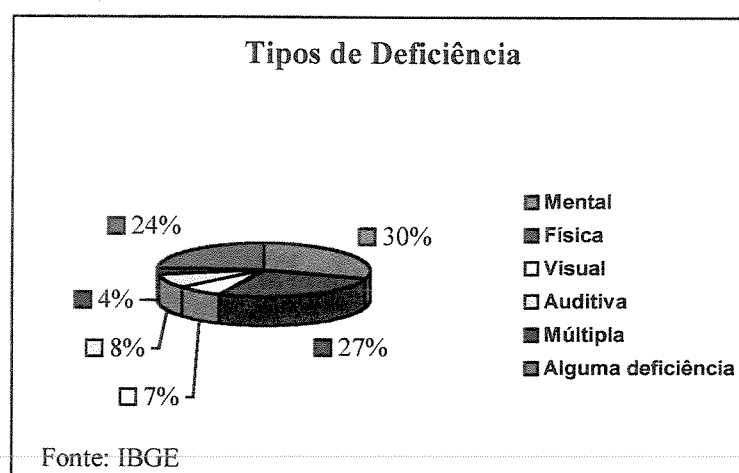


Figura 2.8 Distribuição da população portadora de deficiência no Brasil, em 1991.

Em termos percentuais, 44,4% dos deficientes são do sexo feminino e 55,6% do sexo masculino.

No Censo Demográfico de 2000 teve-se a possibilidade de se observar parte da percepção que as pessoas pesquisadas têm em relação às alterações provocadas pela deficiência nas suas capacidades de realização, no seu comportamento e na sua participação social.

Desse modo, os quesitos que fundamentaram o levantamento dos dados privilegiaram o estudo das incapacidades como ponto de partida para a identificação das deficiências e do grau de comprometimento das condições físicas e mentais das pessoas pesquisadas.

Os dados apresentados procuram informar o quadro geral das incapacidades e deficiências da população brasileira e configuram uma síntese destinada a proporcionar uma leitura inicial da Tabulação Avançada do Censo Demográfico de 2000.

Os resultados da Tabulação Avançada do Censo Demográfico 2000 indicaram que aproximadamente 24,5 milhões de pessoas, ou 14,5% da população total, apresentaram algum tipo de incapacidade ou deficiência. Incluem-se nessa categoria as pessoas com ao menos alguma dificuldade de enxergar, de ouvir, locomover-se ou com alguma deficiência física ou mental.

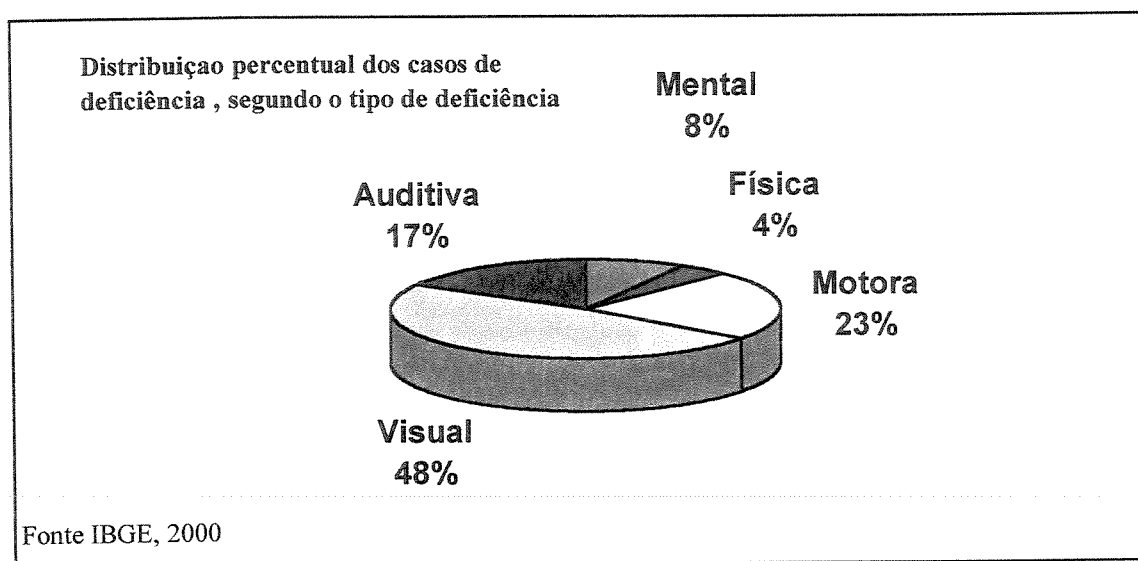


Figura 2.9 Distribuição percentual dos casos de deficiência, segundo o tipo de deficiência.

No total das deficiências pesquisadas no Censo Demográfico de 2000, a deficiência motora representou 22,9% do total de pessoas que declararam possuir alguma deficiência investigada. Certamente, uma grande proporção das pessoas idosas inclui-se na categoria de ter dificuldades para caminhar, de subir escadas, locomoção, etc. Tradicionalmente, conforme as estatísticas divulgadas pela Organização Mundial de Saúde, o peso da deficiência mental deveria ser maior que o observado em 2000, mas este fato é consequência do conceito ampliado utilizado atualmente, que inclui também diversos graus de incapacidade de enxergar, ouvir, e locomover-se. Este conceito é compatível com a International Classification of functioning, Disability and Health (2001) divulgada, recentemente, pela Organização Mundial de Saúde.

Considerando a incidência das deficiências ou incapacidades por sexo, observou-se que os homens predominam no caso da deficiência mental, física (especialmente no caso de membros ou parte dele) e auditiva.

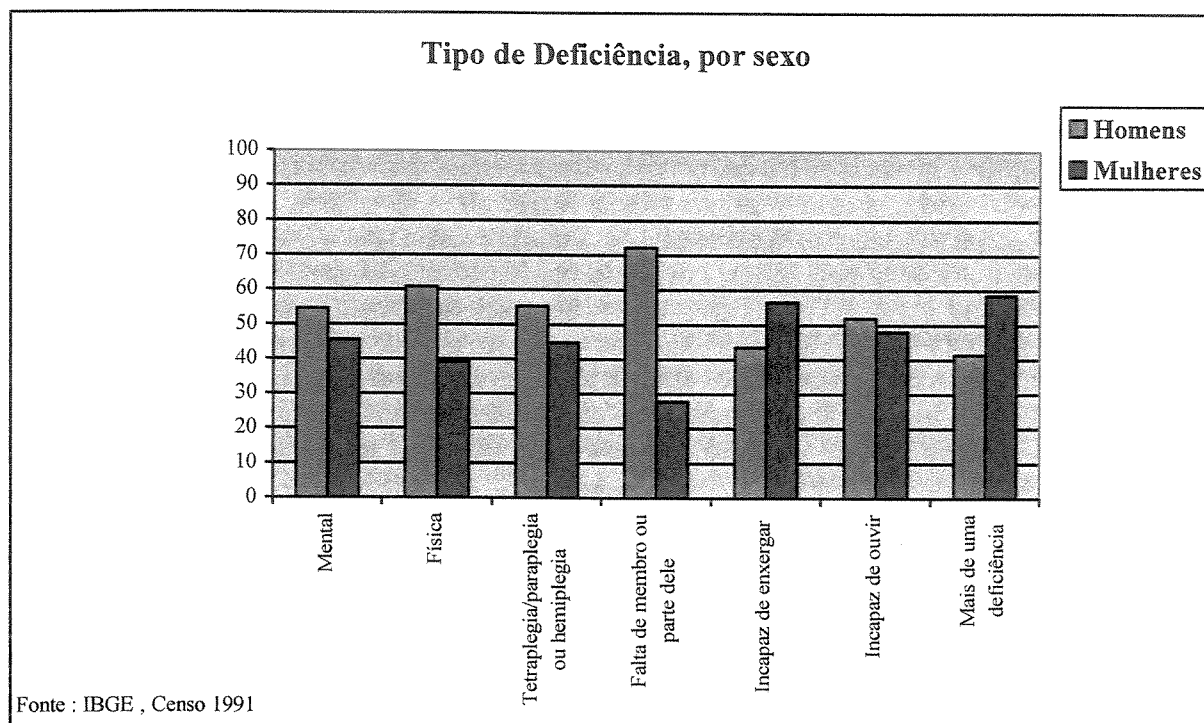


Figura 2.10 Participação relativa de cada tipo de deficiência, por sexo - Brasil - 1991 / 2000.

Este comportamento é compatível com o tipo de atividade desenvolvida pelos homens, e o risco de acidentes de diversas causas. Já a predominância das mulheres com dificuldades motoras ou de enxergar é coerente com a composição por sexo da população idosa, e o predomínio de mulheres a partir dos 60 anos.

Infelizmente os dados sobre os portadores de deficiência na população brasileira são pouco confiáveis. Comparando-se os gráficos de tipos de deficiências do Censo de 1991, observa-se que não é refletida a realidade da população brasileira, pois estes dados divergem.

Não refletindo a realidade da população brasileira, estes dados dificultam a tomada de decisões no âmbito da saúde e de medidas sociais que assistam às pessoas portadoras de deficiências.

2.5.2 Dados Americanos

De acordo com o *Americans With Disabilities* (ADA) é definido deficiência como uma limitação significativa para realizar uma atividade essencial na vida diária [2.7]. O critério utilizado para classificar as deficiências é explanado no Apêndice 2.

Segundo dados do censo de 1997 [2.7], a população total portadora de deficiência nos EUA era de 52,6 milhões de pessoas, ou seja, 19,7% da população total (267,7 milhões de pessoas).

Da população total com idade acima de 15 anos (208,1 milhões de pessoas), foi constatado que 2,2 milhões de pessoas utilizam cadeiras de rodas.

Como pode ser observado na Figura 2.11, o aumento da faixa etária reflete-se na redução de qualidade de vida da população. É necessário fornecer maior assistência ao portador de limitações e deficiências. Porém não é correto afirmar que a deficiência aumenta com a idade, pois os idosos têm dificuldades em andar, etc.

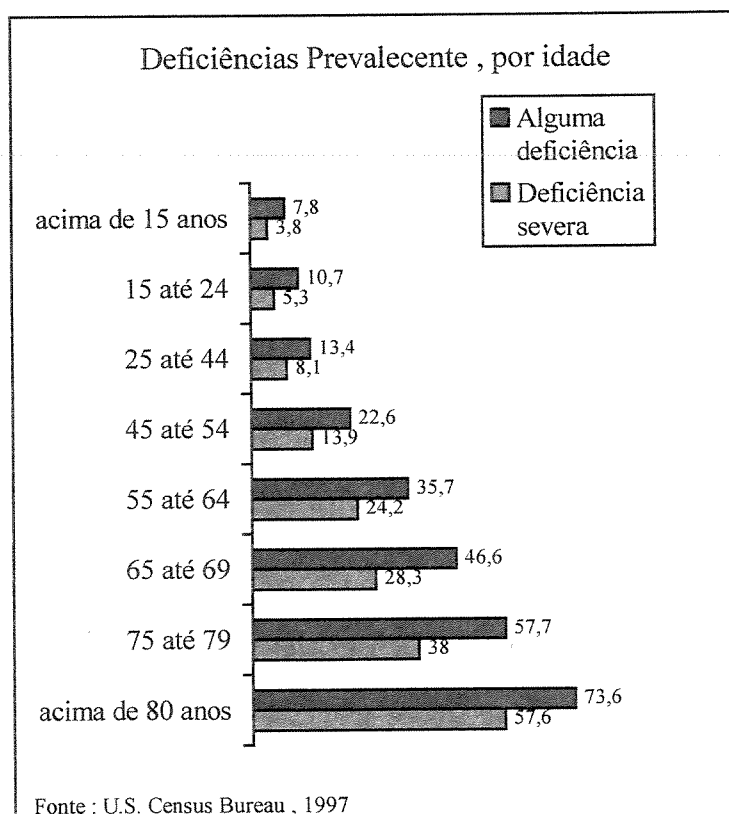


Figura 2.11 Tipo de deficiência de acordo com a idade, em 1997.

2.6 Sumário

Neste Capítulo foram mostrados os aspectos sócio-culturais das pessoas portadoras de deficiência física. É importante situar neste trabalho o público alvo no sentido de entender quais os problemas que essas pessoas enfrentam no seu cotidiano.

Tornou-se clara a evidência de que ainda existe preconceito em relação ao trabalho realizado por pessoas portadoras de deficiência física.

Foi abordado também o aspecto de acessibilidade que é um tema bastante discutido atualmente e que está provocando mudanças no conceito da população portadora de deficiência física. Verificou-se que mesmo sendo um assunto muito explorado, atualmente existem inúmeros casos de barreiras físicas que impedem o acesso das pessoas portadoras de deficiência em vários locais, tanto na área de lazer quanto no trabalho e no transporte.

Embora, atualmente têm surgido no Brasil e em todo mundo *sites* [2.6] de entidades ligadas aos portadores de deficiências na *internet*, os quais através destes os portadores de deficiência estão divulgando suas idéias e problemas e assim cobrando da sociedade e do governo, uma posição mais atuante, é necessário, em todo o mundo, uma maior atenção da sociedade neste assunto, visando a reabilitação e reintegração do portador de deficiência no mercado de trabalho e na sociedade.

Capítulo 3

Revisão da Literatura

A cadeira de rodas é provavelmente a mais importante ferramenta na reabilitação. Existem atualmente 1,6 – 2,0 milhões de usuários de cadeiras de rodas nos EUA. As cadeiras de rodas manuais representam a maioria (~75%) das cadeiras de rodas existentes (Kirby, 1997).

Com esta afirmação é motivante a idéia de se motorizar cadeiras de rodas manuais, pois no trabalho proposto, o uso da motorização é opcional, sendo utilizado em subidas de rampas, em longas distâncias a serem percorridas, etc., ou seja, facilitando a vida do usuário quando ele necessita. A maioria dos usuários reclama do peso da cadeira de rodas motorizada. Esse kit de motorização pode ser removível facilmente da cadeira, não sendo um peso adicional quando o usuário utiliza somente a cadeira manual.

A cadeira de rodas convencional é composta de quatro rodas de largura estreitas. Duas delas com diâmetro grande estão montadas no eixo posicionado abaixo da porção do assento da cadeira. As outras duas com diâmetro menor (normalmente denominadas Castors) podem ser posicionadas em frente ou atrás das de diâmetro grande. O ocupante da cadeira de rodas fica sentado de modo que suas pernas fiquem geralmente perpendiculares ao chão. A cadeira de rodas pode ser movida manualmente pelo próprio ocupante, por outra pessoa empurrando ou por um motor (Becker, 2000).

A população portadora de deficiência não pode ser deixada a margem da sociedade, pois representa uma parcela significativa da nação, participa ativamente da economia e faz parte da maior riqueza da nação: seu povo.

Os consumidores de cadeira de rodas podem ser divididos em duas classes: aqueles com deficiência ambulatorio total, ou seja, que dependem da cadeira de rodas de forma temporária ou definitiva, e aqueles que possuem deficiência ambulatoria parcial. Estes últimos são consumidores que optam pelo uso da cadeira, mas não necessariamente dependem delas, podendo usar outro equipamento como andadores (NBR 9050,1994).

As cadeiras de rodas visam integrar o deficiente com a sociedade e devem prover a independência para sua locomoção. Este trabalho tem por objetivo projetar um equipamento que atenda principalmente paraplégicos e pessoas acometidas de enfermidades que permitam a movimentação dos membros superiores, e ocasionalmente em pessoas acometidas de doenças degenerativas (Wellman, Krovi & Harwin, 1995). Os usuários em potencial serão compostos basicamente por pessoas entre 26 e 45 anos que de certa forma representam a camada economicamente ativa e têm um real interesse e necessidade por um equipamento desse tipo.

3.1 Breve Histórico

No século VI foi vista a primeira imagem de uma cadeira de rodas desenhada em uma pedra de um sarcófago chinês. No século XVI o rei da Espanha Filipe II usou uma cadeira elaborada com rodas, braços e pernas móveis. A primeira cadeira de rodas que se assemelha a dos dias de hoje foi encontrada no século XVIII e possuía duas rodas frontais de grandes diâmetros e uma roda traseira (Freitas, 1997).

Nos séculos XIX e XX seguindo a guerra Civil Americana e a primeira guerra mundial, as primeiras cadeiras de rodas foram construídas com armações de madeira, assentos em vime, braços ajustáveis e rodas de grande diâmetro [3.1].

Em 1894 uma patente americana foi arquivada para uma cadeira de rodas com armação fixa, superfícies ajustáveis, firmes assentos de vime e rodas traseiras de grande diâmetro para permitir sua própria propulsão [3.1].

Em 1932 Herbert Everest (um engenheiro de minas paraplégico) e Harold Jennings (um engenheiro mecânico) colaboraram para o projeto da primeira cadeira de rodas com armação dobrável. Eles se uniram e formaram uma empresa que atualmente é denominada de Everest & Jennings ou E&J. Nos anos 50 a Everest & Jennings desenvolveu a primeira cadeira de rodas motorizada. Eles acompanharam o desenvolvimento do motor controlado por transistor e adaptaram isso aos seus interesses, acrescentando um motor em seu projeto de cadeira de rodas manuais [3.1].

O início das cadeiras de rodas esportivas se dá em 1952 com os primeiros jogos no Stoke Mandeville Rehabilitation Center na Inglaterra. Os primeiro jogos Paraolímpicos (1964) aconteceram em Tóquio no Japão. Em 1970 Jeff Minnerbraker inicia experimentos com bases aeroespaciais de alumínio refinado e inova com a introdução do quick release (sistema de retirada das rodas traseiras com pressão de eixo) que vem auxiliar no transporte da cadeira de rodas. Nos anos de 1970/80 houve uma revolução no peso das cadeiras de rodas manuais, elas se tornaram mais leves devido às necessidades e desejos dos atletas de cadeiras de rodas. Na década de oitenta foram desenvolvidas as cadeiras de rodas controladas por microprocessadores que permitiram a comercialização de controles para encontrar as necessidades dos usuários mais necessitados (Freitas, 1997).

Nos anos de 1980 e 1990 houve uma revolução em projetos de cadeiras de rodas, controles, estilos, autonomia, suspensão, manobrabilidade, assentos e outras opções [3.1].

3.2 Cadeira de Rodas

Há uma pesquisa considerável e um desenvolvimento de atividade focalizado em cadeiras de rodas. A tecnologia surge das necessidades do usuário, como por exemplo: considerando que o usuário está em contato físico íntimo com a cadeira por longos períodos de tempo, o contato

aparece especialmente no assento e exige um certo grau de adaptação para assegurar o conforto. Cadeiras de rodas que ficam em pé comercialmente disponíveis, possuem melhor assento que fornece alívio de pressão. Elas também permitem aos usuários operar o equipamento estando em pé melhorando assim a qualidade de interação social com as pessoas não deficientes.

A Tabela 3.1 contém uma pesquisa de soluções disponíveis. Embora, a maioria destas soluções não é muito aplicada.

Tabela 3.1 Pesquisa de métodos disponíveis (tecnologia) para aumentar a mobilidade.

Solução	Vantagens	Desvantagens
Modificações arquitetônicas (meio-fio, cortes, rampas, elevadores acessíveis).	Normalmente baixo custo para consumidores. Ajuda todas as idades e melhora as habilidades. Frequentemente utiliza uma tecnologia simples com baixa manutenção. A aceitação do consumidor é alta.	Regulamentos não se aplicam a edifícios privados ou históricos. Aplicados somente em espaços limitados em construções. Muitos não obedecem à lei. Não é aplicável na maioria das construções externas.
Tecnologias de transferência.	Transfere ao veículo a tecnologia mais apropriada para o meio.	Requer ajuda com a transferência.
Cadeira de rodas que sobe degraus.	Permite o acesso à cadeira de rodas em ambientes inacessíveis.	Não generaliza outros ambientes, não trabalha em todos os tipos de degraus, frequentemente é um adicional volumoso para a cadeira de rodas, velocidade baixa para desdobrar, requer manutenção.
Cadeiras personalizadas	Otimizadas para o meio ambiente.	Requer tecnologia de transferência.
Subidores de obstáculos.	Baixo custo. Por exemplo, carros de golfe, cadeiras para ambientes ao ar livre e buggies com propósitos especiais tais como andar em areia.	Satisfatório para pequenos obstáculos, devido às limitações do motor da cadeira de rodas.

Cadeiras de rodas convencionais são difíceis de manobrar em espaços restritos porque elas só possuem dois graus de liberdade (para frente, para trás e esterçamento) (Kumar, 1999).

Enquanto cadeiras de rodas motorizadas com controles sofisticados são bem apropriadas para locomoção em superfícies preparadas, a maioria é incapaz de transpor obstáculos comuns como degraus e meio-fio. Por exemplo, uma cadeira de rodas que pode subir e descer qualquer lance de escadas permaneceu em uma pesquisa aberta e foi um assunto em desenvolvimento nas décadas passadas. Uma inovação proposta pelo Professor Shigeo Hirose é mostrada na Figura 3.1. Um mecanismo central moderno move o assento em um arco elíptico quando a atitude da cadeira muda e mantém a postura do usuário independente da postura da cadeira de rodas. Previamente pesquisas em engenharia de reabilitação se concentraram principalmente em construir uma cadeira de rodas melhor. Foram desenvolvidas cadeiras especiais com o propósito de ajudar, tais como, subidores de degraus e buggies feitos sob encomenda, para resolver estes problemas, mas eles tendem a serem personalizados para um ambiente particular e não são versáteis (Alvarenga & Dedini, 2001).

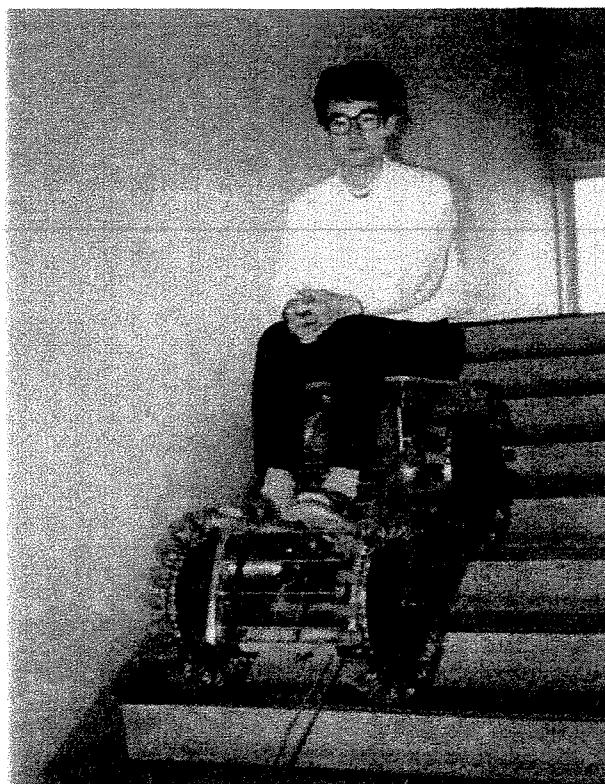


Figura 3.1 Foto de uma cadeira de rodas capaz de subir e descer degraus.

A tecnologia está sempre buscando atender as necessidades dos usuários de cadeiras de rodas, um grande problema é o transporte das pessoas que possuem deficiência física. E para

atender tal necessidade foi desenvolvido pela TGR (uma indústria italiana) o Stair-Trac. Este equipamento está sendo utilizado pela Infraero no aeroporto de Viracopos em Campinas, para transportar usuários de cadeiras de rodas nas plataformas de embarque - desembarque. Foram tiradas algumas fotos no aeroporto, veja a Figura 3.2. O Stair-Trac serve para transportar a maioria dos modelos de cadeiras de rodas manuais e cadeiras de rodas elétricas e possui ganchos especiais (Figura 3.3) que permitem adaptar às várias medidas e modelos de cadeiras de rodas.

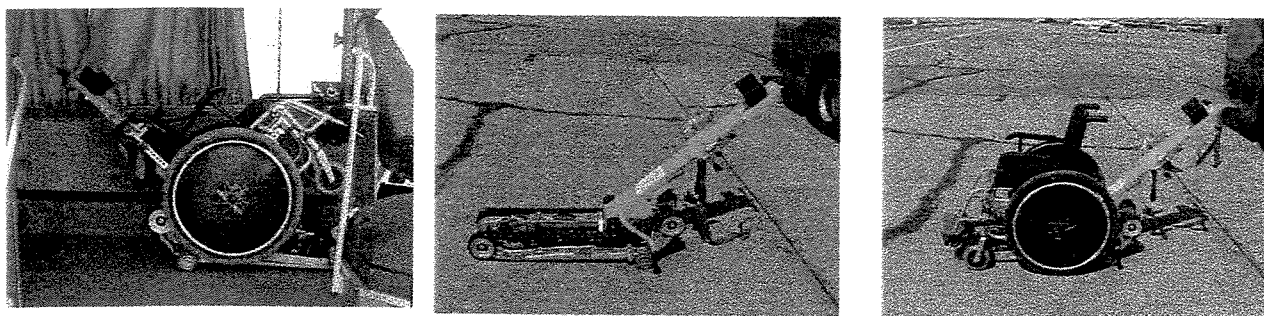


Figura 3.2 Fotos do Stair - Trac no aeroporto de Viracopos . Campinas - Dezembro, 2001.

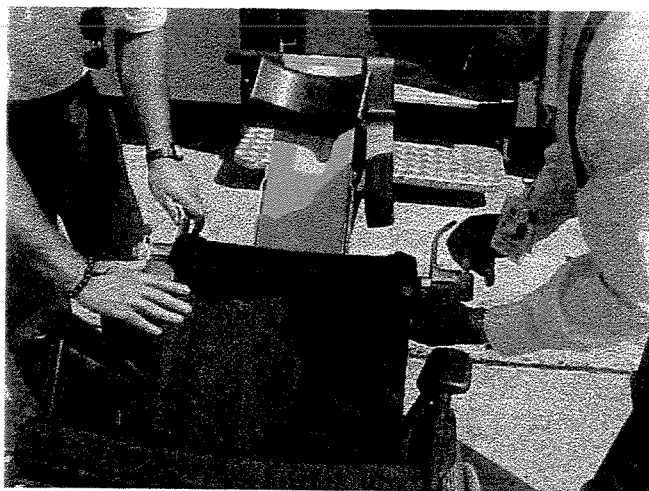


Figura 3.3 Prendendo a cadeira de rodas no Stair - Trac.

Na Tabela 3.2 encontram-se as especificações técnicas desse equipamento.

Tabela 3.2 Especificações técnicas do equipamento Stair-Trac [3.2].

Equipamento	Velocidade	Autonomia	Motor	Baterias	Ângulo ótimo da escadaria	Dimensões	Peso	Capac.	Preço
Stair – Trac	Subida: 6,5m/min Descida: 7,7m/min	650 degraus (35 andares)	12 V	2 x 6V - 20Ah	35 °	925x1473x635mm (alturaxcompxlarg.)	54 kg	130 kg	US\$ 7.500,00

O Stair-Trac (Figura 3.2) possui duas esteiras que permitem subir e descer degraus facilmente, porém o usuário de cadeiras de rodas deve se sentir um pouco inseguro com os movimentos do aparelho , veja a (Figura 3.4).

O Stair-Trac é um equipamento para transportar cadeiras de rodas e depende de uma pessoa, exceto o usuário da cadeira de rodas, para ser utilizado. Apesar de possuir uma boa autonomia (subir 35 andares), mas com velocidades baixíssimas, é um aparelho pesado e robusto.



Figura 3.4 Utilização do Stair - Trac.

No entanto este aparelho não atende a necessidade da maioria dos usuários de cadeiras de rodas, que é ter independência na locomoção. Este equipamento pode ser um ótimo subidor de

degraus, mas não é de uso prático no dia a dia, poderia ser melhorado nas características de tamanho, peso e custo que é altíssimo.

Para muitas pessoas, a independência é a realização mais significativa. O propósito deste projeto é a análise das possibilidades da motorização de cadeiras de rodas convencionais. Para esta análise foi feito neste capítulo um estudo sobre: tipos de cadeiras de rodas (convencional e motorizada), componentes e critérios para a seleção de uma cadeira de rodas.

O objetivo principal é demonstrar que é possível motorizar uma cadeira de rodas convencional. Conseqüentemente o propósito é demonstrar a viabilidade de aumentar a mobilidade de cadeiras de rodas convencionais para melhorar a qualidade de vida dos usuários de cadeira de rodas.

As cadeiras de rodas podem ser classificadas em três classes distintas (Becker, 2000):

Manuais: { - Padrão - quatro rodas com apoio para os braços e encosto para as costas
Exemplo: Cadeiras de uso diário, Cadeiras para crianças e adolescentes,
Cadeiras especiais;
- Esportivas - sem manopla e apoio de braço e com encosto das costas mais baixo;

Motorizadas: com velocidade máxima variando entre 6 a 15 km/h;

Outras: { - Triciclos;
- Cadeiras p/ banho;
- Cadeiras que posicionam o indivíduo em pé, especiais, etc.



Figura 3.5 Cadeira que posiciona o indivíduo em pé.



Figura 3.6 Triciclos, geralmente utilizados em shoppings e supermercados.

3.3 Cadeiras de Rodas Manuais:

O objetivo deste tópico é prover uma introdução básica sobre cadeiras de rodas manuais.

Há trinta anos atrás não havia nenhuma necessidade de se ter um catálogo com informações sobre de cadeiras de rodas manuais. Se uma pessoa precisasse de uma cadeira de rodas, simplesmente iria ao médico e receberia a prescrição de uma cadeira de rodas, e aquela cadeira seria padrão em tamanho e aparência. Seria uma cadeira pesada, de metal preto e com uma tapeçaria verde escura. Não havia nada mais disponível (Alvarenga & Dedini, 2001).

Aquela era já passou, e o usuário de cadeira de rodas ativo de hoje tem centenas de opções literalmente disponíveis. Cadeiras de rodas manuais com estilos alegres e cores elegantes podem ser feitas de materiais de liga leve que reduzem enormemente o peso das cadeiras. O desafio hoje é selecionar a cadeira de rodas que satisfaz diretamente as necessidades de um indivíduo.

Atualmente as cadeiras de rodas manuais proporcionam ao usuário liberdade de movimentos com grande conforto, durabilidade e designs diferentes, além de uma ampla variação de medidas e cores, são extremamente leves e possuem regulagens que possibilitam a sua total personalização, possibilitando ao usuário um perfeito posicionamento ergonômico.

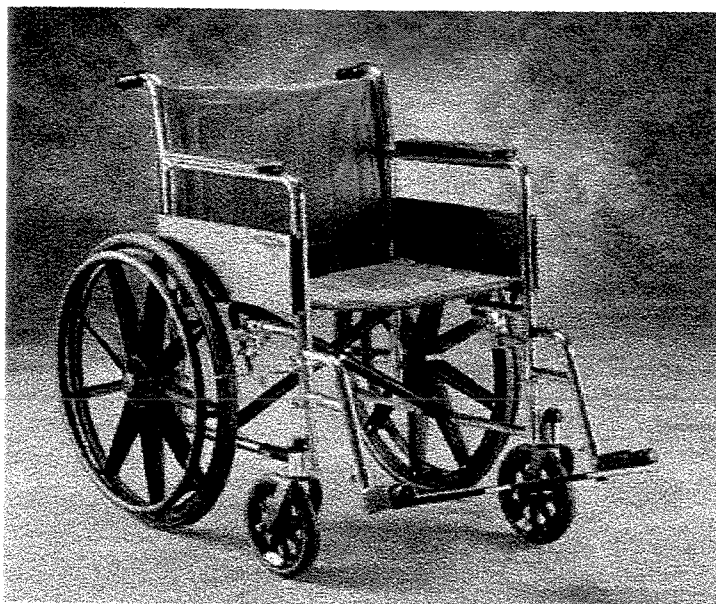


Figura 3.7 Cadeira de rodas convencional manual.

3.3.1 Tipos de Cadeiras de Rodas Manuais

Devido ao mercado de cadeira de rodas estar mudando tão rapidamente, não há nenhuma terminologia universalmente aceita para descrever os vários tipos de cadeiras de rodas manuais. Porém, as cadeiras de rodas manuais podem ser classificadas em uma das seguintes categorias [3.3]:

❑ Cadeiras de peso leve / Cadeiras esportivas

O tipo mais popular de cadeira de rodas para uso cotidiano de uma pessoa com mobilidade superior é a cadeira de rodas manual de peso leve (aproximadamente 15 kg).

Cadeiras de peso leve proporcionam o máximo de independência de movimento com um mínimo de esforço. Muitos usuários de cadeira de rodas ativos também preferem a aparência esportiva das cadeiras de peso leve comparado com a maioria dos padrões. Porém, deve ser observado que as pessoas obesas não podem usar estes tipos de cadeiras porque o peso muito leve da armação resulta em uma capacidade de usuário reduzida quando comparada a cadeiras padrões de uso cotidiano. Uma vez usada principalmente por atletas de cadeira de rodas, a cadeira de peso leve atualmente é também usada por pessoas em passeios como um modo de ajudar a mobilidade. Nesta classificação enquadram-se também as cadeiras desenvolvidas para esportes como tênis e basquete.



Figura 3.8 Cadeiras de rodas esportivas.

❑ Cadeira de rodas padrão /Cadeira de rodas de uso cotidiano

Alguns usuários de cadeira de rodas ainda preferem a cadeira de rodas padrão que é caracterizada por uma armação em cruz, apoio para os braços embutidos ou removíveis, apoio para os pés, guidões para permitir, as pessoas que não são ocupantes, empurrar a cadeira.

❑ Cadeiras de rodas para crianças/jovens

As crianças e os jovens precisam de cadeiras que acomodem as suas necessidades mudando de acordo com o crescimento. Além disso, é importante que cadeiras de rodas para crianças ou adolescentes sejam adaptáveis a ambientes de sala de aula e devem ter uma aparência “amigável” para ajudar o usuário a se integrar nas situações sociais. Os fabricantes de hoje estão ficando cada vez mais sensíveis a esta abertura de mercado e estão dedicando-se a projetos de cadeiras inovadoras com uma variedade de cores e estilos orientados pela criança e pelo adolescente.

❑ Cadeiras especiais

Devido às diversas necessidades de usuários de cadeira de rodas, foram projetadas cadeiras de rodas para acomodar muitos estilos de vida e necessidades especiais dos usuários. Cadeiras que são mais baixas em relação ao chão do que as cadeiras padrão permitem o usuário impulsionar a cadeira usando a força das pernas. Cadeiras que podem ser impulsionadas através de uma mão, disponíveis para pessoas que têm paralisia em um lado do corpo (hemiplegia). Também são oferecidas cadeiras de grandes tamanhos e cadeiras projetadas para acomodar pessoas obesas como mostra a Figura 3.9. Cadeiras robustas, especialmente equipadas estão disponíveis para atividades ao ar livre. Cadeiras de corrida com três rodas aerodinâmicas são usadas em maratonas e outros eventos. Cadeiras manuais que possibilitam que o usuário fique em posição ereta estão disponíveis para pessoas que precisam se levantar em seu trabalho, ou que esse requisito faça parte da rotina de sua condição física. Estes e outros projetos de cadeiras especiais geralmente são desenvolvidos por fabricantes independentes que estão buscando satisfazer as necessidades desse mercado específico.



Figura 3.9 Cadeira de rodas para obesos.

3.3.2 Elementos Básicos da Cadeira de Rodas

Os elementos básicos de uma cadeira de rodas são (Freitas, 1997):

Estrutura Tubular: Designada como quadro ou "frame" (em inglês), geralmente desenvolvida de acordo com o usuário, levando-se em conta o biótipo e a seqüela da deficiência;

Rodas Traseiras: Composta de pneus, aros, raios, cubos, e aro de propulsão. Variam de tamanho, de 24 a 26 polegadas, de acordo com o usuário. São fixadas na cadeira através de eixos removíveis, popularmente conhecidos como "eixo quick release";

Rodas Dianteiras: Fabricadas em poliuretano, material resistente e macio, que facilita o deslize. Geralmente possuem 3 ou 5 polegadas de diâmetro. São fixadas em garfos, com sistema giratório que permite o direcionamento da cadeira;

Pedal: Adequado ao posicionamento dos pés, geralmente é regulável;

Protetor Lateral: Sua função é favorecer o equilíbrio do quadril e proteger o contato da roda com as pernas do usuário;

Aro ou volante propulsor: Utilizado para dar a propulsão à cadeira, facilitando o toque e a empunhadura e proporcionando maior agilidade à cadeira.

Protetor de raio: Tem como objetivo proteger os raios das rodas, bem como os dedos do usuário.

3.3.3 Custo da Cadeira de Rodas Manual

O custo de uma cadeira de rodas manual nos EUA pode ir de aproximadamente US\$ 500,00 da cadeira tradicional para mais de US\$ 4.000,00 para uma cadeira de rodas de peso leve feita sob encomenda. Enquanto que uma cadeira de rodas manual de peso leve dependendo do fabricante, está na faixa de US\$ 1.800,00 a US\$ 2.800, 00 [3.3]. O preço de uma cadeira de rodas convencional no Brasil está ao redor de R\$130,00 (modelo mais simples) e pode chegar até R\$ 1.200,00 [3.4, 3.5]. Estes preços não devem ser usados, para sugestionar um preço apropriado para uma cadeira de rodas, as necessidades de acessórios especiais ou de adaptações exigidos para acomodar inaptidões específicas fazem o preço aumentar em grande proporção.

Como a maioria das cadeiras de rodas no Brasil são manuais e sendo que o preço da cadeira de rodas manual é mais acessível do que as motorizadas, há uma grande chance de sucesso na possibilidade de se motorizar cadeiras de rodas convencionais manuais.

3.4 Cadeiras de Rodas Motorizadas

Até 1993, existiam dois estilos básicos de cadeiras de rodas motorizadas no mercado: O estilo tradicional e o modelo plataforma de cadeira de rodas motorizada. A cadeira de estilo tradicional, o mais comum em uso atualmente, é semelhante em aparência a uma cadeira de rodas padrão de uso cotidiano e é reforçado para resistir o peso extra de um motor e de um sistema de controle. Estas cadeiras normalmente funcionam com uma bateria presa atrás ou debaixo do assento da cadeira de rodas.



Figura 3.10 Cadeira de rodas motorizada.

O modelo plataforma de cadeira de rodas motorizada consiste em uma plataforma de assento localizada sobre a base do motor. O conceito básico deste modelo é uma cadeira que inclui elevadores embutidos para permitir o usuário elevar e abaixar a plataforma de assento. Em 1993, uma cadeira motorizada baseada neste princípio, a “*Hoveround*” emergiu no mercado, criando uma nova classificação de cadeira de rodas motorizada. A Figura 3.11 mostra os inventores Tom Kruse e o engenheiro John Traxler com a primeira cadeira da *Hoveround Corporation* e o modelo fabricado atualmente com preço de venda de US\$ 6.445,00 [3.5].

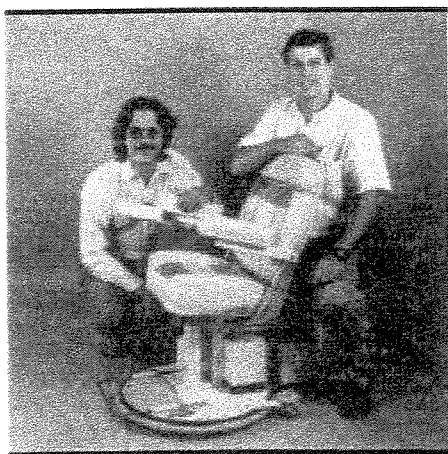


Figura 3.11 A primeira Hoveround e seus criadores e o atual modelo esportivo Teknik GT.

Cadeiras de rodas motorizadas são sistemas de alto custo e geralmente prescritas a usuários que não possuem força ou coordenação motora para acionar manualmente uma cadeira convencional. Os usuários deste tipo de veículos em geral são idosos e/ou portadores de tetraplegia. A escolha por este tipo de cadeira deve levar em conta tanto as habilidades sensoriais e motoras do usuário, como seu desejo de se locomover de modo independente. A cadeira de rodas pode suprir as deficiências do usuário com relação à propulsão do veículo, no entanto o usuário deve possuir noção espacial e um fator cognitivo que permita a utilização do veículo.

A massa de uma cadeira de rodas motorizada juntamente com o usuário pode chegar até mais de 120 kg e, velocidades máximas, da ordem de 2 a 15 km/h, observa-se que nestas condições, uma cadeira desgovernada pode causar acidentes, tanto para seu usuário, como para as pessoas ao seu redor.

3.4.1 Partes de uma Cadeira de Rodas Motorizada

Controles

Cadeiras de rodas motorizadas geralmente incluem como característica padrão um joystick controlado para regular a velocidade e direção da cadeira. Porém, muitos fabricantes oferecem controles personalizados para acomodar as habilidades variadas do usuário, incluindo sistemas de tubos para sopro, controladores usados na cabeça e queixo do usuário, controles de botão, dispositivos que incluem um controle do tipo roll-on que pode ser girada para o movimento, e volantes. Muitas cadeiras também têm características de controle programáveis que permitem o usuário ou a pessoa que assiste o usuário ajustar ou fixar a velocidade da cadeira e controlar limites quando houver mudanças no comportamento do usuário. Existem também fabricantes que não fabricam cadeiras de rodas, mas que oferecem sistemas de controles especializados para cadeiras de rodas motorizadas incluindo controles de voz-ativa. Ao adquirir controles de uma fonte diferente que não seja o fabricante da cadeira, o usuário deve verificar se o controle selecionado é compatível com a sua cadeira [3.3].

Sistema de Transmissão

O sistema transmissão depende do meio pelo qual o motor é conectado às rodas da cadeira. Sistemas de transmissão padrão incluem transmissão por engrenagem, transmissão direta, e transmissão por correia. O tipo de sistema de transmissão afeta a disponibilidade do motor para impulsionar a cadeira e o tipo de manutenção que a cadeira irá requerer.

Baterias

As baterias são um fator que determinam a autonomia e a potência de uma cadeira de rodas motorizada. Geralmente, as baterias maiores promovem autonomias mais longas entre as cargas. Muitas cadeiras requerem duas baterias de 12 volts recarregáveis. A maioria das cadeiras de rodas utiliza U1, do grupo 22 ou 24, embora outras baterias também são usadas. Muitos fabricantes estão projetando cadeiras ao redor do grupo 24 porque dispõe de recursos para uma autonomia maior. O tipo de bateria requerido é também uma consideração importante em termos de segurança, manutenção, e transporte. Cadeiras motorizadas podem utilizar baterias de ácido, gel, ou baterias lacradas. Baterias de gel requerem menos manutenção e tem menos perigo de escoar líquidos do que os outros tipos de bateria. Baterias de gel também são requeridas por várias linhas aéreas quando estas transportam cadeiras motorizadas [3.3].

Ao adquirir uma cadeira de rodas motorizada o usuário também deve considerar se as baterias e o carregador de bateria são incluídos ou se são itens com custos extras. Outra consideração é a autonomia ou distância que uma cadeira pode percorrer entre as cargas. Embora fatores tais como o peso do usuário, características do motor e adicionais, a velocidade e o tipo de terreno em que a cadeira é usada afetarão a autonomia. É importante que o desempenho da cadeira satisfaça as necessidades e expectativas do usuário.

3.4.2 Custo das Cadeiras de Rodas Motorizadas

Ao adquirir uma cadeira de rodas motorizada deve-se considerar a despesa no ato da compra e a manutenção. O preço de venda de uma cadeira de rodas motorizada nos EUA raramente é menor que US\$ 3.500,00; para modelos de luxo ou com adaptações personalizadas, o preço pode exceder US\$ 12.000,00 e pode até chegar a US\$ 20.000,00 ou mais [3.3].

No Brasil o preço varia de R\$ 3.400,00 a R\$ 8.000,00 [3.4, 3.5]. Assim, uma cadeira de rodas motorizada é um grande investimento financeiro. Como qualquer decisão financeira, a compra de uma cadeira de rodas motorizada deve ser empreendida com o extremo cuidado e antes de realizar a compra é necessário se preocupar em assegurar se o produto satisfaz as necessidades do indivíduo que irá usar a cadeira.

3.5 Selecionando uma Cadeira de Rodas

A pessoa que irá adquirir uma cadeira de rodas precisa saber sobre suas habilidades e sobre o nível de sua lesão ao decidir se deve comprar uma cadeira de rodas manual ou uma cadeira de rodas motorizada. O médico ou o fisioterapeuta pode dizer como a lesão afetou a escala do movimento e do esforço do deficiente físico. A cadeira de rodas é utilizada para melhorar a mobilidade nas atividades cotidianas [3.3].

A pessoa deve escolher uma cadeira de rodas que possa sustentar as atividades de trabalho e as atividades diárias. A armação determina a resistência da cadeira. A tapeçaria precisa resistir ao uso diário e às várias condições do tempo. Pneus de tipos diferentes estão disponíveis para uso em ambientes internos e externos. É necessário selecionar uma cadeira de rodas que tenha uma boa autonomia. É importante considerar o tamanho e design da cadeira de rodas. Obter informações sobre as características estruturais da cadeira de rodas.

O assento é uma parte importante da cadeira de rodas. Há diferentes tipos de assentos e encostos que podem ser acrescentados à cadeira de rodas. A correta escolha do assento e do encosto fazem com que o usuário se sinta bem e melhore sua postura.

A cadeira de rodas precisa ser de fácil transporte para o usuário. É necessário também considerar o tipo de veículo que será usado para transportar a cadeira. O estilo e a aparência da cadeira de rodas também é um fator importante, pode-se selecionar a cor e o tecido da tapeçaria.

3.6 Métodos Alternativos para Motorização de Cadeira de Rodas Convencionais

As cadeiras de rodas motorizadas existentes no mercado realizam múltiplas funções, não se limitando ao movimento em si. Elas deixam o usuário em pé, sobem pequenos degraus e rampas de determinados ângulos. A grande desvantagem para o usuário é a relação custo-benefício, já que existe um certo grau de sofisticação, elevando o custo do produto.

Como a cadeira é de uso contínuo, alguns dos principais problemas são o peso, a autonomia das baterias, maiores dificuldades no transporte, montagem, desmontagem e manutenção. Além disso, sendo uma cadeira totalmente controlada eletronicamente, impossibilita o usuário de exercitar os membros superiores.

A cadeira de rodas manual oferece maior agilidade, leveza, facilidade de transporte (cadeira dobrável), além de possibilitar a execução de exercícios. Entretanto rampas, percursos de longa distância e pequenos obstáculos são suas limitações (Kumar, Rahman & Krovi, 1997).

Aliar as características fundamentais dos dois tipos de cadeiras de rodas: manual e motorizada, permite ao usuário usufruir os benefícios da cadeira motorizada sem perder a liberdade que o modelo manual proporciona.

Cooper (2000) desenvolveu equipamentos de interface para cadeiras de rodas que interagem com o usuário de modo natural e intuitivo. Um exemplo é o ativador de impulsão, power-assisted wheelchair (PAPAW), um equipamento que usa o torque aplicado nas rodas como um sinal de entrada de um sistema de controle (Cooper et al. 1999), que usa um micro-controlador, um amplificador e um motor que aumenta o torque aplicado pelo usuário. O efeito é uma drástica redução do esforço requerido para o movimento. É importante adaptar tecnologias da mecatrônica e da robótica para aplicações em engenharia de reabilitação particularmente na área de mobilidade (Boninger et al. 1999).

A Tabela 3.3 refere-se aos tipos de motorização encontrados atualmente no mercado.

Tabela 3.3 Quadro comparativo dos modelos de motorização alternativa encontrados no mercado atual:

Características	JWII	E-Fix E20	Dispositivo AACD	E motion
Velocidade	6 Km/h	1,5 a 6,5 Km/h	máxima: 2 Km/h	0 a 6,5 Km/h
Motores	2 x 60Watts	2 x 75 Watts	2 x 30 Watts	2 x 150 Watts
Baterias	-	2 x 12 V / 12 Ah	12/9 A	2 x 24 V / 2,4 Ah
Autonomia (*)	2 h	16 Km	2 h	13 Km
Massa dispositivo	17,2 Kg	26,7 Kg	11 Kg	24 Kg
Capacidade	-	-	50 Kg	-
Modo de motorização	Interna pelos cubos	Interna pelos cubos	Sob pressão nas rodas	Interna pelos cubos
Preço de Venda	-	US\$ 4.995,00 / \$ 7.450,00	R\$ 700,00	US\$ 5.995,00

(*) Autonomia baseada em superfície plana. Autonomia depende do tipo da bateria, peso do usuário, superfície em uso e temperatura ambiente. (-) Dados não disponíveis.

A Associação de Assistência à Criança Deficiente (AACD) lançou no Congresso 50 anos de Medicina e Reabilitação em dezembro de 2000, um dispositivo elétrico e mecânico para se adaptar às cadeiras de rodas convencionais, permitindo que pacientes com pouca força nos braços e que não andam, possam se locomover independentemente dentro de casa ou em ambientes externos. O kit também permite que a cadeira seja dobrada e o peso total com o equipamento é menor que o de uma cadeira motorizada. O preço é de R\$ 700,00 contra R\$ 3.800,00 da cadeira motorizada nacional [3.7].

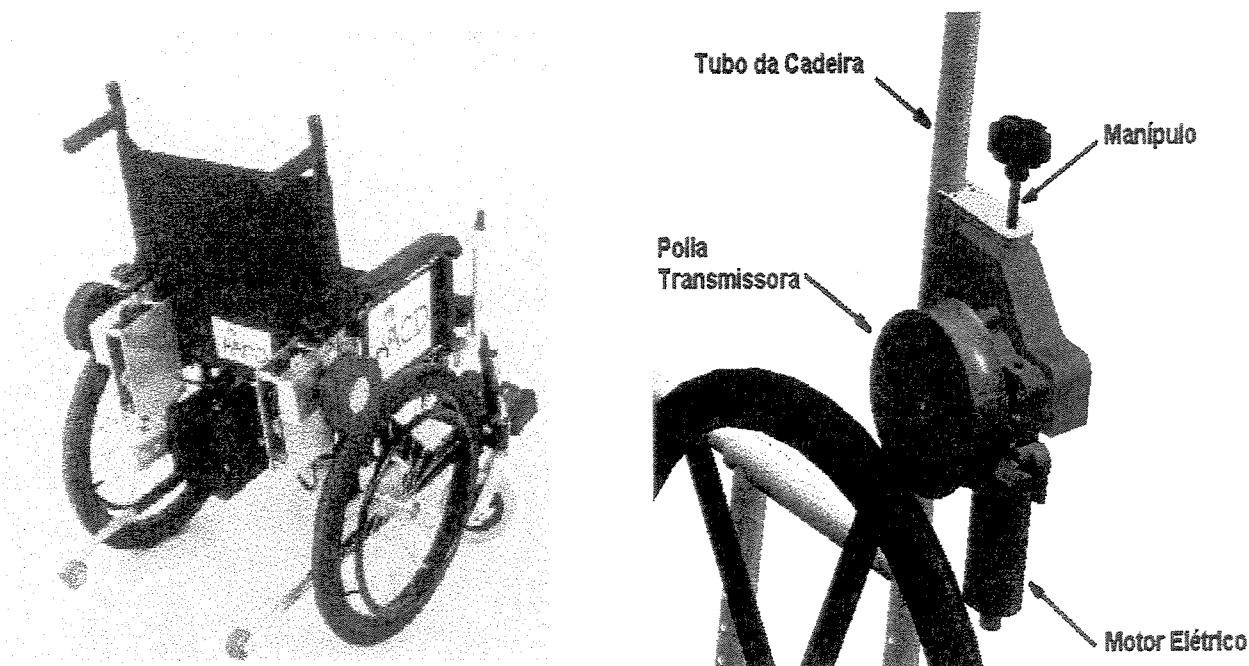


Figura 3.12 Cadeira de rodas montada e detalhe do dispositivo de motorização.

O dispositivo (Figura 3.12) é composto de duas polias de plástico acopladas às rodas traseiras que transmitem a potência do motor sob pressão, dois pequenos motores (30 Watts/motor), um controlador eletrônico de velocidade, bateria 12/9 A, uma alavanca de comando (joystick) e um carregador de bateria. A velocidade máxima é de 2Km/h e tem autonomia de duas horas em terrenos planos.

O projeto do equipamento serve como modelo para comparação com outros modos de motorização. As desvantagens desse tipo de motorização são o tipo de transmissão que coloca a polia diretamente com a roda, isso pode ser indesejável quando a cadeira transitar em qualquer local e a sujeira do chão aderir nas rodas prejudicando assim sistema de transmissão. O posicionamento do dispositivo compromete a segurança do usuário, podendo enroscar sua roupa, até mesmo causar acidentes. A velocidade máxima de 2Km/h deixa a desejar.

O modelo de motorização da AACD possui peso leve, o que é um fator positivo para o usuário de cadeira de rodas, visto que em entrevistas realizadas durante este trabalho que serão apresentadas no Capítulo 5, o deficiente físico considera muito importante o peso da cadeira, pois quanto mais pesada é a cadeira maior será o esforço físico para sua locomoção. Nesse aspecto o

modelo da AACD mostrou-se satisfatório. Porém a capacidade do usuário se mostrou muito restrita, visto que o público alvo deste trabalho são adultos de 25 a 45 anos e a maioria não se encaixa nesse peso de até 50 kg.

A Yamaha [3.8] desenvolveu o primeiro módulo de motorização de cadeiras de rodas (JW-II) que possui uma tecnologia desenvolvida para a Yamaha P.A.S. (Power Assist System). Essa unidade (Figura 3.13) consiste em duas rodas motorizadas que são montadas na cadeira, uma bateria e um carregador de bateria. Para operar basta ligar o sistema impulsionar o pedal e o motor começa a assistir o usuário. O sistema de motorização pode ser montado em 80% das cadeiras de rodas convencionais.

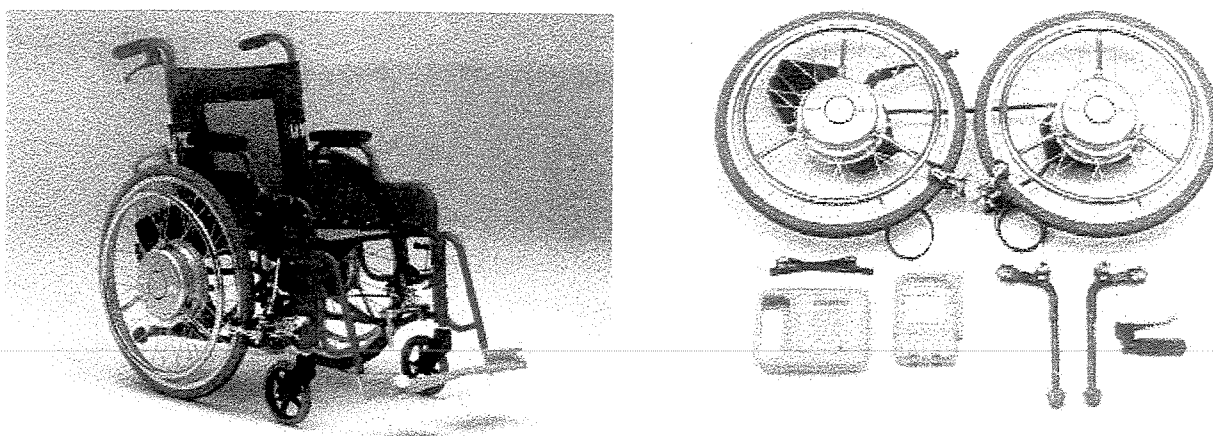


Figura 3.13 Sistema de motorização servo assistida da Yamaha [3.8] .

Dados providos da cadeira de rodas com o JW-II mostram que a exigência fisiológica decresce. Comparando-se a exigência metabólica de uma cadeira de rodas convencional, com uma assistida por um motor, verificou-se nível significativamente baixo de batidas no coração do usuário. A redução da demanda fisiológica da cadeira assistida de motor facilita a manutenção de velocidade e de longas distâncias (Arva, 2000).

O sistema e-fix é fabricado pela Alber [3.9] e consiste em duas rodas motorizadas no interior de seus cubos. A montagem do sistema na cadeira é feita removendo-se as rodas traseiras

da cadeira de rodas manual e montando as rodas e-fix (Figura 3.14). O controle é feito por um joystick e é montado em uma barra que se prende na estrutura da cadeira, como pode ser observado na Figura 3.15. A bateria é fixada através de velcro. Com um giro no cubo da roda, o usuário pode escolher entre a opção de utilizar o modelo manual ou a motorização.

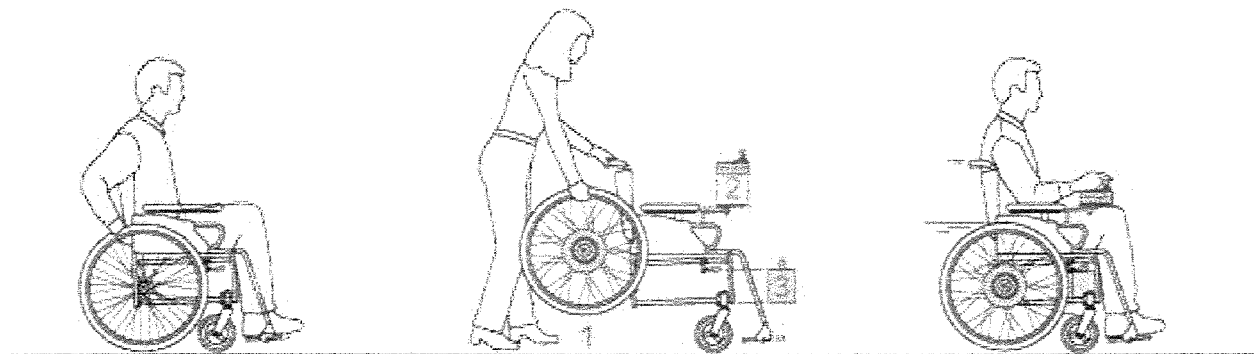


Figura 3.14 Sistema de montagem do e- fix .

O e-fix é um sistema de motorização compacto, possui velocidades compatíveis com as cadeiras de rodas motorizadas, mas ainda existe o problema da montagem do sistema na cadeira, ou seja, a cadeira do usuário tem que ser remontada para que ele use e uma vez montada com o sistema, ele provavelmente não será retirado devido ao trabalho de montagem e desmontagem do equipamento. Além disso, o usuário, mesmo que não esteja utilizando o modo de motorização, é obrigado a carregar o peso do equipamento, logo esse sistema não atende as necessidades do público alvo já citado no início do capítulo.

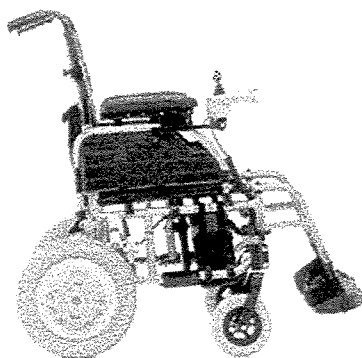


Figura 3.15 Sistema e-fix montado em cadeira de rodas manual .

O sistema emotion também fabricado pela Alber [3.9] é um equipamento que serve assistido para cadeiras de rodas convencionais, e pode ser montado na maioria das cadeiras. O equipamento oferece três níveis de potência que podem ser selecionadas através de um botão (Figura 3.16). O primeiro estágio oferece 30% de potência assistida e é utilizado em ambientes internos. O segundo estágio provê 50% da potência em locais externos em terreno plano e o terceiro estágio 100% em terreno irregular. A sensibilidade (Figura 3.16) pode ser ajustada independentemente em cada roda através dos sensores que estão nas rodas. O sistema de frenagem também é servo assistido e é acionado pelo usuário através do aro propulsor. As baterias são montadas dentro dos cubos das rodas (Figura 3.16) e o sistema possui um indicador visual que mostra a carga da bateria e um indicador sonoro que é ativado quando a bateria atinge um certo nível de carga.



Figura 3.16 Selecionando a potência, a sensibilidade e desmontagem das baterias emotion.

Esse sistema é mais compacto (Figura 3.17) do que o e-fix, pois as baterias se encontram na parte interna dos cubos, porém o peso do equipamento não difere muito. Logo o problema de carregar peso "extra" quando for utilizar a cadeira de rodas no modo manual ainda persiste. O fato de ser servo assistido é muito interessante, visto que o usuário não fica sem realizar exercícios para os membros superiores e quando necessita de ajuda, o sistema é ativado através de sensores que foram previamente regulados. Esteticamente a cadeira de rodas não difere quase nada da cadeira convencional e isso é um fator importante para os usuários de cadeiras de rodas.



Figura 3.17 Foto do sistema emotion montado na cadeira de rodas convencional.

Em todos os modelos encontrados no mercado atual existe o problema do peso que é adicionado à cadeira de rodas manual mesmo quando a motorização é dispensável, ou seja, quando o usuário deseja utilizar o modo manual da cadeira.

Neste aspecto o problema se apresenta como um desafio, pois não há no mercado um equipamento que atenda a necessidade do usuário que é a motorização alternativa da cadeira de rodas manual com a possibilidade de inserir e retirar o kit de motorização, ou seja, o usuário deseja ter a autonomia para utilizar ou não o equipamento quando se fizer necessário e sem a ajuda de outras pessoas.

No intuito de atender essas necessidades utilizou-se métodos de estimulação de criatividade, o Brainstorming, para analisar as possibilidades de se motorizar cadeiras de rodas convencionais manuais e dentre as várias formas possíveis de se instalar a motorização em uma cadeira comum foram escolhidos, como as melhores idéias, os três tipos:

- Uma mochila com motores acionando a periferia das rodas traseiras;
- Uma roda motorizada instalada com elevação da parte frontal da cadeira;
- Um rebocador de cadeiras de rodas.

A primeira opção é comparada com o modelo da AACD, a segunda opção torna a cadeira semelhante a um triciclo e finalmente a terceira opção é a que mais se aproximou às necessidades do público alvo e será amplamente abordada neste trabalho.

3.6.1 Rebocador de Cadeiras de Rodas

A área de veículos autônomos adquiriu nos últimos anos uma grande importância devido à sua aplicabilidade em funções que apresentam risco de vida (combate a incêndios, uso em usinas atômicas, manejo de explosivos, etc.), em funções de fábricas, indústrias e outros ambientes automatizados, no auxílio à mobilidade de pessoas portadoras de deficiência (Kawamura et. al, 1995).

A alternativa de se motorizar cadeiras de rodas convencionais com um rebocador de cadeiras de rodas é apresentada como um rebocador motorizado que possui um encaixe para as rodas frontais da cadeira prendendo-as no mesmo. Funcionando como um reboque para a cadeira. É interessante que esse rebocador móvel possua meios de se localizar em seu ambiente e que realize controle de desvio de obstáculos que surjam em seu caminho durante seu trajeto. Porém neste trabalho foi definido que o controle da trajetória é feito pelo usuário através de uma interface.

A Yamaha [3.8] fabricou uma cadeira de rodas motorizada, a JW-III, que possui uma aparência próxima à idéia do rebocador, porém essa cadeira é motorizada e a plataforma faz parte de sua estrutura. Pode ser observado na Figura 3.18 que a plataforma aparenta ser um rebocador da cadeira que de fato possui duas rodas motoras instaladas em baixo do acento do centro de gravidade da cadeira e uma roda de apoio e esterçamento fornecendo estabilidade e a possibilidade de transpor obstáculos. A massa total da cadeira incluindo as duas baterias é de 50,8 kg e possui as seguintes dimensões 1.105 x 640 x 935 mm (comprimento x largura x altura).

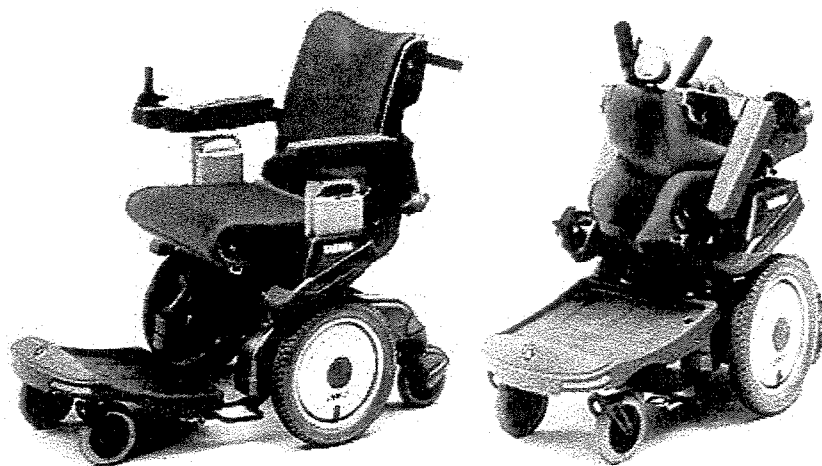


Figura 3.18 Cadeira de rodas motorizada da Yamaha modelo JW-III [3.8].

No entanto o rebocador proposto difere do modelo da Yamaha, pois a JW-III é uma cadeira motorizada e o rebocador móvel idealizado neste trabalho possui uma roda motora e diretora e duas rodas livres que servem somente de apoio, um encaixe com travamento para acomodar as rodas frontais da cadeira convencional manual, ou seja, um rebocador de cadeira de rodas convencionais manuais.

O ideal é o uso coletivo desse rebocador, ou seja, o rebocador permanece em um local estratégico sinalizado, por exemplo, próximo a uma rampa. O usuário se dirige até o rebocador, posiciona as rodas frontais no encaixe do rebocador, puxa uma alavanca pertencente ao rebocador que trava as rodas no encaixe. Essa alavanca está ligada com o sistema de controle do rebocador e possui um joystick. A cadeira já está com o sistema de motorização ativo, cabe ao usuário movimentá-la utilizando o joystick. Após o uso o rebocador é desconectado em local sinalizado e a cadeira volta a ser manual.

Portanto esse rebocador deve ficar em locais próximos a rampas, ou em locais que se percorram grandes distâncias, ou seja, onde necessitar a motorização. Nota-se que não é necessário que todo usuário de cadeiras de rodas possua um rebocador, pois esses devem estar espalhados em pontos estratégicos em locais de trabalho e lazer.

Aplicações práticas deste rebocador podem não somente assessorar sistemas de apoio à reabilitação de deficiências físicas e motoras (paraplégicos, tetraplégicos, etc), como também sistemas automatizados de manufatura.

Desde o início de 1980, vários pesquisadores voltaram-se para o emprego de técnicas desenvolvidas em pesquisas nas áreas de robótica móvel no desenvolvimento de veículos que ajudassem a locomoção de pessoas dependentes de cadeira de rodas motorizadas. Inicialmente surgiram propostas que tratavam a cadeira como AGVs (*Auto Guided Vehicles*), desenvolvidos para operar em parques fabris. Ou seja, o veículo localizava-se num ambiente através do reconhecimento de marcas de referência artificialmente colocados no ambiente e gerava automaticamente a trajetória para um certo local estabelecido (Madarasz et al. 1986) ou, seguia linhas magnéticas colocadas sobre o piso do ambiente, sendo que todas as trajetórias possíveis já estavam preestabelecidas (Wakaumi et al. 1992).

As pesquisas passaram então a se concentrar em veículos tipo AVD (*Autonomous Vehicle for Disabled*) que, de modo semelhante aos AMRs (*Autonomous Mobile Robots*) eram capazes não apenas de seguir trajetórias, como também, de desviar de obstáculos em seu caminho (Mazo et al., 1995; Yoder et al. 1996; Katevas et al. 1997). Apesar de serem providos de sensores tipo câmeras de vídeo, ultra-som, etc., seus métodos de autolocalização em ambientes tipo *indoor* eram baseados em mapeamentos relativamente pobres em detalhes e extremamente sujeito a erros. Além disto, permitiam que o usuário escolhesse apenas a posição final desejada.

Verifica-se que as pesquisas giravam em torno de problemas de controle, navegação, desvio de obstáculos, etc. (ou seja, aspectos de interesse da robótica móvel) sem que fosse dada a devida importância ao usuário. O veículo era tratado com um robô móvel e o usuário, como uma carga a ser transportada de um ponto a outro em um ambiente que poderia ser adaptado ao "robô". Apenas em 1994 esta visão do problema começou a ser alterada, com a introdução da idéia de controle assistido para desvio de obstáculos (Bell et al. 1994). Entretanto, a mudança mais radical ocorreu em 1996. Pela primeira vez foi introduzida a idéia de níveis de controle, ou seja, o veículo dispunha de três modos de controle (autônomo, assistido e manual) e o usuário escolhia

o nível de controle desejado. O nome dado ao projeto foi VAHM-veículo autônomo para pessoas deficientes (Bourhis & Pino, 1996).

No primeiro modo, o autônomo, o usuário apenas escolhe o local que ele deseja ir e, o veículo gera as trajetórias automaticamente, sem a intervenção do usuário, nem mesmo para desviar de obstáculos. No segundo modo, o assistido, o veículo segue comandos dados pelo usuário: "siga o corredor", "contorne a parede, "passar por portas estreitas", etc., e evita colisões com obstáculos. No último modo, o manual, o usuário dirige veículo através de algum tipo de interface, por exemplo, algum tipo de *joystick*. Deste modo, o usuário poderá escolher qual o nível de controle é o desejado para a situação em que ele se encontra e, também, interagir com a cadeira de modo que sua autonomia fosse respeitada. Este tipo de controle também foi adotado mais tarde por Kuno et al. (1999).

Desde então, ampliou-se em muitas as áreas de pesquisa e os tipos de abordagens deste problema, mostrando que além de ser um típico projeto mecatrônico, também é de multiáreas, sendo necessário unir profissionais da área de exatas, humanas e biológicas em um grupo de trabalho. Hoje os trabalhos desenvolvidos nesta área estão focalizando não apenas a problemática ligada à robótica móvel, mas principalmente, técnicas de controle hierárquico, assistido e adaptativo, que sejam fáceis de interagir com o usuário (Tahboub & Asada, 1999; Nakanishi et al. 1999).

3.7 Engenharia de Reabilitação

A engenharia de reabilitação visa utilizar as técnicas, métodos e processos da engenharia no auxílio aos deficientes físicos de uma maneira geral, objetivando a melhoria em sua qualidade de vida, muitas vezes associada a uma reintegração social. Normalmente os beneficiários são pacientes com deficiências físicas neuro-motoras, sensoriais, cardíacas, pulmonares, etc. Atualmente a Engenharia de Reabilitação vem sendo tão abrangente que foi inserida como um quarto ramo da classificação da Engenharia Biomédica que anteriormente incluía apenas a Bioengenharia, Instrumentação Biomédica e a Engenharia Clínica (Moraes, 2000).

A área da Engenharia Biomédica tem por objetivos o estudo e a resolução de problemas gerados por deficiências sensorio-neuro-motoras por meio da criação de dispositivos, produtos, instrumentos, equipamentos, sistemas ou técnicas acessíveis às pessoas com incapacidades, para evitar, compensar, mitigar ou neutralizar suas deficiências, incapacidades ou necessidades especiais; e, assim melhorar sua autonomia pessoal, o convívio social e a qualidade de vida (Nohama, 2000).

O tema deste trabalho foi escolhido devido à necessidade crescente do desenvolvimento de produtos que atendam às pessoas portadoras de deficiências, visando à melhoria de sua qualidade de vida e sua integração na sociedade. Esta necessidade, ao contrário do que possa parecer, não é uma exclusividade de países desenvolvidos, mas está cada vez mais presente nos países em desenvolvimento, como o Brasil. As causas são as mais diversas, desde o aumento da expectativa de vida da população e das exigências de qualidade de vida, até a conscientização de que o fato de uma pessoa portadora de uma deficiência é para todos os efeitos, um cidadão comum, com direitos e deveres.

Nos trabalhos relacionados a Dispositivos Assistenciais destacam-se o uso da Inteligência Artificial, apresentação de diferentes tipos de cadeiras de rodas, aplicação de robótica na reabilitação humana e uso de tecnologia assistencial para a reabilitação da linguagem usando uma abordagem cognitiva.

No Brasil apesar das atividades em biomecânica terem sido iniciadas há um razoável tempo e esta área ter um nível de abrangência grande, infelizmente a Engenharia de Reabilitação e o desenvolvimento de dispositivos assistenciais ainda estão em um estado bastante primitivo. A própria interação muito precária e instável de engenheiros biomédicos e/ou clínicos, tipicamente hospitais, demonstra esta afirmação.

Apesar do conhecimento dos profissionais atuantes na área ser bastante atualizado e equivalente aos profissionais do exterior, bem como a existência de alguns sofisticados laboratórios de estudos de movimentos e razoavelmente bem equipados, a aplicabilidade dos

resultados obtidos no Brasil não é significativo em relação ao que poderia ser pelo próprio potencial que o mercado oferece com pacientes e deficientes em quantidade suficiente.

A deficiência física refere-se ao comprometimento do aparelho locomotor que compreende o sistema ósteo-articular, o sistema muscular e o sistema nervoso. As doenças ou lesões que afetam quaisquer desses sistemas, isoladamente ou em conjunto, podem produzir quadros de limitações físicas de grau e gravidade variáveis, segundo o(s) segmento(s) corporais afetados e o tipo de lesão ocorrida.

Pelos dados do IBGE, estima-se que 458 mil brasileiros são portadores de paraplegia, hemiplegia ou tetraplegia, ou seja, 29% da população brasileira é considerada pelo IBGE como portadora de deficiência física. As principais causas que acarretam na dependência da utilização de cadeira de rodas são: Traumatismos cerebrais, em inglês: *Traumatic Brain Injury* - TBI, e da coluna vertebral; amputação de membros inferiores e doenças incapacitantes, congênitas ou não, que acarretam em atrofias e distrofias do sistema nervoso e muscular.

Segundo dados do *Disabled Statistics Abstract* (DAS) estima-se que 1,9 milhões de norte-americanos sofrem TBIs por ano. Ou seja, a cada 1.000 norte-americanos, 8 sofrem algum TBI a cada ano (Forkosch et al., 1996).

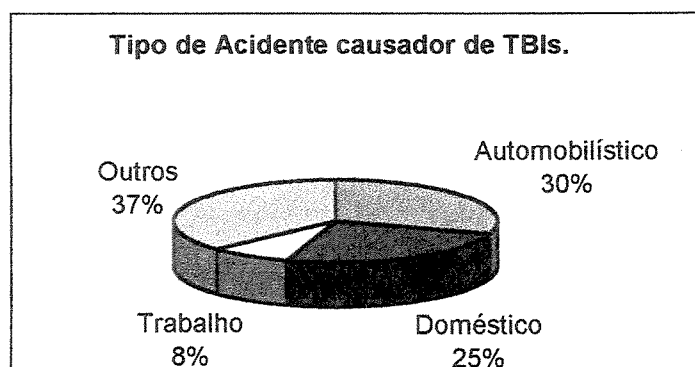


Figura 3.19 Distribuição dos tipos de acidentes causadores de TBIs nos EUA , em 1996.

A Figura 3.19 indica que a maior causa de TBIs ocorre predominantemente em acidentes automobilísticos e domésticos.

Segundo estatísticas dos EUA e Canadá, a prevalência de paralisia devida aos traumas de medula, situa-se em torno de 0,8 por 1.000 (Marrota, 1996). Ou seja, em 1990 nos EUA, aproximadamente 198.800 pessoas eram paraplégicas ou tetraplégicas devido à traumas da medula. Os dados do IBGE não especificam as causas da paraplegia e tetraplegia, logo não se pode afirmar que esta taxa seja aplicável no Brasil. Observa-se que o número total de casos de paraplegia e tetraplegia relatados pelo IBGE no censo de 1991 é de 248.950 casos. Portanto se for utilizada a taxa de 0,8 / 1.000 hab., o resultado (117.400) é bem inferior ao que foi observado pelas estatísticas do IBGE.

A causa da lesão medular pode ser: por ferimentos por armas brancas, por armas de fogo, acidentes automobilísticos, mergulho em águas rasas, quedas acidentais (principalmente domésticas), acidentes na prática de esportes, processos infecciosos, processos degenerativos e outros (Marrota, 1986 & Köning et al., 1988).

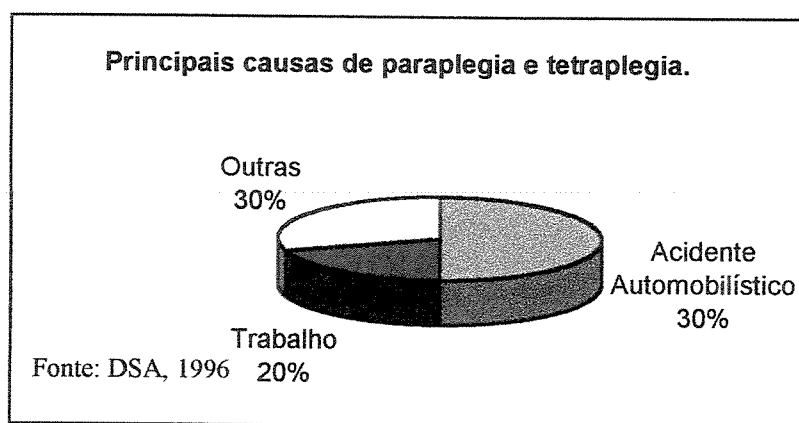


Figura 3.20 Distribuição das principais causas de lesão traumática da medula.

3.7.1 Tecnologia Assistiva

A tecnologia é considerada assistiva quando é usada para auxiliar no desempenho funcional de atividades, reduzindo incapacidades para a realização de atividades da vida diária e da vida prática, nos diversos domínios do cotidiano. É diferente da tecnologia reabilitadora, usada, por exemplo, para auxiliar na recuperação de movimentos diminuídos.

3.7.2 Tipos de Tecnologia Assistiva:

- **Adaptações para Atividades da Vida Diária:**

Dispositivos que auxiliam no desempenho de tarefas de auto-cuidado, como o banho, o preparo de alimentos, a manutenção do lar, alimentar-se, vestir-se, entre outras.

- **Sistemas de Comunicação Alternativa:**

Permitem o desenvolvimento da expressão e recepção de mensagens. Existem sistemas computadorizados e manuais. Variam de acordo com o tipo, severidade e progressão da incapacidade.

- **Dispositivos para Utilização de Computadores:**

Existem recursos para recepção e emissão de mensagens, acessos alternativos, teclados e mouses adaptados, que permitem pessoas com incapacidades físicas operar computadores.

- **Unidades de Controle Ambiental:**

São unidades computadorizadas que permitem o controle de equipamentos eletrodomésticos, sistemas de segurança, de comunicação, de iluminação, em casa ou em outros ambientes.

- **Adaptações Estruturais em Ambientes Domésticos, Profissionais ou Públicos:**

São dispositivos que reduzem ou eliminam barreiras arquitetônicas, como por exemplo, rampas, elevadores, entre outros.

- **Adequação da Postura Sentada:**

Existe um grande número de produtos que permitem montar sistemas de assento e adaptações em cadeiras de rodas individualizados. Permitem uma adequação da postura sentada que favorece a estabilidade corporal, a distribuição equilibrada da pressão na superfície da pele, o conforto, o suporte postural.

- Equipamentos para a Mobilidade:

São as cadeiras de rodas e outros equipamentos de mobilidade, como andadores, bengalas, muletas, e acessórios. Ao selecionar um dispositivo de auxílio à mobilidade, este deve ser adequado à necessidade funcional do usuário, avaliando-se força, equilíbrio, coordenação, capacidades cognitivas, medidas antropométricas e postura funcional.

- Adaptações em Veículos:

Incluem as modificações em veículos para a direção segura, sistemas para acesso e saída do veículo, como elevadores de plataforma ou dobráveis, plataformas rotativas, plataformas sob o veículo, guindastes, tábuas de transferência, correias e barras.

3.8 Sumário

Inicialmente foi apresentado neste capítulo a evolução da tecnologia em torno do objeto cadeira de rodas, sempre objetivando atender as necessidades do usuário de cadeiras de rodas. Nota-se uma grande preocupação em melhorar a mobilidade e a acessibilidade dessas pessoas, como mostrado na Figura 3.1. Foi necessário um estudo sobre os tipos de cadeiras de rodas, suas características e especificações e obteve-se um embasamento técnico para o projeto em questão.

Neste capítulo, também foram apresentadas as possibilidades de motorização de cadeiras de rodas convencionais manuais disponíveis no mercado atual. Pode se observar que já existe uma preocupação em aproveitar as cadeiras de rodas manuais, pois as cadeiras de rodas motorizadas além de pesadas e robustas, oferecem muitos opcionais sofisticados que não são necessários à maioria dos usuários, tornando o custo muito elevado. Foram feitas comparações e discussões sobre esses dispositivos e foi observado que os fabricantes estão objetivando utilizar a e manter a aparência da cadeira de rodas manual e também focalizando a compactação do volume da cadeira, como pode ser observado na Figura 3.15. No entanto o projeto aqui proposto é inovador, ou seja, não foi encontrado até o momento e tem grandes possibilidades de sucesso.

Capítulo 4

Ergonomia

A ergonomia, ao contrário de muitas outras ciências cujas origens se perdem no tempo e no espaço, tem uma data "oficial" de nascimento: 12 de julho de 1949. Nesse dia reuniram-se pela primeira vez na Inglaterra, um grupo de cientistas e pesquisadores interessados em discutir e formalizar a existência desse novo ramo de aplicação interdisciplinar da ciência. Na segunda reunião desse mesmo grupo ocorrida em 16 de fevereiro de 1950, foi proposto o neologismo *ergonomia*, formado dos termos gregos *ergo*, que significa trabalho e *nomos*, que significa regras, leis naturais (Iida, 1990).

A ergonomia desenvolveu-se durante a segunda Guerra Mundial quando, pela primeira vez, houve uma conjugação sistemática de esforços entre a tecnologia e as ciências humanas. Fisiologistas, psicólogos, antropólogos, médicos e engenheiros trabalharam juntos para resolver os problemas causados pela operação em equipamentos militares complexos. Os resultados desse esforço multidisciplinar foram tão gratificantes, que foram aproveitados pela indústria, no pós-guerra (Iida, 1990).

O interesse nesse novo ramo de conhecimentos cresceu rapidamente, em especial na Europa e nos Estados Unidos. Na Inglaterra, cunhou-se o termo *ergo- nomia* e fundou-se, em 1949, a pioneira Sociedade de Pesquisa em Ergonomia. No Brasil a Associação de Ergonomia foi fundada em 1983 (Dul & Weerdmeester, 2000).

4.1 Definição de Ergonomia

A ergonomia é definida como a adaptação do trabalho ao homem. Segundo a Ergonomics Research Society, "Ergonomia é o estudo do relacionamento entre o homem e seu trabalho, equipamento e ambiente, e particularmente a aplicação dos conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia na solução de problemas surgidos nesse relacionamento" (Iida, 1990).

Existem inúmeras definições para o termo ergonomia e algumas mais concisas são apresentadas a seguir [4.1]:

A Ergonomia pode ser definida como o estudo científico das relações entre o homem e o seu ambiente de trabalho (Murrell, 1965).

- ❑ A Ergonomia é uma ciência interdisciplinar. Ela compreende a fisiologia e a psicologia do trabalho, bem como a antropometria. O objetivo prático da Ergonomia é a adaptação do posto de trabalho, dos instrumentos, das máquinas, dos horários, do meio ambiente às exigências do homem. A realização de tais objetivos, ao nível industrial, propicia uma facilidade do trabalho e um rendimento do esforço humano (Grandjean, 1968).
- ❑ A Ergonomia é a tecnologia das comunicações homem-máquina (Montmollin, 1971).
- ❑ A Ergonomia é uma tecnologia e não uma ciência, cujo objeto é a organização dos sistemas homens-máquina (Leplat, 1972).
- ❑ A Ergonomia é o conjunto de conhecimentos científicos relativos ao homem e necessários a concepção de instrumentos, máquinas e dispositivos que possam ser utilizados com o máximo de conforto e eficácia (Wisner, 1972).

- Ergonomia é um conjunto de ciências e tecnologias que procura a adaptação confortável e produtiva entre o ser humano e seu trabalho, basicamente procurando adaptar as condições de trabalho às características do ser humano (Couto, 1995).

A Ergonomia é considerada por alguns autores como ciência, enquanto geradora de conhecimentos. Outros autores a enquadram como tecnologia, por seu caráter aplicativo, de transformação. Apesar das divergências conceituais, alguns aspectos são comuns as várias definições existentes [4.1]:

- a aplicação dos estudos ergonômicos;
- a natureza multidisciplinar, o uso de conhecimentos de várias disciplinas;
- o fundamento nas ciências;
- o objeto: a concepção do trabalho.

A ergonomia destina-se à adaptação de equipamentos, condições ambientais, ferramentas e processos às características biológicas e culturais do homem, ou vice e versa, já que o homem muitas vezes se adapta às tecnologias e processos disponíveis. A forma evidente de ergonomia manifesta-se nos aspectos do desenho de um produto e sua evolução, especificando as características de uso (funcional e antropométrica), direcionando o desenvolvimento do produto e a evolução dos protótipos (Hamamoto et. al, 2000). Enquanto as características antropométricas podem ser obtidas em tabelas, as características funcionais são avaliadas durante a utilização do equipamento.

4.2 Biomecânica

A biomecânica estuda as interações entre o trabalho e o homem sob o ponto de vista dos movimentos músculos-esqueléticos envolvidos e as suas conseqüências. Analisa basicamente a questão da postura corporal (Iida, 1990).

A postura e o movimento têm uma grande importância na ergonomia. Tanto no trabalho como na vida cotidiana, eles são determinados pela tarefa e pelo posto de trabalho (Dul & Weerdmeester, 2000).

Para realizar uma postura ou um movimento, são acionados diversos músculos, ligamentos e articulações do corpo. Os músculos fornecem a força necessária para o corpo adotar uma postura ou realizar um movimento. Os ligamentos desempenham uma função auxiliar, enquanto as articulações permitem um deslocamento de partes do corpo em relação às outras. Posturas ou movimentos inadequados produzem tensões mecânicas nos músculos, ligamentos e articulações, resultando em dores no pescoço, costas, ombros, punhos e outras partes do sistema músculo-esquelético (Dul & Weerdmeester, 2000).

Alguns movimentos, além de produzirem tensões mecânicas nos músculos e articulações, apresentam um gasto energético que exige muito dos músculos, coração e pulmões. Muitos princípios de postura e movimentos derivam-se de conhecimento das áreas de biomecânica, fisiologia e antropometria (Dul & Weerdmeester, 2000).

No estudo da biomecânica, as leis da mecânica são aplicadas ao corpo humano. Assim pode-se estimar as tensões que ocorrem nos músculos e articulações durante uma postura ou um movimento.

O item a ser abordado neste caso é o de restringir a duração do esforço muscular contínuo. A força contínua de certos músculos do corpo, como resultado de movimentos repetitivos, provoca fadiga muscular localizada ressaltando em desconforto e queda do desempenho. Quanto maior o esforço muscular, menor se torna o tempo suportável. A maioria das pessoas não consegue manter o esforço muscular máximo além de segundos. Com 50% do esforço muscular máximo, o tempo suportável é de aproximadamente dois minutos. (Dul & Weerdmeester, 2000).

A exaustão muscular deve ser evitada porque, se isso ocorrer, há uma demora de vários minutos para a recuperação. São necessários cerca de trinta minutos para uma recuperação de

90% de um músculo exausto. Músculos meio exaustos atingem a mesma recuperação em quinze minutos. O processo de recuperação completa pode levar horas.(Dul & Weerdmeester, 2000).

O processo de acionamento de cadeiras de rodas manuais é repetitivo e cíclico, produto da interação entre o usuário e a cadeira, e pode ser dividido em duas fases distintas: propulsão e retorno. Ao contrário do caso de veículos recreacionais (bicicletas, barcos a remo, etc.) este processo não pode ser classificado como de curta duração, pois, o usuário de cadeira de rodas depende totalmente da cadeira para se locomover, realizar tarefas cotidianas e interagir com o ambiente (Berdnarczyk et al., 1994).

Vários fatores influenciam no biomecanismo do processo de acionamento em cadeiras de rodas manuais, entre eles destacam-se: o grau de comprometimento motor dos membros superiores (Dallmeijer et al. 1994) e o posicionamento do usuário no veículo, ou seja, do assento (Becker, 2000). Outros fatores são: a idade do usuário (Berdnarczyk et al., 1994), seu estado de fadiga, as características de fadiga, as características da pista, rugosidade, inclinação, etc. (McLaurin & Brubaker, 1991).

A análise do processo de acionamento de cadeiras de rodas manuais é necessária para o melhor assentamento do usuário na cadeira, para a prevenção de lesões, para o estudo de adaptações e espaço, para o desenvolvimento de aparelhos assistivos, etc.

Segundo Becker (2000) é muito importante considerar as variáveis antropométricas e fisiológicas dos usuários de cadeiras de rodas como também as variáveis construtivas da cadeira para otimizar a propulsão manual da cadeira, evitando o surgimento de lesões decorrentes da má utilização da cadeira de rodas.

A solução ideal seria realizar estudos ergonômicos e antropométricos para cada caso, sempre maximizando os objetivos (conforto, segurança, etc), mas isto acarretaria em custos elevados. Soluções possíveis surgem então com a utilização de peças adaptáveis e ajustáveis juntamente com o uso de dados antropométricos e fisiológicos de determinadas faixas etárias de usuários.

4.3 Fisiologia

A fisiologia pode estimar a demanda energética do coração e dos pulmões, exigida por um esforço muscular. A fadiga pode ocorrer com o esforço muscular contínuo e localizado, como também um esforço físico realizado durante longos períodos. O fator limitante neste caso é a energia que o coração e os pulmões podem fornecer aos músculos, para realizar os movimentos.

A maioria da população pode executar tarefas usuais por um longo tempo, sem sentir fadiga pelo esgotamento energético, desde que não exceda 250 Watts ($1 \text{ W} = 0,06 \text{ KJ/min} = 0,0143 \text{ Kcal/min}$). Essa cifra inclui a quantidade de energia consumida por uma pessoa de aproximadamente 80 W, chamado de metabolismo basal, que o corpo necessita para manter as suas funções vitais, e o restante é aplicado no trabalho. O organismo humano, mesmo que em completo repouso, consome a energia correspondente ao metabolismo basal (Dul & Weerdmeester, 2000).

Arva (2000) gravou as características fisiológicas de dez pessoas que impulsionaram uma cadeira de rodas com e sem o motor assistido Yamaha JW-II nos cubos com um dinamômetro que selecionava velocidades e resistências.

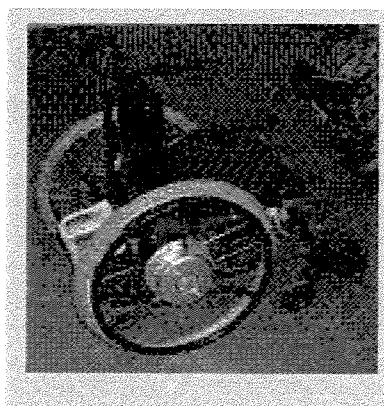


Figura 4.1 Sistema JW-II montado em uma cadeira de rodas convencional.

Os valores resultantes foram significativamente baixos em ambos os casos (consumo de oxigênio e batimentos cardíacos). A redução da demanda fisiológica na propulsão da cadeira servo assistida facilita manter velocidades altas e percorrer longas distâncias (Arva, 2000).

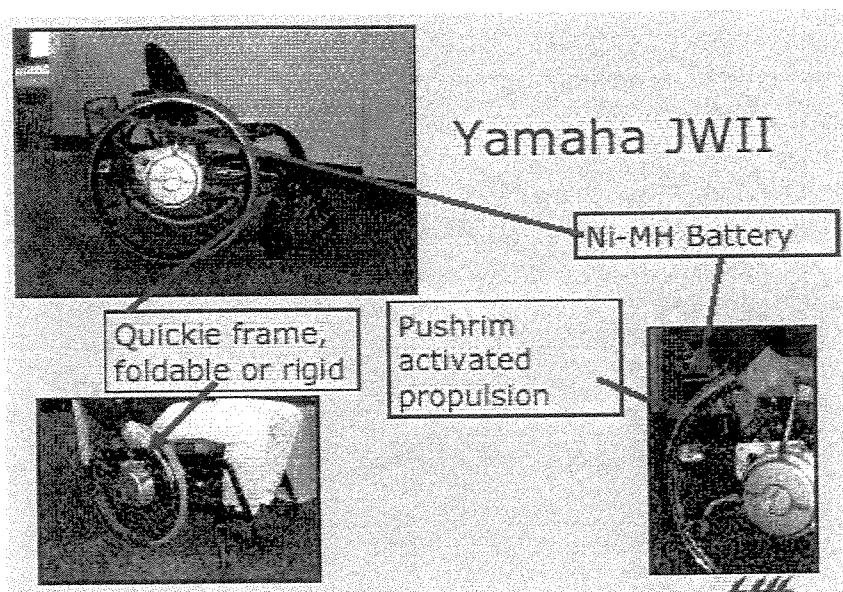


Figura 4.2 Detalhes do sistema servo - assistido JW-II.

Tabela 4.1 Média da potência aplicada no dinamômetro.

	Potência (Watts)	
	sem Yamaha	com Yamaha
2 m/h, resistência normal	9	10
2m/h, resistência leve	11	14
2m/h, resistência moderada	11	15
4m/h, resistência normal	20	23
4m/h, resistência leve	25	29

Tabela 4.2 Resultados de Consumo de Oxigênio(O₂) e Batimentos Cardíacos(BC).

Valores Médios	O ₂			BC		
	Média ± d com JWII	Média ± d sem JWII	P	Média ± d com JWII	Média ± d sem JWII	P
1.8m/s, resistência normal	7.8 ±1.6	10.8±2.8	0.022	113±23	129±27	0.059
1.8m/s, resistência leve	8.0±1.4	13.0±2.8	0.005	111±20	134±24	0.005

0.9m/s, resistência normal	5.5±0.8	6.9±1.2	0.005	95±16	105±20	0.0022
0.9m/s, resistência leve	5.9±1.0	7.3±1.5	0.005	98±21	106±19	0.066
0.9m/s, resistência moderada	5.9±1.3	7.5±1.8	0.005	100±19	106±24	0.037



Figura 4.3 Usuário da cadeira de rodas preparado para aquisição de dados durante a propulsão.

4.4 Processo de Propulsão da Cadeira de Rodas Manual

Há vários problemas associados ao sistema de propulsão atual. A maioria destes problemas se aplica a todos os tipos de sistemas de propulsão que são usados atualmente, entretanto alguns deles podem ser específicos. Ambientes comuns que causam dificuldades na propulsão da cadeira de rodas manual: pedregulho, grama, areia, encarpetados, superfícies molhadas (estes ambientes são especificamente difíceis para pessoas que têm mobilidade somente nos membros superiores).

Os problemas que os usuários de cadeiras de rodas manuais encontram ao impelir uma cadeira de rodas manual são vários, entre eles, são dores nas costas, bolhas nas mãos e nos dedos,

esgotamento, dores nos ombros, pulsos e cotovelos, queimação nas extremidades das mãos, calos nas mãos, transpiração excessiva, aceleração do batimento cardíaco [4.2].

Quanto à questão de segurança, existe a dificuldade de controlar a cadeira quando as mãos do usuário estão lisas, ou ainda pequenos objetos afiados (providos do solo) que surjam nos pneus da cadeira de rodas podem provocar cortes nas mãos do usuário quando ele estiver impelindo a cadeira de rodas.

4.5 Avanços na Tecnologia de Propulsão

É encontrado na literatura um vasto material na abordagem da propulsão da cadeira de rodas manual. Pode ser observado nestas pesquisas uma grande preocupação com a fisiologia do usuário e com as lesões causadas pela propulsão da cadeira. Logo os avanços na tecnologia estão objetivando diminuir os esforços no impelimento da cadeira, com equipamentos que auxiliem a propulsão das mesmas.

Um dos meios de se melhorar o processo de propulsão é o sistema de engrenamento que oferece uma vantagem mecânica para usuários com força limitada. A habilidade da auto propulsão melhora a força e o sistema cardiovascular.

Existem algumas limitações desse sistema, tais como o adicionamento de peso e largura na cadeira de rodas manual convencional; o usuário deve possuir uma melhor destreza nas mãos do que a propulsão padrão, pois a força utilizada na propulsão normal é muito maior do que com o sistema de engrenamento. Logo é necessário treinar a utilização da cadeira com o equipamento a fim de adquirir uma sensibilidade para estimar o quanto de força será necessário para impelir a cadeira de rodas, evitando assim acidentes.

O usuário pode ser mecanicamente prejudicado quando percorrer longas distâncias devido à perda mecânica no sistema de engrenagem e o peso adicional. Os benefícios desse sistema de engrenamento são vários, como por exemplo, melhora a independência do usuário, exercita os

membros superiores (mantendo-os ativos), não causa lesões nos ombros, melhora e aumentar a capacidade fisiológica sem sobrecarga, etc [4.2].

O sistema ideal de engrenamento deveria ser produzido com a finalidade de poder ser montado em uma gama extensiva de cadeiras de rodas convencionais manuais e que utilize uma opção de alavanca (para acionar o sistema de engrenamento ou não), ou seja, permitir a operação de cadeira de rodas convencional. O peso desse sistema se possível inferior 2 ou 3 kg, não acrescentando peso rotacional nas rodas.

O mecanismo deve ser seguro e estabelecer a relação de engrenamento de 1:1, permitindo a operação como uma cadeira de rodas manual convencional. O mecanismo de mudança de engrenagem deveria ter uma variedade de opções de montagem. O sistema deveria ser de engrenamento linear (contínua e progressiva). O sistema deveria ter quatro engrenagens com relações de 1:2 a 2:1. O usuário poderia trocar o engrenamento durante a propulsão, isto é não precisaria parar para trocar o engrenamento. O sistema deveria possuir um mecanismo inconstante, por exemplo, uma alavanca para mudar as engrenagens. O usuário deveria sentir a necessidade de mudança de engrenamento quando está em movimento e a mudança de engrenagens deveria ser manual (selecionável pelo usuário) e não automático [4.2].

O sistema deve ser integrado no anel de propulsão e no cubo das rodas e possuir um mecanismo de freio automático que não coloque em risco a segurança das mãos do usuário. Sendo um sistema "quick release" que trabalhe semelhantemente ao sistema de engrenamento de bicicletas.

Esse sistema deve acomodar não somente os usuários que possuem níveis baixos de força, mas também toda a população ativa. O sistema deveria requerer menos destreza nas mãos e habilidade (aperto e força dos membros superiores) do que a cadeira de rodas manuais. E deve prover maior distância percorrida em relação à cadeira padrão, isto seria útil para usuários ativos que querem cobrir distâncias mais rapidamente.

O equipamento deveria ser praticamente um acessório invisível, ou encaixado na cadeira, para não constranger o usuário (estética do produto) e seria conveniente que fosse um acessório e

não uma parte da estrutura da cadeira. Esse sistema não deveria afetar o dobramento da cadeira o que acarretaria a dificuldade do transporte da mesma.

4.6 Sistemas Motorizados Assistidos

Os sistemas motorizados assistidos são feitos para tornar a cadeira de rodas manual em motorizada. Isto dá ao usuário a opção de uso da cadeira manual ou motorizada. Ao mesmo tempo isso torna a opção de uma cadeira mais barata do que a motorizada. Esse sistema reduz o esforço físico e possibilita a locomoção do usuário em ambientes que antes ele não tinha acesso. Este sistema também ajuda no sistema de frenagem sem a necessidade de agarrar as rodas ou ocorrer o travamento das mesmas [4.2].

Algumas limitações, tais como o adição de peso, manutenção, custo e a preocupação de fazer um sistema adaptável à maioria das cadeiras de rodas convencionais, podem ser solucionadas.

A tecnologia ideal para sistemas motorizados servo-assistidos deveria pesar menos que 2kg e custar menos que R\$ 1.500,00, possuir gamas de velocidade até 11 km/h ser seguro e ter botões para acionar ou não o sistema. Se o sistema falhar deveria haver a possibilidade de se operar a cadeira como uma cadeira de rodas manual convencional.

Esse sistema poderia ser adaptável ao eixo do cubo das rodas traseiras, ou na armação. Se removível, que fosse de fácil remoção pelo usuário, não requerendo ferramentas específicas. Que não seja danificado por impactos ocorridos de diferentes velocidades de uso. O sistema deveria possuir controle de velocidade variável de forma que a velocidade possa ser ajustada às condições e ter controles inteligentes que deveriam mudar automaticamente as velocidades.

O sistema motorizado assistido deveria trabalhar em todos os ambientes internos e externos, subir e descer rampas e andar em terrenos irregulares. O sistema deveria ter pouca manutenção e ser de fácil limpeza, possuir um mecanismo para o processo de frenagem. Ser durável, seguro, de pequeno tamanho (não adicionar largura na cadeira), ser portátil e de fácil

instalação, possuir peso leve, não interferir no armazenamento e no transporte da cadeira de rodas manual convencional. É interessante que possua um sistema de recarregamento da bateria durante o uso. As baterias devem ser portáteis, recarregáveis e disponíveis no mercado.

O sistema poderia possuir um sistema de engate de velocidades, isto é, quando precisar subir uma rampa ou enfrentar uma mudança de declive, usando tecnologia inteligente. Enquanto o sistema estiver operando, deveria ter sensibilidade no anel de propulsão e assistir o usuário adequadamente, ou seja, quando ele necessitar de uma potência maior para realizar uma dada atividade, o sistema possuiria sensores e forneceria maiores potências.

O sistema deve ser montável na maioria dos modelos de cadeiras manuais. A interface de controle deve ser facilmente alcançada pelo usuário. O sistema assistido deve possuir alta confiabilidade, ser eficiente, com custo baixo e disponível no mercado para os usuários adquirirem como acessório. Deve ser esteticamente agradável ao usuário, e deve se enquadrar nas normas vigentes e ser aprovado por órgão competente. Esse sistema deve beneficiar usuários com pouca força nos membros superiores, paraplegia, que tenham problemas nos ombros, problemas respiratórios, etc.

A preocupação em analisar as várias maneiras de se motorizar cadeiras de rodas convencionais é um propósito que como já foi visto no capítulo anterior está sendo amplamente discutido, pois além do aproveitamento da cadeira de rodas manual, o usuário pode manter ativos seus membros superiores através de exercícios com a vantagem de não sofrerem lesões nos ombros e outras fadigas que possam surgir, e, além disso, não comprometem o sistema fisiológico do usuário.

Para realizar as atividades diárias, tais como, trabalhar, fazer compras, ir ao supermercado, ir a *shoppings center*, passear, enfim essas atividades que são comuns do cotidiano exigem a locomoção dessas pessoas e para isso é utilizada a cadeira de rodas, por isso a cadeira e o usuário devem ser visto como um conjunto no todo. Portanto para enfrentar "barreiras", tais como subir rampas (que geralmente não obedecem às especificações de leis e normas), percorrer longas distâncias, é necessário que haja um sistema que forneça autonomia ao usuário e ao mesmo tempo que não prejudique sua mobilidade.

Promover a melhoria da qualidade de vida, autonomia, conforto e segurança do usuário de cadeiras de rodas é o principal objetivo deste trabalho. Neste sentido o rebocador se destaca como um produto altamente vantajoso. Com relação ao custo, este rebocador não necessariamente precisa ser adquirido para cada usuário em questão. O rebocador estará disponível em hospitais, asilos, *shoppings center*, supermercados, escolas, etc., e será de uso público, não preocupando o usuário com o preço do produto. O requisito peso também não afetaria o usuário, visto que o rebocador só é utilizado quando da necessidade do usuário, sendo de fácil encaixe e desencaixe, evitando o carregamento de peso adicional durante a propulsão da cadeira de rodas manual.

Uma das principais reclamações dos usuários de cadeiras de rodas é que a cadeira motorizada é pesada, ocupa grande volume, custo alto, não tem a mesma mobilidade da cadeira manual e somente se torna necessária (público alvo deste trabalho) em subidas de rampas, em percorrer longas distâncias, etc. Logo para atender essa necessidade, ou seja, fornecer a motorização somente quando for necessário, o rebocador e as outras possibilidades de motorização de cadeiras de rodas citadas neste trabalho têm grandes chances de sucesso, pois esses sistemas são facilmente removíveis da cadeira, tornando a cadeira manual em motorizada e vice e versa, com o encaixe e desencaixe de kits de motorização.

É importante estudar a antropometria do usuário de cadeiras de rodas para facilitar a análise das possibilidades de se motorizar cadeiras de rodas convencionais como também o espaço requerido pela cadeira - usuário, que é o assunto do próximo item.

4.7 Antropometria

A antropometria trata de medidas físicas do corpo humano. Para projetar os postos de trabalho, máquinas e móveis, deve-se lembrar que sempre existem diferenças individuais entre os seus usuários em potenciais (Dul & Weerdmeester, 2000).

Uma das tabelas de medidas antropométricas mais completas conhecida é a norma alemã DIN 33402 de junho de 1981. Ela apresenta medidas de 54 variáveis do corpo. Os resultados são apresentados em percentis de 5, 50 e 95% da população de homens e mulheres e a média para adultos entre 16 a 60 anos (Iida, 1990).

Tabela 4.3 Medidas de antropometria estática, resumidas da norma alemã DIN 33402 de 1981.

MEDIDAS DE ANTROPOMETRIA ESTÁTICA (cm)	MULHERES			HOMENS		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
1. CORPO EM PÉ						
1.7 Comprimento do braço, na horizontal, até o centro da mão	61,6	69,0	76,2	66,2	72,2	78,7
2. CORPO SENTADO						
2.1 Altura da cabeça, a partir do assento, corpo ereto	80,5	85,7	91,4	84,9	90,7	96,2
2.2 Altura dos olhos, a partir do assento, ereto	68,0	73,5	78,5	73,9	79,0	84,4
2.3 Altura dos ombros, a partir do assento, ereto	53,8	58,5	63,1	56,1	61,0	65,5
2.4 Altura do cotovelo, a partir do assento, ereto	19,1	23,3	27,8	19,3	23,0	28,0
2.5 Altura do joelho, sentado	46,2	50,2	54,2	49,3	53,5	57,4
2.6 Altura poplíteia (parte inferior da coxa)	35,1	39,5	43,4	39,9	44,2	48,0
2.7 Comprimento do antebraço, na horizontal até o centro da mão	29,2	32,2	36,4	32,7	36,2	38,9
2.8 Comprimento nádega-poplíteia	42,6	48,4	53,2	45,2	50,0	55,2
2.9 Comprimento nádega – joelho	53,0	58,7	63,1	55,4	59,9	64,5
2.10 Comprimento nádega-pé, perna estendida na horizontal	95,5	104,4	112,6	96,4	103,5	112,5
2.11 Altura da parte superior das coxas	11,8	14,4	17,3	11,7	13,6	15,7
2.12 Largura entre os cotovelos	37,0	45,6	54,4	39,9	45,1	51,2
2.13 Largura dos quadris, sentado	34,0	38,7	45,1	32,5	36,2	39,1
4. MÃOS						
4.1 Comprimento da mão	15,9	17,4	19,0	17,0	18,6	20,1
4.2 Largura da mão	8,2	9,2	10,1	9,8	10,7	11,6
4.3 Comprimento da palma da mão	9,1	10,0	10,8	10,1	10,9	11,7
4.4 Largura da palma da mão	7,2	8,0	8,5	7,8	8,5	9,3
4.5 Circunferência da palma	17,6	19,2	20,7	19,5	21,0	22,9
4.6 Circunferência do pulso	14,6	16,0	17,7	16,1	17,6	18,9
4.7 Cilindro de pega máxima (diâmetro)	10,8	13,0	15,7	11,9	13,8	15,4

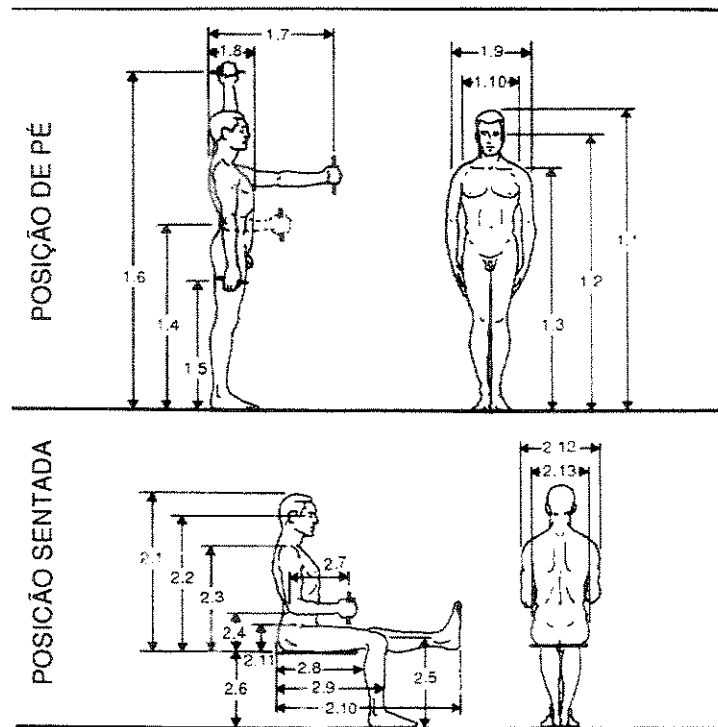


Figura 4.4 Medidas de antropometria estática, resumidas da norma alemã DIN 33402 de 1981.

Uma das grandes aplicabilidades das medidas antropométricas na ergonomia é o dimensionamento do espaço de trabalho. Iida (1990) define espaço de trabalho como sendo o espaço imaginário necessário para realizar os movimentos requeridos pelo trabalho.

O assento é provavelmente, uma das invenções que mais contribuiu para modificar o comportamento humano. Os usuários de cadeiras de rodas chegam a passar mais de dezoito horas por dia na posição sentada. Logo o grande interesse dos pesquisadores na ergonomia com relação ao assento. Na posição sentada, o corpo entra em contato com o assento através da estrutura óssea. Esse contato é feito através das tuberosidades isquiáticas que são recobertas por uma fina camada de tecido muscular e uma pele grossa, adequada para suportar grandes pressões. Em apenas 25 cm² de superfície concentra-se 75% do peso total do corpo. Com relação aos assentos, deve-se observar os seguintes princípios gerais (Iida, 1990):

- existe um assento adequado para cada função;
- as dimensões do assento devem ser adequadas às dimensões antropométricas;

- c) o assento deve permitir variações de postura;
- d) o encosto deve ajudar no relacionamento.

Existem inúmeros dados antropométricos que podem ser utilizados na concepção de espaços de trabalho, ferramentas e produtos de forma geral (Santos, 1997). Contudo devido à abundância de variáveis, é importante que os dados sejam os que melhor se adaptem aos usuários do espaço. Por isso há a necessidade de se definir com exatidão a natureza da população que se pretende servir em função da idade, sexo, trabalho e raça. Muitas vezes quando o usuário é um indivíduo ou um grupo reduzido de pessoas e estão presentes algumas situações especiais, o levantamento da informação antropométrica é importante, principalmente quando o projeto envolve um grande investimento econômico (Panero & Zelnik, 1991).

Sempre que possível e justificável, deve-se realizar as medidas antropométricas da população para a qual está sendo projetado um produto ou equipamento, pois equipamentos fora das características dos usuários podem levar a stress desnecessário e até provocar acidentes graves. Normalmente as medidas antropométricas são representadas pela média e desvio padrão, porém a utilidade dessas medidas depende do tipo de projeto em que vão ser aplicadas (Iida, 1990).

Dentro da engenharia antropométrica o estabelecimento de relações espaciais em coordenadas tridimensionais pode fornecer descrições detalhadas das superfícies corporais e uma variedade de novos fenômenos podem ser investigados como a localização de ossos, órgãos vitais e outras estruturas para a confecção de próteses, reconstrução de órgãos ou então para a aplicação de procedimentos diagnósticos à distância ou por controle remoto. Em todas essas atividades, o problema básico é a definição numérica da forma humana e as características físicas que estão relacionadas com a engenharia antropométrica.

A antropometria possui uma importância muito grande no planejamento do posto de trabalho e no desenvolvimento de produtos. A relação entre a antropometria clássica, a biomecânica e engenharia antropométrica são tão estreitas e inter-relacionadas que é difícil delimitá-las.

O estudo das medidas antropométricas de usuários de cadeiras de rodas é fundamental para eliminar posturas prejudiciais e minimizar o stress do usuário (Das & Kozey, 1999).

Jarosz (1996) em seus estudos sobre a determinação do espaço de trabalho para usuários de cadeiras de rodas realizou medidas antropométricas de 170 deficientes (101 homens e 69 mulheres) que usavam cadeiras de rodas e possuíam mobilidade eficiente nos membros superiores. Essas pessoas possuíam idade de 18 a 39 anos, fase de ótima capacidade profissional.

A média das dimensões das cadeiras de rodas que foi conduzida pelo Institute of Industrial Design e utilizada nos estudos de Jarosz (1996) é demonstrada na Figura 4.5 (Skaradzinska, 1989).

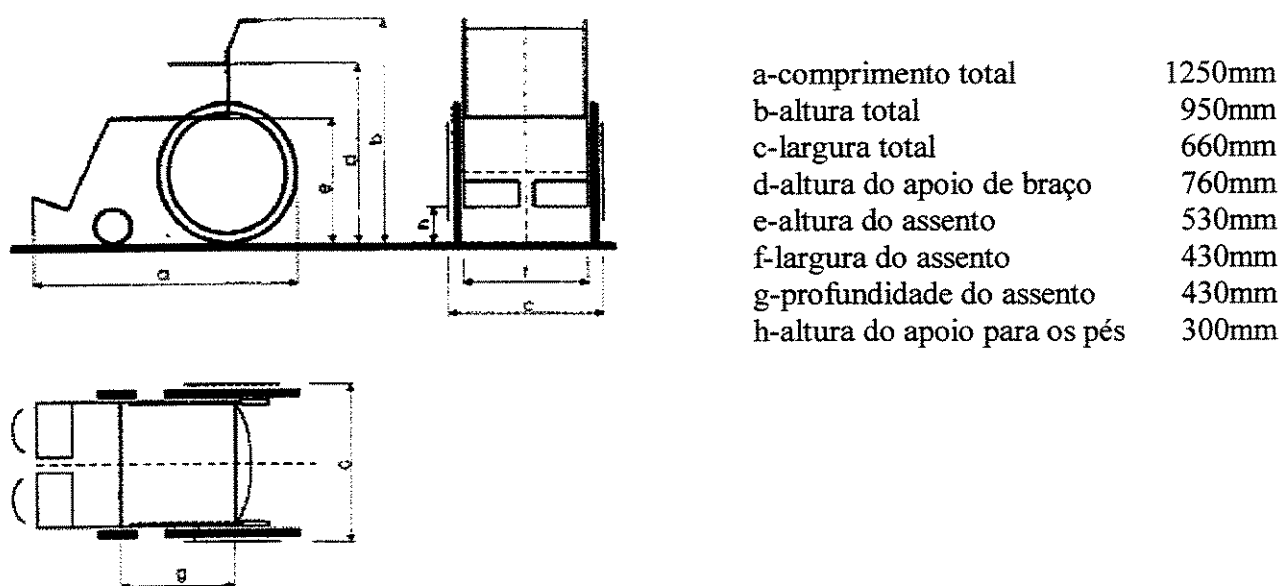


Figura 4.5 Medidas da cadeira de rodas segundo o Institute of Industrial Design.

4.7.1. Características dos homens e mulheres sentados

Muitos usuários têm sua vida diária e profissional exclusivamente em uma cadeira de rodas. Nos projetos de posto de trabalho o usuário e a cadeira devem ser tratados como uma unidade integral (homem-sistema cadeira). O posto de trabalho deve ser acrescido de valores adicionais

para acomodar as diferenças que a cadeira de rodas provoca, permitindo assim o conforto do usuário.

O estudo sobre os dados antropométricos de deficientes físicos que utilizam cadeiras de rodas serve para o projeto de posto de trabalho e de interiores de casas para este grupo, e servem também para determinar as necessidades do projeto da cadeira de rodas.

Jarosz (1996) concluiu em seu trabalho que as medidas antropométricas de usuários de cadeiras de rodas são diferentes da população que não utiliza a cadeira e que estes usuários requerem espaços diferentes.

Jarosz (1996) também fez comparações sobre o máximo alcance transversal e sagital e comparou com pessoas normais. A Figura 4.6 e a Figura 4.7 mostram o alcance máximo transversal e sagital para deficientes e para uma população não deficiente.

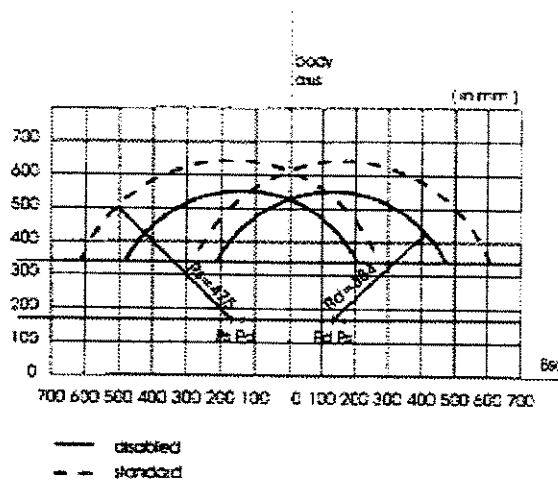


Figura 4.6 Máximo Alcance Transversal para deficientes (d) e população padrão (s).

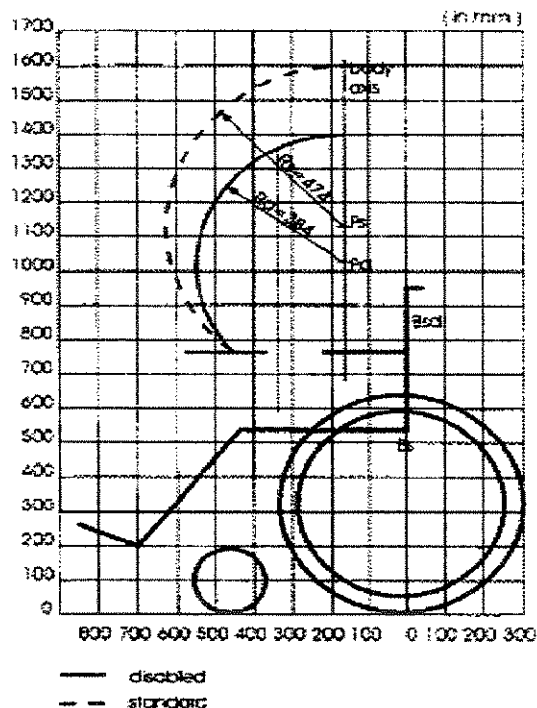


Figura 4.7 Alcance Máximo Sagital para a população deficiente(d) e população padrão(s).

Verifica-se que os alcances máximos tanto no plano sagital quanto no plano transversal para a população de deficiente são menores do que os alcances máximos de pessoas que não utilizam cadeiras de rodas. Isso acontece devido à falta de exercícios e também a atrofia dos membros que geralmente os usuários de cadeiras de rodas adquirem.

A Norma NR-17 (Norma Regulamentadora - Ergonomia) define que todos os equipamentos que compõem um posto de trabalho devem estar adequados às características psicofisiológicas dos trabalhadores e à natureza do trabalho a ser executado. No entanto essa norma não é aplicada com rigor.

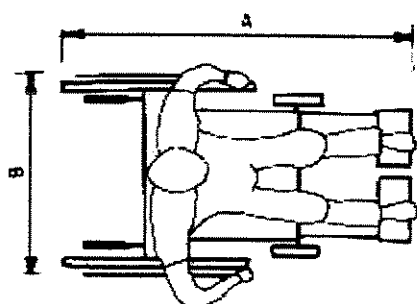
A Norma Brasileira NBR 9050 (1994) tem como objetivo a fixação de padrões e critérios que visam propiciar às pessoas portadoras de deficiência condições adequadas e seguras de acessibilidade autônoma em edificações, espaços mobiliários e equipamentos urbanos. A abrangência desta norma inclui as edificações de uso público, incluindo propriedade privada,

como por exemplo, as destinadas à educação, saúde, cultura, culto, esporte, lazer, serviço, comércio, indústria, hospedagem, trabalho, etc.

No decorrer desta norma são apresentadas situações que podem servir como exemplo de condição ideal e que devem ser consideradas em projetos ou adequações de edificações, espaço, mobiliário e equipamento urbanos em uso e devem ser respeitadas as devidas limitações.

O item 4.1 da NBR 9050(1994) trata de parâmetros antropométricos para pessoas em cadeiras de rodas. E descreve em seus subitens, limites de ação e alcance manual para usuários de cadeiras de rodas, limites de alcance visual, padrões que devem ser utilizados em pisos, padrões de tamanho de corredores, espaço necessário a manobras, padrões para rampas, portas, janelas, sanitários e vestuários, piscinas, estacionamentos, entre outros.

Segundo a Norma Brasileira NBR 9050(1994), os limites dimensionais de uma cadeira de rodas, de construção em metal são mostrados na Figura 4.8:



- A - Comprimento: de 1,05m a 1,20m;
- B - Largura total quando aberta: de 0,65m a 0,80m;
- C - Altura do piso ao assento: de 0,49m a 0,55m;
- D - Altura do piso ao braço da cadeira: de 0,72m a 0,78m;
- E - Altura total: de 0,90m a 1,05m;
- F - Largura total quando fechada: de 0,29m a 0,30m.

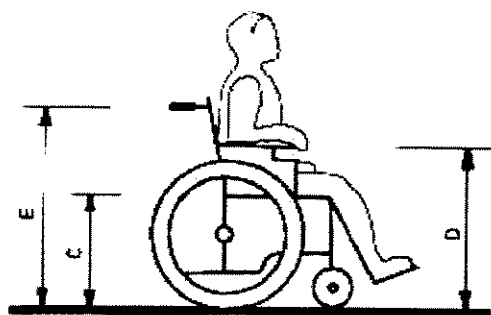


Figura 4.8 Limites de construção de cadeiras de rodas, segundo NBR 9050 (1994).

Segundo a NBR 9050(1994), o alcance de um indivíduo em cadeira de rodas é mostrado conforme indicado nas Figura 4.9 e na Figura 4.10.

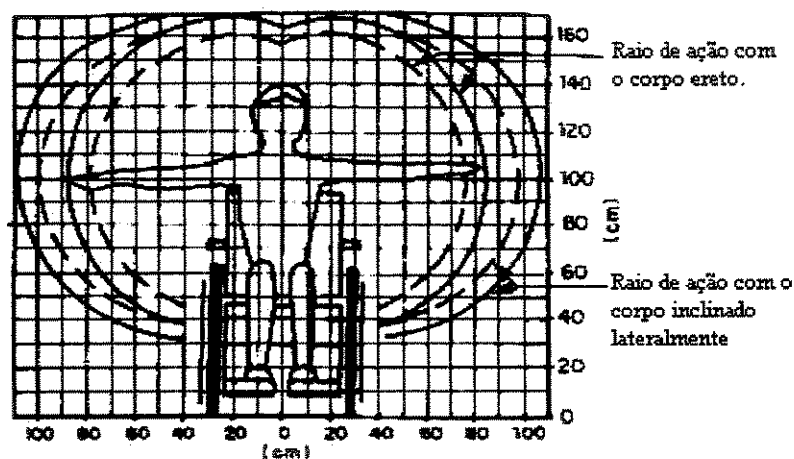


Figura 4.9 Máximo alcance transversal, segundo a NBR 9050, 1994.

O alcance em diagonal (ex: uso de telefone de parede ou porta-toalha) atinge, em média, as alturas de 0,40m a 1,20m, conforme a Figura 4.10.

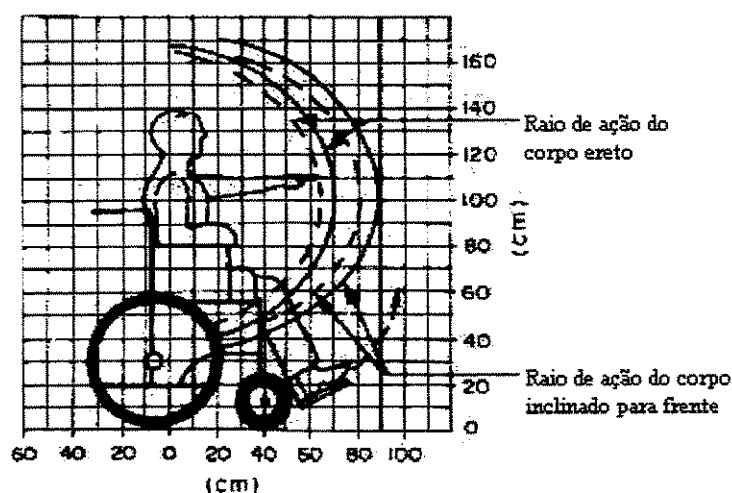


Figura 4.10 Máximo alcance no plano sagital, segundo NBR 9050, 1994.

As Figuras 4.9 e 4.10 mostram os alcances máximos e preferenciais para pessoas (brasileiros) com algum tipo de deficiência ou lesão que não tenha afetado a coordenação motora dos movimentos dos membros superiores.

4.8 Sumário

Este Capítulo mostrou a importância da aplicação da ergonomia no desenvolvimento de produtos, em especial para cadeiras de rodas.

Fica evidente a necessidade do conhecimento das características físicas e sócio-culturais dos usuários, pois considerando a cadeira de rodas como extensão do usuário para executar o seu trabalho com o máximo de eficiência e conforto. Isto só será possível se na concepção dos equipamentos assistivos, o usuário for analisado e considerado. Por outro lado os dados antropométricos só têm sentido para a ergonomia se analisadas também as atividades que o usuário desenvolve.

Capítulo 5

Metodologia de Projeto

Através dos estudos realizados nos capítulos anteriores, foi possível obter uma base de conhecimentos sobre os usuários de cadeiras de rodas e também entender a gravidade da situação enfrentada pelos portadores de deficiência física. O estudo dos tipos de cadeiras de rodas e suas características foi necessário, visando suas particularidades, comparando as cadeiras motorizadas com as cadeiras manuais e mostrando suas vantagens e desvantagens. Foram pesquisadas e discutidas todos os tipos de motorização de cadeiras de rodas convencionais já existentes no mercado atual. E também foram expostos os aspectos ergonômicos dos usuários de cadeiras de rodas.

Deste modo, foi possível formar uma base sólida para poder analisar as possibilidades de se motorizar cadeiras de rodas convencionais manuais.

O principal objetivo desta dissertação é o desenvolvimento de sistemas para motorização de cadeiras de rodas convencionais, visto que a grande maioria das cadeiras de rodas atualmente disponíveis no Brasil são do tipo mais simples e que não permitem a conversão pura e simples para motorização.

Portanto para se obter um banco de dados das possibilidades de se motorizar cadeiras de rodas convencionais é necessário a aplicação de uma metodologia de projeto no desenvolvimento

de um novo produto, viabilizando a continuidade de novos melhoramentos e explorando ao máximo as alternativas. Inicialmente existe uma fase denominada criatividade, onde serão aplicados métodos para a estimulação da atividade criadora, tais como, *Brainstorming* e Método Morfológico.

Para proporcionar o aumento da qualidade, será aplicado o método denominado *Quality Function Deployment* (QFD). Para realizar a Análise do Valor da motorização da cadeira de rodas convencional, será feita uma pesquisa com usuário de cadeira de rodas. Com os resultados dessa pesquisa, serão determinadas as funções do sistema de motorização da cadeira. Utilizando metodologias como o Diagrama *Fast* e o Método *Compare*, serão obtidos os custos destas funções e serão quantificados a importância de cada função para o usuário.

Posteriormente, um estudo sobre o desempenho da motorização da cadeira de rodas, através de simulações que permitirão uma previsão de desempenho.

5.1 Processo de Desenvolvimento do Produto

O desenvolvimento de um produto envolve etapas que integram fatores e pessoas de diferentes áreas e tem início com a apresentação de uma necessidade específica.

É necessário adquirir suficiente conhecimento do uso ou aplicação do produto que está sendo projetado e além disso, entender o valor do produto e seu efeito sobre o crescimento, lucro e prestígio da empresa (Back, 1983). O projeto deve desenvolver a habilidade e ponto de vista de forma a aumentar a possibilidade de resolver um problema com sucesso (Back, 1983).

O projeto quando iniciado e desenvolvido desdobra-se numa seqüência de eventos, numa ordem cronológica, formando um modelo, o qual sempre é comum a todos os projetos (Back, 1983).

A Figura 5.1 ilustra esquematicamente os principais parâmetros a serem considerados no projeto (Hamamoto, 2000).

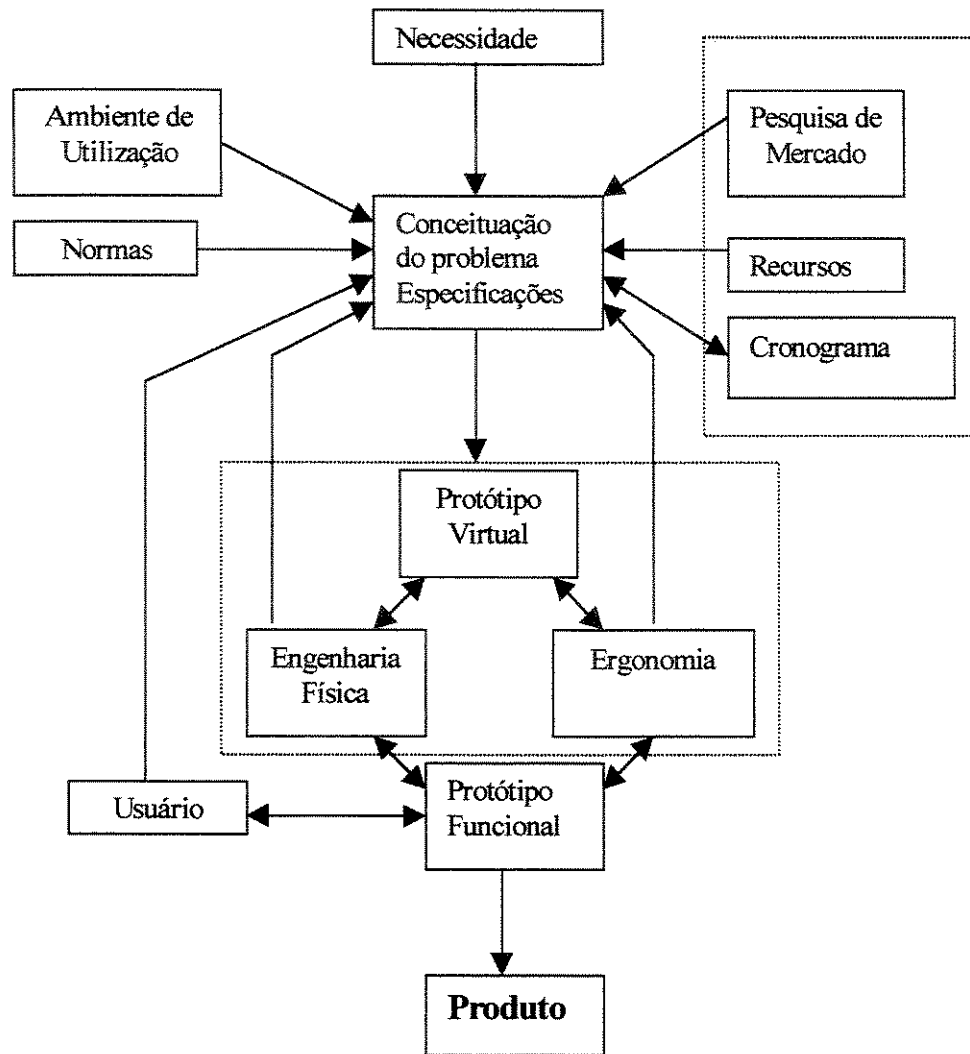


Figura 5.1 Roteiro de projeto.

O processo de desenvolvimento de produto de uma forma geral abrange as seguintes etapas:

1. Conceituação da necessidade e especificações

A necessidade consiste em um rebocador de cadeiras de rodas com controle feito pelo usuário. O rebocador fica em local estratégico e acessível devidamente demarcado recarregando suas baterias. Quando há a necessidade do usuário ir para outro pavimento ou deslocar-se para um local de uma grande distância (no qual ele irá se esforçar), ele se encontra com o rebocador, coloca as rodas dianteiras nos respectivos encaixes do rebocador, aciona a alavanca para prender

os controles e as rodas da cadeira. O uso do rebocador é feito para evitar esforços em subidas de rampas e evitar desconforto em descidas e também para evitar que o usuário permaneça com a motorização em locais que não necessite.

A motorização é conveniente somente em alguns casos:

- Subidas e descidas de rampas;
- Percorrer longas distâncias.

Em ambientes fechados e restritos, tais como escritórios, casas, a motorização é indesejável, tanto pelo fato do espaço ocupado pela cadeira motorizada, tanto pelo fato da manobrabilidade ser mais complexa do que uma cadeira de rodas convencional.

2. Ambiente de Utilização

O ambiente de utilização deve ser considerado na conceituação da necessidade e portanto na especificação do projeto e deve requerer a utilização de equipamentos compatíveis com as passagens críticas (portas, rampas, elevadores). Neste caso os ambientes de utilização são ambientes de construções prediais, *shopping centers*, cinemas, ambientes hospitalares e ambientes fabris.

3. Interação com o usuário

O usuário interage com o equipamento através de interfaces que constituem os componentes do equipamento que fornece informações ao operador humano para que este possa interagir. As interfaces permitem transmitir informações da máquina para o usuário (mostradores alfanuméricos, sinalizadores luminosos, sinalizadores auditivos, teclas, botões, entre outros). A resolução e a área ativa associada ao campo de visão do usuário são adequados às áreas de maior conforto antropométrico.

4. Protótipo virtual

O modelo virtual permite verificar a configuração geral do produto, a estética, as características antropométricas (posição do controle em relação ao usuário) e fazer simulações.

5. Protótipo funcional

O protótipo funcional tem todos os mecanismos e movimentos de um produto real. É nesta fase que avalia-se as características funcionais do equipamento, utilizando-o.

5.2 Processo de Criatividade

A palavra criatividade tem sido usada para definir uma propriedade abstrata ou característica que certas pessoas possuem. Não se trata de uma característica, mas de uma habilidade que certas pessoas apresentam de adquirir idéias novas e úteis para certos objetivos de engenharia.

A criatividade pode ser melhorada através do estudo do processo de criação, e ainda, através de técnicas tais como: *Brainstorming*, Método 6.3.5, Criatividade induzida, etc.

A criação de um novo produto deve apresentar três qualidades: deve ser nova e única, deve ser útil e deve apresentar simplicidade (Back, 1983).

Na prática ocorrem certos hábitos, reações ou outras características que sufocam ou reduzem a capacidade de criar. Transpor essas barreiras é uma tarefa difícil, mas com técnicas as barreiras vão diminuindo.

O processo de evolução do pensamento criativo pode seguir as seguintes etapas [5.1]:

- Pensamento intuitivo e discursivo;
- Intuição criativa (substituindo intuição confusa usando a intuição adequadamente);
- Características de pensamento intuitivo;

- Parada de pensamento errôneo;
- Aproximando da solução;
- Mentalidade criativa;
- Métodos para registrar as soluções.

5.3 Brainstorming

Brainstorming é um termo inglês composto das palavras *brain* = cérebro e *storm* = tempestade, e como este termo já está sendo usado largamente no Brasil, não possui tradução. Esta técnica foi introduzida por Alex Osborn, em 1939 (Back, 1983).

O *Brainstorming* pode ser aplicado em qualquer fase do desenvolvimento do produto; na elaboração de uma solução para o problema; para encontrar o nome de um novo produto; para desenvolver novos produtos, etc.

A técnica é baseada no princípio da associação e tem como objetivo básico estimular um grupo de pessoas para produzir idéias ou detectar problemas para questões existentes de maneira rápida e direta. O tempo ideal para uma sessão de *Brainstorming* é de 30 a 45 minutos. Está provado que as melhores idéias normalmente surgem ao final da sessão, pois as pessoas podem raciocinar com mais profundidade depois de eliminadas as respostas mais evidentes do problema.

Para o bom desempenho de um *Brainstorming*, devem ser seguidas quatro regras:

- a) É proibido criticar. As críticas podem inibir o processo de geração e exposição de idéias;
- b) A fantasia é ilimitada;
- c) Quantidade precede a qualidade. Deve-se exprimir o maior número possível de propostas e idéias.
- d) Não existem autores.

No final da sessão é recomendável ler todas as idéias obtidas, pois freqüentemente os membros do grupo sempre têm novas sugestões.

Após ter uma lista de idéias, o coordenador do grupo deve fazer uma revisão e classificá-las em categorias lógicas, selecionando as idéias mais promissoras. Normalmente essa avaliação é feita pelo próprio grupo, mas é recomendável que seja efetuada por especialistas (Back, 1983).

5.4 Método Morfológico

A Morfologia é a ciência de relações entre idéias e ações, fundada e desenvolvida por um astrofísico suíço chamado Fritz Zwicky. A técnica é o resultado da criatividade que faz com que a mente subconsciente seja dirigida para a produção de idéias arbitrárias, idéias aleatórias por uma aproximação consciente e sistemática, veja a Figura 5.2 [5.1].

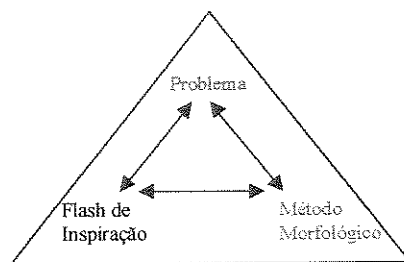


Figura 5.2 Lidando com a inspiração.

O método consiste em dividir o problema em duas ou mais dimensões, baseado nas funções requeridas do sistema a ser projetado. Em seguida deve-se listar o maior número possíveis de caminhos para alcançar cada uma das dimensões funcionais. Finalmente, as listas são colocadas num diagrama morfológico de um modo que as diversas combinações possam ser facilmente analisadas [5.1].

De posse destas considerações é possível analisar as possibilidades da motorização de cadeira de rodas de convencional. O Método do Quadro Morfológico foi aplicado para obter uma idéia global das possibilidades de se motorizar cadeiras de rodas convencionais manuais. Para a determinação das soluções parciais do quadro morfológico, foi feito um *Brainstorming* (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 Tabela com parâmetros e soluções parciais resultantes do *Brainstorming*.

Motorização	Substituir uma roda dianteira por uma motorizada, substituir as duas rodas dianteiras por duas rodas motorizadas, motorizar as duas rodas traseiras, adicionar uma quinta roda motorizada frontal com elevação das duas rodas dianteiras, acoplar um rebocador motorizado.
Transmissão	Correia, engrenagem, alavanca, diâmetro da roda, corrente, polia sob pressão.
Quantidade de motores	Um motor, dois motores, três motores.
Sistema de direção	Diferencial na roda dianteira, diferencial na roda traseira.
Número de baterias	Uma bateria, duas baterias.
Autonomia das baterias	Duas horas, três horas, quatro horas, seis horas.
Velocidades máximas	2km/h, 6km/h, 10km/h, 15km/h.
Capacidade de carregamento	Pessoa até 50kg, 70kg, 85kg, 90kg.
Acumulador de Energia	Volante de Inércia, bateria, molas, elástico, capacitor, vaso de pressão, ar comprimido.
Sistema de acionamento	Joystick, guidão, aro, botão, campo magnético, voz, pulso nervoso, óptico, automático, infravermelho.
Recarregador de baterias	Alternador, célula fotoelétrica, fonte AC 220/110V, nenhum.
Sistema de Freio	Alavanca, inversão de rotação, redução do motor, manual (através do aro), travar o motor, freio à disco, lona, magnético.
Sistema de controle de direção	Joystick, voz, manual, tela sensível, bola roll-on.
Fixação do kit na cadeira	Ganchos, encaixe com trava, parafuso, encaixe com pressão.
Fixação do controle de sistema de direção	Presilha, trava, parafuso, com pressão, velcro, alavanca presa na armação.

Várias idéias foram levantadas, tais como, uma cadeira que possua a motorização nas rodas traseiras, ou uma roda frontal motorizada que substitua as duas rodas frontais (ficando estas suspensas) e tornando a cadeira de rodas em um triciclo, a motorização nos cubos das rodas que possuem maior diâmetro e um rebocador de cadeiras de rodas.

Algumas dessa idéias já existem no mercado atual, é o caso da motorização nas rodas traseiras (Dispositivo da AACD), ou a motorização interna nos cubos das rodas traseiras (Yamaha), no entanto a substituição das duas rodas frontais por uma roda motorizada (com elevação das frontais) e o rebocador de cadeiras de rodas são produtos inovadores.

O ideal é que o produto não altere em demasia a cadeira de rodas convencional e além disso que possa ser facilmente acoplável e desacoplável da cadeira e que isso possa ser feito pelo próprio usuário, possibilitando sua autonomia completa.

A busca de soluções de se motorizar cadeiras de rodas se baseia em vários aspectos e citando um deles é que a massa média das cadeiras de rodas motorizadas no mercado gira em torno de 90 kg. As pesquisas realizadas no Capítulo 3 mostram que todas as cadeiras de rodas motorizadas possuem dois motores e duas baterias. A dificuldade de transporte é muito grande e a dependência do controle também se torna fato indesejável, além de que as dimensões e o preço não atendem as necessidades do público alvo escolhido (adultos com movimento nos membros superiores).

Após a formulação das várias soluções parciais, foi feita uma seleção, e então montado o Quadro Morfológico veja Tabela 5.2.

Tabela 5.2 Quadro morfológico das possibilidades de motorização de cadeiras de rodas convencionais manuais.

Parâmetros	Soluções Parciais							
Motorização	Substituir uma roda dianteira por uma motorizada.	Substituir duas rodas dianteiras por duas rodas motorizadas.	Motorizar as duas rodas traseiras.	Adicionar uma quinta roda motorizada frontal com elevação das duas rodas dianteiras.	Rebocador motorizado			
Transmissão	Correia	Engrenagem	Alavanca	Corrente	Diâmetro da roda	Polia sob pressão		
Quantidade de Motores	1	2	3					
Sistema de direção	Diferencial na roda traseira	Diferencial na Roda dianteira						
Velocidades máximas	2 km/h	6 km/h	10 km/h	15 km/h				
Capacidade de carga	50 kg	70 kg	85 Kg	95 kg				
Número de baterias	1	2						
Duração da bateria	2 horas	3 horas	4 horas	6 horas				
Acumulador de energia	Volante de inércia	Bateria	Mola	Capacitor	Ar comprimido	Nenhum		
Sistema de acionamento	Joystick	Aro	Botão	Campo magnético	Voz	Pulso nervoso	Óptico automático	Infra-vermelho
Recarregador	Alternador	Célula fotoelétrica	Fonte AC 220/110V	Nenhum				
Sistema de freio	Alavanca	Inversão de rotação	Redução do motor	Manual (aro)	Travar motor	Freio à disco	Magnético	Lona
Sistema de controle de direção	Joystick	Voz	Manual	Tela sensível	Bola roll-on	Teclado		
Fixação do kit na cadeira	Ganchos	Encaixe com trava	Parafuso	Encaixe com pressão	Nos cubos das rodas traseiras			
Fixação do controle de sistema de direção	Presilha	Trava	Parafuso	Velcro	Sob pressão	Alavanca presa na armação		

Com o uso do quadro morfológico, foram formuladas quatro configurações de motorização de cadeiras de rodas convencionais manuais. Os quadros morfológicos preenchidos com as características dessas quatro configurações encontram-se no Apêndice 3.

5.4.1 Análise das Soluções Encontradas no Quadro Morfológico

Analisando os quadros morfológicos do Apêndice 3, foram obtidas as seguintes soluções:

- Motorizar as rodas traseiras da cadeira de rodas convencional;
- Substituir as duas rodas traseiras por duas motorizadas;
- Uma roda motorizada instalada com elevação da parte frontal da cadeira;
- Rebocador de cadeiras de rodas convencionais.

O principal objetivo deste item é analisar e comparar as três configurações encontradas no Quadro Morfológico, é importante ressaltar que podem ser feitas outras combinações, possibilitando configurações diferentes das escolhidas neste trabalho.

A solução de motorizar as duas rodas traseiras através de polias que sob pressão nas rodas aciona a motorização é uma alternativa que possui vantagens de o kit de motorização ser facilmente removível da cadeira e tendo a opção de utilizar o kit quando necessário acionando uma alavanca que coloca as polias em contato com as rodas traseiras. A desvantagem desse sistema é devido ao contato da polia diretamente com a roda (que fatalmente carrega sujeira e/ou até mesmo objetos cortantes e pontiagudos provenientes do meio em que ela circula e podendo assim danificar o sistema de transmissão ou até mesmo ocasionar a “patinação” da polia com relação à roda. Outra desvantagem é que a transmissão fornece uma capacidade de carregamento muito pequena, aproximadamente de 50kg, a qual o público alvo escolhido não se enquadra. Além de que o sistema oferece uma velocidade máxima de 2 km/h que nem sempre é desejável.

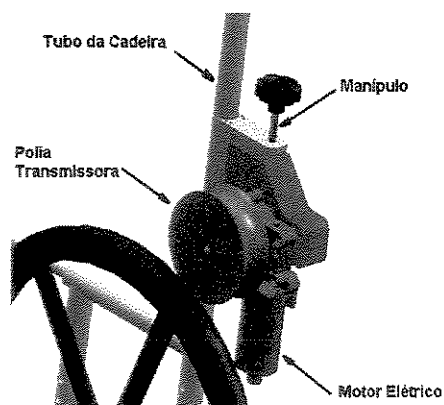


Figura 5.3 Detalhe da motorização na roda traseira através do contato com a polia.

Substituir as duas rodas traseiras por duas motorizadas (Figura 5.4) é uma opção bastante interessante, visto que as baterias se encontram nos cubos das rodas, não sendo visíveis, mantendo a estética da cadeira de rodas manual convencional. Esse sistema possui a opção de se escolher o modo de utilização através de um giro no cubo de uma das rodas traseiras, acionando ou não, o sistema motorizado, permitindo ao usuário a escolha em utilizar a cadeira no modo manual ou no modo motorizada. Outra vantagem é que esse sistema de motorização é compatível com a maioria das cadeiras de rodas convencionais. A desvantagem é que para montar o kit de motorização é necessário desmontar a cadeira, retirando as rodas convencionais e adaptando-se as rodas motorizadas e isto não pode ser feito pelo usuário sentado na própria cadeira. E também existe o problema de carregar peso "extra" quando está se utilizando a cadeira no modo manual, que é totalmente indesejável pelos usuários de cadeiras de rodas.

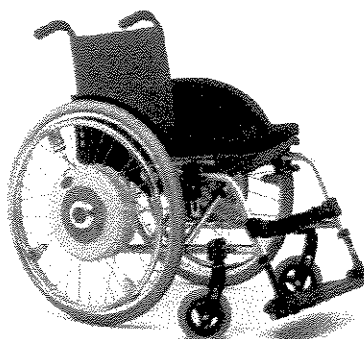


Figura 5.4 Foto de cadeira com motorização interna nas rodas traseiras.

Instalar uma roda motorizada com elevação das duas rodas dianteiras é uma opção que torna a configuração da cadeira de rodas em um triciclo. Esse sistema exclui as rodas frontais que podem afetar o movimento e a estabilidade da cadeira (Becker, 2000). Sendo que o controle da direção fica somente nesta roda que é ao mesmo tempo motora tratora e diretora. É um sistema fácil construção e também é adaptável à maioria das cadeiras, porém para montá-lo é necessário que o usuário se retire da cadeira, causando a dependência de outra pessoa.

O rebocador de cadeiras de rodas pareceu a solução mais interessante para ser desenvolvido neste trabalho, pois ele apresenta a flexibilidade de utilizá-lo quando necessário, isto é, em subidas de rampas, para percorrer longas distâncias, etc. O problema de carregar peso que é geralmente criticado pelos usuários, não existe no rebocador, pois o peso do rebocador é necessário para transferir o centro de massa do sistema para frente proporcionando maior estabilidade. E quando o usuário necessita utilizar a cadeira de rodas manualmente, ele dispensa o rebocador, não carregando peso excedente. O rebocador deve possuir um sistema inteligente para obedecer comandos do usuário e/ou obedecer comandos pré- estabelecidos em sua programação.

Logo, foi decidido focar neste trabalho o rebocador de cadeira de rodas, pois a solução se aproxima das expectativas dos usuários de cadeiras de rodas e além disso, esse rebocador será de uso público proporcionando a utilização da grande massa da população portadora de deficiência física.

5.5 Quality Function Deployment (QFD)

O desenvolvimento de um produto deve refletir os interesses e necessidades do consumidor. No entanto, há uma dificuldade em traduzir para o planejamento os desejos dos consumidores.

O QFD é um dos métodos sistemáticos usados para proporcionar o aumento da qualidade, antes da fase de produção. Este método denominado *Quality Function Deployment* (QFD) é um processo estruturado que pretende determinar os desejos e necessidades dos consumidores e traduzi-los em requisitos técnicos de engenharia. É um engenhoso recurso visual, usado para

garantir que as expectativas dos clientes sejam adequadamente incorporadas à especificação do produto ou serviço e, conseqüentemente, aos requisitos dos processos de planejamento, produção e entrega.

Benefícios:

- Melhoria da qualidade e confiabilidade;
- Redução do ciclo de lançamento de novos produtos;
- Redução dos custos de planejamento e produção.

Quando esta ferramenta é devidamente utilizada, cria um ciclo fechado de melhoria contínua, como mostrado abaixo:

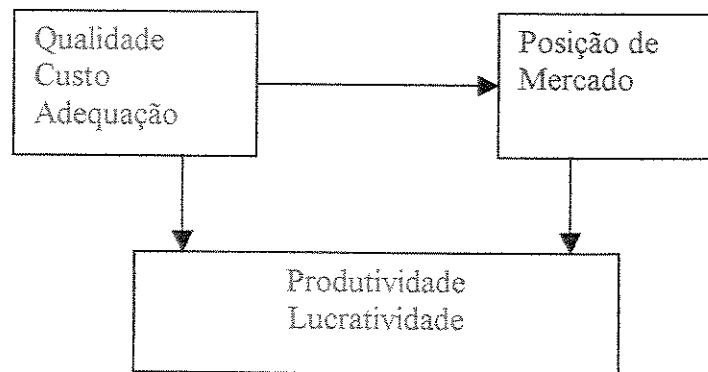


Figura 5.5 Ciclo de melhorias trazidas pela utilização do QFD.

É necessário esclarecer algumas confusões que existem em torno da terminologia QFD a partir de sua introdução nos EUA. Existe uma corrente de estudiosos que considera errônea a utilização do termo QFD como ele tem sido proposto nos países ocidentais. Para estes estudiosos, o termo QFD é muito restrito, pois representa apenas uma das fases do desdobramento da qualidade, por isto, sugerem que a metodologia fosse chamada apenas de Desdobramento da Qualidade, como ocorre no Japão. Este é um termo mais amplo e engloba todas as fases de desdobramento existentes (Cheng, 1994). Para esclarecer este conflito Campos (1992) explica a abrangência de cada um dos termos no ponto de vista dos japoneses através da Tabela 5.3.

Tabela 5.3 Desdobramento da qualidade do ponto de vista japonês.

	ETAPA	OBJETIVO	OBSERVAÇÃO
DESDOBRAMENTO DA QUALIDADE	DESDOBRAMENTO DA QUALIDADE	Necessidades do cliente(QUALIDADE)	Inicia pela qualidade que representa as necessidades dos clientes. Desdobra estas qualidades até se ter as funções qualidade que são as especificações do produto.
	DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE	Especificação do produto. (FUNÇÃO QUALIDADE) Especificação de Processo.	Inicia pelas funções qualidade, desdobra estas funções até se ter as especificações de processo.

5.5.1 Breve Histórico

Os conceitos de QFD foram propostos por Yoji Akao da Universidade de Asahi em 1966 no Japão. Akao sugeriu a utilização de cartas e matrizes para expressar que os pontos críticos da garantia da qualidade, do ponto de vista do cliente, deveriam ser transferidos através das etapas de projeto e manufatura (Fiates, 1995).

Os Estados Unidos tiveram o primeiro contato com a metodologia em 1983, quando Dr. Ishikawa dirigindo uma delegação japonesa explicou a filosofia a alguns integrantes da Ford Motor Co. Posteriormente muitas missões técnicas para o Japão foram organizadas pela ASI (American Supplier Institute), com o intuito de conhecer de perto as aplicações da nova metodologia integrada ao Controle da Qualidade Total (Fiates, 1995).

Ainda em 1983, Dr. Clausing apresenta aos Estados Unidos a experiência desenvolvida na Fuji- Xerox, no Japão. Convencida da eficácia da ferramenta, em 1984, a Ford inicia a utilização do método sob a orientação do Dr. Clausing.

Em 1987, o Dr. Akao escreve e publica seu segundo livro, publicado nos EUA em 1990 com o título: "Quality Function Deployment - QFD: Integrating Customer Requirements into Product Design." esta obra é de grande importância, tendo em vista a quantidade de exemplos de implementação da metodologia em diversos setores de negócios.

Em 1987, é publicado nos EUA o primeiro livro sobre QFD escrito por um americano, Dr. Bob King, com o seguinte título: "Better Designs in Half the Time - Implementing QFD Quality Function Deployment in America". Neste livro, King apresenta o resultado de seus estudos com o Dr. Akao, no Japão e introduz algumas modificações na sistemática de Akao.

No Brasil o QFD só começou a ser estudado no final da década de 80 e início de 90. A nível de aplicação industrial é ainda pouco difundido, mas sabe-se que grandes empresas como a Consul, a IBM Brasil e algumas empresas automotivas já estão utilizando esta metodologia no desenvolvimento de novos produtos (Fiates, 1995).

5.5.2 As Diferentes Abordagens

O desdobramento das necessidades dos clientes até o estágio de produção é feito através do uso de matrizes de relacionamento e de priorização, duas das novas ferramentas da qualidade. O mecanismo é baseado na comparação de dois grupos de itens para identificar os elementos que se relacionam e a intensidade desta correlação, bem como hierarquizar os elementos conforme critérios preestabelecidos como importância, custo e dificuldade de execução.

Atualmente existem três grandes abordagens da metodologia de QFD. As três linhas seguem o mesmo mecanismo de desdobramento, diferindo entre si nas etapas propostas para a execução dos desdobramentos no número de matrizes utilizados para cada uma destas etapas e no uso de diferentes ferramentas auxiliares. Em síntese, a diferenciação básica está no modelo conceitual desenvolvido em cada uma das abordagens. O modelo conceitual representa o caminho por onde o estudo deve percorrer para alcançar o objetivo desejado, é um plano de trabalho que direciona todo o processo de desdobramento (Fiates, 1995).

5.5.2.1. Abordagem de Akao

A primeira abordagem, de Akao, é bastante abrangente e contempla quatro perspectivas distintas de desdobramento: desdobramento da qualidade, desdobramento da tecnologia, da contabilidade e do custo. O modelo de Akao (1988) pode ser melhor entendido analisando a Tabela 5.4 :

Tabela 5.4 Fases do modelo conceitual de Akao (Akao, 1988).

- Desdobramento da Qualidade
- Desdobramento das Funções
- Desdobramento dos Mecanismos
- Desdobramento da Produção
- Desdobramento da Tecnologia
- Desdobramento da Confiabilidade
- Desdobramento do Custo

A primeira fase de desdobramentos, encabeçado pelo desdobramento da qualidade é denominado, como um todo, de desdobramento da qualidade. O modelo de Akao sugere a utilização destes quatro desdobramentos para um estudo mais abrangente e completo sobre um dado tema, no entanto a presença ou não das quatro fases do desdobramento num determinado estudo é dependente dos objetivos estabelecidos, ou seja, depende do setor da indústria e da proximidade ao consumidor final. É importante frisar neste momento que quatro fases de desdobramento não implicam em quatro matrizes, para cada um dos desdobramentos, o autor sugere uma série de matrizes, que são utilizadas dependentemente dos parâmetros supra citados.

Para a execução das matrizes, o autor sugere a utilização de técnicas como a Engenharia e Análise do Valor, a Engenharia de Gargalos, a Metodologia Taguchi, Delineamento de Experimentos, Análise de Árvore de Falhas (FTA) e Análise de Modo e Efeito de Falhas (FMEA) compondo assim um sistema estruturado para gerenciar o desenvolvimento de produtos e serviços com um enfoque voltado para as necessidades do consumidor (Akao, 1988).

5.5.2.2. Abordagem de Bob King

A abordagem de Bob King reorganiza o sistema de Akao agrupando todas as matrizes em uma única matriz chamada de Matriz das Matrizes. Além disto, esquematiza os desdobramentos de maneira mais ordenada, como em uma "receita de bolo". Por último, ela inclui o novo conceito de Método de Seleção do escocês Stuart Pugh que assegura a introdução do ingrediente inovação no processo do QFD. No modelo de King são utilizadas 30 matrizes e ele sugere para cada objetivo específico, uma seqüência diferente de utilização matrizes.

5.5.2.3. Abordagem de Macabe

Finalmente a abordagem das quatro matrizes, proposta inicialmente por Macabe. Este método é o mais difundido devido a sua simplicidade, por isto tem como principais disseminadores nos EUA nomes como Don Clausing, John Hauser (Hauser, 1988) e a American Supplier Institute (ASI). Talvez devido a facilidade de acesso à bibliografias americanas, no Brasil este é o método que tem recebido o maior número de adeptos. As quatro fases desta abordagem se constituem em quatro matrizes que direcionam o desenvolvimento do produto ou serviço, desde os requisitos dos consumidores até a fabricação como mostra a Tabela 5.5 :

Tabela 5.5 Fases de desdobramento do modelo conceitual de Macabe(Eureka,1992).

Requisitos do Consumidor-Requisitos de Projeto	=> MATRIZ I
Requisitos de Projeto -Características das Partes	=> MATRIZ II
Características das Partes -Operações de Fabricação	=> MATRIZ III
Operações de Fabricação- Requisitos de Produção	=> MATRIZ IV

Apesar de sua grande aceitação junto às empresas, esta abordagem tem sido muito criticada pelos estudiosos japoneses devido à sua limitação, pois como o modelo é reduzido à apenas quatro matrizes, permite apenas uma análise superficial da empresa ou objeto de estudo sem considerar as peculiaridades de cada caso como: o tipo de produto ou serviço, o mercado em que está inserido, as condições de concorrência etc. Além disso, o método não contempla objetivos mais específicos como desdobramento de custos ou de contabilidade.

Observa-se, assim, que todas as abordagens foram desenvolvidas com um enfoque de desenvolvimento de produto, embora estejam sendo utilizadas também no setor de serviços.

5.5.3 Implementação do QFD

O processo do QFD é dividido em quatro fases, que vão da pesquisa para idealizar o melhor produto ao planejamento da produção.

Fase 1 : Planejamento do Produto (Casa da Qualidade)

No início de um projeto o departamento de Marketing ou a Engenharia do Produto planeja o produto, essa fase é também conhecida como a *Casa da Qualidade*. Nesta etapa são necessárias pesquisas junto ao consumidor definindo-se suas necessidades e desejos, avaliam-se as características do produto, os concorrentes e a capacidade da empresa de atender todos estes critérios. Garantir a qualidade dos dados levantados é essencial para que o método produza resultados satisfatórios.

Fase 2: Design do Produto

Esta etapa é realizada pelo departamento de engenharia, no design do produto são necessárias o uso da criatividade e busca de idéias inovadoras. A concepção do produto especificações do projeto e documentação são feitas nesta fase.

Fase 3: Planejamento do Processo

Finalizado o design, inicia-se a terceira fase , a qual a equipe da Engenharia de Manufatura planeja o processo. Nesta etapa cada processo é esquematizado, parametrizado e os resultados são documentados.

Fase 4: Controle de Processo

É na última fase que o controle de processo é criado, onde são estabelecidos indicadores que irão monitorar o processo de produção, os prazos e habilidades dos funcionários. Gerenciada pela equipe da Qualidade, que passa a trabalhar em conjunto com a equipe de Manufatura, esta

fase também analisa os pontos de maiores riscos, onde são instalados controles para prevenir falhas.

5.5.4 A Casa da Qualidade

A *Casa da Qualidade* é a primeira matriz utilizada para a execução do QFD. Sua realização segue um processo estruturado, utilizando uma linguagem visual e um conjunto de diagramas de engenharia e administração interligados que utilizam as *Sete Novas Ferramentas da Qualidade*. Esta estabelece os valores do consumidor utilizando a "Voz do Consumidor" e transforma estes valores para as características das atividades de projeto, produção e manufatura. O resultado é um processo de engenharia de sistemas que liga o desenvolvimento do produto, de forma a assegurar a qualidade do produto, segundo a definição do consumidor (Dedini, 2000).

5.5.5 Execução da Casa da Qualidade

Existem muitas propostas para a execução da Casa da Qualidade e neste trabalho será aplicado a proposta de Don Clausing que sugere as seguintes etapas (Dedini, 2000):

- a) Ouvir a "Voz do Consumidor";
- b) Determinar os Requisitos de Projeto;
- c) Relacionar a "Voz do Consumidor " x Requisitos de Projeto;
- d) A percepção do consumidor;
- e) Avaliação dos concorrentes;
- f) Correlação dos Requisitos de Projeto;
- g) Planejamento;
- h) Determinação das Metas.

A aplicação das etapas segue logo abaixo:

A) Ouvir a "Voz do Consumidor "

O primeiro passo desta etapa é coletar a qualidade requerida, ou seja, ouvir a voz do cliente. Esta coleta de informações pode ser feita de diversas maneiras, entrevistas, questionários, análise

de reclamações, sugestões, etc. O importante nesta fase é estar atento para tudo o que é explicitado pelos consumidores, sem esquecer, no entanto, dos aspectos implícitos, aqueles que o cliente não cita mas deseja ter no produto.

Neste trabalho foram coletadas várias entrevistas e questionários realizados por alunos da graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp, visando a idealização de uma cadeira de rodas, ou seja, os questionários foram baseados na importância fornecida pelos usuários em relação à uma cadeiras de rodas que supre suas principais necessidades. E através destes foi possível fazer uma análise profunda e extrair as necessidades dos usuários de cadeiras de rodas.

Através da importância atribuída pelos deficientes às diferentes funções e desempenhos da cadeira, e levando em conta comentários e sugestões, foram definidos 18 requisitos funcionais (necessidades do consumidor), com seus respectivos graus de importância.

A maioria dos requisitos provêm de perguntas feitas nos questionários fornecidos pelos entrevistados, possibilitando um grau de importância máximo de 30. A caracterização das necessidades irá garantir uma concentração dos esforços nas áreas onde há uma chance maior de retorno.

B) Determinar os Requisitos de Projeto

Os requisitos de projeto devem refletir as características que os consumidores esperam encontrar no novo produto, ou seja, é a tradução das necessidades dos consumidores em requisitos técnicos de engenharia. Estes requisitos são determinados através de algumas questões, tais como: *Qual a função do produto? Quais as características físicas do produto? Que custos serão envolvidos?*

Os principais requisitos de projeto no novo produto encontrados neste trabalho foram:

- Potência;

- Diâmetro de giro;
- Ângulo de ataque;
- Peso;
- Dimensões;
- Confiabilidade;
- Vida útil;
- Quantidade de motores;
- Autonomia;
- Nível de ruído;
- Disponibilidade;
- Sistema de controle;
- Custo.

De posse das necessidades do consumidor e dos requisitos de projeto, é possível relacioná-los.

C) Relacionar a "Voz do Consumidor " x Requisitos de Projeto

Nessa fase do projeto foi criada uma matriz de correlação entre as necessidades dos clientes e os itens de projeto. Esta matriz representa a importância dada a cada característica e a correlação com o requisito de projeto. O grau de correlação entre as necessidades do consumidor e os requisitos de projeto foi feito atribuindo valores de 1, 2 ou 5 para correlações fracas, fortes ou muito fortes , respectivamente.

O procedimento de preenchimento da matriz deve seguir algumas recomendações,tais como: garantir que cada linha tenha ao menos uma correlação forte, não deixar colunas vazias, evitar a construção de uma matriz muito preenchida, evitando muitos relacionamentos, o que pode dificultar as fases seguintes.

D) A percepção do consumidor

O consumidor avalia ainda como o serviço prestado pela empresa atende a cada um dos requisitos do consumidor em relação aos principais concorrentes, usando-se, para tanto, uma escala crescente de 1 a 5. Este processo configura-se numa forma de *benchmarking*, um processo de comparação contínua da empresa em relação à outras organizações.

A Figura 5.6 apresenta esta comparação e os seus pesos relativos e importância dada pelo consumidor para o produto em questão:

Desejos/Necessidades do consumidor		Avaliação do Consumidor									
		Rebocador	JW-II (Yamaha)	E-Fix	Dispositivo AACD	Objetivo	Porcentagem	Pontos de Venda	Importância	Peso	Normalizado
Agilidade	27	3	4	4	3	3	1,0	1,2	27	32,4	5,9
Subir rampas	30	5	4	4	3	5	1,0	1,5	30	45,0	8,2
Manobrabilidade	23	4	5	5	4	3	0,7	1,2	23	19,3	3,5
Ultrapasse obstáculos	18	2	3	3	2	2	1,0	1,0	18	18,0	3,3
Ser leve	30	1	2	3	4	2	2,0	1,2	30	72,0	13,2
Dimensões Compactas	30	3	3	5	4	3	1,0	1,2	30	36,0	6,6
Fácil manutenção	26	5	3	2	3	4	0,8	1,0	26	20,8	3,8
Durabilidade	26	5	3	3	1	5	1,0	1,2	26	31,2	5,7
Sistema motriz flexível	30	5	3	3	4	5	1,0	1,5	30	45,0	8,2
Tempo de funcionamento	26	4	4	4	2	3	0,7	1,5	26	27,3	5,0
Funcionar silenciosamente	30	4	4	4	3	3	0,7	1,0	30	21,0	3,8
Poucas quebras	26	5	4	4	3	5	1,0	1,5	26	39,0	7,2
Várias velocidades	27	4	5	5	1	4	1,0	1,2	27	32,4	5,9
Facilidade de controle	30	5	4	4	3	5	1,0	1,2	30	36,0	6,6
Freio de estacionar	20	5	4	4	2	4	0,8	1,2	20	19,2	3,5
Indicador de carga da bateria	25	5	5	3	1	3	0,6	1,0	25	15,0	2,7
Sistema de alerta em caso acidente	16	5	1	1	1	2	0,4	1,0	16	6,4	1,3
Preço baixo	20	5	2	2	5	5	1,0	1,5	20	30,0	5,6

Figura 5.6 Benchmarking da Voz do Consumidor

E) Avaliação dos Concorrentes

Após a interação com os consumidores, foram levantados todos os dados obtidos das entrevistas para que fossem determinadas as principais necessidades. Nessa etapa obteve-se uma visão melhor detalhada e mais homogênea do consumidor.

Muitas frases de necessidades específicas foram obtidas e entre elas foram encontradas ambigüidades e duplicações com pequenas diferenças. Logo foi necessário uma revisão da imagem do consumidor, tornando claro as ambigüidades, separando as idéias compostas e colocando todas as frases para o mesmo nível de abstração.

As necessidades do consumidor foram priorizadas, porém concentrou-se neste trabalho somente as necessidades que tornarão o produto um sucesso, pois trabalhar com muitos itens torna o processo inadequado e não traz resultados positivos. A seleção deve resultar entre 15 a 30 necessidades do consumidor (Dedini , 2000).

F – Correlação dos Requisitos de Projeto

A avaliação dos competidores em busca de melhores padrões para o produto é algo muito comum nas indústrias. Para realizar este tipo de avaliação compara-se o produto novo com os competidores tendo em vista os requisitos técnicos.

O produto em questão não possui concorrentes, logo foram feitas comparações entre outros produtos que realizam o mesmo objetivo, ou seja a motorização alternativa em cadeiras de rodas convencionais.

G- Planejamento

Nesta etapa avalia-se a importância de cada requisito de projeto. Fazendo-se o cálculo da importância relativa e absoluta. Para isso basta somar todos produtos entre as correlações (Voz do

Consumidor x Requisitos de Projeto) com as respectivas importâncias relativas (Voz do Consumidor) para cada requisito de projeto. Como mostra a equação 5.1.

$$\text{Importância relativa} = \sum P_i \cdot V_i \quad (5.1)$$

Onde : i : número da linha;
 P_i : peso da linha i ;
 V_i : valor do relacionamento da linha i .

O resultado obtido forneceu o seguinte ranking para os requisitos de projeto mais cotados:

1. Potência;
2. Quantidade de motores (ser híbrida);
3. Sistema de controle;
4. Confiabilidade;
5. Dimensões;
6. Peso;
7. Disponibilidade;
8. Autonomia;
9. Vida útil;
10. Nível de ruído;
11. Diâmetro de giro;
12. Custo;
13. Ângulo de ataque.

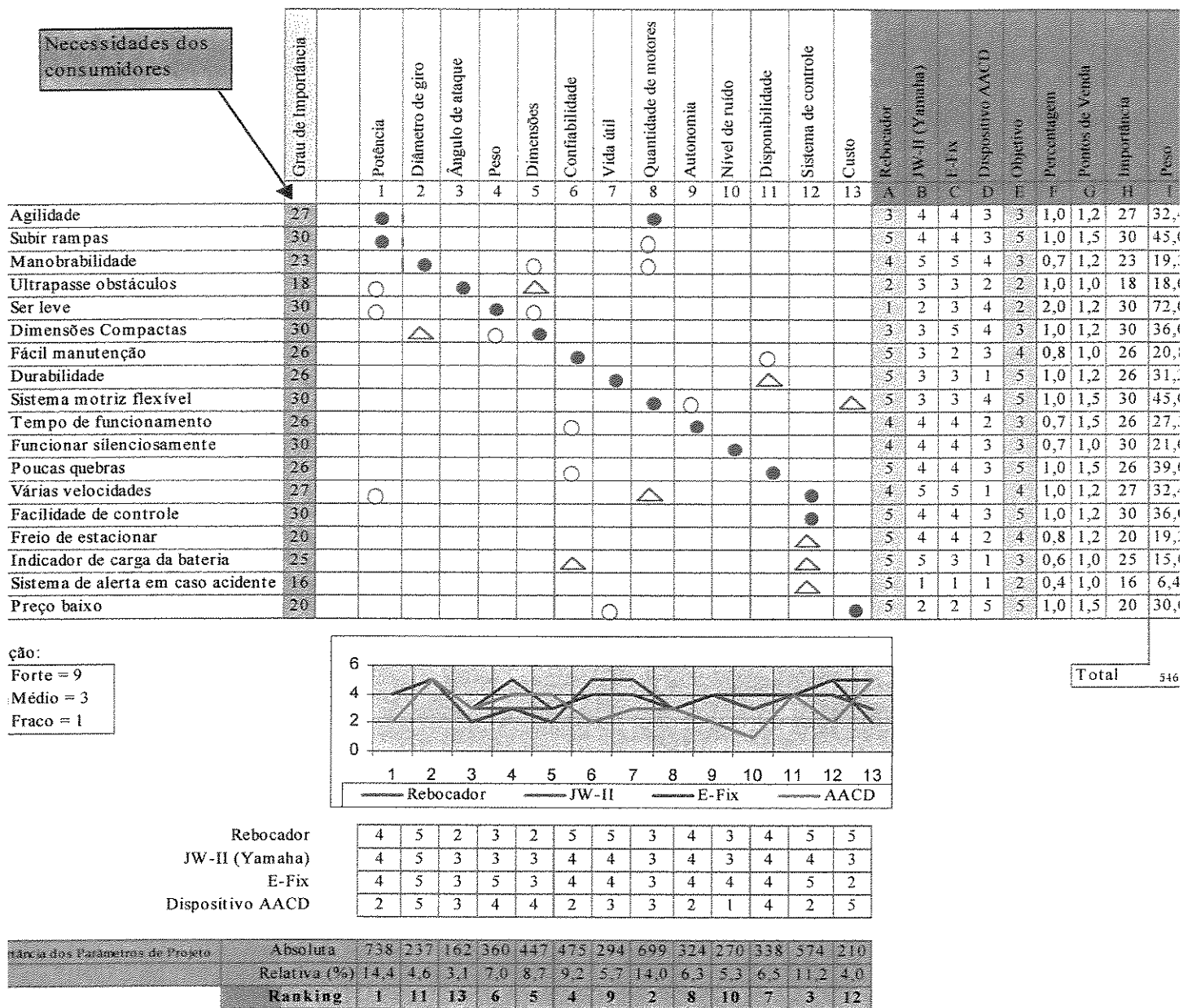


Figura 5.7 Casa da Qualidade.

H- Determinação das Metas

Após concluída a construção da *Casa da Qualidade* foi possível analisar quais os parâmetros fundamentais para o sucesso do projeto.

Pelos cálculos mostrados nas linhas de importância absoluta e relativa nota-se que no projeto as características que deverão ser privilegiadas são a potência, a quantidade de motores (sistema possuir a flexibilidade em ser manual e motorizado), o sistema de controle e a confiabilidade do produto.

Logo, pelos resultados da *Casa da Qualidade*, tomou-se a decisão de focar o desenvolvimento do produto para que possam ser garantidas as seguintes necessidades:

- Subir rampas e possuir agilidade;
- Ser um sistema híbrido (manual e motorizado) e desmontável;
- Ser de fácil controle;
- Ser um sistema com confiabilidade.

5.6 Análise do Valor

A análise do valor é um método utilizado para identificar e remover custos desnecessários na elaboração de projetos, manufatura de produtos, ou na execução de um serviço [5.2].

Os resultados da análise do valor são vários, como por exemplo o aumento do valor agregado, a melhoria da qualidade, a adequação ao uso, a simplificação de produtos e processos, a padronização, a redução de custos e a satisfação do cliente [5.2].

O conceito de valor para a metodologia da Análise do Valor é grau de aceitabilidade do produto pelo consumidor, ou seja o valor pode ser representado pela relação [5.3]:

$$\begin{aligned} \text{Valor} &= \frac{\text{Função}}{\text{Custo}} \rightarrow \text{Do ponto de vista do Fornecedor} \\ \text{Valor} &= \frac{\text{Benefício}}{\text{Preço}} \rightarrow \text{Do ponto de vista do Consumidor} \end{aligned}$$

As funções do sistema foram levantadas e a fim de facilitar na elaboração da análise, associaram-se a letras, como é mostrado na Figura 5.8.

Diagrama Fast

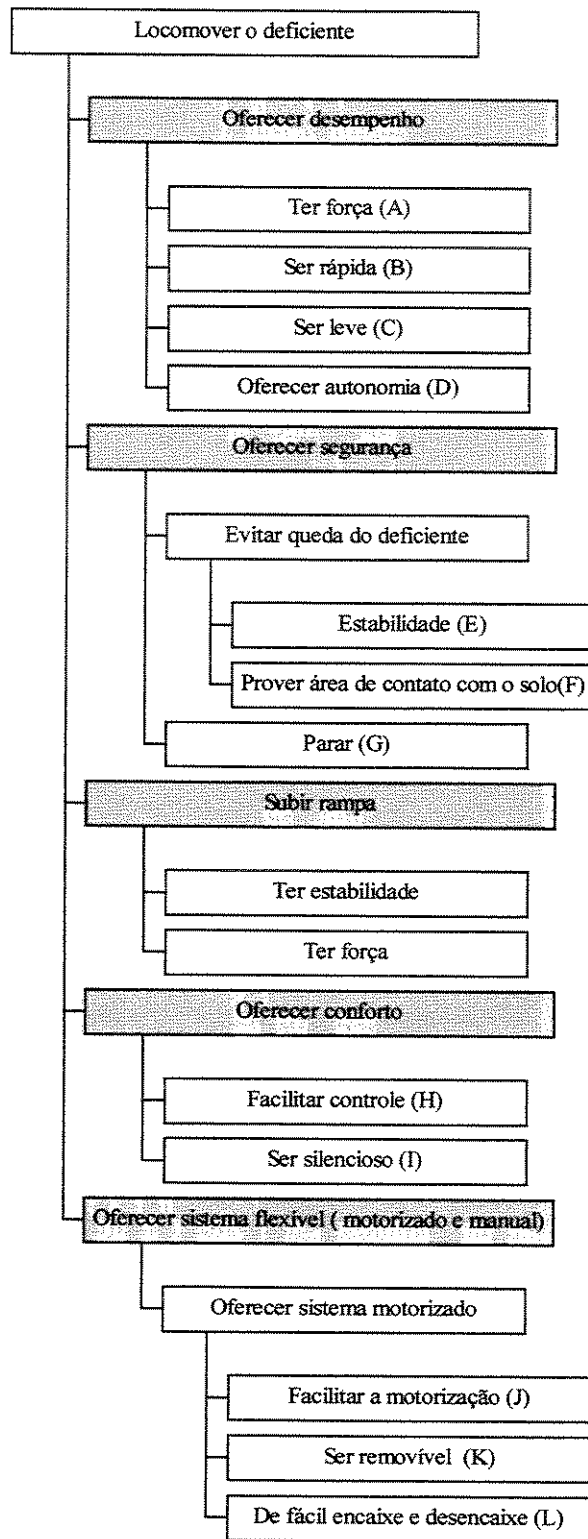


Figura 5.8 Diagrama *Fast*

Aplicando o diagrama *Fast* para o rebocador de cadeiras de rodas, foram obtidas as seguintes funções:

- A. Ter força;
- B. Ser rápida;
- C. Ser leve;
- D. Oferecer autonomia;
- E. Estabilidade;
- F. Prover área de contato com o solo;
- G. Parar;
- H. Facilitar controle;
- I. Ser silencioso;
- J. Facilitar a motorização;
- K. Ser removível;
- L. De fácil encaixe.

5.6.1 Matriz de Consumo de Recursos

A matriz de consumo de recursos é constituída pelos componentes nas linhas e as funções levantadas no diagrama *Fast* nas colunas. Sua função básica é dividir o custo do componente isolado entre as funções que o mesmo desempenha, visto que o mesmo componente pode exercer uma ou mais funções dentro de um produto.

Com base nessa divisão, será levantado o custo de cada função, que será transformada em uma porcentagem para ser comparada no gráfico *Compare*.

Para não fixar o custo dos componentes, foram atribuídos valores percentuais em relação ao custo total do rebocador. Quanto a relação entre as funções e os componentes foi utilizado o mesmo sistema de percentagens, de forma que toda linha resulta em 1, assim como a somatória dos custos dos componentes.

Para calcular o custo total de cada função, faz-se o produto da percentagem da função em cada componente pelo custo do componente, resultando assim no custo percentual de cada função, como mostrado na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 Matriz de Consumo de Recursos para o rebocador de cadeiras de rodas.

Funções \ Componentes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Custo
Motor	0,2	0,1		0,8									0,30
Transmissão									1				0,06
Bateria				1									0,15
Roda					0,7	0,3							0,12
Controle				0,2				0,8					0,20
Estrutura			0,6							0,4			0,10
Sistema de frenagem							1						0,05
Sistema de acoplagem											0,6	0,4	0,02
Percentagem (%)	6	3	7	43	8,4	3,6	5	16	6	4	1,2	0,8	1
Ranking	5	10	4	1	3	9	7	2	6	8	11	12	

5.6.2 Diagrama de Mudge

O Diagrama de Mudge é uma avaliação numérica das relações de importância das funções. Esta técnica faz comparações entre todas as possíveis combinações das funções, par a par, determinando a cada momento qual é a mais importante e pontuando esse grau de importância (Csillag 1996).

													TOTAL	%	Ranking
A	A2	C3	D2	E3	A3	A1	A1	A2	J2	K3	A1		10	8,77	6
B		C3	D1	E2	B2	B1	B2	B1	J1	K3	B3		9	7,89	7
C			D1	C2	C1	C1	C1	C1	J1	K3	C1		13	11,40	4
D				E1	D2	D2	D1	D1	J1	K1	D2		12	10,52	5
E					E3	E2	E1	E1	J1	E1	E1		15	13,16	3
F						G1	H1	F1	J2	K1	L1		1	0,88	11
G							G2	G3	J2	K3	G1		7	6,14	8
H								H3	J1	K3	H2		5	4,39	9
I									J2	K2	L2		0	0,00	12
J										J3	J1		17	14,92	2
K											K3		22	19,30	1
L												L	3	2,63	10
													114	100,00	

Figura 5.9 Diagrama de Mudge para o rebocador de cadeiras de rodas.

As funções de maior importância para os deficientes físicos foram:

1. Ser removível;
2. Facilitar a motorização;
3. Estabilidade;
4. Ser leve;
5. Oferecer autonomia.

5.6.3 Gráfico *Compare*

O gráfico *Compare* compara os custos relativos (proveniente da matriz de consumo de recursos) e a importância relativa (proveniente do diagrama da linha média do Diagrama de *Mudge*). Quanto mais as linhas das funções forem aproximadas, maior tenderá a ser o valor do produto e, conseqüentemente, maior será o valor percebido pelo consumidor.

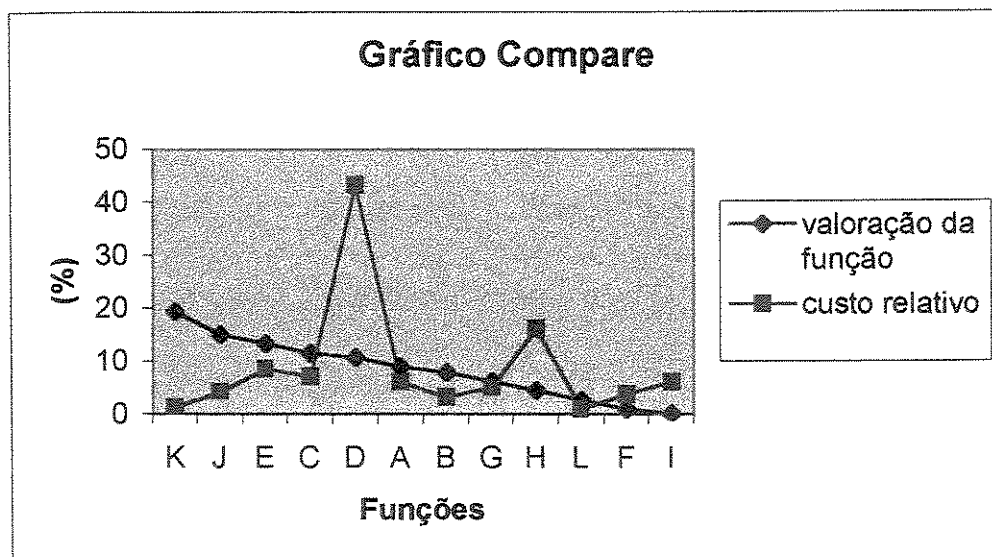


Figura 5.10 Gráfico *Compare* para o rebocador de cadeiras de rodas.

Analisando o gráfico *Compare*, conclui-se que deve-se reduzir os custos das funções D, H, F e I, já que os custos estão maiores que o valor fornecido pelo consumidor para estes itens. No entanto, é possível melhorar a qualidade dos itens K, J, E, C e B, visto que os consumidores estão dispostos a pagar um valor a mais por estas funções.

A utilização conjunta do QFD (*Quality Function Deployment*) e o AV (Análise de valor) é de grande valia para o desenvolvimento do produto. De sua junção surge uma nova ferramenta QFDVA (*Quality Function Deployment with Value Analysis*) que visa à obtenção tanto do atendimento das necessidades do cliente quanto o de fornecer parâmetros de decisão financeira (Syverson,1992).

Relacionando a análise do valor com os resultados da *Casa da Qualidade*, pode-se notar que em relação às funções que deve-se diminuir os custos, as funções D (oferecer autonomia), F (prover área de contato com o solo) e I (ser silencioso) são de pouca importância para o consumidor, segundo a *Casa da Qualidade*. Assim pode-se diminuir o custo sem maiores consequências em relação aos consumidores. No entanto a função H (facilitar o controle) é um dos parâmetros mais cotados na *Casa da Qualidade* ocupando o 3º lugar.

Quanto às funções que podem ter investimentos para a melhoria da qualidade, enquadram-se as funções B (Ser rápida), J (Facilitar a motorização) e K (Ser removível) que estão diretamente relacionadas, de acordo com a *Casa da Qualidade*, com os requisitos potência e quantidade de motores que ocupam respectivamente a primeira e segunda colocação no QFD. O mesmo acontece para a função C (ser leve) que está diretamente ligada ao requisito peso que ocupa o sexto colocado no QFD.

5.7 Sumário

Este Capítulo mostrou a importância da aplicação do QFD e da Análise do Valor no desenvolvimento de produtos, em especial para a motorização de cadeiras de rodas convencionais.

O público alvo escolhido para a produção do sistema de motorização da cadeira de rodas foi paraplégico adulto. Após a pesquisa com o público alvo, notou-se que a utilização da cadeira de roda motorizada neste público é muito pequena, devido à falta de praticidade, dificuldade de transportar, peso excessivo, custo muito alto e a impossibilidade do usuário fazer exercícios físicos.

Logo optou-se por utilizar métodos criativos para se motorizar cadeiras de rodas convencionais. Assim, o usuário tem a possibilidade quanto à utilização da cadeira: manual ou motorizada, já que os modelos propostos proporcionam as duas utilizações. O usuário possui locomoção utilizando a cadeira manualmente exercitando os braços, e no caso de rampas, longas distâncias, utiliza o kit de motorização, acionando o motor por meio de um controle.

As vantagens de um sistema deste tipo são: a flexibilidade quanto ao uso, o usuário tem condições de escolher a motorização ou locomoção manual, outra vantagem é a fácil desacoplagem do sistema e a facilidade de manusear o controle por pessoas leigas.

Com a definição das funções do produto pode-se estudar as características de estabilidade e realizar simulações, obtendo assim as características dinâmicas do produto.

Capítulo 6

Estudo e Modelagem da Cadeira de Rodas

A modelagem adequada das rodas proporciona uma análise mais real do comportamento das cadeiras de rodas através de seus limites dinâmicos de estabilidade. Para isso, neste capítulo são abordados fatores como, os tipos de movimentos (rolamento e escorregamento), os tipos de rodas (elástica e rígida) e direcionabilidade. As rodas podem ter dois tipos de movimento, escorregamento ou rolamento, os quais serão descritos a seguir.

6.1 Tipos de Movimento da Roda

Assumindo uma roda rígida em solo rígido, rolamento é o movimento progressivo de um corpo cilíndrico, no qual os pontos em contato instantâneo da roda e solo não possuem movimento relativo entre si, isto é, a velocidade da roda na linha de contato com o solo é nula, como pode ser observado na Figura 6.1.

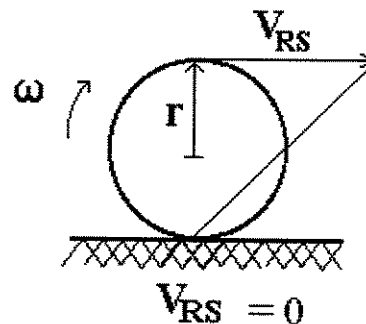


Figura 6.1 Movimento de rolamento.

6.1.1 Escorregamento

Ocorre quando há movimento relativo entre os pontos em contato instantâneo da roda e solo. Deve ser ressaltado o fato de que o movimento de rolamento só é possível na presença de altos coeficientes de adesão ou pesos efetivos sobre as rodas, ou seja, a condição necessária para que haja o movimento de rolamento é que a força transmitida ao solo seja menor ou, no máximo, igual ao produto do peso efetivo sobre a roda (W) e o máximo coeficiente de adesão (μ_0) das superfícies em contato. Através da Figura 6.2, é possível afirmar que para $F_{RS} > W \mu_0$, surge uma combinação entre os movimentos de rolamento e de escorregamento.

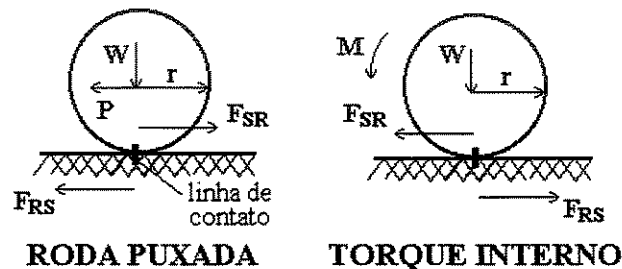


Figura 6.2 Roda rolando.

6.2 Tipos de rodas

É importante observar que a rigidez das rodas e do solo são fatores que influenciam muito o movimento, deste modo, têm-se a seguinte classificação: as rodas podem ser rígidas ou elásticas e o solo, rígido, elástico ou plástico. Um estudo sobre este assunto foi feito por Canale (1989) e Becker (1997).

Entretanto neste estudo será considerado que a cadeia de rodas e o solo sejam ambos rígidos, ou seja, que as rodas possuam deformações desprezíveis na região de contato com o solo e que haja apenas uma linha de contato entre ambos.

6.3 Modelagem linear das rodas - Huston (1982)

O modelo das rodas adotado por Huston em seu estudo de estabilidade de veículos de quatro e três rodas não leva em conta os efeitos da sua velocidade e da compressão e tração de suas fibras. Aceita-se apenas a existência de um ângulo de escorregamento (ψ) que origina uma força de reação transversal na roda (F_η).

A Figura 6.3 mostra o esquema de forças que atuam na roda e, a partir deste esquema, as equações para as forças transversal e longitudinal podem ser deduzidas.

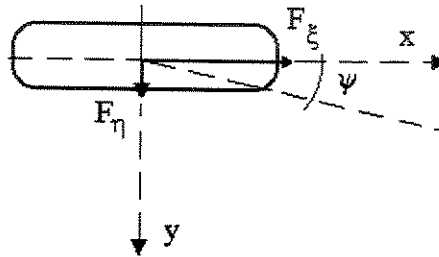


Figura 6.3 Esquema das forças que atuam na roda em movimento.

Assim, por definição, a força transversal:

$$F_\eta = -C_\psi \operatorname{tg} \psi \quad (6.1)$$

E, supondo que a roda possui um momento de inércia desprezível, pode-se afirmar que o torque aplicado na roda vale:

$$\tau = F_\xi \cdot r \quad (6.2)$$

Sendo $P(t)$ a potência aplicada à roda motora:

$$P(t) = \omega \cdot \tau \quad (6.3)$$

E U_w , a velocidade longitudinal da roda:

$$U_w = \omega \cdot r \quad (6.4)$$

Combinando as equações (6.2), (6.3) e (6.4), obtêm-se:

$$F_{\xi} = \frac{P(t)}{U_w} \quad (6.5)$$

6.4 Análise da Estabilidade Longitudinal e Lateral

Para que a análise de estabilidade longitudinal e lateral de uma cadeira de rodas seja feita, é necessário saber qual é a sua distribuição de peso quando o usuário está assentado. Esta distribuição é função do posicionamento do CG do conjunto usuário cadeira.

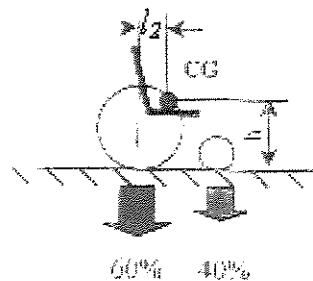


Figura 6.4 Distribuição de peso em cadeiras de rodas (quatro rodas) com acionamento traseiro - Becker (2000)

Pela Figura 6.4, observa-se que os parâmetros construtivos que determinam a estabilidade longitudinal da cadeira são a altura do CG em relação ao solo (h) e sua posição em relação ao eixo traseiro (l_2). Já para a estabilidade lateral - tombamento lateral, além de h , a distância entre o CG e o ponto de contato da roda com o solo também deve ser considerado.

A estabilidade de cadeira de rodas pode ser analisada de duas formas: análise estática e análise dinâmica.

6.4.1 Estabilidade Estática

A análise da estabilidade estática para as configurações de 4 rodas e triciclo é feita considerando-se que as cadeiras de rodas podem sofrer tombamento nos eixos *Pitch* e *Roll*, eixos respectivamente longitudinal e lateral, quando posicionadas em pistas inclinadas.

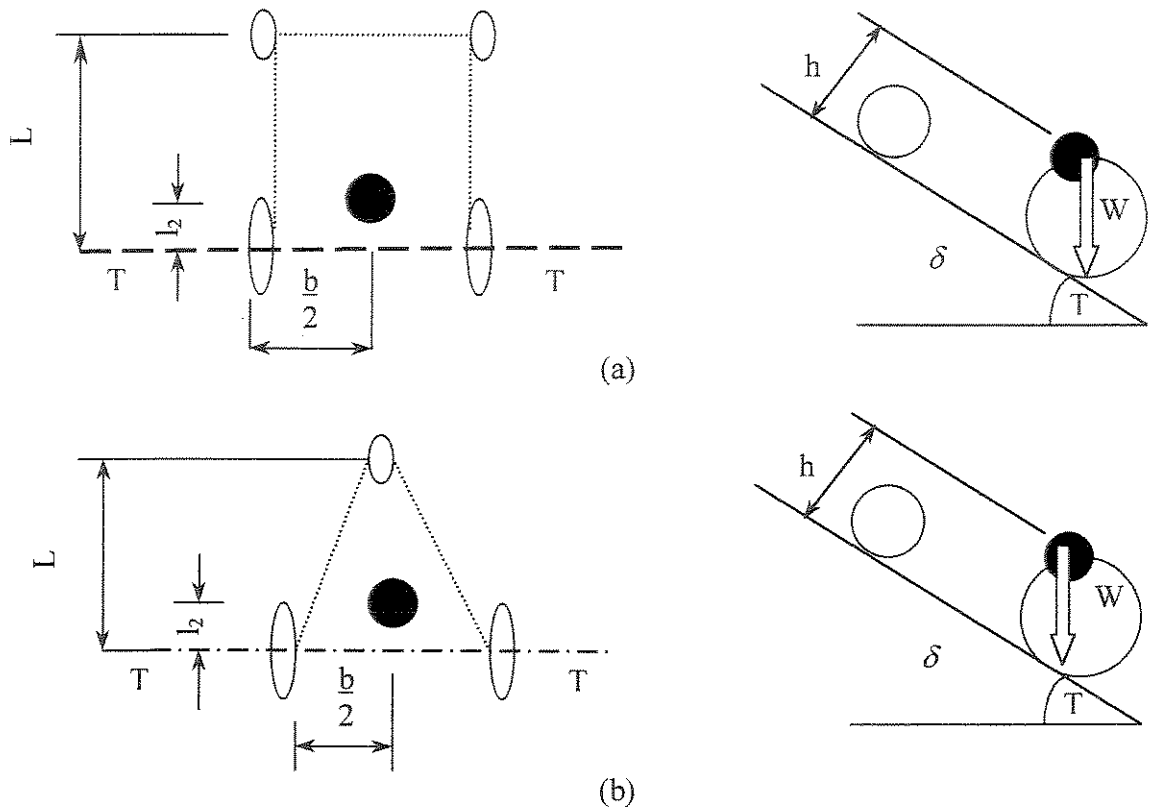


Figura 6.5 Diagramas de corpo livre para a análise de estabilidade longitudinal estática, tombamento para trás: (a) configuração com quatro rodas e (b) configuração com três rodas.

Observando-se a Figura 6.5, tem-se que a condição limite do ângulo δ (ângulo *Pitch* limite para o tombamento da cadeira de rodas) é obtido através da somatória de momentos com relação ao eixo TT (eixo de tombamento). Desta forma, tem-se para ambas configurações (Becker et al., 1998):

$$\sum M_{TT} = Wl_2 \cos \delta - Wh \sin \delta \quad (6.6)$$

Para que não haja tombamento $M_{TT} = 0$, logo:

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{l_2}{h}\right) \quad (6.7)$$

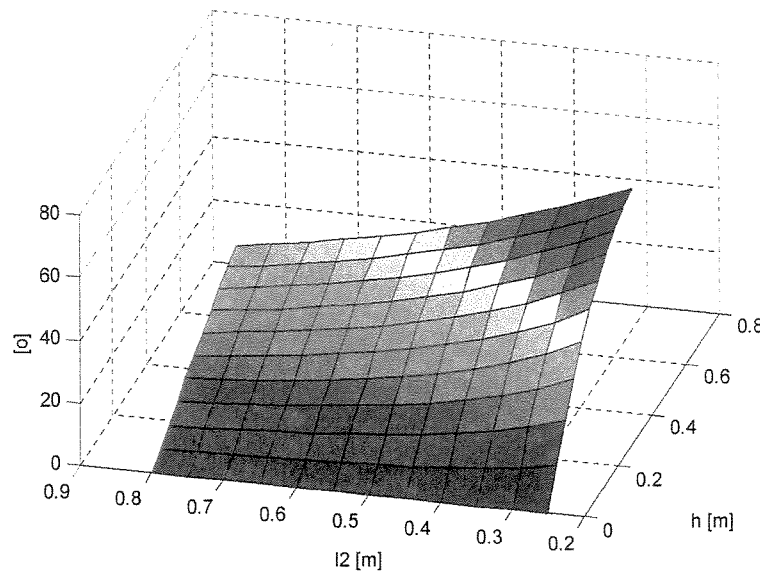


Figura 6.6 Comportamento da estabilidade longitudinal estática (eixo Pitch) quanto ao tombamento para trás para as configurações com quatro e três rodas.

A superfície obtida na Figura 6.6 delimita as condições de estabilidade para as configurações. Combinações de h e l_2 que resultem em pontos sobre ou abaixo da superfície, possuem um comportamento estável. Observa-se que para a análise da estabilidade longitudinal, tombamento para trás, a configuração adotada (três ou quatro rodas) não possui influência alguma, o fator determinante neste caso é a altura do CG e a sua distância ao eixo traseiro.

Na Figura 6.7, pode-se que quanto menor a altura do CG (h) e maior o comprimento de l_2 , mais estável é a cadeira quanto ao tombamento.

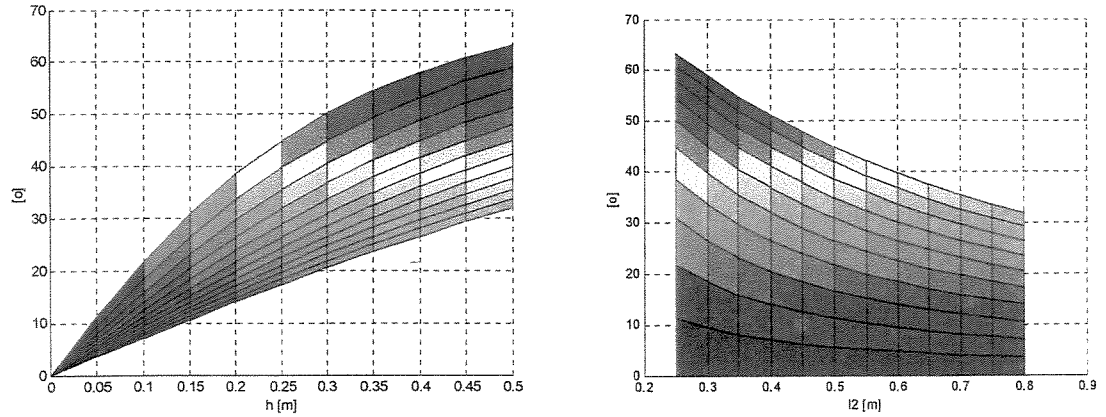


Figura 6.7 Comportamento do ângulo crítico δ em função das variáveis l_2 e h .

Pela Figura 6.8 pode-se concluir que o centro de gravidade (CG) deve ser posicionado próximo ao eixo traseiro para que ocorra o tombamento para frente em ambas configurações, apenas em rampas muito inclinadas. O valor do ângulo δ limite pode ser calculado por:

$$\sum M_{TT} = W(L - l_2)\cos\delta - Wh\sin\delta \quad (6.8)$$

Portanto:

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{(L - l_2)}{h}\right) \quad (6.9)$$

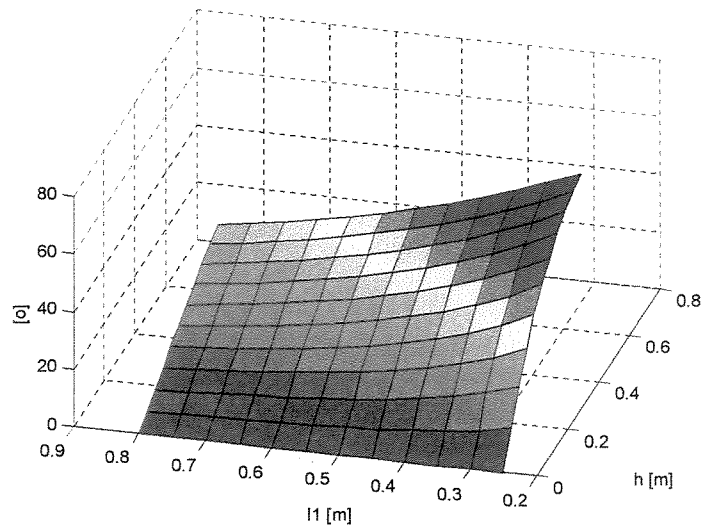


Figura 6.8 Comportamento da estabilidade longitudinal estática (eixo Pitch) quanto ao tombamento para frente para as configurações com quatro e três rodas.

6.5 Estabilidade Dinâmica

O estudo de estabilidade dinâmica é feito para duas configurações, sendo uma de quatro rodas e uma com três rodas (1F), seguindo os procedimentos de Chang & Lee (1990) e Becker (1997). Ou seja, a cadeira é modelada como um veículo de largura desprezível (modelo bicicleta), com um número de rodas por eixo igual à sua configuração inicial e as rodas são posicionadas na linha de centro da cadeira. Neste estudo de estabilidade não são considerados os tipos de acionamento e esterçamento (frontal ou traseiro), isto é feito no estudo de dirigibilidade.

Para demonstrar a importância da modelagem das rodas, a análise de estabilidade lateral é feita inicialmente com o modelo linear proposto por Huston (1982).

6.5.1 Modelo Linear

Inicialmente é analisada a estabilidade lateral quanto ao escorregamento e em seguida a estabilidade lateral quanto ao tombamento em movimento retilíneo e em curvas, utilizando-se o modelo linear proposto por Huston (1982).

6.5.2 Estabilidade Lateral – Escorregamento

Para se obter as equações que regem o movimento da cadeira, as seguintes hipóteses são assumidas como verdadeiras (Becker, 1997):

- As cadeiras são tratadas como corpo rígidos simétricos ao longo do eixo longitudinal.
- Os centros de gravidade (CG) das cadeiras são suficientemente baixos para que os movimentos de pitch e roll sejam desprezados em movimentos retilíneos.
- A força de resistência do ar e a velocidade angular no eixo yaw são suficientemente pequenas e podem ser desprezadas.
- Os efeitos produzidos pelo ângulo Camber e Torque auto-alinhante não são considerados.

- O ângulo de escorregamento longitudinal (Ψ) é pequeno e uma relação linear entre ele e a força de adesão é assumida.
- O mesmo ocorre para o ângulo de escorregamento lateral em relação à força lateral.
- Assume-se que a força lateral resultante exercida pelo solo sobre a roda é perpendicular ao plano da roda e age diretamente sobre a projeção do centro da roda.

Baseado nestas hipóteses, pode-se considerar o movimento da cadeira como sendo o de corpo rígido em superfícies planas.

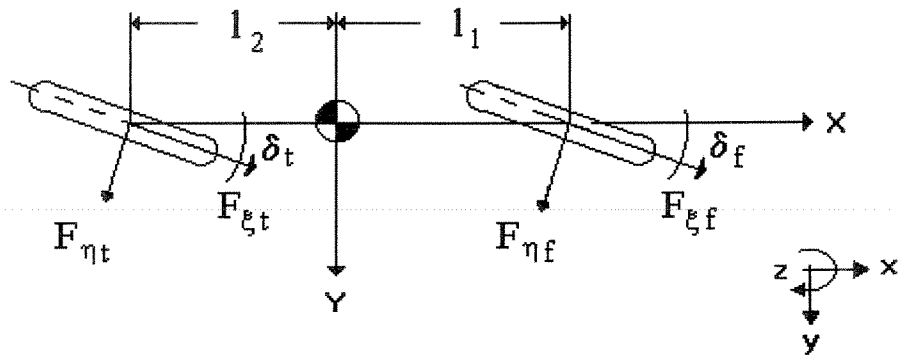


Figura 6.9 Componentes das forças do modelo bicicleta adotado para a cadeira.

Fixando o eixo (X, Y) no C.G. da cadeira, supondo que a velocidade na direção X é constante e assumindo pequenos ângulos de perturbação δ_f e δ_t que são subitamente aplicados entre as rodas e a direção original do movimento, obtêm-se as seguintes equações:

$$\sum F_x = F_{\xi_f} \cos \delta_f + F_{\xi_t} \cos \delta_t - F_{\eta_f} \sin \delta_f - F_{\eta_t} \sin \delta_t \quad (6.10)$$

$$\sum F_y = F_{\eta_f} \cos \delta_f + F_{\eta_t} \cos \delta_t + F_{\xi_f} \sin \delta_f + F_{\xi_t} \sin \delta_t \quad (6.11)$$

$$\sum Tz = (F_{\eta_f} \cos \delta_f + F_{\xi_f} \sin \delta_f) \cdot l_1 - (F_{\eta_t} \cos \delta_t + F_{\xi_t} \sin \delta_t) \cdot l_2 \quad (6.12)$$

Assume-se que a cadeira está em movimento retilíneo uniforme , ou seja , os ângulos de esterçamento δ_i são nulos e $\sum Fx = 0$.

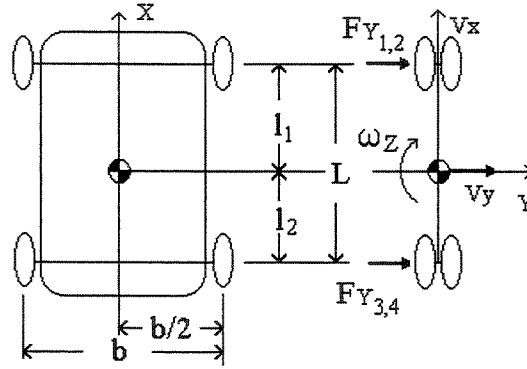


Figura 6.10 Modelo da cadeira com quatro rodas.

Desta forma, as equações de movimento que regem o comportamento da cadeira de quatro rodas podem ser obtidas através das equações de Newton e Euler.

$$\sum F_Y = m \cdot a_y = (m \cdot \dot{V}_y + V_x \omega_z) = F_{Y1} + F_{Y2} + F_{Y3} + F_{Y4} \quad (6.13)$$

$$\sum M_Z = I_z \dot{\omega}_z = l_1 \cdot (F_{Y1} + F_{Y2}) - l_2 \cdot (F_{Y3} + F_{Y4}) \quad (6.14)$$

onde:

I_z - Momento de Inércia da cadeira com relação ao eixo vertical (Z) no C.G.

V_x - Velocidade da cadeira no eixo X

V_y - Velocidade da cadeira na direção Y

ω_z - Velocidade angular da cadeira no eixo Z

C_{ψ_F}, C_{ψ_T} - Rigidez ao escorregamento das rodas frontais e traseiras (Becker,1997)

Para as rodas frontais (Apêndice5):

$$F_{\eta} = C_{\psi_F} \cdot \left[\delta_F - \left(\frac{V_y + l_1 \omega_z}{V_x} \right) \right] \quad (6.15)$$

Para as rodas traseiras:

$$F_{\eta} = C_{\psi T} \cdot \left[\delta_T - \left(\frac{V_y - l_2 \omega_z}{V_x} \right) \right] \quad (6.16)$$

Utilizando-se as equações (6.10), (6.11) e (6.12) e igualando-se F_{y_i} a F_{η} pode-se expressar um sistema de duas equações diferenciais não acopladas lineares .

Por analogia das equações:

$$m\dot{V}_y + \left(mV_x + \frac{2l_1 C_{\psi F} - 2l_2 C_{\psi T}}{V_x} \right) \cdot \omega_z + \left(\frac{2C_{\psi F} + 2C_{\psi T}}{V_x} \right) \cdot V_y = 0 \quad (6.17)$$

$$I_z \dot{\omega}_z + \left(\frac{2l_1^2 C_{\psi F} + 2l_2^2 C_{\psi T}}{V_x} \right) \cdot \omega_z + \left(\frac{2l_1 C_{\psi F} - 2l_2 C_{\psi T}}{V_x} \right) \cdot V_y = 0 \quad (6.18)$$

Através da teoria de autovalores e autovetores de Kreyzsig (1993) e segundo Becker (1997), é possível obter a equação característica do sistema de equações diferenciais através do cálculo do determinante da expressão $(B - \lambda I)$ e igualando-se o valor obtido igual à zero. Onde B é matriz dos coeficientes da equação e I é uma matriz identidade de 2ª ordem. Deste modo:

$$\lambda^2 - \left(\frac{b_1}{m} + \frac{b_4}{I_z} \right) \lambda + \left(\frac{b_1 b_4 - b_2 b_3}{I_z m} \right) = 0 \quad (6.19)$$

Onde as constantes bi são:

$$\begin{aligned} b_1 &= \left(\frac{2C_{\psi F} + 2C_{\psi T}}{V_x} \right) & b_2 &= \left(mV_x + \frac{2C_{\psi F} l_1 - 2C_{\psi T} l_2}{V_x} \right) \\ b_3 &= \left(\frac{2C_{\psi F} l_1^2 - 2C_{\psi T} l_2^2}{V_x} \right) & b_4 &= \left(\frac{2C_{\psi F} l_1^2 + 2C_{\psi T} l_2^2}{V_x} \right) \end{aligned}$$

Para analisar a estabilidade de um sistema cuja equação característica é de segundo grau, sem obter as raízes da equação, pode-se utilizar o critério de Routh-Hurwitz (Huston, 1992; Becker, 1997), ou seja, todos os coeficientes b_i da equação característica devem assumir valor negativo ou nulo. Deste modo, substituindo os valores dos coeficientes b_i no termo independente, e impondo a condição de que este seja positivo, obtêm-se :

$$L + \frac{V^2}{g} \left(\frac{W_F}{C_{\Psi_F}} - \frac{W_T}{C_{\Psi_T}} \right) > 0 \quad (6.20)$$

$$\text{Fazendo : } K_{us} = \left(\frac{W_F}{C_{\Psi_F}} - \frac{W_T}{C_{\Psi_T}} \right) \quad (6.21)$$

Onde : K_{us} - Coeficiente de estabilidade da cadeira.

Para determinar a velocidade da cadeira que a torna instável, basta igualar a zero a equação (6.15), obtendo:

$$V_{CRÍTICA} = \sqrt{\frac{-gL}{K_{us}}} \quad (6.22)$$

Analogamente as equações que governam o movimento com velocidade constante em movimento retilíneo em uma cadeira com três rodas (1F) são:

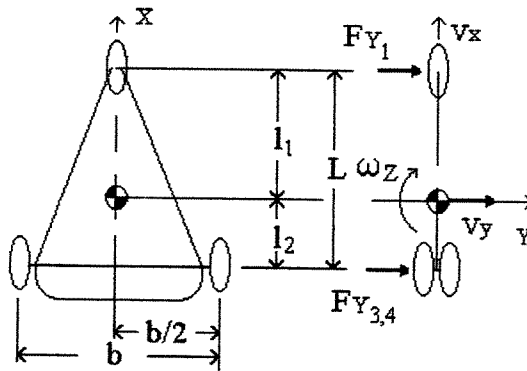


Figura 6.11 Modelo para cadeira triciclo.

$$\sum F_Y = m \cdot a_y = (m \cdot \dot{V}_y + V_x \omega_z) = F_{Y1} + F_{Y3} + F_{Y4} \quad (6.23)$$

$$\sum M_Z = I_z \dot{\omega}_z = l_1 F_{Y1} - l_2 (F_{Y3} + F_{Y4}) \quad (6.24)$$

O sistema de equações:

$$m \dot{V}_y + \left(m V_x + \frac{l_1 C_{\psi_F} - 2l_2 C_{\psi_T}}{V_x} \right) \cdot \omega_z + \left(\frac{C_{\psi_F} + 2C_{\psi_T}}{V_x} \right) \cdot V_y = 0 \quad (6.25)$$

$$I_z \dot{\omega}_z + \left(\frac{l_1^2 C_{\psi_F} + 2l_2^2 C_{\psi_T}}{V_x} \right) \cdot \omega_z + \left(\frac{l_1 C_{\psi_F} - 2l_2 C_{\psi_T}}{V_x} \right) \cdot V_y = 0 \quad (6.26)$$

A equação característica do sistema de equação é:

$$\lambda^2 - \left(\frac{c_1}{m} + \frac{c_4}{I_z} \right) \lambda + \left(\frac{c_1 c_4 - c_2 c_3}{I_z m} \right) = 0 \quad (6.27)$$

Onde:

$$\begin{aligned} c_1 &= \left(\frac{C_{\psi_F} + 2C_{\psi_T}}{V_x} \right) & c_2 &= \left(m V_x + \frac{C_{\psi_F} l_1 - 2C_{\psi_T} l_2}{V_x} \right) \\ c_3 &= \left(\frac{C_{\psi_F} l_1 - 2C_{\psi_T} l_2}{V_x} \right) & c_4 &= \left(\frac{C_{\psi_F} l_1^2 + 2C_{\psi_T} l_2^2}{V_x} \right) \end{aligned}$$

E:

$$L + \frac{V_x^2}{g} \left(\frac{W_F}{C_{\psi_F}} - \frac{W_T}{C_{\psi_T}} \right) > 0 \quad (6.28)$$

As relações que governam a estabilidade lateral do veículo de quatro rodas e três rodas (1F) são mostradas nas equações (6.20) e (6.28). Aparentemente as equações são idênticas, porém isto não é verdade, pois os valores de W_F e W_T são diferentes para cada configuração. Para a cadeira de quatro rodas, o peso em cada roda, frontais e traseiras são respectivamente (Becker, 1997):

$$W_F = \frac{Wl_2}{2L} \text{ e } W_T = \frac{Wl_1}{2L} \quad (6.29)$$

E para o triciclo tem-se:

$$W_F = \frac{Wl_2}{L} \text{ e } W_T = \frac{Wl_1}{2L} \quad (6.30)$$

Deste modo, é possível estabelecer as relações geométricas da cadeira que atendam as exigências de estabilidade lateral. Para isso, assume-se que a rigidez ao deslizamento (C_ψ) das rodas pode ser expressa da seguinte forma (Huston, 1982):

$$C_\psi = (A - BC_n)C_n \quad (6.31)$$

Onde : C_n - Carga normal à roda

A e B – Constantes positivas dependentes das propriedades

Assim, combinando as equações (6.29), (6.20) e (6.31), obtém-se, para cadeiras de quatro rodas:

$$K_{us} = \frac{W_F}{C_{\psi_F}} - \frac{W_T}{C_{\psi_T}} = \frac{BW(l_2 - l_1)}{2L(A - BW_F)(A - BW_T)} \geq 0 \quad (6.32)$$

Como a rigidez ao deslizamento é sempre positiva, chega-se à seguinte condição para a estabilidade lateral : $l_2 \geq l_1$. Ou seja, o centro de gravidade da cadeira de quatro rodas deve estar em sua parte frontal.

Do mesmo modo combinando as equações (6.30), (6.28) e (6.31), para cadeiras de rodas triciclos:

$$K_{us} = \frac{BW(2l_2 - l_1)}{2L(A - BW_F)(A - BW_T)} \geq 0 \quad (6.33)$$

Chegando à seguinte condição: $l_2 \geq 1/2 l_1$. Ou seja, o centro de gravidade da cadeira deve estar no mínimo a uma distância do eixo frontal de dois terços da distância total entre eixos.

Tabela 6.1 Condições Geométricas para Estabilidade Lateral – Escorregamento.

Configuração	Quatro Rodas	Triciclo
Condição p/ $K_{us} \geq 0$	$l_2 \geq l_1$	$l_2 \geq 1/2 l_1$

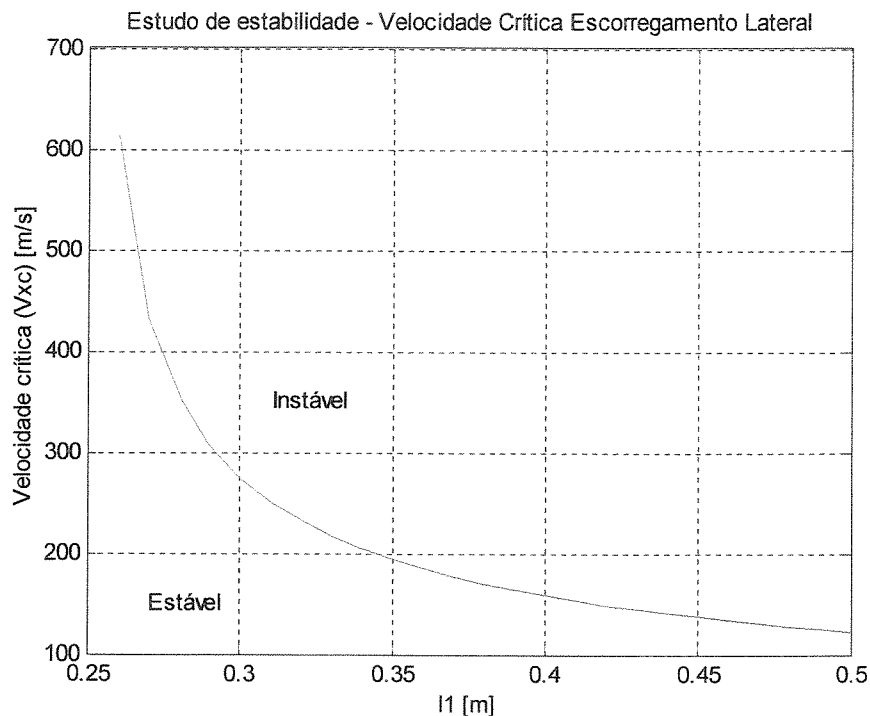


Figura 6.12 Velocidade crítica para escorregamento lateral.

A Figura 6.12 mostra o comportamento das duas configurações quanto à velocidade limite para a estabilidade lateral - escorregamento. Observa-se que quanto maior o valor de l_1 , ou seja quanto mais próximo o CG estiver do eixo traseiro, menor é a velocidade crítica para que se

inicie escorregamento. É importante ressaltar que esta velocidade limite é muito alta, logo possui pouca importância nos estudos tratados em velocidades usuais de utilização em cadeiras de rodas.

6.5.3 Estabilidade Lateral – Tombamento

Para analisar a estabilidade lateral das duas configurações das cadeiras, quanto ao tombamento, deve-se observar as acelerações laterais às quais a cadeira é submetido durante a manobra de uma curva plana, curva inclinada ou, devido à uma colisão durante um movimento retilíneo. Nas figuras que seguem, o eixo T-T, eixo que une os pontos de contato solo-roda, representa o eixo de tombamento e, é em relação a este eixo, que é feita a somatória de momentos. O sentido horário foi adotado como positivo na somatória de momentos.

6.5.3.1. Aplicação da Força Lateral

Inicialmente será analisado o caso em que uma cadeira em movimento retilíneo uniforme é sujeito a uma força lateral externa F , aplicada a uma altura h do solo. Deste modo é possível determinar a força lateral externa máxima suportada pelas diferentes configurações.

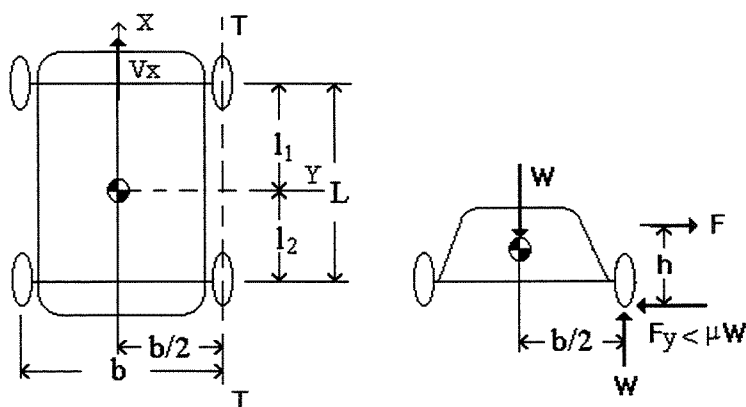


Figura 6.13 Modelo de cadeira de quatro rodas em movimento retilíneo, submetido a uma força lateral externa.

Desta forma, para evitar o tombamento de uma cadeira de quatro rodas:

$$\sum M_{TT} = -W \frac{b}{2} + Fh < 0 \quad (6.28)$$

E reescrevendo:

$$F < \frac{b}{2h} W \quad (6.29)$$

A somatória das forças laterais resulta em:

$$F = F_Y < \mu W \quad (6.30)$$

Onde : μ - Coeficiente de adesão entre o solo e a roda.

Ou seja , quando μ tiver valores inferiores a $b/2h$, a cadeira deslizará sobre o solo antes que ocorra o tombamento, logo h deve ser o menor possível . Mas no caso de uma colisão, o deslizamento das rodas sobre o solo é impedido, a força lateral cresce rapidamente causando o tombamento.

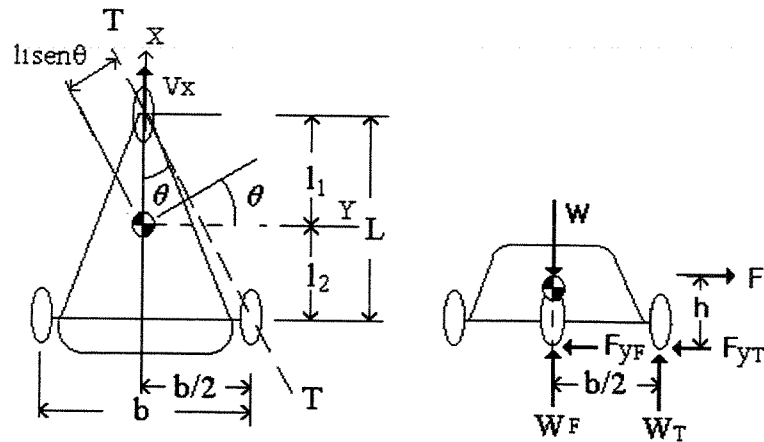


Figura 6.14 Modelo da cadeira triciclo, em movimento retilíneo, submetido a uma força lateral externa.

Para a configuração triciclo:

$$\sum M_{TT} = -Wl_1 \sin \theta + Fh \cos \theta < 0 \quad (6.31)$$

E:

$$F < \frac{bl_1}{2hL}W \quad (6.32)$$

Esta é uma condição menos estável que a obtida para a configuração de quatro rodas.

6.5.3.2. Plano Inclinado e Movimento Retilíneo

Analisando o caso em que a cadeira de quatro rodas está se movimentando em um plano inclinado em movimento retilíneo com velocidade constante, apenas o seu peso pode causar o tombamento dependendo da inclinação da rampa:

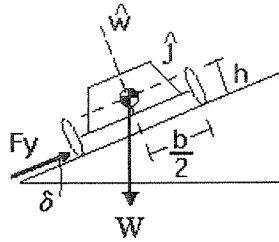


Figura 6.15 Modelo da cadeira de quatro rodas em movimento retilíneo uniforme, num plano inclinado.

Onde : δ - Ângulo de inclinação da rampa.

A somatória de momentos com relação ao eixo de tombamento T-T, resulta em:

$$\sum M_{TT} = W \frac{b}{2} \cos \delta - Wh \sin \delta > 0 \quad (6.33)$$

Reescrevendo:

$$\operatorname{tg} \delta < \frac{b}{2h} \quad (6.34)$$

Logo a condição para que não haja tombamento no plano inclinado é dado por:

$$\delta < \arctg\left(\frac{b}{2h}\right) \quad (6.35)$$

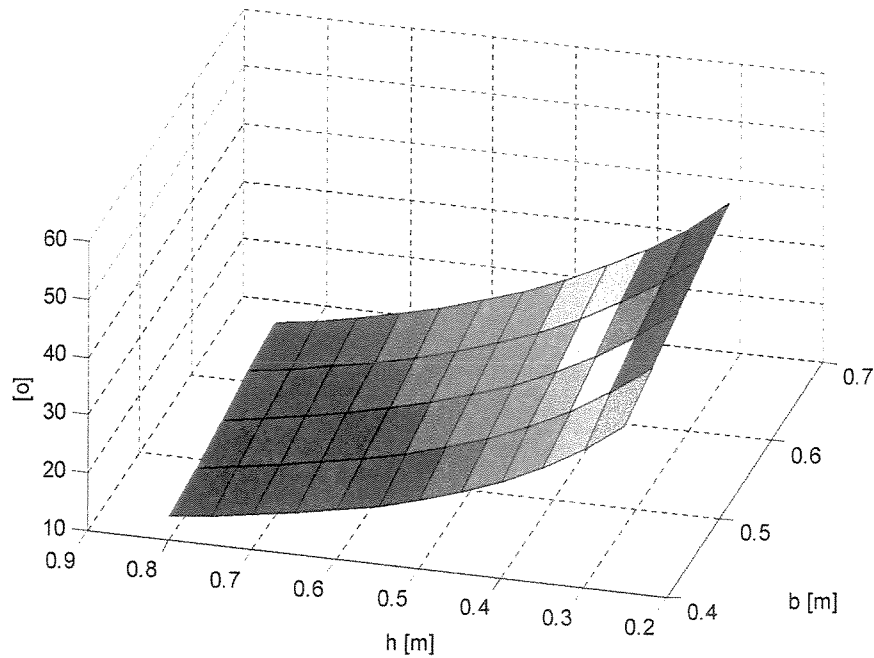


Figura 6.16 Comportamento do ângulo crítico δ em função das variáveis b e h – 4 rodas.

A figura 6.16 mostra o comportamento do ângulo δ em função das variáveis b (largura da cadeira) e h (altura do CG). Observa-se que quanto maior a largura da cadeira e menor a altura do CG, o ângulo δ cresce, que está melhor evidenciado na Figura 6.17.

Portanto para que a cadeira seja mais estável quanto ao tombamento lateral, a mesma deve possuir um CG baixo e a largura maior possível, no entanto aumentar a largura das cadeiras de rodas torna-se inviável atualmente, devido à norma NBR 9050 (1994) que estipula a adequação das edificações e do mobiliário urbano à pessoa deficiente e às obras já existentes que seguem a norma. No caso da altura do CG, as cadeiras que recebem motorização, tais como as cadeiras motorizadas, possuem a vantagem de possuírem o CG mais baixo, isto porque a maior parte do peso se concentra na parte inferior da cadeira.

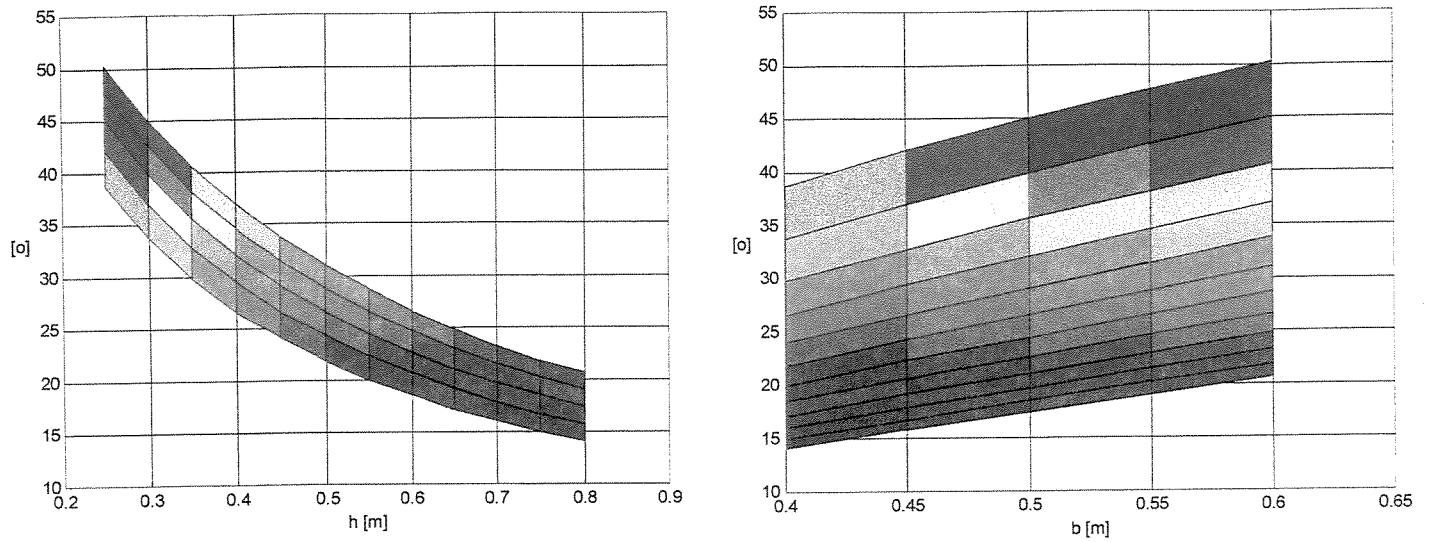


Figura 6.17 Comportamento do ângulo crítico δ em função das variáveis b e h – 4 rodas.

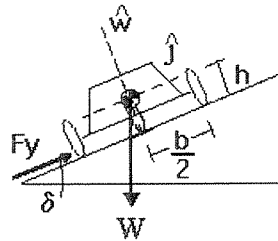


Figura 6.18 Modelo da cadeira triciclo, em movimento retilíneo uniforme, num plano inclinado.

Para a cadeira triciclo, a somatória de momentos resulta em:

$$\sum M_{TT} = Wl_1 \cos \delta \sin \theta - Wh \sin \delta \cos \theta > 0 \quad (6.36)$$

Reescrevendo:

$$\delta < \arctg\left(\frac{bl_1}{2Lh}\right) \quad (6.37)$$

Observa-se que a configuração com quatro rodas não sofre alterações na estabilidade lateral quando a posição do CG é variada ao longo do eixo longitudinal, o mesmo não ocorre com a configuração de três rodas. Variando-se os valores de h e l_1 , é possível obter a superfície que delimita o limite para o ângulo δ para a estabilidade lateral. As Figuras 6.19 e 6.20 mostram exemplos deste comportamento.

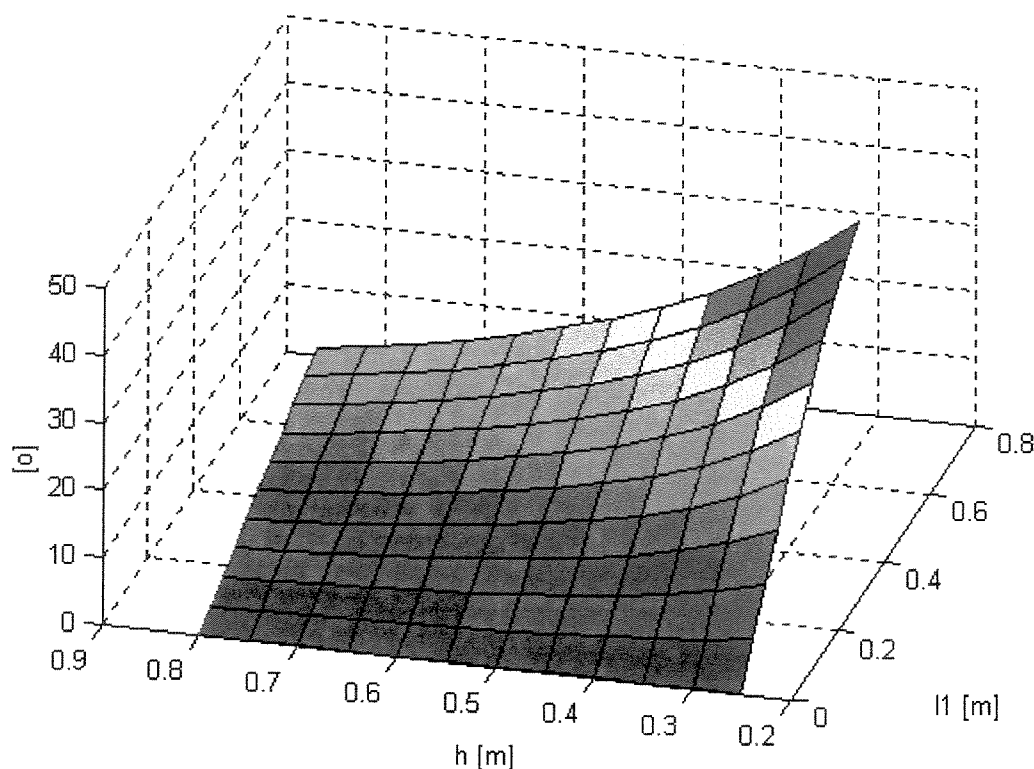


Figura 6.19 Comportamento do ângulo crítico δ em função das variáveis h e l_1 - triciclo.

A Figura 6.19 mostra o comportamento do ângulo crítico δ em função das variáveis h (altura do centro de gravidade) e l_1 (distância do centro de gravidade ao eixo frontal) para a configuração triciclo. Observa-se que quanto mais baixo é o CG e quanto maior l_1 , mais estável é a cadeira de configuração com três rodas.

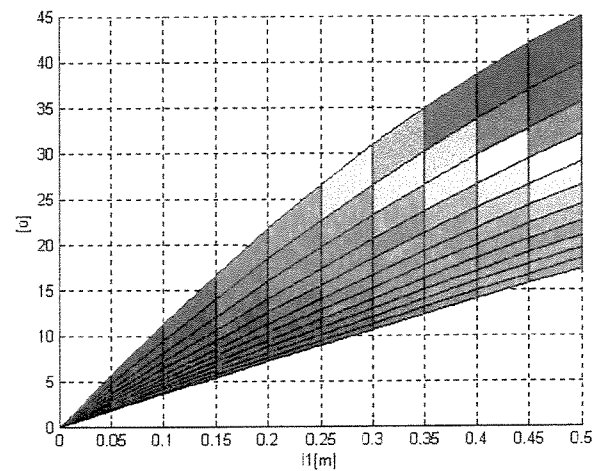
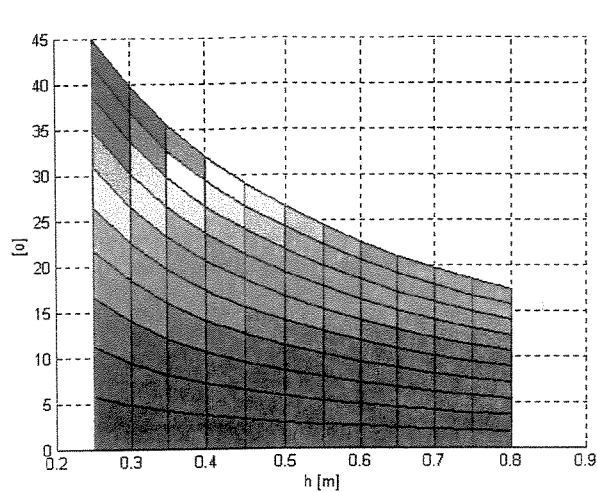


Figura 6.20 Comportamento do ângulo crítico δ em função das variáveis h e l_1 - triciclo, vistos separadamente.

6.5.3.3. Curva Plana com Aceleração

Considerando a influência de uma aceleração na estabilidade da cadeira de rodas em uma curva plana, tem-se o valor da força de inércia causada pela aceleração longitudinal, é:

$$A = \left| \vec{A} \right| = \frac{W}{g} a \quad (6.38)$$

Onde: a - Aceleração longitudinal.

E, a força de inércia causada pela aceleração lateral:

$$E = \left| \vec{E} \right| = \frac{WV^2}{gR} \quad (6.39)$$

Sendo $\vec{Z}$ o resultado da soma vetorial de $\vec{A}$ e $\vec{E}$.

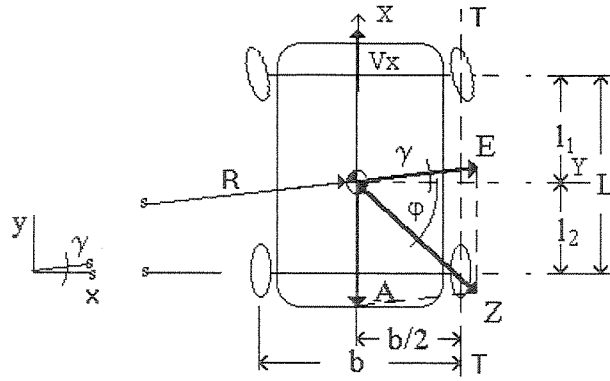


Figura 6.21 Modelo de cadeira de rodas com quatro rodas em curva, com $a > 0$.

Onde : γ - Ângulo formado entre as linhas que unem o centro de curvatura da trajetória ,
o CG da cadeira e o eixo traseiro

ϕ - Ângulo formado entre o vetor $\vec{Z}$ e o eixo Y .

Sendo que:

$$\gamma = \arcsen\left(\frac{l_2}{R}\right) \quad (6.40)$$

Seguindo o método anterior, tem-se a força de inércia $\vec{A}$, causada pela aceleração longitudinal, "a", é paralela ao eixo de tombamento T-T , não contribuindo na somatória de momentos :

$$\sum M_{TT} = Eh \cos \gamma - \frac{Wb}{2} < 0 \quad (6.41)$$

Logo a condição para a estabilidade lateral é:

$$E < \frac{Wb}{2h \cos \gamma} \quad (6.42)$$

Substituindo a equação (6.39) em (6.42):

$$V_{\gamma_0} = \sqrt{\frac{gRb}{2h \cos \gamma}} \quad (6.43)$$

A equação (6.43) fornece a velocidade limite para que não ocorra tombamento de uma cadeira de rodas com quatro rodas em uma curva com aceleração.

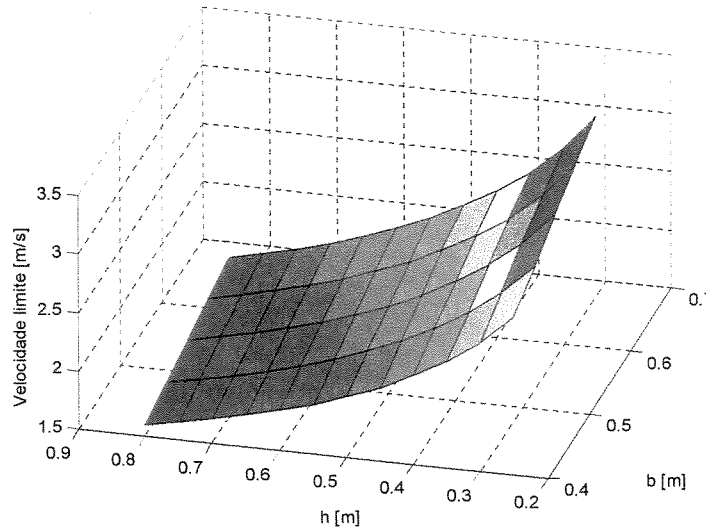


Figura 6.22 Comportamento da velocidade crítica em uma curva plana com aceleração em função das variáveis b e h - quatro rodas.

Observa-se na Figura 6.22 que para uma altura baixa do CG e para uma maior largura da cadeira, a velocidade limite é maior, ou seja, a cadeira é mais estável nestas condições.

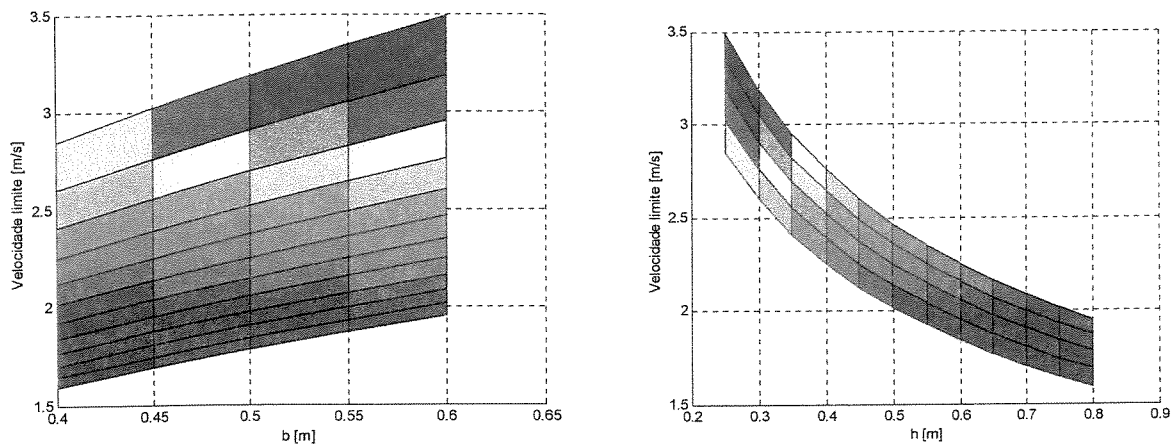


Figura 6.23 Comportamento da velocidade crítica em uma curva plana com aceleração em função das variáveis b e h , vistos separadamente.

A Figura 6.23 volta a confirmar o resultado já citado neste Capítulo de que a cadeira com quatro rodas é mais estável quanto maior a sua largura (b) e menor a altura do CG (h).

A Figura 6.24 mostra o comportamento da velocidade crítica para uma curva com aceleração em função do raio de curvatura da cadeira (R) e o ângulo entre a força lateral com o eixo transversal da cadeira (γ).

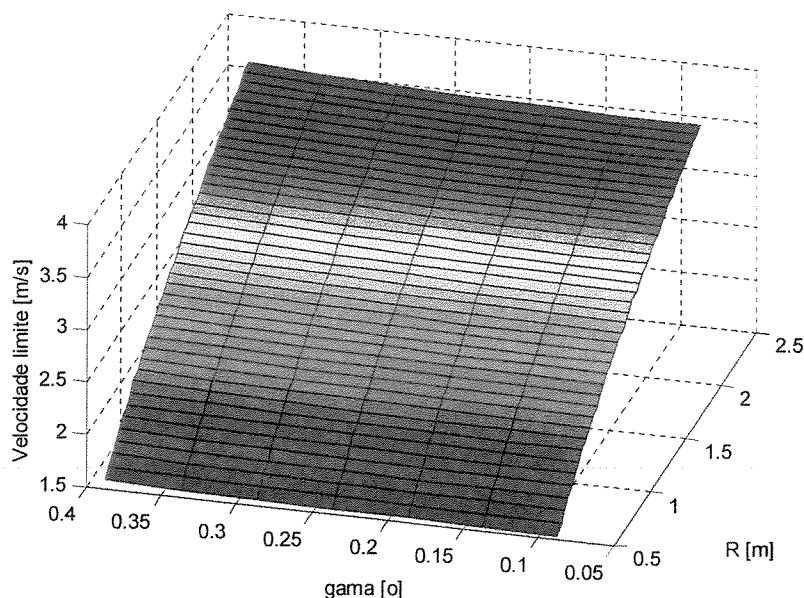


Figura 6.24 Comportamento da velocidade crítica em uma curva plana com aceleração em função das variáveis R e γ - 4 rodas.

Observa-se na Figura 6.25 que o ângulo γ não influencia a velocidade crítica, no entanto o raio de curvatura apresenta uma influência significativa, pois quanto maior o raio de curvatura da cadeira, maior é a velocidade que a cadeira poderá ter para realizar a curva.

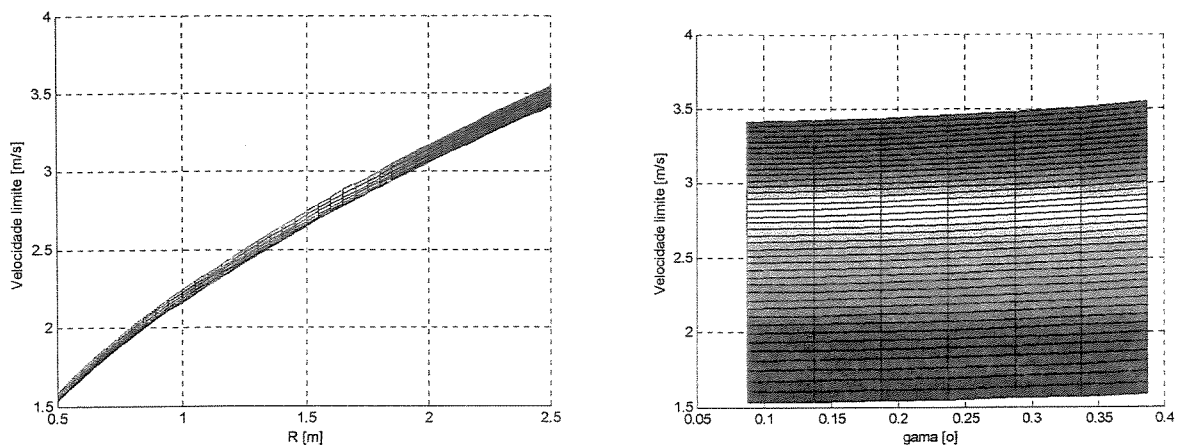


Figura 6.25 Comportamento da velocidade crítica em uma curva plana com aceleração em função das variáveis R e γ , vistos separadamente.

A seguir é feito o mesmo estudo para cadeira de rodas com três rodas.

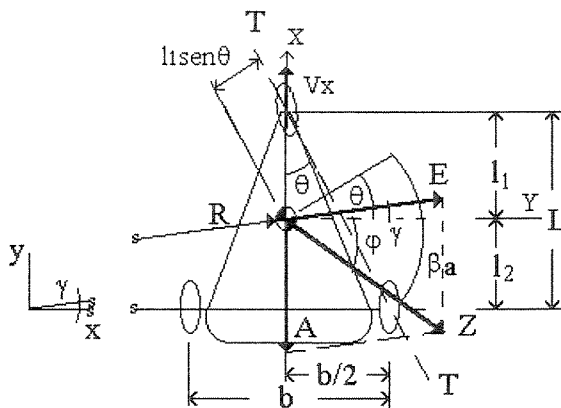


Figura 6.26 Modelo para cadeira de rodas triciclo, em curva com $a > 0$.

Onde: β - Ângulo entre o vetor resultante $\bar{Z}$ e a linha que define a distância do centro de gravidade da cadeira e o eixo de tombamento.

O valor de β é dado por :

$$\beta = \varphi + \theta \quad (6.44)$$

Para a cadeira triciclo, a somatória de momentos resulta em:

$$\sum M_{TT} = Zh \cos \beta - W l_1 \sin \theta < 0 \quad (6.45)$$

Que pode ser expresso por:

$$Z \cos \beta < \frac{Wb}{2h} \frac{l_1}{\sqrt{L^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}} \quad (6.46)$$

6.5.3.4. Curva Inclinada com Aceleração

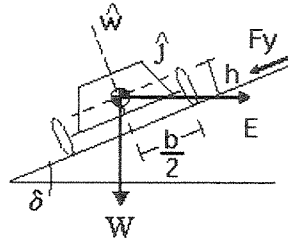


Figura 6.27 Modelo de cadeira de rodas com quatro rodas em curva inclinada, com $a > 0$.

No caso da cadeira de quatro rodas estar em uma curva inclinada, com aceleração positiva, tem-se que:

$$\sum M_{TT} = -Wh \sin \delta - \frac{b}{2} (W \cos \delta + E \sin \delta \cos \gamma) + Eh \cos \delta \cos \gamma < 0 \quad (6.47)$$

Tendo a condição para a estabilidade lateral:

$$E < \frac{1}{\cos \gamma} \left(\frac{2W \sin \delta + Wb \cos \delta}{2h \cos \delta - b \sin \delta} \right) \quad (6.48)$$

E substituindo (6.39) em (6.48), tem-se:

$$V < \sqrt{\frac{gR}{\cos \gamma} \left(\frac{2h \sin \delta + b \cos \delta}{2h \cos \delta - b \sin \delta} \right)} \quad (6.49)$$

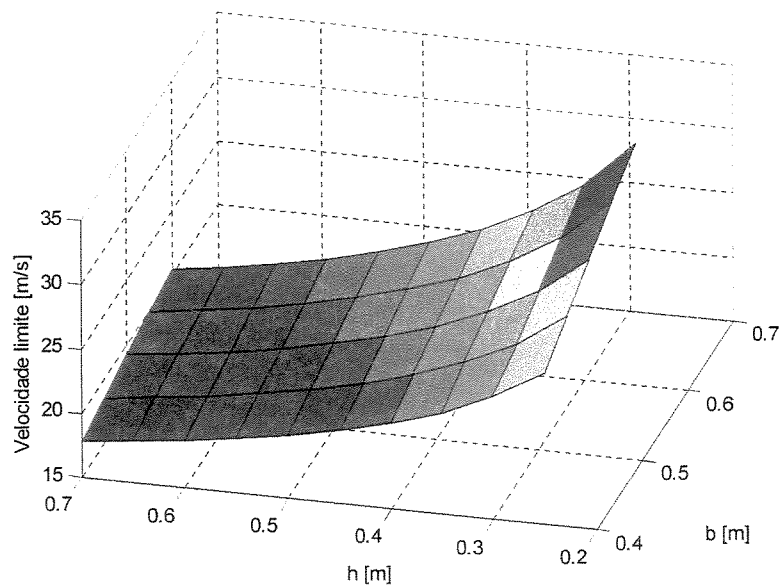


Figura 6.28 Comportamento da velocidade crítica em uma curva inclinada com aceleração.

A Figura 6.28 mostra o comportamento da velocidade crítica em uma curva inclinada com aceleração em função da largura da cadeira (b) e da altura do CG (h). Pode-se perceber novamente que a velocidade crítica é maior quando a largura da cadeira aumenta e a altura do CG diminui, que também é observado na Figura 6.29.

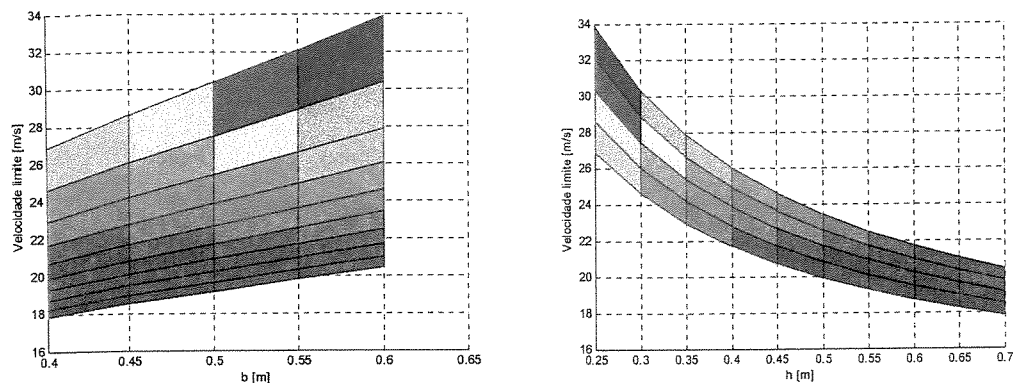


Figura 6.29 Comportamento da velocidade crítica em uma curva inclinada com aceleração.

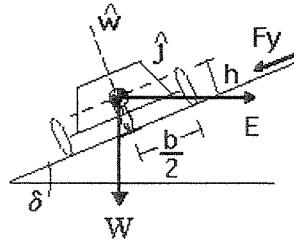


Figura 6.30 Modelo de cadeira de rodas triciclo, em curva inclinada, com $a > 0$.

Para a cadeira triciclo:

$$\sum M_{TT} = Zh \cos \delta \cos \beta - Zl_1 \cos \beta \sin \delta \sin \theta - Wl_1 \cos \delta \sin \theta - Wh \sin \delta < 0 \quad (6.50)$$

Resultando em:

$$Z \cos \beta < \frac{Wh \sin \delta \left(L^2 + \left(\frac{b}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + Wl_1 \left(\frac{b}{2} \right) \cos \delta}{h \cos \delta \left(L^2 + \left(\frac{b}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} - l_1 \left(\frac{b}{2} \right) \sin \delta} \quad (6.51)$$

6.6 Parâmetros das Simulações

As simulações foram feitas utilizando o software MatLab, por ser de fácil programação e manuseio de gráficos. As equações obtidas nos itens anteriores foram simuladas para uma cadeira de rodas com as seguintes características:

Tabela 6.2 Parâmetros de simulação.

Descrição	Representação	Valor	Unidade
Largura da cadeira	b	0,6	[m]
Comprimento entre eixos	L	0,5	[m]
Altura do CG da cadeira	h	0,8	[m]
Massa da cadeira	m	100	[kg]
Variável de Huston	A	16,3	[rad ⁻¹]
Variável de Huston	B	$1,6 \cdot 10^{-4}$	[Nrad ⁻¹]

Deste modo foram plotados os gráficos que mostram o comportamento dinâmico das duas configurações para uma cadeira de rodas com quatro e três rodas em pistas planas e inclinadas (Becker,1997).

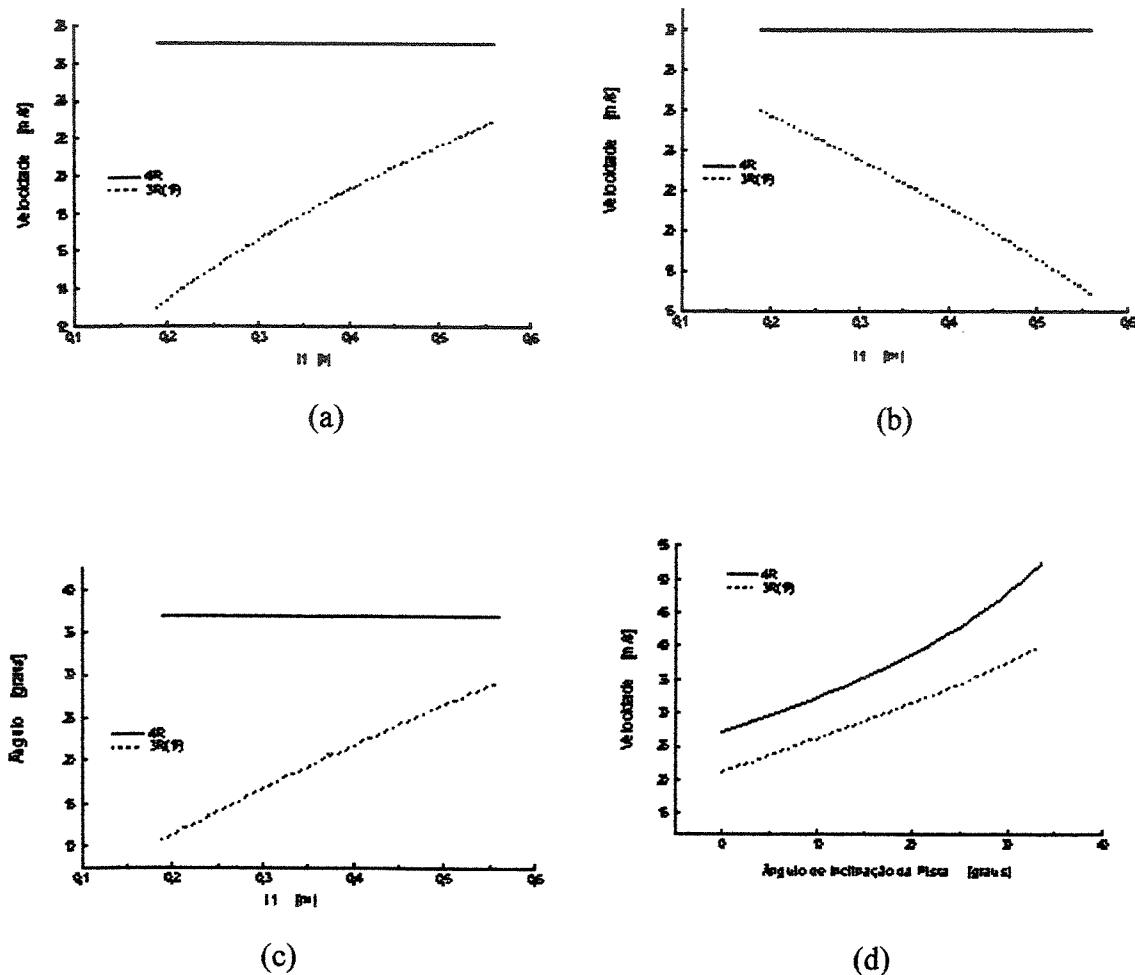


Figura 6.31 Comportamento dinâmico para as duas configurações: (a) Velocidade limite para estabilidade lateral - tombamento em curva com $a > 0$, (b) curva inclinada ($\delta = 5,73^\circ$), com $a > 0$, (c) ângulo máximo para estabilidade lateral - tombamento em pista inclinada, e (d) influência do ângulo de inclinação da pista na velocidade limite.

A Figura 6.31 mostra que a configuração menos propensa ao tombamento em curvas é a com quatro rodas. E para a configuração da cadeira triciclo, quanto maior l_1 maior é a velocidade limite para que ocorra o tombamento.

6.7 Sumário

Neste Capítulo foram apresentados estudos sobre a estabilidade estática e dinâmica quanto ao tombamento lateral e longitudinal para duas configurações: 4 rodas e 3 rodas com uma roda frontal (triciclo). Foram obtidos os limites das velocidades que são importantes para que o usuário não corra risco de acidentes (queda ou tombamento).

Foi observado também que para uma melhor estabilidade da cadeira com quatro rodas é necessário que a altura do centro de gravidade seja a menor possível (dentro dos limites) e que a largura da cadeira seja maior. E na configuração da cadeira com três rodas o CG deve ser baixo e deve estar localizado na parte traseira da cadeira triciclo para que haja estabilidade.

Capítulo 7

Dirigibilidade

O estudo de dirigibilidade é feito para as duas configurações de acionamento e esterçamento de cadeiras de rodas (quatro e três rodas (1F)). Seguindo os procedimentos utilizados por Raman (1995) e Becker (1997). Através dos diagramas de corpo livre são obtidas as equações de Newton e Euler para cada configuração. Estas equações formam sistemas de equações diferenciais que, por serem não lineares e acopladas, não permitem uma análise de estabilidade como a realizada no Capítulo 6. Mas, utilizando do software Matlab é possível resolvê-las por processo numérico e obter as respostas de posicionamento, velocidade e aceleração para cada configuração.

É apresentado neste capítulo o equacionamento geral das duas configurações, sem utilizar o modelo bicicleta e com o modelo linear das rodas (Huston, 1982). Deste modo é possível analisar a influência do tipo de acionamento e esterçamento nas respostas da cadeira (acelerações e velocidades) para a mesma potência fornecida à cadeira de rodas .

As equações desenvolvidas neste capítulo servem para cadeiras de rodas que percorram pistas planas, curvas ou retas e para acelerações positivas e negativas . Para o caso de pistas inclinadas, será necessário utilizar os mesmos procedimentos usados no Capítulo 6.

7.1 Cadeira de 4 Rodas com Acionamento Traseiro e Esterçamento Frontal

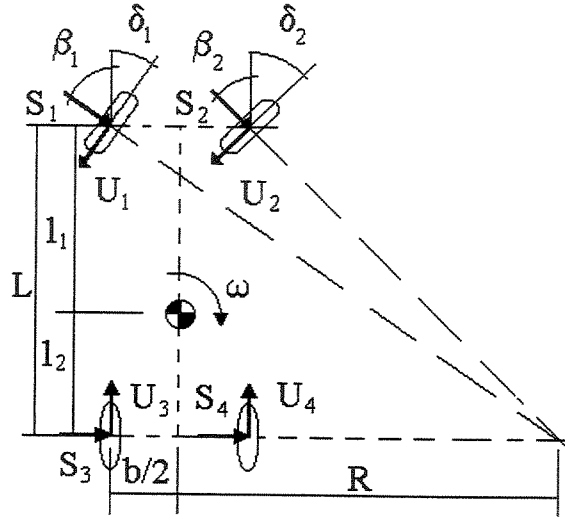


Figura 7.1 Diagrama de corpo livre para a cadeira de rodas com 4 rodas, com acionamento traseiro e esterçamento frontal.

Os ângulo de esterçamento (δ_i), em função das variáveis geométricas , valem:

$$\delta_1 = \arctg\left(\frac{L}{R + \frac{b}{2}}\right) \quad \delta_2 = \arctg\left(\frac{L}{R - \frac{b}{2}}\right) \quad (7.1)$$

Os ângulos de escorregamento (ψ_i) e as forças transversais das rodas (S_i), definidos no Apêndice 5:

$$\psi_1 = \delta_1 - \frac{V_Y + l_1 \omega_z}{V_X + \frac{b}{2} \omega_z} \quad S_1 = C_{\psi F} \left(\delta_1 - \frac{V_Y + l_1 \omega_z}{V_X + \frac{b}{2} \omega_z} \right) \quad (7.2)$$

$$\psi_2 = \delta_2 - \frac{V_Y + l_1 \omega_z}{V_X + \frac{b}{2} \omega_z} \quad S_2 = C_{\psi F} \left(\delta_2 - \frac{V_Y + l_1 \omega_z}{V_X - \frac{b}{2} \omega_z} \right) \quad (7.3)$$

$$\psi_3 = \frac{V_Y - l_2 \omega_Z}{V_X + \frac{b}{2} \omega_Z} \quad S_3 = -C_{\psi T} \left(\frac{V_Y - l_2 \omega_Z}{V_X + \frac{b}{2} \omega_Z} \right) \quad (7.4)$$

$$\psi_4 = \frac{V_Y - l_2 \omega_Z}{V_X - \frac{b}{2} \omega_Z} \quad S_4 = -C_{\psi T} \left(\frac{V_Y - l_2 \omega_Z}{V_X - \frac{b}{2} \omega_Z} \right) \quad (7.5)$$

E as forças longitudinais das rodas, obtidas através da somatória entre as forças de atrito e tração :

$$U_1 = \frac{\mu m g l_2}{2L} \quad U_2 = \frac{\mu m g l_2}{2L} \quad (7.6)$$

$$U_3 = \frac{P(t)}{2 \left(V_X + \frac{b}{2} \omega_Z \right)} - \frac{\mu m g l_1}{2L} \quad U_4 = \frac{P(t)}{2 \left(V_X - \frac{b}{2} \omega_Z \right)} - \frac{\mu m g l_1}{2L}$$

Deve-se observar que para o cálculo das forças de atrito utiliza-se a distribuição de pesos desenvolvida no Apêndice 4.

As equações de Newton e Euler :

$$\sum F_X = m a_X = m (\dot{V}_X - V_Y \omega_Z) = U_3 + U_4 - U_1 \cos \delta_1 - U_2 \cos \delta_2 - S_1 \cos \beta_1 - S_2 \cos \beta_2 \quad (7.7)$$

$$\sum F_Y = m a_Y = m (\dot{V}_Y + V_X \omega_Z) = S_3 + S_4 + S_1 \sin \beta_1 + S_2 \sin \beta_2 - U_1 \sin \delta_1 - U_2 \sin \delta_2 \quad (7.8)$$

$$\sum M_Z = I_Z \dot{\omega}_Z = \frac{b}{2} (U_3 - U_4) - l_1 (U_1 \sin \delta_1 + U_2 \sin \delta_2) - l_2 (S_3 + S_4) + \dots$$

$$l_1 (S_1 \sin \beta_1 + S_2 \sin \beta_2) + \frac{b}{2} (U_2 \cos \delta_2 - U_1 \cos \delta_1 + S_2 \cos \beta_2 + S_1 \cos \beta_1) \quad (7.9)$$

Deste modo, obtêm-se o sistema de equações diferenciais ordinárias definidas pelas equação (7.10) , (7.11) e (7.12):

$$\dot{V}_X = V_Y \omega_Z - \frac{\mu g}{L} \left(\frac{l_2 \cos \delta_1}{2} + \frac{l_2 \cos \delta_2}{2} + l_1 \right) + \frac{V_X P(t)}{m \left(V_X^2 - \frac{b^2}{4} \omega_Z^2 \right)} - \dots \quad (7.10)$$

$$\begin{aligned} & \frac{C_{\psi F} \cos \beta_1}{m} \left(\delta_1 - \frac{V_Y + l_1 \omega_Z}{V_X + \frac{b}{2} \omega_Z} \right) - \frac{C_{\psi F} \cos \beta_2}{m} \left(\delta_2 - \frac{V_Y + l_1 \omega_Z}{V_X - \frac{b}{2} \omega_Z} \right) \\ \dot{V}_Y = & -V_Y \omega_Z - \frac{2V_X C_{\psi T}}{m} \left(\frac{V_Y + l_2 \omega_Z}{V_X^2 - \frac{b^2}{4} \omega_Z^2} \right) - \frac{\mu g l_2}{2L} \left(\delta_2 - \frac{V_Y + l_1 \omega_Z}{V_X - \frac{b}{2} \omega_Z} \right) \dots \end{aligned} \quad (7.11)$$

$$\begin{aligned} & \frac{C_{\psi F} \cos \beta_1}{m} \left(\delta_1 - \frac{V_Y + l_1 \omega_Z}{V_X + \frac{b}{2} \omega_Z} \right) - \frac{C_{\psi F} \cos \beta_2}{m} \left(\delta_2 - \frac{V_Y + l_1 \omega_Z}{V_X - \frac{b}{2} \omega_Z} \right) \\ \dot{\omega}_Z = & \frac{\mu m g b l_2}{4L I_Z} (\cos \delta_2 - \cos \delta_1) - \frac{\mu m g l_1 l_2}{2L I_Z} (\sin \delta_1 + \sin \delta_2) + \dots \\ & \frac{\omega_Z b^2 P(t)}{4I_Z \left(V_X^2 - \frac{b^2}{4} \omega_Z^2 \right)} + \frac{C_{\psi F}}{I_Z} \left(\delta_2 - \frac{V_Y + l_1 \omega_Z}{V_X - \frac{b}{2} \omega_Z} \right) \left[l_1 \sin \beta_2 + \frac{b}{2} \cos \beta_2 \right] + \dots \end{aligned} \quad (7.12)$$

$$\frac{C_{\psi F}}{I_Z} \left(\delta_1 - \frac{V_Y + l_1 \omega_Z}{V_X + \frac{b}{2} \omega_Z} \right) \left[l_1 \sin \beta_1 - \frac{b}{2} \cos \beta_1 \right] + \frac{2V_X l_2 C_{\psi T}}{I_Z} \left(\frac{V_Y - l_2 \omega_Z}{V_X^2 - \frac{b^2}{4} \omega_Z^2} \right)$$

7.2 Cadeira de rodas com três rodas (1F) com Acionamento e Esterçamento Frontal

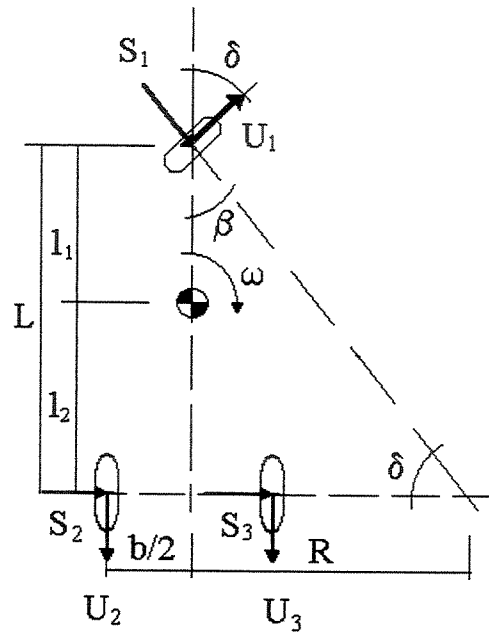


Figura 7.2 Diagrama de corpo livre para a cadeira triciclo com esterçamento frontal e acionamento frontal.

O ângulo de esterçamento, em função das variáveis geométricas é:

$$\delta_1 = \arctg\left(\frac{L}{R}\right) \quad (7.13)$$

As equações (7.14) a (7.16) mostram os valores dos ângulos de escorregamento (ψ_i) e das forças transversais das rodas (S_i):

$$\psi_1 = \delta_1 - \frac{V_Y + l_1 \omega_z}{V_X + \frac{b}{2} \omega_z} \quad S_1 = C_{\psi F} \left(\delta_1 - \frac{V_Y + l_1 \omega_z}{V_X + \frac{b}{2} \omega_z} \right) \quad (7.14)$$

$$\psi_3 = \frac{V_Y - l_2 \omega_Z}{V_X + \frac{b}{2} \omega_Z} \quad S_3 = -C_{\psi T} \left(\frac{V_Y - l_2 \omega_Z}{V_X + \frac{b}{2} \omega_Z} \right) \quad (7.15)$$

$$\psi_4 = \frac{V_Y - l_2 \omega_Z}{V_X - \frac{b}{2} \omega_Z} \quad S_4 = -C_{\psi T} \left(\frac{V_Y - l_2 \omega_Z}{V_X - \frac{b}{2} \omega_Z} \right) \quad (7.16)$$

E as forças longitudinais das rodas (U_i) são :

$$U_1 = \frac{P(t)}{K_1} - \frac{\mu m g l_2}{L} \quad U_3 = \frac{\mu m g l_1}{2L} \quad U_4 = \frac{\mu m g l_1}{2L} \quad (7.17)$$

Onde $K_1 = V_X \cos \delta_1 + (V_Y + l_1 \omega_Z) \sin \delta_1$

As equações de Newton e Euler :

$$\sum F_X = m a_X = m(\dot{V}_X - V_Y \omega_Z) = -(U_3 + U_4) + U_1 \cos \delta_1 - S_1 \cos \beta_1 \quad (7.18)$$

$$\sum F_Y = m a_Y = m(\dot{V}_Y + V_X \omega_Z) = S_3 + S_4 + S_1 \sin \beta_1 + U_1 \sin \delta_1 \quad (7.19)$$

$$\sum M_Z = I_Z \dot{\omega}_Z = \frac{b}{2}(U_4 - U_3) + l_1 U_1 \sin \delta_1 + l_1 S_1 \sin \beta_1 - l_2 (S_3 + S_4) \quad (7.20)$$

Deste modo , obtêm-se o sistema de equações diferenciais ordinárias definido pelas equações (7.21), (7.22) e (7.23):

$$\dot{V}_x = V_y \omega_z - \frac{\mu g}{2L} (l_2 \cos \delta_1 + l_1) + \frac{P(t)}{m K_1} \cos \delta_1 - \frac{C_{\psi F} \cos \beta_1}{m} \left(\delta_1 - \frac{V_y + l_1 \omega_z}{V_x} \right) \quad (7.21)$$

$$\dot{V}_y = -V_y \omega_z - \frac{P(t)}{m K_1} \sin \delta_1 - \frac{\mu g l_2}{L} \sin \delta_1 + \frac{C_{\psi F} \sin \beta_1}{m} \left(\delta_1 - \frac{V_y + l_1 \omega_z}{V_x} \right) - \dots \quad (7.22)$$

$$\frac{2V_x C_{\psi T}}{m} \left(\frac{V_y - l_2 \omega_z}{\left(V_x^2 - \frac{b^2}{4} \omega_z^2 \right)} \right)$$

$$\dot{\omega}_z = -\frac{\mu m g l_1 l_2}{L I_z} \sin \delta_1 + \frac{P(t) l_1}{I_z K_1} \sin \delta_1 + \frac{C_{\psi F} l_1 \sin \beta_1}{I_z} \left(\delta_1 - \frac{V_y + l_1 \omega_z}{V_x} \right) + \dots \quad (7.23)$$

$$\frac{2V_x l_2 C_{\psi T}}{I_z} \left(\frac{V_y - l_2 \omega_z}{\left(V_x^2 - \frac{b^2}{4} \omega_z^2 \right)} \right)$$

7.3 Simulações

Foi utilizado para as simulações o software Matlab para obter a solução numérica dos sistemas de equações diferenciais das duas configurações. Desta forma, foram obtidas as respostas quanto à velocidade e a aceleração de cada configuração, sendo possível avaliar o comportamento de cada configuração e compará-los entre si (Becker 1997).

Os parâmetros usados nas simulações são apresentados na Tabela 7.1:

Tabela 7.1 Parâmetros usados nas simulações.

Descrição	Representação	Valor	Unidade
Comprimento entre eixos	L	0,75	[m]
Potência motora (cte)	$P(t)$	150	[W]
Altura do CG	h	0,5	[m]
Massa total	m	100	[kg]
Largura da cadeira	b	0,60	[m]
Variável de Huston	A	16,3	[rad ⁻¹]
Variável de Huston	B	$1,6 \cdot 10^{-4}$	[Nrad ⁻¹]
Raio de curvatura	ρ	1	[m]

O esterçamento da cadeira foi simulado da seguinte forma: através do valor do raio de curvatura desejado (ρ - linha que une o CG da cadeira ao centro de curvatura), obtêm-se o valor de R e através dele, o valor do ângulo de esterçamento desejado δ . Observe a figura abaixo e o equacionamento que segue.

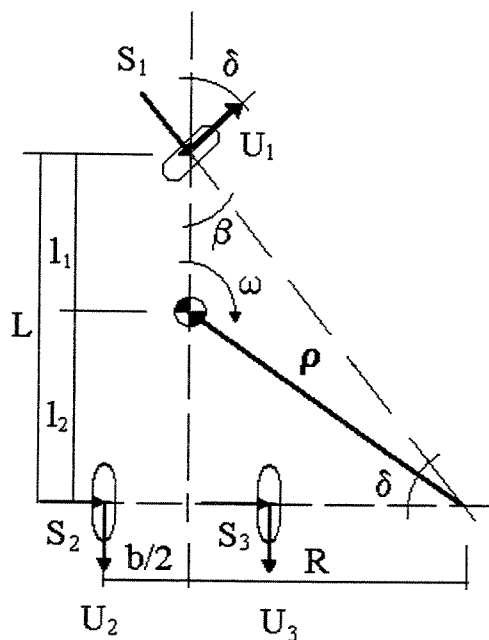


Figura 7.3 Exemplo de cálculo de ângulo de esterçamento.

Assim : $R^2 = \rho^2 - l_2^2$ e $\delta = \arctg\left(\frac{L}{R}\right)$

Deste modo, varia-se o valor de δ em função do tempo, como mostra a Tabela 7.2.

Tabela 7.2 Variação do ângulo de esterçamento em função do tempo.

<i>Tempo</i>	<i>Ângulo de esterçamento</i>
$t = 0$	$\delta(t) = 0$
$t < 1$	$\delta(t) = 0,5 \cdot \delta_{\text{final}} \cdot (1 - \cos \pi t)$
$1 < t < 2$	$\delta(t) = \delta_{\text{final}}$
$2 < t < 3$	$\delta(t) = \delta_{\text{final}} - 0,5 \cdot \delta_{\text{final}} \cdot (1 - \cos \pi t)$
$t > 3$	$\delta(t) = 0$

Os gráficos obtidos mostram o comportamento do CG da cadeira quanto às velocidades e acelerações. A seguir estão os gráficos das simulações para as configurações de quatro e três rodas.

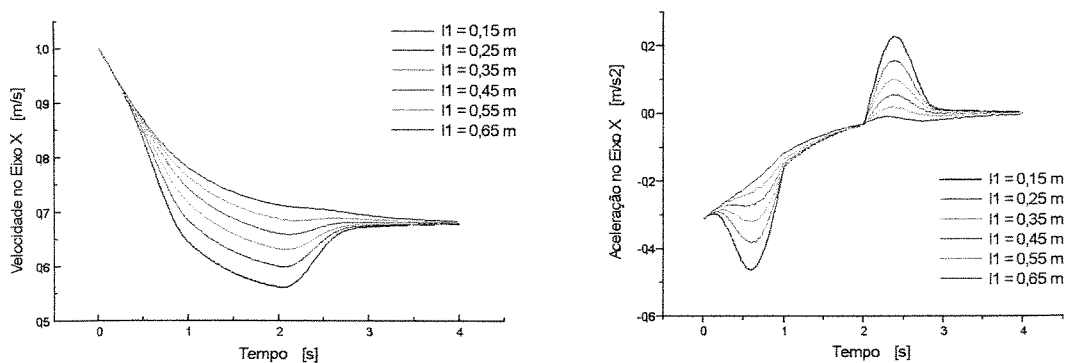


Figura 7.4 - Comportamento da cadeira com quatro rodas com acionamento traseiro e esterçamento frontal, quanto à variação da posição do C.G..

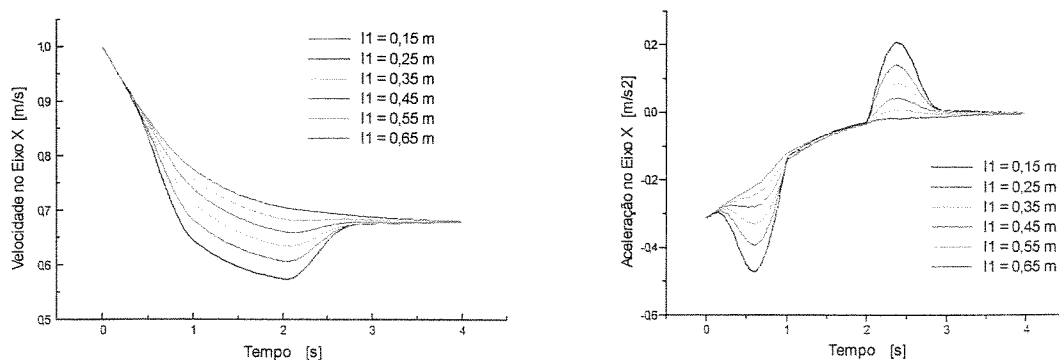


Figura 7.5 - Comportamento da cadeira triciclo (1 roda frontal) com acionamento frontal e esterçamento frontal, quanto à variação da posição do C.G..

Percebe-se pelas Figuras 7.4 e 7.5 que as configurações da cadeira com quatro rodas (1 roda frontal) com acionamento traseiro e esterçamento frontal e da cadeira triciclo (1 roda frontal) com acionamento frontal e esterçamento frontal, apresentam comportamentos semelhantes, ou seja, variações de aceleração e velocidade pequenas. Deste modo, conclui-se que as ambas as configurações são indicadas para serem aplicadas em módulos de locomoção para transporte de pessoas.

7.4 Rebocador de Cadeiras de Rodas

A partir dos estudos realizados neste Capítulo e nos capítulos anteriores pode-se representar uma idéia do rebocador de cadeiras de rodas.

Concluiu-se que os principais problemas da cadeira motorizada são o peso, a autonomia das baterias, as dificuldades encontradas no transporte da cadeira (devido à robustez) e a impossibilidade de o usuário exercitar os membros superiores. E também pode-se concluir que a cadeira de rodas manual oferece maior agilidade, leveza, facilidade de transporte (cadeira dobrável), e possibilita a execução de exercícios. Porém suas limitações são as rampas e os percursos de longa distância.

Como a cadeira de rodas é de uso contínuo, é muito importante aliar as características fundamentais dos dois tipos de cadeiras de rodas: manual e motorizada, permitindo ao usuário usufruir os benefícios da cadeira motorizada sem perder a liberdade que o modelo manual proporciona.

Focalizando este objetivo foi idealizado neste trabalho um rebocador para cadeiras de rodas. O usuário e sua cadeira convencional se dirige ao rebocador e posiciona as rodas frontais da cadeira nos encaixes que esse rebocador possui para acomodá-las e através de um controle automático o rebocador prende as rodas frontais da cadeira. Neste instante um sinal é enviado ao rebocador que através de uma interface fornecerá ao usuário que está pronto para o uso. Existe um comando com *joystick* (que é utilizado para percorrer a trajetória definida pelo usuário) que está disponível no rebocador e que o usuário deve prendê-lo no braço da cadeira através do velcro, já existente. Assim permite-se que o usuário escolha a posição do controle (lado direito ou lado esquerdo). Após o uso o rebocador é desconectado em local sinalizado e a cadeira volta a ser manual.

A Figura 7.6 mostra um esquema do rebocador com a cadeira de rodas e suas rodas frontais presas no rebocador.

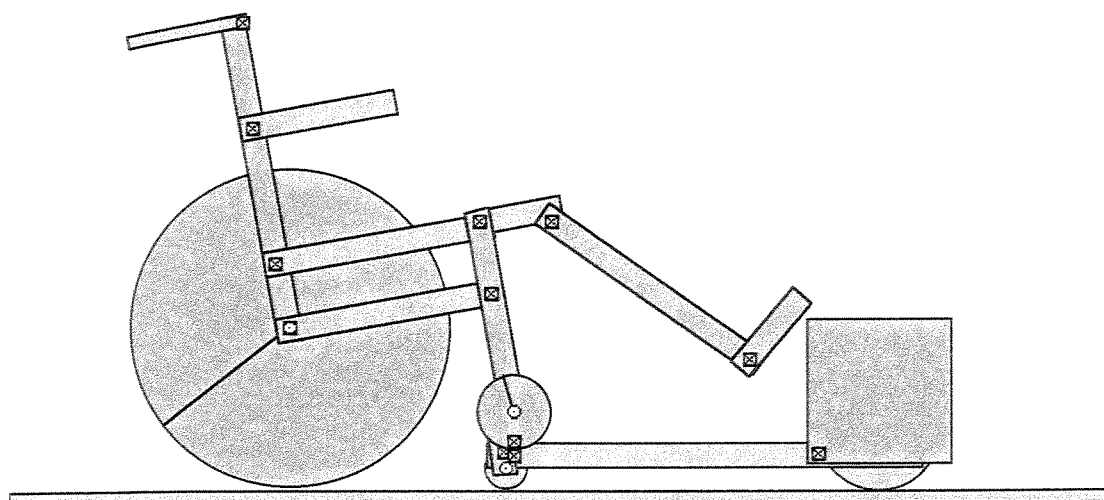


Figura 7.6 Cadeira de rodas manual com o rebocador.

O rebocador idealizado neste trabalho possui uma roda motora e diretora e duas rodas livres que servem somente de apoio, as rodas frontais da cadeira de rodas se encaixam no rebocador e são travadas, veja Figura 7.6. Como pode ser visto o rebocador possui em sua parte frontal os motores e as baterias. O peso estimado para o rebocador é de aproximadamente de 40 kg para garantir a estabilidade do conjunto cadeira de rodas - rebocador. Pode-se utilizar duas baterias de 12 Volts recarregáveis e com autonomia de aproximadamente 10 Km em superfície plana, na escolha das baterias deve-se levar em conta as dimensões externas e o peso, para que não haja aumento na largura da cadeira, o que acarretaria problemas com a norma NBR 9050 (1994) em respeito ao acesso em edificações. O motor utilizado para tração é de corrente contínua e pode operar com 12 V ou com 24 V de tensão. A potência máxima do motor deve ser de até 200W.

O conjunto cadeira de rodas-rebocador foi simulado no software Working Model 2D para que os valores especificados fossem testados. Verificando se o conjunto corresponderia ao propósito de subir rampas com até 10° de inclinação. O desenho utilizado como modelo é bem simples, porém suas dimensões e especificações foram respeitadas. O peso do usuário foi considerado e é visualizado na simulação como uma força de 1.000 N, veja Figura 7.7.

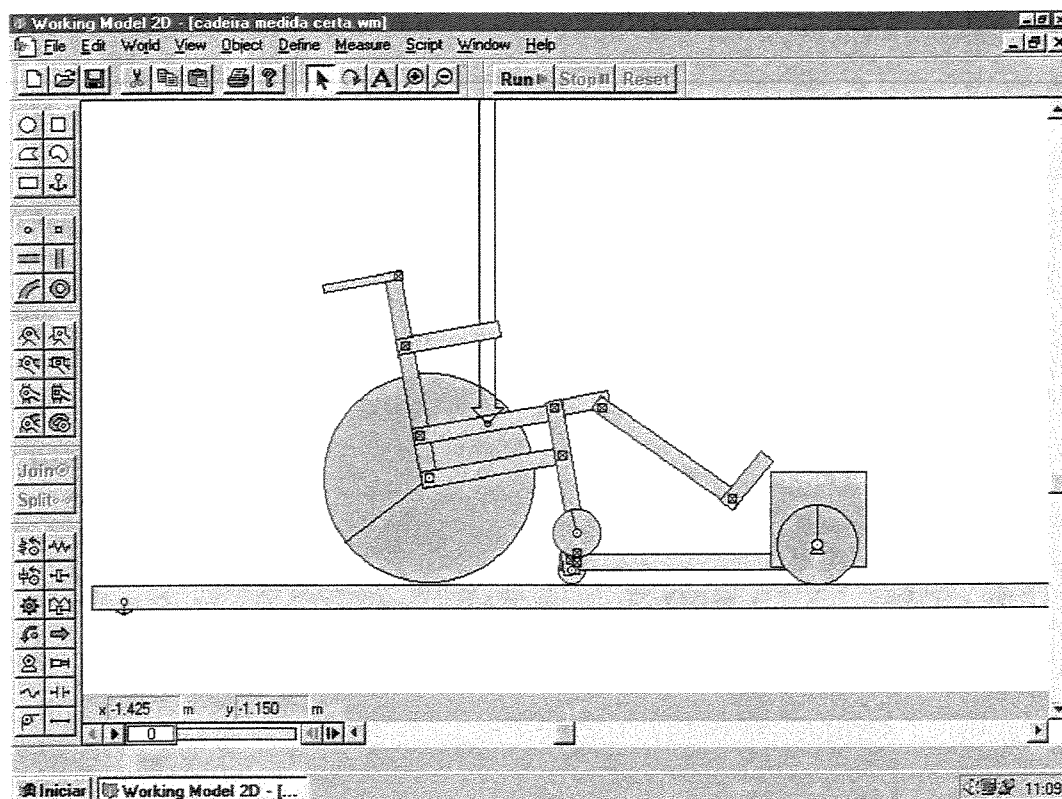


Figura 7.7 Simulação do conjunto cadeira-rebocador em pista plana.

Durante a simulação foi constatado que um torque variando de 20 a 30 N.m é suficiente para o conjunto-cadeira ter um bom desempenho.

Observa-se na Figura 7.7 que a altura do rebocador deve ser mínima para que o usuário não encontre dificuldades em colocar as rodas frontais de sua cadeira no rebocador. Esse encaixe deve possuir uma variação em suas dimensões, respeitando as dimensões da largura das rodas frontais da maioria das cadeiras de rodas convencionais manuais.

A Figura 7.8 mostra o conjunto cadeira-rebocador subindo uma rampa.

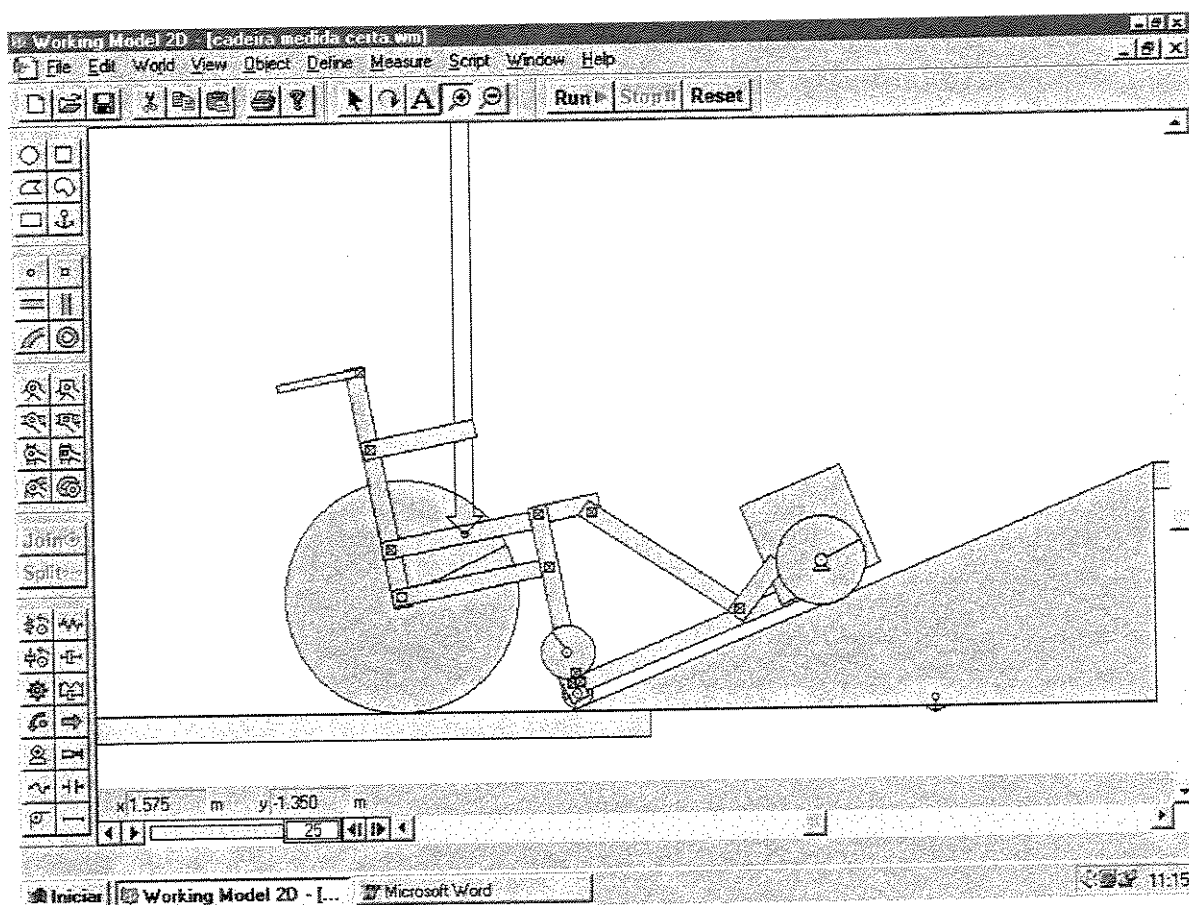


Figura 7.8 Simulação do conjunto cadeira-rebocador em pista inclinada.

Pela Figura 7.8 pode-se notar que no rebocador o sistema de travamento das rodas frontais da cadeira no rebocador deve possuir uma articulação para que haja estabilidade durante a subida ou descida.

A roda motora possui dois motores, como já foi dito antes, um motor para a tração e outro para o esterçamento. Essa roda deve possuir um diâmetro grande, acima de 300mm de diâmetro e notou-se na simulação que quanto maior o diâmetro dessa roda, melhor o desempenho, veja a Figura 7.9.

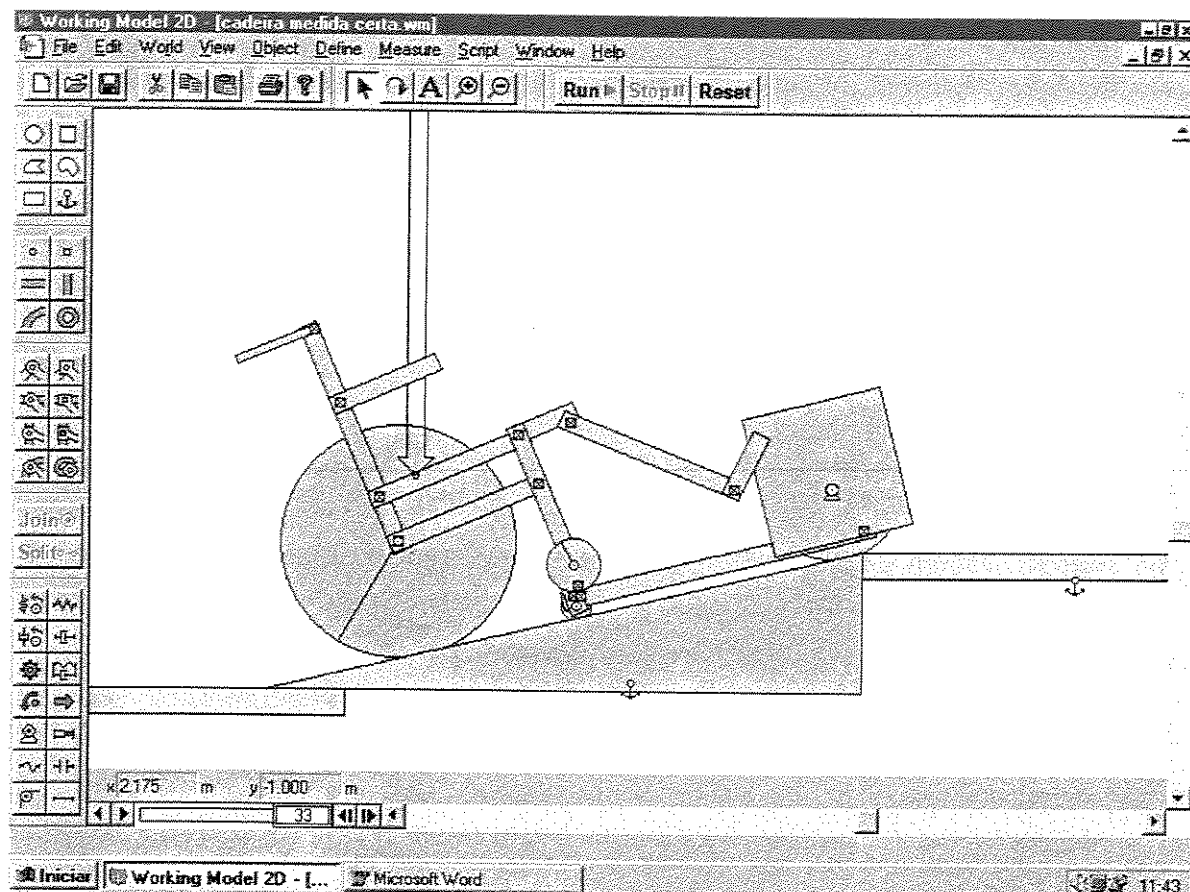


Figura 7.9 Simulação do conjunto cadeira-rebocador em pista inclinada, com aumento do diâmetro da roda motora.

Foi assumida a hipótese de que as rodinhas do rebocador que ficam posicionadas próximas ao travamento das rodas frontais da cadeira com o rebocador, são livres e não influenciam na estabilidade do conjunto cadeira - rebocador.

Enfim a idéia da utilização do rebocador é simples, prática e atende as necessidades dos usuários de cadeiras de rodas.

O ideal é o uso coletivo desse rebocador, ou seja, o rebocador permanece em um local estratégico sinalizado, por exemplo, próximo a uma rampa. O usuário se dirige até o rebocador, posiciona as rodas frontais no encaixe do rebocador. A cadeira já está com o sistema de motorização ativo, cabe ao usuário movimentá-la utilizando o *joystick*. Após o uso o rebocador é desconectado em local sinalizado e a cadeira volta a ser manual.

Portanto esse rebocador deve ficar em locais próximos a rampas, ou em locais que se percorram grandes distâncias, ou seja, onde necessitar a motorização. Nota-se que não é necessário que todo usuário de cadeiras de rodas possua um rebocador, pois esses devem estar espalhados em pontos estratégicos em locais de trabalho e lazer.

Aplicações práticas deste rebocador podem não somente assessorar sistemas de apoio à reabilitação de deficiências físicas e motoras (paraplégicos, tetraplégicos, etc), como também sistemas automatizados de manufatura.

Em trabalhos futuros podem ser desenvolvidos pacotes de programas para o controle do rebocador em ambientes dinâmicos sujeitos a alterações (obstáculos móveis e estacionários não conhecidos previamente pelo rebocador), sistemas programáveis capazes de realizar multi-tarefas e diversos estudos de interação e interface homem-máquina.

7.5 Sumário

Com o estudo de dirigibilidade realizado neste Capítulo, pode-se concluir que as ambas as configurações, cadeiras de quatro rodas com acionamento traseiro e esterçamento frontal e cadeira triciclo (1 roda frontal) com acionamento frontal e esterçamento frontal, são indicadas para serem aplicadas em módulos de locomoção para transporte de pessoas.

O rebocador de cadeiras de rodas que será desenvolvido deverá resultar em um produto inovador com boas possibilidades de produção e que efetivamente possibilite a expansão das possibilidades de deslocamento autônomo das pessoas portadoras de incapacidade motora permanente ou temporária.

Capítulo 8

Conclusões

Mostrou-se neste trabalho que a área de Engenharia está cada vez mais necessitando da interligação com outras áreas para que se possa obter projetos que satisfaçam realmente as necessidades do público alvo. Para realizar o desenvolvimento de um produto, o engenheiro deve possuir conhecimento do público alvo, realizar uma pesquisa sobre o histórico o qual o produto está envolvido, ou seja, pesquisar soluções já encontradas na história, conhecer os aspectos ergonômicos e desenvolver sua capacidade de criatividade (habilidade de descobrir idéias ou concepções de produtos para alcançar determinados objetivos). Com a concepção de todos esses conceitos, o engenheiro pode aplicar a ciência da engenharia em seu projeto.

Essa dissertação é uma contribuição na área de tecnologia assistiva à deficientes físicos, portanto procurou-se primeiramente mostrar a gravidade do problema que os deficientes físicos encontram em seu cotidiano e mostrar que não existem muitas publicações e produtos para melhorar a qualidade de vida dos mesmos. É necessário, em todo o mundo, uma maior atenção da sociedade neste assunto, visando a reabilitação e reintegração do portador de deficiência no mercado de trabalho e na sociedade. Em relação ao produto proposto, o rebocador de cadeiras de rodas, não existe atualmente a nível mundial nenhuma publicação sobre o assunto.

O grande mérito deste trabalho é consolidar uma base de conhecimentos para que futuramente sejam explorados outras questões sobre tecnologia assistiva. A metodologia desenvolvida deverá servir de guia para o desenvolvimento de outros equipamentos e afins.

E também consolidar um grupo de pesquisa na Unicamp, interagindo com outras áreas. O desenvolvimento das inúmeras possibilidades de motorização para cadeiras de rodas convencionais manuais geraram um banco de idéias promissoras para a aplicação de recursos futuros e estarão disponíveis por meios eletrônicos e em congressos.

O Capítulo 5 mostrou que o público alvo deste trabalho não necessita de cadeira de rodas motorizada, devido à falta de praticidade, dificuldade de transportar, peso excessivo, custo alto e também a diminuição da possibilidade do usuário fazer exercícios físicos. E que os deficientes necessitam de um produto inovador que atenda as características fundamentais dos dois tipos de cadeiras de rodas: manual e motorizada e que permita ao usuário usufruir os benefícios da cadeira motorizada sem perder a liberdade que o modelo manual proporciona. Assim o usuário possui locomoção utilizando a cadeira manualmente exercitando os braços, e no caso de rampas, longas distâncias, utiliza o rebocador de cadeiras de rodas, acionando o motor por meio de um controle. A metodologia de projeto utilizada no Capítulo 5 foi de grande importância para o desenvolvimento do produto.

A análise da estabilidade mostrou-se satisfatória em ambas as configurações. As condições limites para estabilidade lateral em pistas planas e inclinadas para as configurações básicas foram obtidas no Capítulo 6. E devido às hipóteses assumidas para a simplificação do equacionamento, os limites obtidos não são exatos, mas mostram qualitativamente as configurações que apresentam melhor estabilidade.

Aplicações práticas deste rebocador podem não somente assessorar sistemas de apoio à reabilitação de deficiências físicas e motoras (paraplégicos, tetraplégicos, etc), como também sistemas automatizados de manufatura.

Este trabalho contribuiu no sentido de reunir aspectos sociais dos deficientes físicos, bem como toda a tecnologia que está sendo desenvolvida à nível mundial em relação à motorização de cadeiras de rodas convencionais manuais, evidenciando assim a importância do desenvolvimento do produto proposto (rebocador de cadeiras de rodas).

8.1 Sugestões para Próximos Trabalhos

Como continuidade deste estudo pretende-se dar prosseguimento ao trabalho desenvolvido através da construção de um protótipo e o desenvolvimento e implementação de análise de técnicas de controle e tipos de sensoramento aplicáveis no rebocador de cadeiras de rodas. E também a avaliação de reações de possíveis usuários e o pedido de privilégio de patente para modelo industrial ou outro equivalente.

O protótipo que será desenvolvido futuramente deverá resultar em um produto inovador com boas possibilidades de produção e que efetivamente possibilite a expansão das possibilidades de deslocamento autônomo das pessoas portadoras de incapacidade motora permanente ou temporária. E também visará maximizar o conforto, a independência e a auto-estima do usuário e, a funcionalidade do rebocador, que permitirá ao usuário uma navegação e desvio de obstáculos mais segura e confortável.

Referências Bibliográficas

- Alvarenga, F.B. & Dedini, F.G. Analysis of the possibilities of the Conventional Wheelchairs Motorization, *Proceedings of COBEM 2001- XVI Brazilian Congress on Mechanical Engineering*, Uberlândia –MG, Brasil, Nov.26-30, 2001.
- Arva, J.et al. Physiologic comparison of Yamaha JWII power assisted and traditional manual wheelchair propulsion , Orlando. *Proceedings of RESNA Annual Conference* , 2000, v.20,pp.378-380.
- Akao, Y. *Qualitv Function Deployment: integrating, customers requirementes into product design*. Cambridge: Massachussets, Productivity Press, 1988.
- Arva, J.et al. User power reduction in Yamaha JWII pushrim activated power assisted wheelchair, Orlando. *Proceedings of RESNA Annual Conference* , 2000, v.20,pp.399-401.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro NBR-9050: *Acessibilidade de Pessoas Portadoras de Deficiências a Edificações, Espaço, Mobiliário e Equipamentos Urbanos*. Rio de Janeiro, 1994 , 56p.
- Back, N. *Metodologia de projeto de produtos industriais*.Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983, 389p.
- Becker, M. *Aplicação de Tecnologias Assistivas e Técnicas de Controle em Cadeiras de Rodas Inteligentes*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas , 2000, 136p., Tese (Doutorado).

- Becker, M. Control techniques applied to autonomous vehicles for disabled - AVD. *X World Congress of IFToMM*, Oulu - Finland, 1999.
- Becker, M. *Estudos sobre Robôs de Locomoção : Formas Construtivas , Dirigibilidade e Controle*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas , 1997 , 137p., Dissertação (Mestrado).
- Becker, M. Suspension system for all-terrain wheelchair, Orlando. *Proceedings of RESNA Annual Conference* ,2000, v.20, pp.462-464.
- Berdnarczyk, J.H. & Sanderson, D.J. Kinematics of wheelchair propulsion in adults and children with spinal cord injury , *Arch. Phys. Med. Rehabil.* , v.75 (12), pp. 1327-1334, 1994.
- Bell, D.A . et al. An assistive navigation system for wheelchairs based upon mobile robot obstacle avoidance . *In Proceedings of 1994 IEEE Int. Conf. On Robotics and Automation*, 1994, v.3, pp.186-190.
- Bueno , J.G. S. *Educação especial brasileira: integração/segregação do aluno diferente*. São Paulo : Educ, 1993.
- Boninger, M.L. et al. Wheelchair pushrim kinematics: weight and median nerve function. *Arch Physical Medical Rehabilitation*, v.80,(8), pp.910-915, 1999.
- Campos, V. F. *TQC no estilo japonês*. Belo Horizonte: QFCO, 1992.
- Canale, A. C. *Automobilística: dinâmica e desempenho*. São Paulo: Livros Érica Editora Ltda., 1989, 125p.
- Cantareli, E. M. B. *Barreiras Sócio-culturais e Lazer das Pessoas Portadoras de Deficiência Física: um estudo do Grupo Fraternidade Cristã de Doença e Deficiência de Campinas, SP*. Campinas: Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, 1998, 123 p. Dissertação (Mestrado).

- Carmo, A. A. *Deficiência física : a Sociedade Brasileira Cria, "Recupera" e Discrimina*. Campinas: Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, 1989, 234 p. Tese (Doutorado).
- Chang, C. & LEE, T. Stability analysis of three and four wheel vehicles. *JSME International Journal*, serie III, v. 33, (4), pp. 567 - 574, 1990.
- Cheng, L. C. Desdobramento da Função Qualidade (OFD): uma descrição e análise do método no contexto do controle da qualidade total (TQC). Minas Gerais: Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, 1994.
- Csillag, J. M. *Análise do valor: metodologia do valor*. São Paulo: Atlas, 1996.
- Cooper, R.A. Wheelchairs and related technology for the millennium . *Journal of Rehabilitation Research and Development*, v.37,(3), 2000.
- Couto, H.A. Ergonomia aplicada ao trabalho: manual técnico da máquina humana. Belo Horizonte, Ergo Editora, 1995.
- Dallmeijer, A.J. et al. Anaerobic power output and propulsion technique in spinal cord injured during wheelchair ergometry. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, v.31,(2), pp.120-128, 1994.
- Das, B. & Kozey, J.W. Structural anthropometric measurements for wheelchair mobile adults. *Applied Ergonomics*, v.30, pp.385-390, 1999.
- Dedini, F.G. *Metodologia e sistemática de projeto*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Apostila, 2000, 128p.
- Dedini, F.G. & Becker, M. Aplicação de metodologia de projeto no desenvolvimento de cadeira de rodas motorizadas . In: *Mobilidade, comunicação e educação: Desafios à acessibilidade*. Campinas: WVA Editora, 2000, pp.27- 41.

Dul, J. & Weerdmeester, B. *Ergonomia Prática*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2000, 147p.

Eureka, W.H. & Kyan, N. *QFD perspectivas gerenciais do desdobramento da função Qualidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

Fiates, G.G.S. *A Utilização do QFD como Suporte a Implementação do TQC em empresas do Setor de Serviços*. Florianópolis: Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1995, 153p., Dissertação(Mestrado).

Freitas, P.S. *O ensino de basquetebol sobre rodas, desafios e possibilidades*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas , 1997 , 145p., Dissertação de Mestrado.

Hamamoto, G.H. et al. *Ergonomia em Equipamentos Médicos: Aplicação no DAV InCor*, In : XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2000, v.2, pp.1133-1137.

Hauser, J.R. & Clausing, D. *The house of quality*. Harvard Business Review. mai/jun., pp. 63-73, 1988.

Hunter, T.A. *Engineering Design for Safety*. New York: Mc Graw-Hill Inc., 1992, 298p.

Huston, J. C. et al. Three wheeled vehicle dynamics. *SAE Transactions*, v.91, Paper n. 820139, 1982, pp. 591 - 604.

Iida, I. *Ergonomia projetos e produção*. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1990, 465p.

Jarosz, E. Determination of the workspace of wheelchair users. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v.17, pp.123-133, 1996.

Karhter, R. & Pereira, I. Organização e conquistas das pessoas portadoras de deficiência no Brasil . In: Fórum Profissionalização e Deficiência 1, Campinas, Puccamp, 1994.

- Katevas N.I. et al. The autonomous mobile robot SENARIO : a sensor-aided intelligent navigation system for powered wheelchairs, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, December 1997, pp.60-70, 1997.
- Kawamura, K. et al. Intelligent robotic systems in service of the disable. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering* ,v.3,(1),pp.14-21,1995.
- Kuno, Y. et al. Robotic wheelchair with three control modes, *In Proceedings of 1999 IEEE Int. Conf. On Robotics and Automation* , 1999, pp.2590-2595.
- Madarasz, R.L. et al. The design of an autonomous vehicle for disabled .*IEEE Journal of Robotics and Automation*,v.ra-2,(3),pp.117-125, 1986.
- Marcellino N. L. *Lazer e Educação*. Campinas: Papirus , 1995.
- Mazo, M. et al. Wheelchair for physically disabled people with voice, ultrasonic and infrared sensor control . *Autonomous Robots*, n.2, p.203-224,1995.
- McLaurin, C.A. & Brubaker, C.E. Biomechanics and the wheelchair .*Prosthesis and Orthotics International*, v.15, pp.24-37, 1991.
- Moraes, Barros J.C.T. Engenharia de Reabilitação e Dispositivos Assistenciais: Estado da Arte e Perspectivas . Anais : XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica., Florianópolis, 2000, v.1, pp.46-49.
- Nakanishi, S. et al. Robotic wheelchair based on observations of both user and environment . *In Proceedings of 1999 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems* , 1999, pp.912-917.
- OIT. Organização de trabalho para pessoas portadoras de deficiência: um guia para organizações de trabalhadores : Brasília , 1994.

- Panero J. & Zelnik M. Las dimensiones humanas en los espacios interiores. Estándares antropométricos México G.Gili , 1991.
- Ribas, J. B. C. *O que são pessoas deficientes?* São Paulo: Nova Cultural Brasiliense ,1985.
- Santos N. et al. Antropotecnologia : a ergonomia dos sistemas de produção. Curitiba : Gênese , 1997.
- Silva, O. M. *A epopéia ignorada: a pessoa deficiente na história do mundo de ontem e hoje.* São Paulo: Cedas , 1987.
- Syverson R. Quality Function Deployment and Value Analysis. *In Proceedings of 1992 SAVE Int. Conf. of the Society of American Value Engineers - Arizona*, 1992, pp.85-89.
- Skaradzinska, M. Data for design and adjustment of flats for wheelchair users. Works and Materials of Institute of Industrial Design , v. 59, 1989
- Tahboub, K. A. & Asada , H. H. A semi autonomous control architecture applied to robotic wheelchair *In Proceedings of 1999 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems* , 1999, pp.906-911.
- Wakaumi H. et al. Development of an automated wheelchair guided by a magnetic ferrite marker lane. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, v.29,(1),pp.27-34, 1992.
- Wellman, P. ; Krovi, V. ; Harwin W. Design of a wheelchair with legs and wheels. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering* ,v.3,(4),pp.343-353,1995.
- Yoder, J. et al. Initial results in the development of a guidance system for a powered wheelchair , *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering* ,v.4,(3),pp.143-151,1996.

Sites

Capítulo 2

- 2.1 Rede Globo Redeglobo.globo.com
- 2.2 HospitalGeral www.hospitalgeral.com/1_prof/adm_hosp/arquitetura/acessib.htm#
- 2.3 Organização Mundial da Saúde (OMS) www.un.org
- 2.4 Organizações das Nações Unidas (ONU) www.who.oh
- 2.5 IBGE www.ibge.gov.br
- 2.6 Centro de Documentação e Informação do Portador de Deficiência (CEDIPOD) www.mbonline.com.br/cedipo
- 2.7 Americans with Disability www.census.gov

Capítulo 3

- 3.1 The history of wheelchairs <http://www.wheelchairnet.org/prodserv/docs/wchistory.html>
- 3.2 Tractorino www.tgr.it
- 3.3 Abledata-Explore the world of assistive technology www.abledata.com
- 3.4 Ortobras Indústria e Comércio de Ortopedia www.ortobras.com.br
- 3.5 Baxmann e Jaguaribe www.baxmann.com.br
- 3.6 Hoveround Personal Mobility Vehicles www.hoveround.com
- 3.7 AACD www.aacd.org.br
- 3.8 Yamaha JW II www.yamaha-motor.co.jp
- 3.9 Ulrich Alber GmbH + Co.Kg <http://www.ulrich-alber.de>

Capítulo 4

4.1 Ergonomia

<http://www.ergonomia.com.br>

4.2 Manual Wheelchair Propulsion

<http://cosmos.ot.buffalo.edu/t2rerc/programs/demandpull/mobility/forum-data/data-propulsion1.html>

Capítulo 5

5.1 Morphological Method

<http://ourworld.compuserve.com/homepages/canmor/>

5.2 Análise do valor

<http://www.abeav.com.br/>

5.3 SAVE International (1999). Application of Value Method Procedures in Non-Engineering Processes

<http://www.value-eng.com/>

Apêndice 1

Interação com Pessoas Portadoras de Deficiência Física

Muitas pessoas não deficientes ficam confusas quando encontram alguém que é "diferente". Uma pessoa que tem medo de dizer alguma coisa "errada" a uma pessoa deficiente pode até evitar uma comunicação. Este mal estar pode ser evitado se pessoas deficientes e não deficientes se virem e interagirem mais freqüentemente no trabalho e na sociedade.

Grande parte desse mal estar é causado pela falta de informação a respeito da deficiência. Já que muitas pessoas não deficientes (e mesmo alguns deficientes) não estão conscientes das implicações da deficiência, é importante que todos sejam pacientes e mantenham abertas as comunicações.

Aceitar o fato de que a deficiência existe ou não tomar conhecimento de uma deficiência é o mesmo que não tomar conhecimento do sexo ou da altura de alguém. Mas fazer perguntas pessoais a respeito da deficiência seria impertinente, enquanto não houver um relacionamento mais próximo, que torna mais natural este tipo de pergunta.

Em alguns casos, a pessoa deficiente pode reagir às situações de um modo não convencional, ou ainda, pode dar a impressão de que não está tomando conhecimento da sua presença. Lembre-se de que ela pode não ouvir bem, ou ter outra deficiência que afete os movimentos ou dificulte o contato.

Se a pessoa precisar de ajuda, vai aceitar a oferta e explicar exatamente o que se deve fazer para ser útil a ela.

É importante saber que para uma pessoa sentada é incômodo ficar olhando para cima por muito tempo, portanto, quando uma pessoa for conversar por mais tempo que alguns minutos com um usuário de cadeira de rodas, se for possível, ela deve sentar para que os olhos fiquem no mesmo nível.

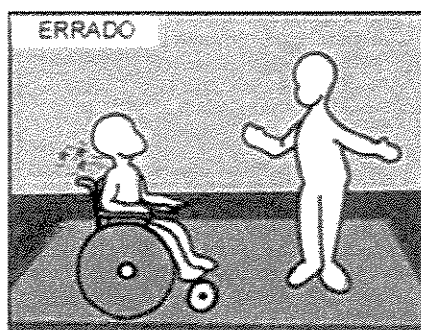


Figura A1.1 Como não proceder ao encontrar um usuário de cadeira de rodas.

A cadeira de rodas (assim como bengalas e muletas) é parte do espaço corporal da pessoa, quase uma extensão do seu corpo. Agarrar ou apoiar-se na cadeira de rodas é como agarrar ou apoiar-se numa pessoa sentada numa cadeira comum. Isso muitas vezes é simpático, se ambos forem amigos, mas não deve ser feito se as pessoas não se conhecem.

Não se deve movimentar a cadeira de rodas sem antes pedir a permissão para o usuário. Empurrar uma pessoa em cadeira de rodas não é como empurrar um carrinho de supermercado.

Quando a pessoa estiver empurrando o usuário numa cadeira de rodas e parar para conversar com alguém, a pessoa deve-se lembrar de virar a cadeira de frente para que o usuário também possa participar da conversa.

Prestar atenção para não bater nas pessoas que caminham a frente. Para subir degraus, inclinar a cadeira para trás para levantar as rodinhas da frente e apoiá-las sobre a elevação. Para descer um degrau, é mais seguro fazê-lo de marcha ré, sempre apoiando para que a descida seja

sem solavancos. Para subir ou descer mais de um degrau em seqüência, é melhor pedir a ajuda de mais de uma pessoa.

Estar atento para a existência de barreiras arquitetônicas quando for visitar uma casa, restaurante, teatro ou qualquer outro local com uma pessoa com deficiência física.

As pessoas com deficiência física empregam naturalmente palavras com "andar" e "correr", portanto não se deve evitar o uso das mesmas. Tratar uma pessoa com deficiência com a mesma consideração e respeito que se usaria com as demais pessoas, faz com que ela não se sinta discriminada.

Apêndice 2

Definição de Severidade da Deficiência (ADA, 1997)

Tabela A2.1 Quadro de definição de deficiências severas e não severas , segundo ADA, 1997.

1. Uso de cadeira de rodas, bengalas, muletas ou andador;
2. Dificuldade de executar uma ou mais atividade funcional (ver, ouvir, falar, carregar, subir escadas, caminhar ou pegar objetos pequenos);
3. Dificuldade com uma ou mais atividades de subsistência (em inglês: *Activities of Daily Living* - ADLs). Estas atividades são definidas como o conjunto de atividades cotidiana básicas para que uma pessoa possa sobreviver como por exemplo: vestir-se, levantar -se da cama, tomar banho, comer, usar o banheiro;
4. Ter dificuldade com uma ou mais atividades cotidianas (em inglês: *Instrumental Activities of Daily Living* - IADLs).São atividades da vida diária , por exemplo: sair de casa, pagar contas, preparar refeições, arrumar a casa, tomar remédios na quantia certa e em horários corretos e usar o telefone;
5. Ter uma ou mais condições especificadas: dificuldade no aprendizado, retardamento mental ou outra deficiência em desenvolvimento. A doença de Alzheimer ou outro tipo de condição mental ou emocional;

6. Ter uma ou mais condição mental ou emocional que interfira gravemente nas atividades cotidianas, por exemplo depressões com frequência, problemas com concentração, stress;
7. Ter uma condição que limite a ida ao trabalho;
8. Na idade entre 16 a 67, ter dificuldade para trabalhar;
9. Receber benefícios do governo por invalidez;

São considerados indivíduos com deficiências severas, os números 1, 6 ou 9 ou que tiveram a doença de Alzheimer, retardamento mental, ou que não pode executar ou necessita de ajuda de outras pessoas para executar os critérios: 2, 3, 4, 7, ou 8.

Apêndice 3

Quadros Morfológicos

Tabela A3.1 Sistema de motorização das duas rodas traseiras.

Parâmetros	Soluções Parciais							
Motorização	Substituir uma roda dianteira por uma motorizada	Substituir duas rodas dianteiras por duas rodas motorizadas.	Motorizar as duas rodas traseiras.	Adicionar uma quinta roda motorizada frontal com elevação das duas rodas dianteiras.	Rebocador motorizado			
Trasmissão	Correia	Engrenagem	Alavanca	Corrente	Diâmetro da roda	Polia sob pressão		
Quantidade de Motores	1	2	3					
Sistema de direção	Diferencial na roda traseira	Diferencial na Roda dianteira						
Velocidades máximas	2 km/h	6 km/h	10 km/h	15 km/h				
Capacidade de carga	50 kg	70 kg	85 Kg	95 kg				
Número de baterias	1	2						
Duração da bateria	2 horas	3 horas	4 horas	6 horas				
Acumulador de energia	Volante de inércia	Bateria	Mola	Capacitor	Ar comprimido	Nenhum		
Sistema de acionamento	Joystick	Aro	Botão	Campo magnético	Voz	Giro até encaixe		
Recarregador	Alternador	Célula fotoelétrica	Fonte AC 220/110V	Nenhum				
Sistema de freio	Alavanca	Inversão de rotação	Redução do motor	Manual (aro)	Travar motor	Freio à disco	Magnético	Nenhum
Sistema de controle de direção	Joystick	Voz	Manual	Tela sensível	Bola roll-on	Teclado		
Fixação do kit na cadeira	Ganchos	Encaixe com trava	Parafuso	Encaixe com pressão	Nos cubos das rodas traseiras			
Fixação do controle de sistema de direção	Presilha	Trava	Parafuso	Velcro	Sob pressão	Alavanca presa na armação	Nenhum	

Tabela A3.2 Sistema de motorização substituindo as duas rodas traseiras por duas motorizadas

Parâmetros	Soluções Parciais							
Motorização	Substituir uma roda dianteira por uma motorizada	Substituir duas rodas dianteiras por duas rodas motorizadas	Motorizar as duas rodas traseiras	Adicionar uma quinta roda motorizada frontal com elevação das duas rodas dianteiras	Rebocador motorizado	Substituir as duas rodas traseiras por duas motorizadas		
Trasmissão	Correia	Engrenagem	Alavanca	Corrente	Diâmetro da roda	Polia sob pressão		
Quantidade de Motores	1	2	3					
Sistema de direção	Diferencial na roda traseira	Diferencial na Roda dianteira						
Velocidades máximas	2 km/h	6 km/h	10 km/h	15 km/h				
Capacidade de carga	50 kg	70 kg	85 Kg	95 kg				
Número de baterias	1	2						
Duração da bateria	2 horas	3 horas	4 horas	6 horas				
Acumulador de energia	Volante de inércia	Bateria	Mola	Capacitor	Ar comprimido	Nenhum		
Sistema de acionamento	Joystick	Aro	Botão	Campo magnético	Voz	Pulso nervoso	Óptico automático	Infravermelho
Recarregador	Alternador	Célula fotoelétrica	Fonte AC 220/110V	Nenhum				
Sistema de freio	Alavanca	Inversão de rotação	Redução do motor	Manual (aro)	Travar motor	Freio à disco	Magnético	Lona
Sistema de controle de direção	Joystick	Voz	Manual	Tela sensível	Bola roll-on	Teclado		
Fixação do kit na cadeira	Ganchos	Encaixe com trava	Parafuso	Encaixe com pressão	Nos cubos das rodas traseiras			
Fixação do controle de sistema de direção na cadeira	Presilha	Trava	Parafuso	Velcro	Sob pressão	Alavanca presa na armação	Nenhum	

Tabela A3.3 Sistema de motorização adicionando a quinta roda motorizada frotal com elevação das duas rodas dianteiras.

Parâmetros	Soluções Parciais							
Motorização	Substituir uma roda dianteira por uma motorizada	Substituir duas rodas dianteiras por duas rodas motorizadas.	Motorizar as duas rodas traseiras.	Adicionar uma quinta roda motorizada frontal com elevação das duas rodas dianteiras.	Rebocador motorizado	Substituir as duas rodas traseiras por duas motorizada.		
Trasmissão	Correia	Engrenagem	Alavanca	Corrente	Diâmetro da roda	Polia sob pressão		
Quantidade de Motores	1	2	3					
Sistema de direção	Diferencial na roda traseira	Diferencial na Roda dianteira						
Velocidades máximas	2 km/h	6 km/h	10 km/h	15 km/h				
Capacidade de carga	50 kg	70 kg	85 Kg	95 kg				
Número de baterias	1	2						
Duração da bateria	2 horas	3 horas	4 horas	6 horas				
Acumulador de energia	Volante de inércia	Bateria	Mola	Capacitor	Ar comprimido	Nenhum		
Sistema de acionamento	Joystick	Aro	Botão	Campo magnético	Voz	Pulso nervoso	Óptico automático	Infravermelho
Recarregador	Alternador	Célula fotoelétrica	Fonte AC 220/110V	Nenhum				
Sistema de freio	Alavanca	Inversão de rotação	Redução do motor	Manual (aro)	Travar motor	Freio à disco	Magnético	Lona
Sistema de controle de direção	Joystick	Voz	Manual	Tela sensível	Bola roll-on	Teclado		
Fixação do kit na cadeira	Ganchos	Encaixe com trava	Parafuso	Encaixe com pressão	Nos cubos das rodas traseiras			
Fixação do controle de sistema de direção na cadeira	Presilha	Trava	Parafuso	Velcro	Sob pressão	Alavanca presa na armação	Nenhum	

Tabela A3.4 Sistema de motorização utilizando o rebocador motorizado.

Parâmetros	Soluções Parciais							
Motorização	Substituir uma roda dianteira por uma motorizada	Substituir duas rodas dianteiras por duas rodas motorizadas.	Motorizar as duas rodas traseiras.	Adicionar uma quinta roda motorizada frontal com elevação das duas rodas dianteiras.	Rebocador motorizado			
Trasmissão	Correia	Engrenagem	Alavanca	Corrente	Diâmetro da roda	Polia sob pressão		
Quantidade de Motores	1	2	3					
Sistema de direção	Diferencial na roda traseira	Diferencial na Roda dianteira						
Velocidades máximas	2 km/h	6 km/h	10 km/h	15 km/h				
Capacidade de carga	50 kg	70 kg	85 Kg	95 kg				
Número de baterias	1	2						
Duração da bateria	2 horas	3 horas	4 horas	6 horas				
Acumulador de energia	Volante de inércia	Bateria	Mola	Capacitor	Ar comprimido	Nenhum		
Sistema de acionamento	Joystick	Aro	Botão	Campo magnético	Voz	Pulso nervoso	Óptico automático	Infravermelho
Recarregador	Alternador	Célula fotoelétrica	Fonte AC 220/110V	Nenhum				
Sistema de freio	Alavanca	Inversão de rotação	Redução do motor	Manual (aro)	Travar motor	Freio a disco	Magnético	Lona
Sistema de controle de direção	Joystick	Voz	Manual	Tela sensível	Bola roll-on	Teclado		
Fixação do kit na cadeira	Ganchos	Encaixe com trava	Parafuso	Encaixe com pressão	Nos cubos das rodas traseiras			
Fixação do controle de sistema de direção na cadeira	Presilha	Trava	Parafuso	Velcro	Sob pressão	Alavanca presa na armação	Nenhum	

Apêndice 4

Cálculo das Forças Normais às Rodas

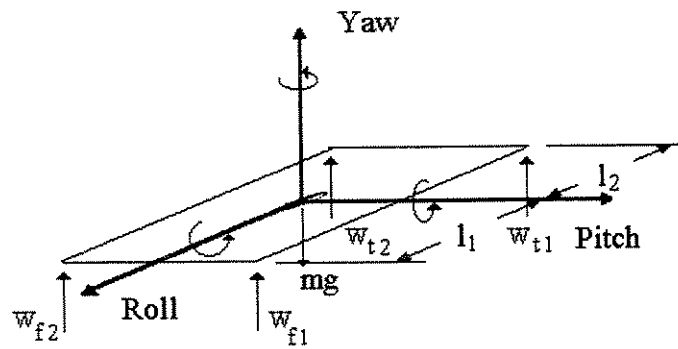


Figura A4.1 Eixos principais - roll, pitch e yaw e distribuição das forças na cadeira.

Para a cadeira de quatro rodas, sendo h a distância entre o C.G. da cadeira e o solo, a somatória de forças e momentos, respectivamente no eixo Z , pitch e roll resulta em:

$$m g + W_{f1} + W_{f2} + W_{t1} + W_{t2} = 0 \quad (\text{A4.1})$$

$$-l_1 (W_{f1} + W_{f2}) + l_2 (W_{t1} + W_{t2}) + \sum F_x h = 0 \quad (\text{A4.2})$$

$$-\frac{b}{2} (W_{f1} + W_{t2}) + \frac{b}{2} (W_{f2} + W_{t1}) - \sum F_y h = 0 \quad (\text{A4.3})$$

Definindo ϕ como sendo o ângulo de inclinação da cadeira:

$$\phi = \frac{T_f}{K_f} = \frac{T_t}{K_t} \quad (\text{A4.4})$$

Onde: $T_f = -\frac{b}{2}(W_{f1} - W_{f2})$ e $T_t = -\frac{b}{2}(W_{t1} - W_{t2})$

Sendo: K_f e K_t são respectivamente a rigidez à inclinação frontal e traseira e T_f e T_t o momento de inclinação frontal e traseiro.

Deste modo, combinando-se as equações (A4.1), (A4.2), (A4.3) e (A4.4), obtêm-se as seguintes equações:

$$-W_{f1} = \frac{mgl_2}{2L} + \frac{\sum F_x h}{2L} + \frac{\sum F_y h}{b} \frac{K_f}{K_f + K_t} \quad (\text{A4.5})$$

$$-W_{f2} = \frac{mgl_2}{2L} + \frac{\sum F_x h}{2L} + \frac{\sum F_y h}{b} \frac{K_f}{K_f + K_t} \quad (\text{A4.6})$$

$$-W_{t1} = \frac{mgl_1}{2L} + \frac{\sum F_x h}{2L} + \frac{\sum F_y h}{b} \frac{K_f}{K_f + K_t} \quad (\text{A4.7})$$

$$-W_{t2} = \frac{mgl_1}{2L} + \frac{\sum F_x h}{2L} + \frac{\sum F_y h}{b} \frac{K_f}{K_f + K_t} \quad (\text{A4.8})$$

Onde: L - Distância total entre o eixo frontal e traseiro, g - Aceleração da gravidade, m - massa total da cadeira.

Como foi assumido por hipótese que $(h/b) \ll 1$ e $(h/L) \ll 1$, e que a cadeira é simétrica ao longo do eixo longitudinal, as equações (A4.5) à (A4.8) podem ser simplificadas, obtendo-se os seguintes valores em módulo:

$$W_F = \frac{mg l_2}{2L} \quad \text{e} \quad W_T = \frac{mg l_1}{2L} \quad (\text{A4.9})$$

Onde: W_F e W_T - Peso da cadeira no eixo frontal e traseiro.

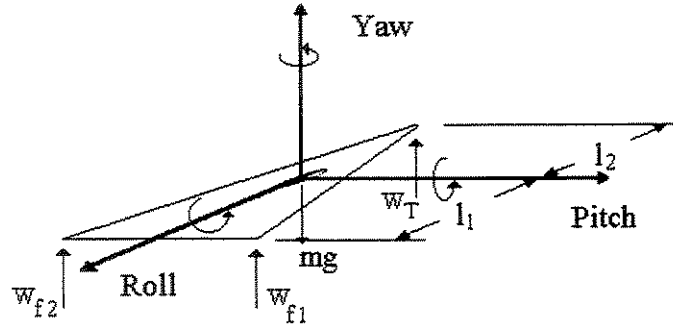


Figura A4.2 - Eixos principais - roll, pitch e yaw e distribuição das forças na cadeira.

Seguindo o mesmo raciocínio feito para a cadeira com quatro rodas, obtêm-se, respectivamente no eixo Z, pitch e roll:

$$mg + W_{f1} + W_{f2} + W_T = 0 \quad (\text{A4.10})$$

$$-l_1 (W_{f1} + W_{f2}) + l_2 W_T + \sum F_X h = 0 \quad (\text{A4.11})$$

$$-\frac{b}{2} (W_{f1} - W_{f2}) - \sum F_Y h = 0 \quad (\text{A4.12})$$

Através da combinação destas equações, obtêm-se:

$$-W_{f1} = \frac{mg l_2}{2L} - \frac{\sum F_X h}{2L} + \frac{\sum F_Y h}{b} \quad (\text{A4.13})$$

$$-W_{f2} = \frac{mg l_2}{2L} - \frac{\sum F_X h}{2L} - \frac{\sum F_Y h}{b} \quad (\text{A4.14})$$

$$-W_T = \frac{mg l_1}{L} + \frac{\sum F_X h}{L} \quad (\text{A4.15})$$

E do mesmo modo que foi feito na configuração anterior, devido às hipóteses assumidas:

$$W_F = \frac{mg l_2}{2L} \quad \text{e} \quad W_T = \frac{mg l_1}{L} \quad (\text{A4.16})$$

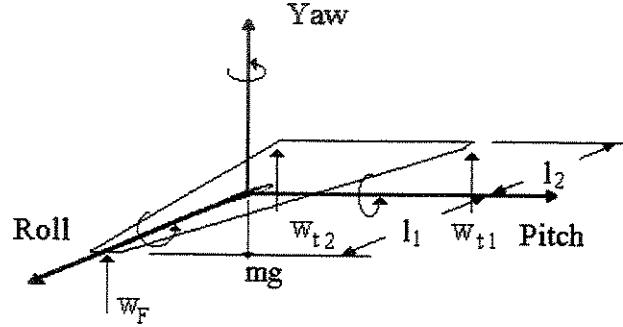


Figura A4.3 - Eixos principais (roll, pitch e yaw) e distribuição das forças na cadeira.

Seguindo o mesmo raciocínio para o robô triciclo, obtêm-se, respectivamente no eixo Z, pitch e roll:

$$mg + W_{t1} + W_{t2} + W_F = 0 \quad (\text{A4.17})$$

$$-l_1 W_F + l_2 (W_{t1} + W_{t2}) + \sum F_X h = 0 \quad (\text{A4.18})$$

$$-\frac{b}{2} (W_{t1} - W_{t2}) - \sum F_Y h = 0 \quad (\text{A4.19})$$

E, através da combinação destas equações:

$$-W_F = \frac{mg l_2}{L} - \frac{\sum F_X h}{L} \quad (\text{A4.20})$$

$$-W_{t1} = \frac{mg l_1}{2L} + \frac{\sum F_X h}{2L} + \frac{\sum F_Y h}{b} \quad (\text{A4.21})$$

$$-W_{t2} = \frac{mg l_1}{2L} + \frac{\sum F_X h}{2L} - \frac{\sum F_Y h}{b} \quad (\text{A4.22})$$

Do mesmo modo que foi feito nas configurações anteriores:

$$W_F = \frac{mgl_2}{L} \quad \text{e} \quad W_T = \frac{mgl_1}{2L} \quad (\text{A4.23})$$

Apêndice 5

Cálculo dos ângulos de escorregamento ψ_i

Utilizando o modelo de bicicleta, têm-se primeiramente para a cadeira de quatro rodas que, devido à simetria:

$$\psi_{f1} = \psi_{f2} = \psi_F \quad \text{e} \quad \psi_{t1} = \psi_{t2} = \psi_T \quad (\text{A5.1})$$

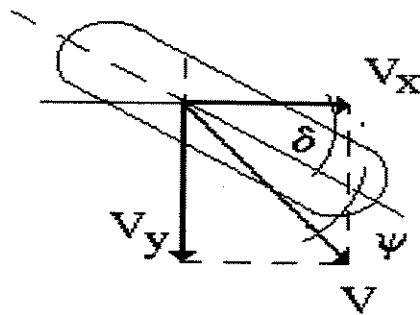


Figura A5.1 - Decomposição vetorial da velocidade de uma roda.

Decompondo a velocidade de uma roda em um sistema de coordenadas $\hat{i}_x \hat{i}_y$ solidário à projeção do centro da roda, obtêm-se:

$$V_F = V_{f1} = V_{f2} = V_X \hat{i}_x + (V_Y + l_1 \omega_Z) \hat{i}_y \quad (\text{A5.2})$$

$$V_T = V_{t1} = V_{t2} = V_X \hat{i}_x + (V_Y - l_2 \omega_Z) \hat{i}_y \quad (\text{A5.3})$$

Sendo δ_i o ângulo de esterçamento da roda, o ângulo de escorregamento ψ_i é:

$$\psi_i = \arctan\left(\frac{V_{Yi}}{V_{Xi}}\right) - \delta_i, \quad \text{para } i = 1, 2, 3, 4 \quad (\text{A5.4})$$

Combinando as equações acima, obtêm-se:

$$\psi_F = \arctg\left(\frac{V_Y + l_1 \omega_Z}{V_X}\right) - \delta_F \quad (\text{A5.5})$$

$$\psi_T = \arctg\left(\frac{V_Y - l_2 \omega_Z}{V_X}\right) - \delta_T \quad (\text{A5.6})$$

Como $V_Y \ll V_X$, as equações (A5.5) e (A5.6) podem ser simplificadas:

$$-\psi_F \cong \delta_F - \left(\frac{V_Y + l_1 \omega_Z}{V_X}\right) \quad (\text{A5.7})$$

$$-\psi_T \cong \delta_T - \left(\frac{V_Y - l_2 \omega_Z}{V_X}\right) \quad (\text{A5.8})$$

Para a cadeira triciclo, têm-se:

$$\psi_f = \psi_F \quad \text{e} \quad \psi_{t1} = \psi_{t2} = \psi_T \quad (\text{A5.9})$$

Do mesmo modo, as velocidades da roda no sistema de coordenadas solidário à projeção do centro da roda:

$$V_F = V_X \hat{i}_x + (V_Y + l_1 \omega_Z) \hat{i}_y \quad (\text{A5.10})$$

$$V_T = V_{t1} = V_{t2} = V_X \hat{i}_x + (V_Y - l_2 \omega_Z) \hat{i}_y \quad (\text{A5.11})$$

Observa-se que para todas as configurações, utilizando o modelo de bicicleta, as expressões dos ângulos de escorregamento (ψ_F e ψ_T) foram idênticas, deste modo, obtêm-se as seguintes equações para as forças transversais nas rodas (F_η):

para as rodas frontais:

$$F_\eta = - Q \operatorname{tg} \psi_F \cong - Q \psi_F = Q \left(\delta_F - \left(\frac{V_Y + l_1 \omega_Z}{V_X} \right) \right) \quad (\text{A5.12})$$

para as rodas traseiras:

$$F_\eta = - Q \operatorname{tg} \psi_T \cong - Q \psi_T = Q \left(\delta_T - \left(\frac{V_Y - l_2 \omega_Z}{V_X} \right) \right) \quad (\text{A5.13})$$