

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ – FAG
GUSTAVO CAPITANIO STAMM**

**ADAPTAÇÃO DE UM SISTEMA MECÂNICO EM UMA CADEIRA DE RODAS
CONVENCIONAL PARA MELHORAR A MOBILIDADE DE PESSOAS COM
DEFICIÊNCIA FÍSICA UNILATERAL**

**CASCADEL – PR
2017**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ – FAG
GUSTAVO CAPITANIO STAMM**

**ADAPTAÇÃO DE UM SISTEMA MECÂNICO EM UMA CADEIRA DE RODAS
CONVENCIONAL PARA MELHORAR A MOBILIDADE DE PESSOAS COM
DEFICIÊNCIA FÍSICA UNILATERAL**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Orientador: Me. Eng. Mec. Carlos Alberto Breda.

CASCADEL – PR

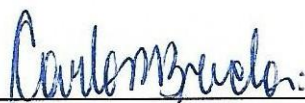
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ – FAG
GUSTAVO CAPITANIO STAMM

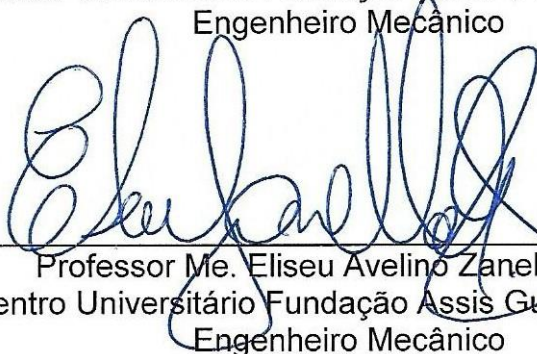
ADAPTAÇÃO DE UM SISTEMA MECÂNICO EM UMA CADEIRA DE RODAS
CONVENCIONAL PARA MELHORAR A MOBILIDADE DE PESSOAS COM
DEFICIÊNCIA FÍSICA UNILATERAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Professor Me. Eng. Mec. Carlos Alberto Breda.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Me. Carlos Alberto Breda
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Professor Me. Eliseu Avelino Zanella Junior
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Professor Me. Sérgio Henrique Rodrigues Mota
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 04 de dezembro de 2017

“Descobrir consiste em olhar para o que
todo mundo está vendo e pensar uma
coisa diferente.”

(Roger Von Oech)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente aos meus pais por terem me ensinado o verdadeiro significado de força de vontade, caráter e perseverança, bem como os reais valores da vida. Também, em especial a minha namorada.

A Carlos Alberto Breda meu orientador.

Aos meus professores e a todas as pessoas que compartilharam comigo seus conhecimentos e contribuíram para a realização deste trabalho.

A Deus pela força positiva transmitida.

RESUMO

O presente trabalho objetiva a adaptação de um sistema mecânico em uma cadeira de rodas convencional para melhorar a mobilidade de pessoas com deficiência física unilateral. Levando-se em consideração as dificuldades de locomoção de pessoas que apresentam incapacidades físicas em um lado do corpo e que dependem de uma cadeira de rodas para se locomoverem é que percebeu-se a necessidade de realizar o estudo proposto a fim de proporcionar as essas pessoas meios alternativos que facilitem sua mobilidade e consequentemente mais liberdade e melhor qualidade de vida. Em virtude dos fatos mencionados buscou-se desenvolver um protótipo utilizando-se de uma cadeira de rodas convencional e adaptando a esta um mecanismo que venha a favorecer a locomoção de pessoas com restrição de movimentos unilaterais do corpo. Através de referenciais bibliográficos, a pesquisa visa dimensionar parte dos componentes utilizados para a elaboração do protótipo, sendo estes, o conjunto de eixos giratórios e mancais de rolamento. Consequentemente, posterior à conclusão do protótipo e realização dos testes em ambiente residencial simulando uma pessoa que apresenta restrição de movimentos dos membros de uma lateral do corpo, o protótipo apresentou-se de forma positiva, alcançando os objetivos propostos e consolidando as expectativas. Dessa forma, pode-se considerar que o protótipo desenvolvido possibilitou preencher uma lacuna existente na classe de cadeiras de rodas, com isso, poderá contribuir com a sociedade visando proporcionar mais liberdade, mobilidade e melhor qualidade de vida.

PALAVRAS-CHAVE: Liberdade, Incapacidade física, Locomoção.

ABSTRACT

The present work aims at adapting a mechanical system in a conventional wheelchair to improve the mobility of people with unilateral physical disability. Taking into account the difficulties of locomotion of people who have physical disabilities on one side of the body and who depend on a wheelchair to get around is that it was realized the need to carry out the proposed study in order to provide these people alternative means that facilitate their mobility and consequently more freedom and better quality of life. Due to the mentioned facts, a prototype was developed using a conventional wheelchair and adapting to it a mechanism that would favor the locomotion of people with restriction of unilateral movements of the body. Through bibliographic references, the research aims to dimension part of the components used for the elaboration of the prototype, being these, the set of rotating axes and bearing bearings. Consequently, after the completion of the prototype and the realization of the tests in the residential environment simulating a person who presents restriction of movements of the limbs of a side of the body, the prototype presented itself in a positive way, reaching the proposed objectives and consolidating the expectations. In this way, it can be considered that the developed prototype made it possible to fill a gap in the class of wheelchairs, with which, it could contribute with the society aiming to provide more freedom, autonomy, mobility and better quality of life.

KEY-WORDS: Freedom, Physical impairment, Locomotion.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Deus Grego Hefesto a caminho de sua oficina de trabalho	22
FIGURA 2: Hefesto junto com os demais Deuses.....	23
FIGURA 3: Cadeira de rodas de vime da Índia	24
FIGURA 4: Modelo de cadeira de rodas desenvolvida por Stephen Farfler.....	25
FIGURA 5: Cadeira de rodas dobrável.....	26
FIGURA 6: Cadeira de rodas motorizada.....	27
FIGURA 7: Dimensões de uma cadeira de rodas	28
FIGURA 8: Dimensões do módulo de referência	28
FIGURA 9: Mancais de deslizamento	31
FIGURA 10: Conjunto eixo-casquilho.....	32
FIGURA 11: Nomenclatura da estrutura dos mancais	35
FIGURA 12: Carga radial	36
FIGURA 13: Carga axial.....	37
FIGURA 14: Carga combinada.....	37
FIGURA 15: Corpos rolantes.....	38
FIGURA 16: Rolamento axial de esferas	38
FIGURA 17: Rolamento radial de rolos cônicos	39
FIGURA 18: Transmissão de potência através de eixo-árvore	40
FIGURA 19: Tensões perigosas.....	43
FIGURA 20: Valores de FS	44
FIGURA 21: Cadeira de rodas convencional.....	46
FIGURA 22: Diagrama de corpo livre dos eixos giratórios	49
FIGURA 23: Estrutura da cadeira de rodas.....	51
FIGURA 24: Rolamentos da roda traseira e conjunto da roda dianteira	52
FIGURA 25: Apoio dos pés e garfos das rodas dianteiras	53
FIGURA 26: Mancal de rolamento	54
FIGURA 27: Cubo original da roda traseira.....	55
FIGURA 28: Cubo metálico	56
FIGURA 29: Realização dos furos e solda nos cubos metálicos.....	57
FIGURA 30: Chapa de suporte dos mancais e sistema de freio	58
FIGURA 31: Estrutura frontal	59

FIGURA 32: Plataforma para apoio dos pés	60
FIGURA 33: Hastes de ferro chato.....	62
FIGURA 34: Roda frontal	63
FIGURA 35: Protótipo concluído	64
FIGURA 36: Conjunto mecânico traseiro	65
FIGURA 37: Conjunto mecânico dianteiro	66

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1: Tensão em pontos críticos.....	41
EQUAÇÃO 2: Módulo de resistência a flexão	42
EQUAÇÃO 3: Tensão admissível.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AVC – Acidente Vascular Cerebral

NBR – Norma Brasileira

ONU – Organização das Nações Unidas

SAE – *Society of Automotive Engineers*

LISTA DE SÍMBOLOS

kg = quilograma

F_r = carga radial

F_a = carga axial

F = força

F_1 = força sobre o apoio primário

F_2 = força sobre o apoio secundário

R = força de reação

σ = tensão

σ_c = tensão de compressão

σ_t = tensão de tração

l = comprimento

Z = módulo de resistência a flexão

π = pi

d = diâmetro

σ_{adm} = tensão admissível

σ_n = limite de resistência à fadiga

σ_e = tensão de escoamento

mm = milímetro

$\emptyset$ = diâmetro

s = segundo

g = aceleração da gravidade

MP_a = mega pascal

N = newton

$Mf_{máx}$ = momento fletor máximo

FS = fator de segurança

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 PROBLEMÁTICA	16
1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	16
1.4 OBJETIVOS	16
1.4.1 Objetivo geral	16
1.4.2 Objetivos específicos.....	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 PESSOAS COM DEFICIÊNCIA E SEUS DESAFIOS	18
2.2 O SURGIMENTO DAS CADEIRAS DE RODAS	21
2.3 ESPECIFICAÇÕES DOS ELEMENTOS DE MÁQUINAS	29
2.3.1 Mancais de deslizamento	31
2.3.2 Mancais de rolamento	33
2.3.3 Eixos e árvores.....	39
2.4 TENSÕES	41
2.5 FATOR DE SEGURANÇA.....	42
3 MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1 DIMENSIONAMENTO DOS EIXOS GIRATÓRIOS.....	47
3.2 ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
5 CONCLUSÕES	69
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1 INTRODUÇÃO

O referido tema foi escolhido a partir da necessidade apresentada por um cadeirante com restrição de movimento unilateral do corpo, sendo assim optou-se por desenvolver em uma cadeira de rodas convencional um mecanismo que possibilite melhorar a locomoção dessas pessoas que demonstram algum tipo de incapacidade física unilateral, sem o auxílio de terceiros.

Entende-se que além de proporcionar maior agilidade e independência a essas pessoas, ocorrerá melhor integração a sociedade, autoestima e qualidade de vida, visto que essa população tem o direito de ir e vir uma vez que eles possuem direitos e deveres como qualquer cidadão comum, assegurados pela Lei Federal Nº 7.853 de 24 de Outubro de 1989, que descreve sobre o Direito das Pessoas Portadoras de Deficiência Física, especialmente no artigo 1º que estabelece normas gerais que asseguram o pleno exercício dos direitos individuais e sociais das pessoas portadoras de deficiências, e sua efetiva integração na sociedade, nos termos desta Lei.

A partir da década de 70, muita gente, principalmente fora do nosso País, começou a pensar que estes “termos” ou “definições” não davam conta da realidade total e concreta das pessoas deficientes. Poderiam ser termos equivocados. Ou poderiam ser conceitos enfiados por concepções ideológicas. Ou poderiam simplesmente ser palavras mal-acabadas que tenderiam a fragmentar a imagem dos deficientes. (RIBAS, 1998, p. 9).

Considerando o contexto em estudo, a Resolução Nº 2542/75 de 9 de dezembro de 1975 referente a Declaração dos Direitos das Pessoas Portadoras de Deficiências determinada pela Organização das Nações Unidas (ONU), proclama em seu artigo 1º.

O termo pessoa portadora de deficiência, identifica aquele indivíduo que, devido a seus “déficits” físicos ou mentais, não está em pleno gozo da capacidade de satisfazer, por si mesmo, de forma total ou parcial, suas necessidades vitais e sociais, como faria um ser humano normal. (ONU, 1975).

A exigência de melhor qualidade de vida para as pessoas que apresentam restrição de movimentos está cada vez mais em evidência devido às leis e a conscientização da população.

Embora ainda exista preconceito em relação a cadeirantes, porém, muito se tem avançado, diminuindo obstáculos para que haja melhor integração na sociedade e no mercado de trabalho.

1.1 JUSTIFICATIVA

Justifica-se a importância deste trabalho, ao identificar as dificuldades que as pessoas com deficiência física unilateral encontram para locomover-se de forma independente com uma cadeira de rodas convencional, visto que, essas pessoas especiais dependem de outras pessoas para conduzi-las.

Considerando o assunto abordado, no que se refere à deficiência física unilateral, a mesma pode ocorrer devido a lesões cerebrais, como por exemplo, o acidente vascular cerebral (AVC), ocasionando a incapacidade de movimento parcial ou total de segmentos do corpo humano; malformações de membros superiores (braços) ou inferiores (pernas) de um feto durante o período de gestação; algum acidente que resulte na perda de movimentos de um lado do corpo; ou ainda, por doenças infecciosas.

Percebe-se que não é difícil vivenciar diariamente situações relacionadas às dificuldades encontradas por pessoas com deficiência, especialmente, as pessoas que fazem o uso de cadeira de rodas, sejam no trânsito, em meio a estabelecimentos ou na própria residência.

Por conseguinte, nem sempre os cadeirantes encontram acessibilidade para locomover-se, visto que, em determinados locais ainda há falta de estrutura física adequada e, além disso, a ausência de preocupação e respeito por parte da sociedade.

Desta maneira optou-se por desenvolver junto à cadeira de rodas um mecanismo que proporcione ao cadeirante maior flexibilidade de deslocamento na sua própria residência e facilite suas atividades cotidianas.

A razão pela qual buscou-se desenvolver esse mecanismo é para melhorar as condições de vida dessa população especial, uma vez que essas pessoas já apresentam uma condição física com movimentos reduzidos e também por acreditar que irão surgir efeitos positivos nesse processo.

É através da evolução dos estudos e avanços tecnológicos que essas pessoas podem ser beneficiadas com maior conforto e dignidade, passando assim a desfrutar melhor a sua vida.

1.2 PROBLEMÁTICA

Após elaborar a adaptação do sistema mecânico na cadeira de rodas convencional, o mesmo irá se comportar como o previsto de modo a atingir os objetivos e resultados propostos?

1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa limita-se em adaptar em uma cadeira de rodas convencional, um mecanismo de movimentação para melhorar a mobilidade de pessoas com deficiência física unilateral.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Desenvolver um protótipo pretendendo à adaptação de um sistema mecânico em uma cadeira de rodas convencional, para melhorar a locomoção de pessoas com deficiência física unilateral.

1.4.2 Objetivos específicos

Realizar testes de usabilidade do protótipo em ambiente residencial simulando uma pessoa com restrição de movimentos de um lado do corpo, pretendendo proporcionar às pessoas com deficiência física unilateral melhor qualidade de vida com meios alternativos que facilitem sua locomoção.

Especificar os materiais e componentes necessários para a realização do protótipo, bem como, o dimensionamento dos conjuntos de eixos giratórios e mancais de rolamento.

Analisar a melhor maneira de implementação do sistema mecânico na cadeira de rodas convencional nas circunstâncias do projeto visando à funcionalidade do protótipo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PESSOAS COM DEFICIÊNCIA E SEUS DESAFIOS

De acordo com a ABNT NBR 9050 (2004, p. 4), a pessoa com mobilidade reduzida é “aquela que, temporária ou permanentemente, tem limitada sua capacidade de relacionar-se com o meio e de utilizá-lo. Entende-se por pessoa com mobilidade reduzida, a pessoa com deficiência, idosa, obesa, gestante entre outros”.

No que diz respeito às pessoas com deficiência, Ribas (1998, p. 12) declara que,

A realidade natural é diversa: nós homens não somos fisicamente todos iguais. É claro que fazemos parte da mesma espécie, mas cada um de nós tem altura diferente, cor da pele e de olhos diferentes, peso diferente etc. Somos todos homens, porém diversos. Fisicamente temos, portanto, características diferentes uns dos outros. As pessoas deficientes talvez sejam um pouco mais diferentes, já que podem possuir sinais ou seqüelas mais notáveis.

“Mas a realidade social também é diversa: nós homens não somos também socialmente todos iguais”. (RIBAS, 1998, p. 13). O autor complementa a sua ideia, afirmando que acontece, todavia, que não podemos meramente transpor a realidade natural para a realidade social. Não é porque os homens são naturalmente diferentes entre si que devem ser socialmente diferentes. O fato de os homens se relacionarem quantitativa e qualitativamente diferente no plano social é uma construção sócio cultural. É uma diferença que não nasce da natureza: os homens a constroem.

Vivemos, assim, em sociedades em que os homens são socialmente desiguais. São sociedades problemáticas, com profundas divisões entre classes sociais. Muito mais crítica do que a divisão entre deficientes e não-deficientes, a divisão estrutural entre classes permeia todas as demais divisões. Se a sociedade está dividida pela base entre ricos e pobres, empresários e trabalhadores assalariados, e, por extensão, ideologicamente entre superiores e inferiores, melhores e piores estas divisões vão acabar por permear todas as outras. (RIBAS, 1998, p. 13).

De acordo com Ribas (1998, p. 26),

A rigor, existem três tipos de deficiência, sendo que um deles divide-se em dois. Existem as deficiências físicas (de origem motora: amputações, malformações ou sequelas de vários tipos etc.), as deficiências sensoriais, que se dividem em deficiências auditivas (surdez total ou parcial), e as deficiências mentais (de vários graus, de origem pré, peri, ou pós-natal).

Considerando o assunto abordado, “após a concepção, o embrião leva três meses para se formar definitivamente. É nesta época de formação que podem ocorrer as malformações”. (RIBAS, 1998, p. 26). O autor evidencia ainda que basicamente encontram-se duas causas, as doenças ou distúrbios genéticos. Dentro das malformações de origem pré-natal, encontram-se também as causas congênicas. Estas dizem respeito à carga genética transmitida hereditariamente ao feto. Genes alterados de antepassados podem ocasionar malformações.

De acordo com a Lei Federal Nº 10.690 de 16 de Junho de 2003, referente à pessoa com deficiência,

É considerada também pessoa portadora de deficiência física aquela que apresenta alteração completa ou parcial de um ou mais segmentos do corpo humano, acarretando o comprometimento da função física, apresentando-se sob a forma de paraplegia, paraparesia, monoplegia, monoparesia, tetraplegia, tetraparesia, triplegia, triparesia, hemiplegia, hemiparesia, amputação ou ausência de membro, paralisia cerebral, membros com deformidade congênita ou adquirida, exceto as deformidades estéticas e as que não produzam dificuldades para o desempenho de funções.

Para Farrell (2008, p. 84), “deficiência em membros podem ser parciais ou totais e podem ser congênicas ou adquiridas (por exemplo, em acidentes, cirurgias ou doenças)”.

Por conseguinte, de acordo O’Sullivan e Schmitz (1993, p. 385),

Um acidente vascular cerebral (AVC), comumente conhecido como derrame, resulta da restrição de irrigação sanguínea ao cérebro, causando lesão celular e danos às funções neurológicas. Clinicamente, diversas deficiências são possíveis, inclusive danos às funções motoras, sensitivas, mentais, perceptivas e da linguagem. As deficiências motoras se caracterizam por paralisia (hemiplegia), ou fraqueza (hemiparesia) no lado do corpo oposto ao local da lesão. Frequentemente o termo hemiplegia é empregado genericamente como referência a uma ampla variedade de problemas que resultam do AVC.

Dessa forma, referente ao assunto abordado, Cardoso (2017), afirma que hemiplegia caracteriza-se pela, “paralisia total ou parcial das funções de um só lado do corpo. As causas são as lesões cerebrais por enfermidade, golpe ou trauma”.

No que se refere à integração social das pessoas com deficiência, Ribas (1998, p. 18), ressalta que, “então estas pessoas são excluídas da sociedade? Isto não é tão simples assim. Estas pessoas não são sumariamente excluídas da sociedade. O processo não é automático”. Considerando o exposto pelo autor, o mesmo, evidencia que ao mesmo tempo em que existe um mecanismo para a exclusão, existe outro para a integração. O diferente é segregado, não obstante exista na sociedade uma ideologia de integração, que consiste em apregoar que todos os cidadãos são iguais e que por isso ninguém deve ser excluído do convívio social.

“Essa tentativa de integração acontece concretamente através das instituições, quais sejam, a escola, os hospitais psiquiátricos, as penitenciárias e mesmo os centros de reabilitação”. (RIBAS, 1998, p. 19). Dessa maneira, o autor reforça sua ideia descrevendo que, os centros de reabilitação, por sua vez, tentam preparar as pessoas com deficiência para que a sociedades as aceite. A tendência da sociedade, por sua vez, é continuar em sua lógica de exclusão.

O mecanismo social que exclui e a um só momento pretende integrar o deficiente traz para ele e para todos nós uma confusão muito grande de pensamentos. O nosso raciocínio não entende porque fala-se tanto em integração e mesmo assim o deficiente é marginalizado. Não entende por que não é reconhecido por esta mesma cultura em que encontra-se inserido. Isso pode leva-lo a considerar-se um estranho em seu próprio mundo. Toda pessoa, deficiente ou não, que, submetida à engrenagem da estrutura sociocultural, não se encontra em seu próprio mundo tende a se desligar dele. Como única e última alternativa tenta procurar um outro mundo em que seja reconhecida. (RIBAS, 1998, p. 19).

De acordo com Ribas (1998, p. 23), “é muito comum jogarmos a culpa de tudo o que nos acontece numa entidade abstrata chamada *sociedade* ou *sistema*”. Em sua declaração o autor expõe ainda que, sempre ouve-se falar que a *sociedade* não costuma reintegrar ex-presidiários, nem integrar deficientes. Isto não é verdade. A verdade é que essa tal *sociedade* é assim, discriminadora e excludente, ela é assim porque os homens que nela habitam construíram historicamente e reproduzem divisões estruturais entre classes, divisões estas permeadas por

conflitos inconciliáveis, com desdobramentos múltiplos, que determinam todas as exclusões e discriminações efetuadas.

2.2 O SURGIMENTO DAS CADEIRAS DE RODAS

A cadeira de rodas é um equipamento que serve como meio de locomoção para pessoas com deficiência física dos membros inferiores e teve sua evolução de acordo com as necessidades que foram surgindo com o passar do tempo.

Não é difícil imaginar que a necessidade de movimentar uma pessoa acidentada ou doente com mais facilidade do que pegá-la pelas pernas, pelos braços ou colocá-la nos ombros, existiu desde os primeiros dias do homem sobre a Terra. (SILVA e DEL'ACQUA, 2017).

Os autores seguem explicando que, embora no início levado muito naturalmente às costas de homens mais fortes pelas matas ou pradarias, o homem ferido foi aos poucos carregado sobre galhos de árvores arrastados pelo chão, ou sobre pranchas trançadas com cipós, mais facilmente arrastadas quando apoiadas em "pernas" adrede preparadas, à moda das muitas raças de índios que dominaram as planícies atualmente ocupadas pelo Canadá e Estados Unidos da América. Trenós e carrinhos de mão (que nossos habitantes da zona rural chamam de carriolas) foram também utilizados, desde a Idade Média.

No entanto, é impossível detectar em que momento o ser humano notou que, colocando rodas sob um assento ou sob uma cama em que a pessoa estivesse acomodada, a tarefa seria menos cansativa, mais facilitada e demandaria menor esforço. Além disso, provocaria menor dor e desconforto para o transportado.



Figura 1: Deus Grego Hefesto a caminho de sua oficina de trabalho.

Fonte: Silva e Del'Acqua (2017).

Observa-se na Figura 1, que as cadeiras daquele período eram construídas de forma simples, mas que agregavam seus valores referentes à época e uso.

Uma das primeiras e alegóricas gravuras de uma cadeira de rodas, que chegou até nós, está em um vaso grego do século IV AC. Nela aparece muito claramente Hefesto (Hephaistos), o deus grego da metalurgia e das artes mais finas, comodamente sentado em uma cadeira de rodas com aros (inovador) e acionada por dois cisnes (muito imaginativo). (SILVA e DEL'ACQUA, 2017).

Os autores complementam afirmando que a ideia deste modelo de cadeira de rodas era autopropulsionada, anfíbia e que não demandava esforço algum do ocupante. Esse mitológico Deus grego sempre foi considerado na cultura grega antiga como muito competente em sua profissão, tendo chegado até a criar assistentes seus, do sexo feminino, que eram lindas jovens de metal dourado, articuladas, inteligentes e robotizadas.

A Figura 2 mostra a ilustração no bocal de um vaso grego, mais ou menos da mesma época e que certamente levou em consideração a primeira representação da cadeira de rodas de Hefesto, que mostra o Deus metalúrgico como convivia devidamente integrado entre seus demais "colegas" do Olimpo. Esse é um verdadeiro exemplo de inclusão social entre os Deuses principais da mitologia grega, muitos séculos antes de Cristo, sendo que, este tema está a ser muito discutido na sociedade para que se possa atingir as ideias de inclusão.



Figura 2: Hefesto junto com os demais Deuses.

Fonte: Silva e Del'Acqua (2017).

De acordo com Silva e Del'Acqua (2017), houve, com o passar dos anos, “muitas famílias ricas que encomendaram cadeiras de rodas, de acordo com suas posses, que estivessem de acordo com as necessidades de seus membros e com seu estilo de vida”. Os autores ressaltam ainda que isso aconteceu por diversos séculos, durante os quais não havia a produção sistemática de cadeiras de rodas. Esse foi o caso dessa verdadeira poltrona móvel como mostra a Figura 3, com duas rodas maiores sob o assento e duas rodas menores na parte frontal para garantir facilidade de movimentação. Era acabada em vime da Índia, pesando aproximadamente 25 quilos. Podia ter ou não sistema de propulsão ao lado das rodas. Normalmente era movimentada por outra pessoa.



Figura 3: Cadeira de rodas de vime da Índia.

Fonte: Silva e Del'Acqua (2017).

Segundo Silva e Del'Acqua (2017), “sendo inexistente a produção em série de cadeiras de rodas, algumas mais sofisticadas foram fabricadas por encomenda, numa base individual”. Os autores salientam que, em muitos casos havia preocupação com o conforto da pessoa, conforme podemos notar pelas características dessa cadeira, com duas de suas rodas providas de aros e uma menor para tornar mais fácil o rumo a ser tomado. Era facilmente manobrável e isso já no século XVIII. Após essa época, em um momento de criatividade, Stephen Farfler desenvolveu uma cadeira de rodas para o uso pessoal, como mostra a Figura 4.

Podemos, claro, encontrar inventivos utilizadores de cadeiras de rodas que criaram seus próprios modelos, como Stephen Farfler, que era um relojoeiro paraplégico, e que foi seu criador, aos 22 anos de idade, no ano de 1655. Esse confortável modelo era movimentado pelo próprio usuário. Utilizava os dois braços e não requeria qualquer ajuda em terreno plano - desde que não houvesse barreiras, como hoje em dia. (SILVA e DEL'ACQUA, 2017).



Figura 4: Modelo de cadeira de rodas desenvolvida por Stephen Farfler.

Fonte: Silva e Del'Acqua (2017).

No contexto dessa abordagem, os autores evidenciam ainda que, num passo decisivo para o objetivo de desenvolvimento de cadeiras de rodas mais versáteis, no ano de 1933, Herbert A. Everest, norte-americano, encomendou uma cadeira de rodas que poderia ser levada num automóvel. O Engenheiro H.C. Jennings construiu para ele essa primeira cadeira de rodas dobrável como mostra a Figura 5. Esse modelo, devidamente patenteado como muitos outros modelos, foi utilizado por décadas, com a marca Everest/Jennings, antes que outros surgissem no mercado.



Figura 5: Cadeira de rodas dobrável.

Fonte: Silva e Del'Acqua (2017).

Os autores salientam ainda que, com o avanço industrial e com o surgimento de matéria-prima muito mais moldável e mais leve, além de maior demanda, as cadeiras de rodas evoluíram de uma forma surpreendente desde as primeiras décadas do século XX. Seria tarefa impossível levantar todos os modelos existentes, desde as manuais, dobráveis ou não, às hospitalares, às adaptadas a situações específicas e também às motorizadas, que aos poucos vão tomando conta do mercado, como mostra a Figura 6.



Figura 6: Cadeira de rodas motorizada.

Fonte: Silva e Del'Acqua (2017).

Referente à acessibilidade, os autores Silva e Del'Acqua (2017), destacam que “campanhas múltiplas têm sido desenvolvidas em muitas partes do mundo, procurando chamar a atenção para os aspectos de acessibilidade que afetam sobremaneira as pessoas que usam cadeiras de rodas”.

Conforme a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 9050 (2004, p. 6), as “cadeiras de rodas com acionamento manual pesam entre 12 kg a 20 kg e as motorizadas até 60 kg”. A Norma estabelece ainda as dimensões referenciais para cadeiras de rodas manuais ou motorizadas, como mostra a Figura 7.

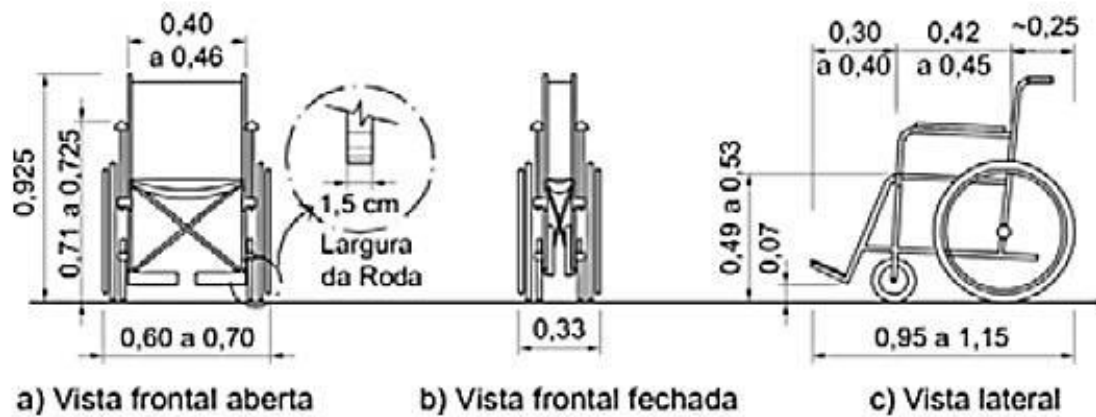


Figura 7: Dimensões de uma cadeira de rodas.

Fonte: ABNT NBR 9050 (2004).

Cabe acrescentar que a NBR 9050 considera o módulo de referência a projeção de 0,80 m por 1,20 m no piso, ocupada por uma pessoa utilizando cadeira de rodas, conforme a Figura 8.

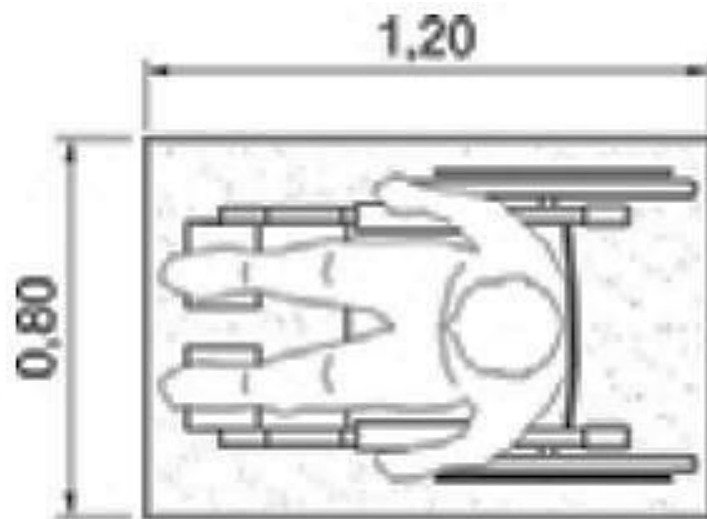


Figura 8: Dimensões do módulo de referência.

Fonte: ABNT NBR 9050 (2004).

2.3 ESPECIFICAÇÕES DOS ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Levando em consideração as virtudes da simplicidade no projeto de uma máquina, Collins (2006, p. 9) afirma que,

Começar o projeto de uma máquina, de um subconjunto, ou de um componente individual, requer um entendimento claro da *função* pretendida para o equipamento a ser projetado. Geralmente, a função de uma peça individualmente *não é idêntica* à função da máquina como um todo; peças individuais, com suas funções especiais inerentes, *se combinam* para produzir a função geral desejada do conjunto montado ou da máquina. Cada peça em uma máquina é importante para o todo, mas também tem uma vida (funcionalidade) própria.

Diante disso, o autor evidencia que, antes de se determinar numericamente as dimensões de um componente, sua *configuração* pode ser estabelecida *qualitativamente*. A configuração de uma peça, usualmente, é visualizada fazendo-se um esboço, em escala aproximada, que incorpora as características da geometria proposta e sugere a localização e os meios de fixação onde será montada.

Neste estágio inicial de concepção, um princípio norteador deverá ser respeitado: *manter a simplicidade*. A complexidade, desnecessária leva, normalmente, ao aumento de esforços e de tempo, maior dificuldade e maior custo de fabricação, montagem mais cara e lenta, e maior custo e dificuldade de manutenção do produto. Limitar as funções de um componente (ou máquina) para aquelas *realmente exigidas pelas especificações* constitui um bom primeiro passo para se manter a configuração simples. (COLLINS, 2006, p. 10).

Assim sendo, o autor salienta que há, frequentemente, no projetista, especialmente nos sem experiência, um desejo elaborado interiormente de continuar agregando funções aparentemente desejáveis ao componente além daquelas especificadas. Cada uma dessas funções agregadas gera a necessidade de um “pequeno” aumento de tamanho, resistência ou complexidade da peça considerada. Infelizmente, tais esforços nobres, geralmente, se traduzem em buscas mais demoradas de fornecedores, alta de custos, dificuldades elevadas na fabricação e manutenção, e, em alguns casos, perda da fatia de mercado para o competidor que entrega um produto ao mercado, antes mesmo que este “apenas” atenda às especificações do produto. As virtudes da simplicidade, portanto, incluem, potencialmente, entregas de um produto ao mercado no prazo e dentro do

orçamento, maior facilidade de fabricação e manutenção, ganhos na fatia do mercado e melhora na reputação da companhia.

A simplicidade de projeto normalmente implica geometria simples, número mínimo de componentes individuais, uso de componentes e peças padronizadas e características fáceis de alinhar na montagem, que permitam manobras de montagem em uma única direção. Finalmente, *ajustes*, *tolerâncias* e *acabamentos* não devem ser mais restritivos do que o necessário para atender às especificações exigidas. (COLLINS, 2006, p. 10).

Ao tratar da questão de elementos de máquinas, subconjuntos e o equipamento completo, Collins (2006, p. 10), afirma que, “uma máquina bem projetada é muito mais do que um grupo interconectado de *elementos de máquinas* individuais”. O autor declara ainda que, não apenas as partes individuais têm de ser cuidadosamente projetadas para funcionar eficientemente, sem falhas, e com segurança durante o tempo de vida especificado, mas as partes devem ser efetivamente agrupadas em *subconjuntos*. Cada subconjunto deve funcionar sem interferência interna, permitir uma desmontagem fácil para manutenção e reparo, possibilitar a inspeção de pontos críticos sem um tempo de parada excessivo ou significar risco para os inspetores e se acoplar de forma efetiva com outros subconjuntos para oferecer a melhor configuração de sistema integrado para atender à função *do equipamento como um todo*. A montagem completa da máquina sempre requer um quadro ou uma estrutura de sustentação dentro da qual ou sobre a qual todos os subconjuntos e sistema de sustentação são montados. Embora o projeto de um quadro de sustentação de máquina possa ser baseado tanto em requisitos de resistência quanto de deflexão, a necessidade de rigidez para evitar mudanças dimensionais inaceitáveis, entre subconjuntos é o critério de projeto mais usual para um quadro de sustentação de máquina.

2.3.1 Mancais de deslizamento

De acordo com Collins (2006, p. 339),

Os usos de mancais de deslizamento incluem deslizamentos alternativos, componentes rotativos ou oscilantes de seção transversal cilíndrica em luvas anelares e discos giratórios ou discos oscilantes deslizando sobre outros discos.

Nesse caso, esses tipos de mancais de deslizamento estão conceitualmente exibidos na Figura 9.

Além disso, o autor salienta que as vantagens de mancais de deslizamento sobre mancais de rolamento, quando apropriadamente projetados, incluem:

1. Menor custo de aquisição;
2. Projeto simples tanto do eixo quanto do alojamento;
3. Exige pequeno espaço radial;
4. Operação silenciosa;
5. Não é muito sensível a sujeiras ou a partículas;
6. Menos sujeito a falha por fadiga;
7. Menos sujeito à fadiga por fretagem quando ocorrem movimentos relativos, cíclicos, de pequena amplitude;
8. Relativamente leve;
9. De fácil reposição.

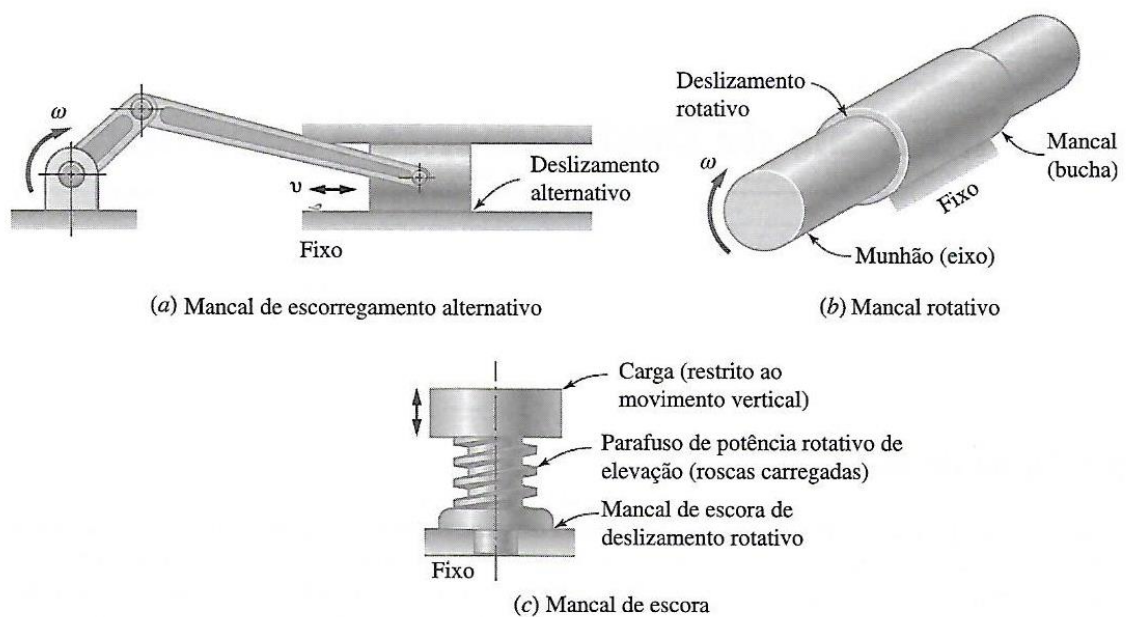


Figura 9: Mancais de deslizamento.

Fonte: Collins (2006).

Segundo Collins (2006, p. 339),

A maioria das utilizações inclui o uso de um lubrificante na interface deslizante para a redução do arrasto friccional e da perda de potência, sustentar a carga transmitida (algumas vezes) e ajudar a dissipar o calor produzido. De fato, mancais de deslizamento são normalmente subclassificados em relação aos tipos de condições de lubrificação que prevalecem na interface de deslizamento.

Por conseguinte, o autor estabelece que as condições de lubrificação de mancais de deslizamento incluem lubrificação hidrodinâmica, lubrificação limítrofe, hidrostática e lubrificação de filme de sólido.

De acordo com Melconian (2008, p. 321), “o eixo desenvolve movimento giratório, apoiado no casquilho de formato circular, separado dele por uma película de lubrificante”, como mostra a Figura 10.

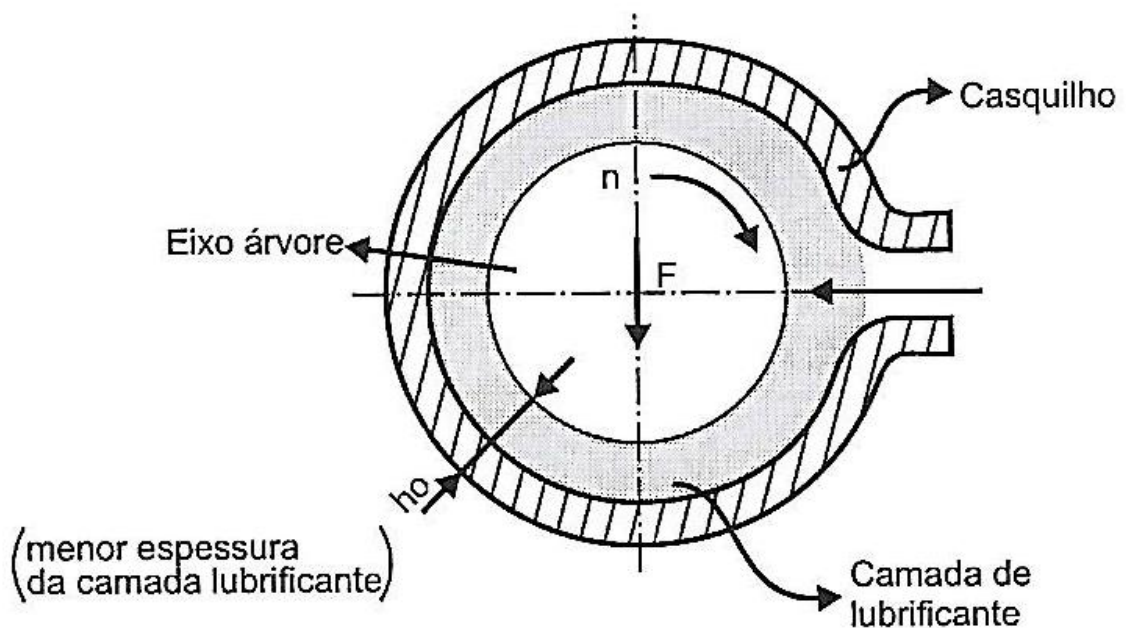


Figura 10: Conjunto eixo-casquilho.

Fonte: Melconian (2008).

Referente aos modos prováveis de falha, Collins (2006, p. 340) destaca que, “em função do uso específico, da qualidade de movimento relativo de deslizamento, o tipo de regime lubrificante na interface de deslizamento e o meio, mancais de deslizamento podem ser vulneráveis a falha através de vários modos possíveis”. Diante disso, o autor salienta que a falha de mancais de deslizamento poderia ocorrer por escoamento, corrosão, desgaste adesivo, desgaste abrasivo, desgaste corrosivo, desgaste por fadiga superficial, desgaste por atrito, fluência ou desgaste por contato e aderência.

Relacionado aos materiais de mancais de deslizamento,

Materiais tipicamente utilizados para o elemento mais macio de desgaste incluem ligas de bronze para mancais (exemplo bronze-chumbo, bronze-estanho, bronze-alumínio e cobre-berílio), babbitt (de base de chumbo ou de base de estanho), metais porosos sintetizados (bronze, estanho e alumínio) e materiais não-metálicos autolubrificados (teflon, náilon, acetal, resina fenólica ou policarbonato, qualquer um dos quais pode ser preenchido com grafite ou dissulfeto de molibdênio). (COLLINS, 2006, p. 340).

À vista disso, o autor destaca explicando que a prata é ocasionalmente utilizada como uma superfície de mancal, usualmente como uma camada muito fina de revestimento em um substrato de mais alta resistência. Em utilizações especiais, tais como mancais submersos, borracha sulcada ou outros elastômeros são algumas vezes escolhidos.

2.3.2 Mancais de rolamento

Para Collins (2006, p. 361), “os mancais de rolamento são projetados para permitir um movimento relativo entre duas peças de máquina, usualmente um eixo rotativo e uma estrutura fixa, enquanto suporta as cargas aplicadas”. O autor ainda expõe que em contraste com a interface deslizante, que caracteriza os mancais de deslizamento, nos mancais de rolamento o eixo rotativo é separado da estrutura fixa pela interposição de elementos rolantes, de modo que a *fricção rolante* prevaleça em vez da fricção deslizante. Consequentemente, ambas as perdas por torque de partida e atrito operacional, são tipicamente muito inferiores à dos mancais de deslizamento.

Logo, o autor reitera que as vantagens dos mancais de rolamento incluem:

1. Elevada confiabilidade com o mínimo de manutenção;
2. Mínima lubrificação requerida. O lubrificante pode ser “vedado” pela vida útil do mancal;
3. Adequado para operação em baixa velocidade;
4. Baixo atrito de partida e baixa perda de potência devido ao arraste por fricção;
5. Pode suportar prontamente cargas radiais, axiais, ou a combinação destas;
6. Necessita de pouco espaço axial;
7. Permutabilidade quase universal entre fabricantes devido à ampla padronização de tamanhos e rígido controle de tolerâncias;
8. Pode ser pré-carregado para eliminar folgas internas, melhorar a vida em fadiga ou elevar a rigidez do mancal;
9. O aumento do ruído em operação alerta para a ocorrência de falha.

À vista disso, Collins (2006, p. 361) afirma que,

Os mancais de rolamento são padronizados quase que universalmente (cooperativamente) pela *American Bearing Manufacturers Association (ABMA)*, *American National Standards Institute (ANSI)*, e pela *International Standards Organization (ISO)*.

Por conseguinte, o autor salienta que a estrutura típica dos mancais de rolamento envolve uma *pista interna*, uma *pista externa*, os *elementos rolantes* retidos entre as pistas e um *separador* (ou gaiola), utilizado para espaçar os elementos rolantes, de modo que estes não entrem em contato entre si durante a operação, como mostra a Figura 11.

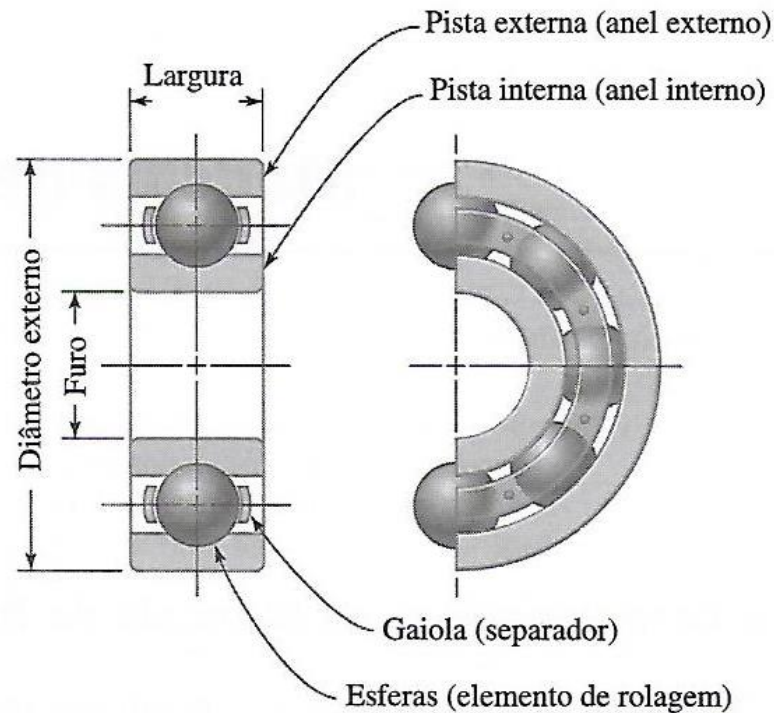


Figura 11: Nomenclatura da estrutura dos mancais.

Fonte: Collins (2006).

De acordo com Collins (2006, p. 362), a nomenclatura presente na Figura 11, “é amplamente utilizada para ambos os mancais de esferas e de rolos, exceto que a pista externa de um mancal cônico é normalmente denominada *copo* e a pista interna *cone*”. O autor ressalta também que existem outras exceções que incluem mancais axiais (cujas configurações típicas não são consistentes com a nomenclatura da Figura 11) e mancais de rolos agulha (rolos de pequeno diâmetro, normalmente contidos por uma fina casca externa, e algumas vezes utilizados com os rolos agulha em contato direto com a superfície de um eixo de aço endurecido).

“Os mancais de rolamento podem ser vulneráveis a falha por quaisquer dos diversos modos possíveis, dependendo das cargas de operação e velocidades específicas”. (COLLINS, 2006, p. 364).

A maioria dos *mancais de esferas*, incluindo ambos, esferas e pistas é fabricado a partir de aço cromo de alto carbono, degaseificado a vácuo, temperado e revenido para ótima resistência a tenacidade; em alguns casos, estabilizado para um controle dimensional preciso. Algumas vezes, são utilizadas ligas de aço inoxidável, quando a resistência à corrosão é necessária ou temperaturas moderadamente elevadas devem ser suportadas. Para aplicações em altas temperaturas, às ligas a base de cobalto devem ser empregadas. (COLLINS, 2006, p. 365).

Para Collins (2006, p. 365), “no caso de mancais de rolos, as pistas e os rolos são fabricados a partir de aços liga de baixo carbono para cementação, de forno elétrico, degaseificados a vácuo”. Diante disso, o autor afirma ainda que, estes são então endurecidos superficialmente e tratados termicamente para produzir uma camada dura, resistente à fadiga, que circunda um núcleo tenaz.

Se o mancal estiver limpo e for lubrificado apropriadamente, for montado e vedado de maneira que evite a entrada de poeira e sujeira, for mantido nesta condição e operado a temperaturas razoáveis, a fadiga do metal será a única causa de falha. (BUDYNAS e NISBETT, 2011, p. 579).

Segundo Melconian (2008, p. 191), “para escolher o tipo de rolamento ao ser utilizado na construção mecânica, torna-se indispensável conhecer o tipo de solicitação que vai atuar no rolamento”. O autor evidencia que, quanto às solicitações, existem três tipos: radial, axial e combinada.

Sendo assim, a carga radial (F_r) é a carga que atua na direção dos raios do rolamento como mostra a Figura 12.

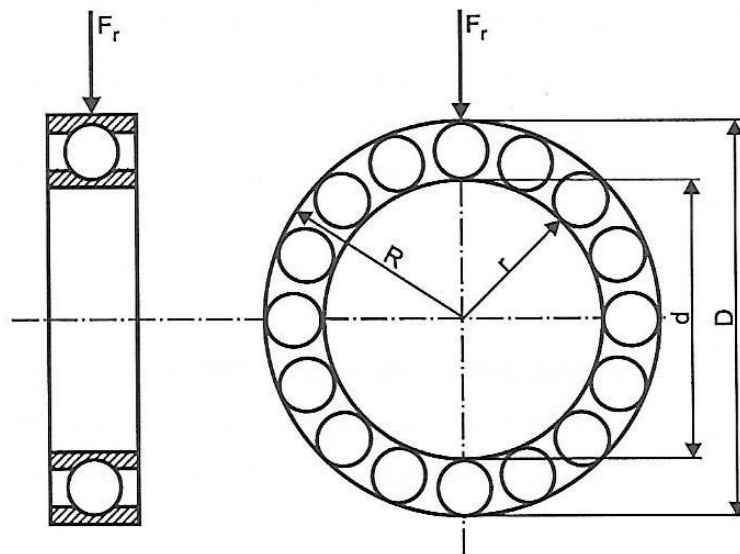


Figura 12: Carga radial.

Fonte: Melconian (2008).

A carga axial (F_a) é a carga que atua na direção do eixo longitudinal do rolamento como mostra a Figura 13.

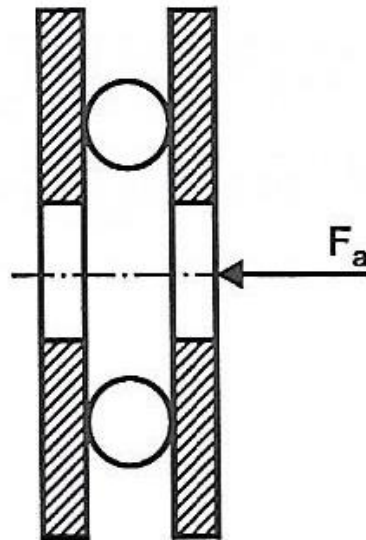


Figura 13: Carga axial.

Fonte: Melconian (2008).

A carga combinada é, neste caso, as cargas radial e axial atuam simultaneamente no rolamento, originando uma suposta carga resultante, denominada equivalente como mostra a Figura 14.

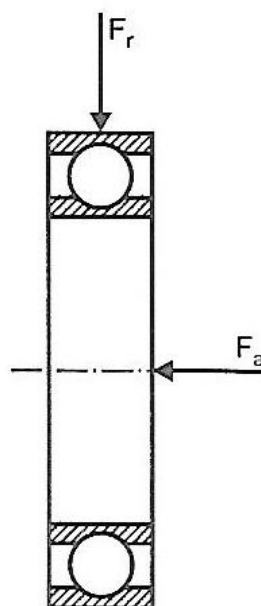


Figura 14: Carga combinada.

Fonte: Melconian (2008).

De acordo com Niemann (1971, p. 1), “como corpos rolantes citam-se esferas, rolos, rolos abaulados ou agulhas”, como mostra a Figura 15.

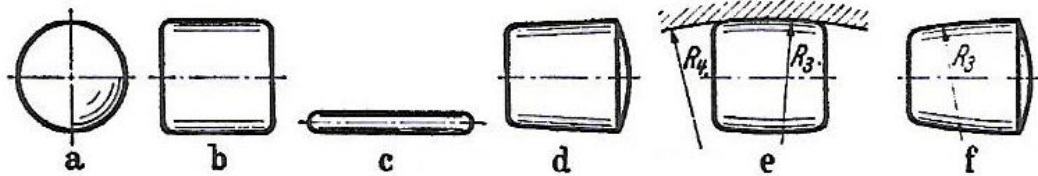


Figura 15: Corpos rolantes.

Fonte: Niemann (1971).

Desse modo, na Figura 15, o autor alega que o componente (a) é um elemento esférico; (b) é um rolo cilíndrico; (c) é um elemento agulha; (d) é um rolo cônico; (e) é um rolo abaulado simétrico e (f) é um rolo cônico abaulado.

Referente à escolha dos mancais de rolamento, Niemann (1971, p. 3) considera que, “para cargas radiais podem ser usados todos os mancais de anéis”. O autor evidencia ainda que para cargas axiais, podem ser usados os rolamentos de discos e os rolamentos de anéis com pistas guias, como mostra a Figura 16.

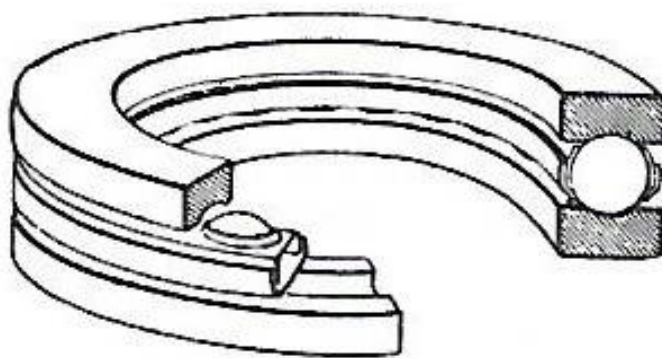


Figura 16: Rolamento axial de esferas.

Fonte: Niemann (1971).

Para Niemann (1971, p. 192), o rolamento fixo de uma carreira de esferas, “suporta carga radial de intensidade média e carga axial leve simultaneamente, sendo ainda recomendado para altas rotações”. O autor salienta ainda que esse modelo de rolamento é amplamente utilizado devido a sua versatilidade e custo reduzido.

Além disso, para cargas radiais e axiais simultâneas, os rolamentos de anéis com pistas inclinadas ou cônicas que, além disso, permitem um pré-tensionamento axial e, com este, um reajuste da folga radial, como mostra a Figura 17.

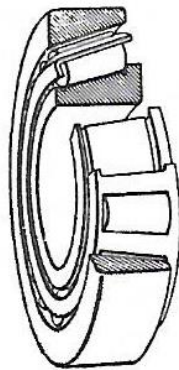


Figura 17: Rolamento radial de rolos cônicos.

Fonte: Niemann (1971).

Ainda, para eixos sujeitos a flexões apreciáveis ou desalinhamentos na direção do eixo, o mais indicado é a aplicação dos rolamentos auto compensadores. Os rolamentos de agulha são os que necessitam o menor diâmetro externo, sendo especialmente indicados para cargas bruscas em baixa rotação, no entanto, apresentam maior atrito e não permitem cargas axiais (mas deslocamentos axiais).

2.3.3 Eixos e árvores

De acordo com Carvalho e Moraes (1978, p. 233), “eixo: não transmite potência, isto é, não sofre esforço de torção; árvore: sempre terá esforço de torção”. Dessa forma, os autores afirmam ainda que, eixos e árvores poderão ser giratórios

ou não, ou seja, uma barra de torção (mola de torção) é considerada uma árvore não giratória.

Para Niemann (1971, p. 51), “eixos (fixos ou em rotação) servem apenas para apoiar peças de máquinas, fixas, móveis ou oscilantes, mas não transmitem momento de torção, sendo, portanto, sujeitos principalmente à flexão”. Logo, o autor ressalta que eixos curtos são também denominados pinos. As partes dos eixos (e dos eixos-árvore) que se movem nos mancais são denominadas moentes. Eixos-árvore, (geralmente em movimento de rotação) servem para a transmissão do momento e são solicitados à torção, ou à torção e à flexão.

Segundo Collins (2006, p. 285), “em praticamente todas as máquinas observa-se a transmissão de potência e/ou o movimento de uma fonte de entrada para uma região de saída”. Deste modo, o autor salienta que a fonte de entrada, normalmente um motor elétrico, ou motor de combustão interna, tipicamente fornece a potência na forma de um torque motriz de rotação ao *eixo de entrada* da máquina em questão, através de algum tipo de *acoplamento*, como mostra a Figura 18.

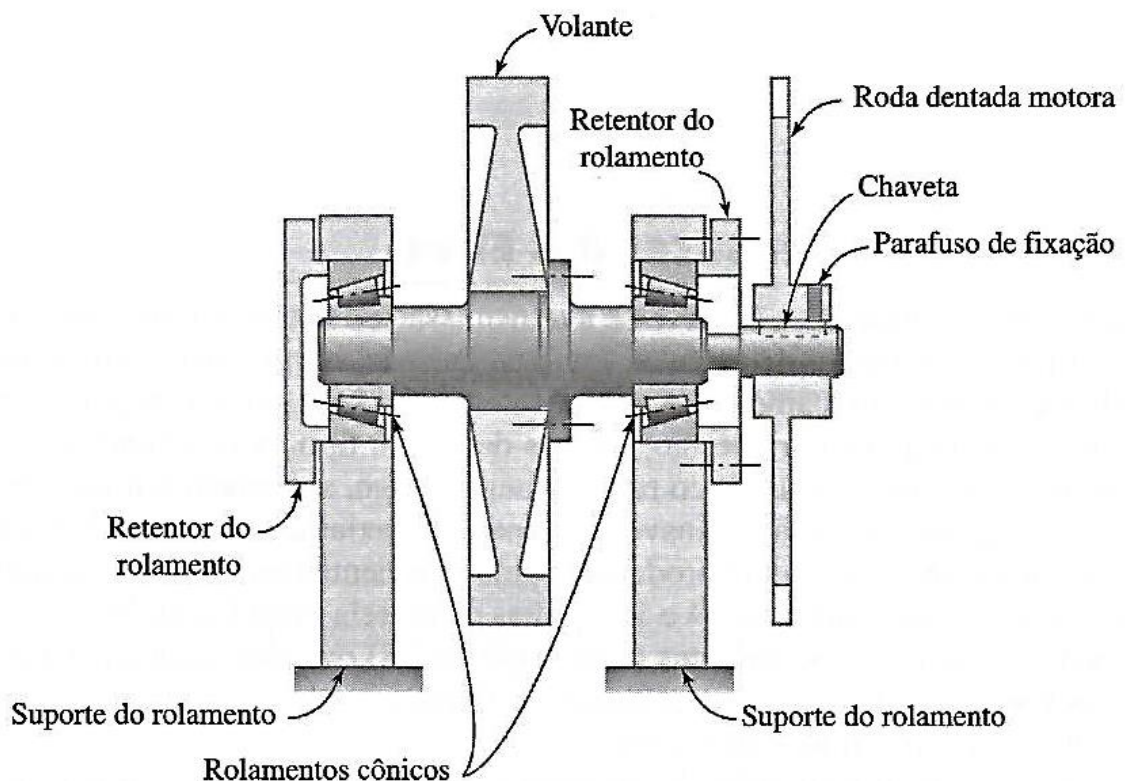


Figura 18: Transmissão de potência através de eixo-árvore.

Diante disso, para Collins (2006, p. 285),

A maioria dos eixos de transmissão de potência é composta por eixos cilíndricos (sólidos ou vazados) que, frequentemente, são escalonados com reduções de seção. Em aplicações especiais, os eixos podem ser quadrados, retangulares ou apresentar alguma outra forma de seção transversal. Normalmente o eixo gira e é suportado por mancais presos a uma estrutura fixa ou carcaça de máquina. No entanto, algumas vezes o eixo é fixado à carcaça, de modo que os mancais de engrenagens, polias ou rodas intermediárias podem ser montados sobre ele. Os eixos engastados, rígidos e curtos, como aqueles utilizados para suportar as rodas não-motrizes de um automóvel, são usualmente chamados de *mangas de eixo*.

Segundo Collins (2006, p. 287), “a maioria dos eixos gira. As cargas transversais de engrenagens, rodas dentadas, polias e mancais montados em um eixo rotativo promovem *tensões de flexão cíclicas* completamente alternadas”. O autor complementa destacando que em alguns casos, cargas transversais também podem promover *tensões de cisalhamento devido a cargas cortantes* completamente alternadas. Além disso, cargas transversais, tais como aquelas de engrenagens helicoidais ou mancais de pré-carga, podem produzir ao mesmo tempo tensões axiais e/ou momento fletores superposto, que são normalmente constantes, mas, em alguns casos, são variáveis. Torques transmitidos por eixos que induzem tensões de cisalhamento são constantes, mas dependendo da aplicação podem ser variáveis.

2.4 TENSÕES

De acordo com Carvalho e Moraes (1978, p. 6), “a flexão acarreta tensões de compressão e de tração na seção da peça fletida, isto é tensões normais nos pontos da seção transversal”. Os autores complementam argumentando que na flexão normal simples as tensões normais extremas σ_c (de compressão) e σ_t (de tração). Logo, conforme anexo, a tensão pode ser expressa de acordo com a Equação 1.

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad (1)$$

onde:

σ : tensão de flexão (MPa)

M: momento fletor ($N \cdot mm$)

Z: módulo de resistência à flexão (mm^3)

Os autores ressaltam ainda que o módulo de resistência para seção circular Z, conforme anexo, pode ser expresso de acordo com a Equação 2.

$$Z = \frac{\pi d^3}{32} \quad (2)$$

onde:

d: diâmetro (mm)

2.5 FATOR DE SEGURANÇA

No que tange ao fator de segurança, segundo Carvalho e Moraes (1978, p. 43), “chamaremos *tensão admissível* ($\sigma_{adm.}$, $\tau_{adm.}$ etc.) à tensão utilizada no dimensionamento da peça, obtida dividindo-se a *tensão considerada perigosa* (σ , τ etc.) por um fator denominado *fator de segurança* (FS)”.

Os autores complementam o raciocínio afirmando que, a tensão considerada perigosa poderá ser uma tensão qualquer, definida por um teste do material ou simplesmente fixada pelo projetista. Em geral, toma-se o *limite de escoamento do material para material dúctil e carga constante*. Para *materiais quebradiços e carga constante*, considera-se a *tensão de ruptura*. Com cargas variáveis interfere uma nova tensão: o limite de resistência à fadiga (σ_n) do material, como mostra a Figura 19.

<i>Carga</i>	<i>Material</i>	<i>Tensão Perigosa</i>
Constante	Dúctil	σ_e
	Quebradiço	σ_r
Variável	Dúctil	σ_n e σ_e
	Quebradiço	σ_n e σ_r

Figura 19: Tensões perigosas.

Fonte: Carvalho e Moraes (1978).

Além disso, os autores enfatizam ainda que admite-se quebradiço o material que apresenta, até a ruptura, um alongamento de, no máximo, 5%. Logo, o ferro fundido é um exemplo clássico do material quebradiço e o aço é considerado material dúctil.

Consequentemente, os autores evidenciam também que, a tensão admissível pode ser obtida através da Equação 3.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{FS} \quad (3)$$

onde:

σ_{adm} : tensão admissível (kgf/mm^2)
 σ_e : tensão de escoamento (kgf/mm^2)
 FS: fator de segurança

Nesse caso, pode-se estimar a tensão de escoamento de acordo com as características mecânicas dos aços, conforme anexo.

No que se refere ao assunto abordado, pode-se identificar na Figura 20 a uma série de fatores de segurança que se relacionam com suas respectivas cargas.

<i>Carga (ver Cap. 3)</i>		<i>FS</i>	<i>Observação</i>
Constante	Gradualmente aplicada	1,5 a 2	Para material quebradiço, tomar os valores tabelados multiplicados por 2 a 3, considerando σ_r como tensão perigosa.
	Subitamente aplicada	3 a 4	
Variável	Repetida	3 a 5	
	Sem reversão	3 a 5	
	Com reversão parcial	4 a 8	
	Com reversão total (alternada)	4 a 8	

Figura 20: Valores de FS.

Fonte: Carvalho e Moraes (1978).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A concepção desse protótipo provém inicialmente ao se tomar ciência das condições que circundam as pessoas com deficiência física unilateral que utilizam de uma cadeira de rodas convencional e a cooperação de outro indivíduo para se locomoverem.

Diante disso, no decorrer da pesquisa, percebeu-se a necessidade de proporcionar às pessoas com incapacidade de movimento unilateral, melhor qualidade de vida com a possibilidade de deslocamento autonomamente dentro de sua própria residência, proporcionando mais liberdade de movimento e facilitando suas atividades diárias.

Assim sendo, analisaram-se as situações que ocorrem no cotidiano dessas pessoas que apresentam essa restrição de movimentação unilateral do corpo, a história da cadeira de rodas, seu princípio de funcionamento, as características técnicas da estrutura de uma cadeira de rodas convencional e a qualidade dos elementos que a compõem.

À vista disso, reuniram-se os fatos e pesquisou-se bibliograficamente para encontrar o melhor princípio de solução possível, como será seu funcionamento e qual a maneira mais viável de realizar o protótipo.

Visando a adaptação do sistema mecânico, o projeto de desenvolvimento do protótipo teve como início a aquisição de uma cadeira de rodas convencional usada, como mostra a Figura 21, com a finalidade de modificar parte de sua estrutura com intuito de atingir os objetivos propostos.



Figura 21: Cadeira de rodas convencional.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A cadeira de rodas utilizada demonstra que é convencional, sendo a mais utilizada por cadeirantes atualmente, no próprio lar ou em outros departamentos de saúde devido ao seu transporte e acomodação, bem como a facilidade de aquisição pelo custo acessível, haja visto que o valor médio de mercado de uma cadeira de rodas convencional no momento da pesquisa é de aproximadamente 550 reais.

Desse modo, a cadeira de rodas é basicamente composta por uma estrutura metálica que comporta os demais componentes necessários para a sua construção e funcionalidade, sendo os que se destacam: o encosto, assento, apoio dos braços, um par de rodas traseiras aro 24 polegadas, um par de rodas dianteiras de 6 polegadas e suporte para os pés.

Consequentemente, buscou-se desenvolver um plano de execução para sistematizar as etapas de elaboração do protótipo, sendo as mesmas, o dimensionamento dos eixos giratórios e subsequentemente o desmembramento das peças da cadeira de rodas convencional para realizar a adaptação dos componentes que contemplariam o novo sistema mecânico do protótipo.

Para desenvolvimento do protótipo foram utilizados alguns materiais, sendo esses: ferro redondo trefilado com 20 mm de diâmetro SAE 1045, mancais de rolamento, cubos de roda de bicicleta, buchas de *nylon*, peças de chapas metálicas, tubos metálicos, ferro chato, roda giratória de três polegadas, parafusos, porcas, arruelas e solda.

3.1 DIMENSIONAMENTO DOS EIXOS GIRATÓRIOS

Isto posto, diante da pesquisa realizada, constatou-se que a maneira com que os eixos ficariam dispostos na estrutura da cadeira de rodas simultaneamente com os esforços em que estariam sujeitos denotaria o principal momento que estaria ocorrendo nos eixos, uma vez que, a análise do arranjo do protótipo propiciou considerar que a força propulsora aplicada na roda traseira resultando assim no momento torsor, seria insignificante perante a carga que estaria disposta sobre os eixos ocasionando assim o momento fletor.

Dessa maneira, considerou-se que seria utilizado como base de cálculos para o dimensionamento dos eixos o método de momento fletor.

Considerando o exposto, optou-se primeiramente por desenvolver o cálculo de dimensionamento dos eixos, com o intuito de obter o diâmetro ideal necessário para a elaboração do protótipo, além disso, é importante ressaltar que decidiu-se utilizar um aço carbono com característica SAE 1045, haja visto sua resistência mecânica.

De acordo com Carvalho e Moraes (1978, p. 303), o aço SAE 1045 “encontra larga aplicação na indústria automobilística, em peças que requeiram maior resistência e dureza do que a dos aços SAE 1038 e 1040”.

Diante a esse contexto, aplicando-se inicialmente a Equação 3 para determinar a tensão admissível dos eixos, considera-se que para o aço SAE 1045 laminado a frio, conforme anexo, a tensão de escoamento vale 54 kgf/mm^2 , bem

como de acordo com a Figura 21 o fator de segurança estipulado é de 3,5, uma vez que, obteve-se um valor médio referente a carga constante subitamente aplicada, além disso, considerou-se aceleração da gravidade (g) equivalente a $9,81 \text{ m/s}^2$.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{FS} \quad (3)$$

$$\sigma_{adm} = \frac{54}{3,5}$$

$$\sigma_{adm} = 15,42 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{adm} = 15,42 \times 9,81 = 151,27 \text{ MPa}$$

Posterior à obtenção da tensão admissível, nota-se que é possível substituir na Equação 1, o valor de Z referente a Equação 2, além disso, é importante argumentar que o momento fletor máximo provém da multiplicação entre a carga aplicada e a distância da mesma até o primeiro ponto de apoio.

Nesse caso, considerando que os eixos giratórios apresentam características dimensionais equivalentes, a Figura 22 mostra o diagrama de corpo livre de apenas um dos eixos giratórios com 280 mm de comprimento, dessa forma, observa-se que F_1 e F_2 representam as cargas dispostas sobre o par de mancais de rolamento distanciados em 120 mm e o apoio deslizante representa a roda traseira do equipamento, onde a reação da carga que está ocorrendo no sistema é definida por R , cuja mesma, encontra-se distanciada a 90 mm do primeiro apoio.

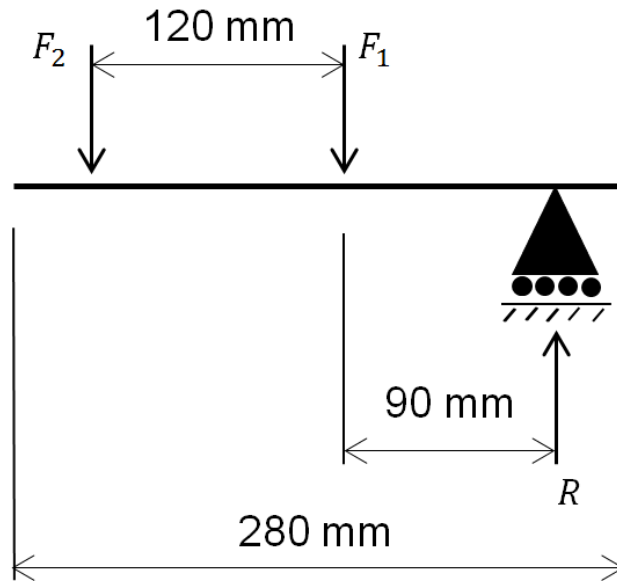


Figura 22: Diagrama de corpo livre dos eixos giratórios.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para o projeto considerou-se que os eixos do protótipo suportariam uma carga total de 160 kg, logo a solicitação que ocorre sobre o primeiro mancal de rolamento equivale a 80 kg ou 784,8 N.

Dessa forma, pode-se obter o momento fletor máximo de acordo com a distância de aplicação da carga até o primeiro ponto de apoio da estrutura, que foi obtida através da dimensão entre o ponto médio da estrutura do mancal de rolamento e o ponto médio de fixação do cubo da roda.

$$\sigma_{adm} = \frac{Mf_{m\acute{a}x}}{Z}$$

$$151,27 = \frac{784,8 \times 90}{\frac{\pi \times d^3}{32}}$$

$$d \cong 16,82 \text{ mm}$$

Com o intuito de projetar um eixo com segurança e posteriormente adquirir materiais com medidas comerciais, conforme anexo, para facilitar o projeto, decidiu-se em selecionar um eixo trefilado com diâmetro de 20 mm, conforme detalhamento em anexo. Diante disso, é interessante também estabelecer qual a carga que esse eixo pode suportar, logo, isso é possível realizando-se o cálculo reverso.

$$151,27 = \frac{Mf_{m\acute{a}x}}{\frac{\pi \times 20^3}{32}}$$

$$Mf_{m\acute{a}x} \cong 118807,18 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$118807,18 = F \times 90$$

$$F \cong 1320 \text{ N}$$

Logo, através do cálculo realizado, é interessante observar que utilizando-se um eixo com diâmetro de 20 mm cada apoio pode suportar uma carga de aproximadamente 1320 N ou 134,65 kgf.

3.2 ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO

Na oportunidade, iniciou-se a desmontagem sequencial dos componentes da cadeira de rodas removendo as peças não fixas permanentemente, conforme a Figura 23, onde buscou-se observar e entender os elementos que constituem cada componente.



Figura 23: Estrutura da cadeira de rodas.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Consequentemente, fez-se necessário analisar os componentes removidos a fim de obter conhecimento do funcionamento, dessa maneira, verificou-se que o cubo da roda traseira contemplava um par de rolamentos esféricos de modelo 6201-Z/C3 com dimensão interna de 12 mm, externa de 32 mm e largura de 10 mm. Também, permitiu-se observar que as rodas dianteiras não possuíam rolamentos, o funcionamento do sistema era baseado em mancal de deslizamento composto por parafuso e porca, de acordo com a Figura 24.



Figura 24: Rolamentos da roda traseira e conjunto da roda dianteira.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na continuidade do processo de remoção dos componentes, prosseguiu-se com a extração das peças fixas por solda, constituídas pelos garfos das rodas dianteiras e apoios dos pés, como mostra a Figura 25. Permanecendo na estrutura da cadeira, somente os eixos das rodas traseiras com o propósito de ponto de referência para o posicionamento das rodas do novo sistema, sendo os mesmos extraídos posteriormente.



Figura 25: Apoio dos pés e garfos das rodas dianteiras.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tendo em vista o objetivo proposto, deu-se sequência com o planejamento, ajustes, detalhamento de algumas peças, detalhes de fixação, compatibilidade dimensional, relação e aquisição de peças para a execução do protótipo.

Posterior à análise do projeto, adquiriu-se os componentes de acordo com as necessidades de aplicação e desenvolvimento do protótipo conforme o quadro de levantamento quantitativo de custo de materiais e mão-de-obra, em anexo.

Posteriormente, com o intuito de organizar a sequência de montagem do protótipo, priorizaram-se os serviços e componentes que levariam maior demanda de tempo para aquisição, dessa forma, o foco inicial de montagem concentrou-se na parte traseira da cadeira de rodas, visto que, ali estariam localizados os conjuntos de mancais de rolamento e eixos giratórios, sendo estes, os componentes sujeitos ao dimensionamento.

Consequentemente, após obter o diâmetro dos eixos procurou-se selecionar um modelo de mancal de rolamento, compatível para facilitar o processo de montagem, levando-se em consideração as características dos rolamentos originais da cadeira de rodas, como mostra a Figura 26, haja visto que o diâmetro do eixo foi ajustado propositalmente a fim de adquirir materiais com especificações e dimensões comerciais.

Diante disso, o mancal de rolamento foi selecionado com base no catálogo em anexo, levando-se em consideração o modo de aplicação da carga, a melhor configuração estrutural para a aplicação no protótipo e a capacidade de carga estática suportada que, cuja mesma, é de aproximadamente 677 kg.



Figura 26: Mancal de rolamento.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Posterior à definição do conjunto de mancais de rolamento e eixos, definiu-se que a conexão entre o eixo e o cubo da roda deveria ser de maneira não permanente, possibilitando a remoção da roda e facilitando o acesso aos

componentes, caso se faça necessária uma manutenção. Sendo assim, optou-se por realizar a junção desses componentes por meio de um conjunto de parafuso, porca travante e arruelas, posicionados em um furo passante de 6,5 mm no eixo e no cubo.

Entretanto, observou-se que o cubo original da roda traseira era constituído por um corpo de material plástico, como mostra a Figura 27.



Figura 27: Cubo original da roda traseira.

Fonte: Elaborada pelo autor.

À vista disso, notou-se que caso fosse realizado um furo passante no corpo de plástico essa ação resultaria no enfraquecimento do cubo, uma vez que esse material plástico não possui grande resistência e, além disso, somente os flanges eram revestidos com uma fina chapa metálica com o intuito de reforçar a estrutura do cubo e dessa forma sustentar os raios da roda.

Deste modo, buscou-se substituir o cubo original por um cubo inteiramente metálico, como mostra a Figura 28.



Figura 28: Cubo metálico.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Diante disso, o cubo adquirido é para ser instalado na roda traseira de bicicletas, o mesmo também é compatível com a roda da cadeira de rodas e encontra-se completo, porém, aproveitou-se somente a sua parte estrutural. Além do mais, houve a necessidade de substituir os raios originais, pois os mesmo não eram compatíveis com esse modelo de cubo.

Vale a pena ressaltar que os flanges desse cubo são móveis, logo, na oportunidade de realizar os furos passantes centralizados no corpo do cubo, aproveitou-se para efetuar alguns pontos de solda a fim de unir permanentemente os flanges com o corpo do cubo, conforme a Figura 29.



Figura 29: Realização dos furos e solda nos cubos metálicos.

Fonte: Elaborada pelo autor.

É importante salientar que o diâmetro interno do cubo era ligeiramente maior do que o eixo, dessa forma, durante a movimentação da cadeira de rodas o eixo poderia se deslocar no interior do cubo e comprometer a composição do sistema. Pensando nisso, buscou-se corrigir essa folga utilizando uma bucha de *nylon* que, além de propiciar melhor estabilidade entre o cubo e o eixo também possibilitou um alinhamento mais preciso no momento da montagem.

Por conseguinte, surgiu-se a necessidade de agregar o sistema mecânico concebido na parte traseira da estrutura da cadeira de rodas, logo, isso foi possível ao se utilizar de uma chapa metálica como intermédio de fixação.

Dessa forma, considerou-se que a seleção da chapa que resultaria na peça de sustentação dos mancais de rolamento, seria estabelecida com base na análise estrutural original da cadeira de rodas, portanto, buscou-se desenvolvê-la assemelhando-a com a espessura dos ferros chatos presentes na estrutura. Consequentemente, optou-se desenvolver a peça utilizando uma chapa com 3 mm

de espessura fabricada com aço SAE 1045 e, além disso, projetada para possuir ligeiramente um comprimento maior do que os mancais, conforme o detalhamento em anexo, visto que os mesmos estarão sendo sustentados por ela. Além do mais, considerando-se que essa peça seria um componente imóvel, e que se tornaria parte da estrutura da cadeira de rodas, decidiu-se fixa-la permanentemente com solda, como mostra a Figura 30.



Figura 30: Chapa de suporte dos mancais e sistema de freio.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Durante a montagem das rodas traseiras, ocorreu que as mesmas não se encaixavam no posicionamento desejado visto que, o freio estava entrando em conflito com a roda, não realizando seu propósito de funcionamento. Vale lembrar que o posicionamento das rodas alterou devido à nova configuração e disposição

dos eixos. Logo, perante a essa situação, optou-se por reposicionar os sistemas de freios, deslocando-os levemente em direção à parte frontal da cadeira de rodas e reposicionando-os estrategicamente, conforme a Figura 30, a fim de obter seu pleno funcionamento.

Por consequência, após realizar a montagem da parte traseira do protótipo, buscou-se nivelar a estrutura para que a nova configuração de tubos pudesse ficar fixa da melhor maneira, como mostra a Figura 31, além do mais, os mesmos foram selecionados com base na espessura dos tubos redondos da cadeira de rodas original. À vista disso, buscou-se encontrar materiais com dimensões comerciais que se encaixavam, rebaixando a estrutura frontal até obter a medida ideal para a seleção da roda dianteira. Assim sendo, pode-se verificar de maneira mais detalhada em anexo, o conjunto frontal de tubos.



Figura 31: Estrutura frontal.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Levando em consideração a possibilidade de ajustar a distância da roda frontal, optou-se por realizar três furos no tubo que, por sua vez, desempenha a

importante tarefa de suportar os esforços gerados através da estrutura, bem como, realizar o apoio para o sistema dinâmico frontal.

Conforme o exposto, pressupondo a fixação do chassi frontal na estrutura do protótipo, buscou-se elaborar o sistema mecânico de direção acionado pelo pé, logo, dentre os componentes que constituem esse conjunto, decidiu-se primeiramente como seria desenvolvida a plataforma de apoio para os pés, como mostra a Figura 32, visando o conforto para o usuário, segurança e a compatibilidade com os demais componentes do mecanismo desempenhando seu propósito de funcionamento.



Figura 32: Plataforma para apoio dos pés.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Considerando que encontra-se em anexo o detalhamento da plataforma, é importante apontar alguns aspectos referentes ao projeto desse componente, uma vez que, analisando a parte estrutural, optou-se por definir a espessura da chapa utilizada com base nas dimensões de degraus de escadas metálicas industriais, além disso, foram realizadas dobras nas seções longitudinais da peça, visando aumentar o número de faces e consequentemente a resistência, os furos menores foram realizados com o intuito de escoar para o sentido do solo líquidos que possam estar presentes na superfície da plataforma, também, realizou-se os furos maiores

com repuxo com o objetivo de aumentar a aderência de contato em relação a superfície da plataforma, além disso, fez-se estrategicamente canais nas extremidades e na parte central da plataforma, visando a possibilidade de adaptação futura de um sistema composto por tiras para aumentar a estabilidade dos pés sobre a plataforma.

Pressupondo que o sistema dinâmico frontal contaria com apenas uma roda, observou-se que a plataforma deveria acompanhar o esforço aplicado pelo pé e, além disso, deslocar-se conforme a direção da roda.

Perante a essa situação, entendeu-se que o flange do corpo da roda deveria estar fixo estaticamente ao chassi frontal do protótipo ao mesmo tempo em que a plataforma de apoio dos pés deveria estar fixa dinamicamente a roda.

Dessa forma, optou-se por realizar a conexão entre a plataforma de apoio dos pés e o corpo da roda utilizando-se um par de hastes de ferro chato, como mostra a Figura 33, seguindo um princípio similar do sistema de garfo e roda frontal de uma bicicleta.



Figura 33: Hastes de ferro chato.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com base nessas considerações, pode-se observar com maiores detalhes a haste de ferro chato conforme anexo, além do mais, é importante ressaltar que o desenho detalhado em anexo refere-se à haste esquerda, tendo como ponto de referência a perspectiva frontal do protótipo, à vista disso, posteriormente obteve-se a haste direita realizando apenas a inversão de sentido da dobra da aba em contato com a plataforma de apoio dos pés.

É válido salientar que além dos furos presentes nas hastes, com o objetivo de montá-las por intermédio de parafusos, decidiu-se realizar alguns pontos de solda, na parte posterior do corpo da roda frontal no momento da montagem dos componentes, com o intuito de unir definitivamente as hastes com o corpo da roda reforçando assim o conjunto dianteiro.

A partir disso, para completar sistema dianteiro, optou-se por selecionar uma roda de 3 polegadas, conforme a Figura 34, que se encaixasse perfeitamente no chassi frontal, a fim de obter um nivelamento ideal do protótipo.



Figura 34: Roda frontal.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para determinar o modelo da roda dianteira, primeiramente levaram-se em consideração as dimensões do componente, visando preencher a altura existente entre o chassi e o solo, bem como, a configuração do *layout* do corpo objetivando que o mesmo apresente um sistema giratório e, além disso, roda com rolamento.

Perante o exposto, é importante frisar que sua principal aplicação é na área industrial, porém, buscou-se selecionar um modelo com capacidade de carga coerente ao protótipo, visto que considera-se que a maior carga concentra-se na parte posterior do protótipo, tal como, o carregamento total exposto para fins de dimensionamento dos eixos.

Nesse momento, por se tratar de um protótipo, é importante evidenciar que buscou-se unir e ajustar todos os componentes de forma ordenada e da melhor maneira possível para possibilitar a montagem do protótipo, conforme a Figura 35, visando a simplicidade de concepção do projeto, bem como, atingir os objetivos propostos.



Figura 35: Protótipo concluído.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Posterior à conclusão da montagem do protótipo, houve a necessidade de lixar a superfície metálica e pintá-la, primeiramente por uma questão estética e, além disso, pelo fato de que a tinta conserva e protege a superfície do material.

Levando-se em consideração a conclusão do protótipo, pode-se observar que a Figura 36 detalha com maior clareza o resultado da organização dos componentes do sistema mecânico traseiro.



Figura 36: Conjunto mecânico traseiro.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Da mesma maneira, diante do projeto, tão importante quanto o conjunto mecânico traseiro, são os componentes que integram o conjunto mecânico dianteiro, conforme mostra a Figura 37 de maneira mais detalhada.



Figura 37: Conjunto mecânico dianteiro.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Posterior à realização da montagem do sistema mecânico no protótipo, buscou-se realizar medições para obter as principais dimensões do mesmo. Dessa forma o protótipo apresentou grandezas de largura, comprimento e altura equivalentes a 680 mm, 1100 mm e 1000 mm, respectivamente. Diante disso, buscou-se também medir a massa total do protótipo que resultou em aproximadamente 25 kg.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O conceito deste trabalho adveio de um fato verídico evidenciado em pessoas com deficiência física que apresentam limitação de movimentos em uma lateral do corpo e que dependem de uma cadeira de rodas, bem como, de terceiros para auxiliar em seu deslocamento.

A concepção deste projeto foi possível devido ao conhecimento tanto teórico quanto prático, adquirido no decorrer o curso de Engenharia Mecânica, sendo que é notória a contribuição científica por parte dos docentes em suas disciplinas, para obter resultados consistentes e atingir os objetivos propostos.

O propósito deste estudo baseava-se em adaptar em uma cadeira de rodas convencional um sistema mecânico que possibilitasse a movimentação de pessoas com deficiência física unilateral, além do mais, a partir dos estudos realizados sobre o tema, a tarefa apresentou-se como um desafio, porém com a evolução do protótipo o cenário proporcionou demonstrar que a mudança para o novo era real.

Dessa maneira, após a conclusão do protótipo buscou-se realizar testes analisando a funcionalidade do mesmo em ambiente residencial simulando uma pessoa com restrição de movimentos em uma lateral do corpo. Assim sendo, os testes foram realizados utilizando uma das mãos, onde a mesma desempenhava a função de propulsão da roda traseira para possibilitar o deslocamento e um dos pés posicionado sobre o sistema direcional frontal para realizar a mudança de trajetória.

Durante os primeiros testes realizados com o protótipo, algumas dificuldades foram encontradas, inicialmente o projeto consistia em um eixo inteiriço, apoiado em um par de mancais de rolamento, que realizava a união das rodas traseiras, logo, constatou-se que pelo fato das rodas traseiras serem conjugadas, o protótipo perdia a capacidade de ser direcionado pelo sistema dinâmico frontal. A movimentação em linha reta ocorria de maneira satisfatória, porém, não era possível realizar a mudança de direção, pois as rodas traseiras travavam impedindo a movimentação desejada. Perante a essa situação, a solução encontrada foi, primeiramente desmembrar o eixo inteiriço em dois eixos giratórios menores e, posteriormente instalar mais um par de mancais de rolamento deixando as rodas independentes, possibilitando melhor deslocamento e facilitando controle direcional.

No decorrer do desenvolvimento do trabalho, inicialmente selecionou-se uma roda giratória, como roda direcional dianteira para o protótipo, porém, no momento

de realização dos testes, constatou-se uma instabilidade em alguns tipos de superfícies de rolamento, no momento que era realizada a mudança de direção, devido à rigidez do material da roda. Após estas constatações, optou-se pela substituição por outro modelo de roda com características dimensionais e estruturais idênticas, de material emborrachado, o qual proporcionou melhor aderência.

Durante os testes com o protótipo, verificou-se que havia a necessidade de aplicar uma película antiderrapante na plataforma de apoio dos pés, sendo esta em forma de tinta *spray* emborrachada, melhorando assim a aderência na superfície, possibilitando mais estabilidade ao usuário.

Percebeu-se que posterior às mudanças realizadas na cadeira de rodas convencional, o protótipo apresentou um acréscimo de massa, devido à implementação dos componentes necessários para sua construção. Portanto, verificou-se que era necessário um esforço maior para deslocá-lo, além disso, com as modificações desenvolvidas, o protótipo perdeu sua capacidade de articulação estrutural incapacitando-o de ser dobrável, logo, restringiu-se sua condição de transporte em veículos.

Outrossim, ao proceder os testes, notou-se que o raio de giro do protótipo teve um considerável aumento em relação ao raio de giro de uma cadeira de rodas convencional, em detrimento a composição do sistema direcional frontal, uma vez que o mesmo apresenta um limite de giro de aproximadamente 40°.

Á vista disso, constatou-se que, após a realização dos testes com o protótipo em ambiente residencial simulando uma pessoa que apresenta restrição de movimentos de um lado do corpo, o mesmo apresentou desempenho conforme o esperado atendendo aos comandos de movimentos aplicados e mostrando-se facilmente operacional, com isso, atingiu os objetivos propostos de maneira satisfatória.

5 CONSLUSÕES

Diante do exposto, conclui-se que, pela razão de que o objetivo principal do trabalho era desenvolver um protótipo pretendendo à adaptação de um sistema mecânico em uma cadeira de rodas convencional para melhorar a locomoção de pessoas com deficiência física unilateral, entende-se que os objetivos iniciais foram claramente atingidos, uma vez que optou-se por submeter uma cadeira de rodas convencional a alterações parciais possibilitando o desenvolvimento de um protótipo que apresentou evolução positiva durante a realização dos testes.

Por consequência, a pesquisa realizada em normas e literaturas possibilitou quantificar, qualificar, descrever e dimensionar os componentes fundamentais para o desenvolvimento do trabalho e confecção do protótipo.

Verificou-se que após os testes realizados, o protótipo irá possibilitar as pessoas que apresentam incapacidades físicas unilaterais, melhoria significativa de mobilidade na própria residência com mais liberdade, facilitando as atividades e proporcionando melhor qualidade de vida.

Analisando a estrutura inicial da cadeira de rodas convencional, buscou-se desenvolver e adaptar um sistema mecânico que viesse desempenhar uma função favorável perante seu propósito. Dessa forma, planejou-se selecionar e organizar os componentes necessários com o intuito de obter a melhor configuração de montagem possível.

Dessa forma, o protótipo desenvolvido foi idealizado para atender pessoas com incapacidades físicas unilaterais, sendo o mesmo, comandado por uma das mãos que realizará o movimento de deslocamento e por um dos pés estabelecendo a trajetória determinada pelo usuário.

No entanto, percebe-se que ainda há um longo caminho a ser percorrido, uma vez que se trata de um protótipo, mas que pode ser enriquecido ao servir de base para novos estudos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para dar sequência no trabalho apresentado, seguem algumas sugestões:

- Analisar a possibilidade de substituir os materiais a fim de tornar o protótipo mais leve e resistente;
- Realizar o dimensionamento estrutural com a utilização de novos materiais;
- Tornar o protótipo dobrável para facilitar o transporte e acomodação em veículos comerciais;
- Estudar o sistema mecânico para que o protótipo também possa ser utilizado em outros ambientes;
- Realizar uma pesquisa de satisfação dos usuários para verificar possíveis mudanças objetivando a otimização do protótipo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/sites/default/files/arquivos/%5Bfield_generico_imagens-filefield-description%5D_24.pdf>. 20 Mai. 2017.

BRASIL. **Lei Federal Nº 7.853**, de 24 de outubro de 1989. Dispõe sobre o apoio às pessoas portadoras de deficiência, sua integração social, sobre a Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência - Corde, institui a tutela jurisdicional de interesses coletivos ou difusos dessas pessoas, disciplina a atuação do Ministério Público, define crimes, e dá outras providências. Brasília, Diário Oficial da União, 24 de outubro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7853.htm>. Acesso em: 01 Mai. 2017.

BRASIL. **Lei Federal Nº 10.690**, de 16 de junho de 2003. Reabre o prazo para que os Municípios que refinanciaram suas dívidas junto à União possam contratar empréstimos ou financiamentos, dá nova redação à Lei no 8.989, de 24 de fevereiro de 1995, e dá outras providências. Brasília, Diário Oficial da União, 16 de junho de 2003. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2003/L10.690.htm>. Acesso em: 09 Dez. 2017.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de máquinas de Shigley**: projeto de engenharia mecânica. 8.ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

CARDOSO, S. H. **Diferentes Deficiências e seus Conceitos**. 2017. Disponível em: <<http://www.ppd.mppr.mp.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=17>>. Acesso em: 09 Dez. 2017.

CARVALHO, J. R. de; MORAES, P. L. J. de. **Órgãos de máquinas**: dimensionamento. 2.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.

COLLINS, J. A. **Projeto mecânico de elementos de máquinas**: uma perspectiva de prevenção da falha. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

FARRELL, M. **Deficiência sensoriais e incapacidades físicas**: guia do professor. Porto Alegre: Artmed, 2008.

NIEMANN, G. **Elementos de máquinas**. São Paulo: Edgard Blucher, 1971.

MELCONIAN, S. **Elementos de máquinas**. 9.ed. São Paulo: Érica, 2008.

ONU. **Resolução Nº 2.542/75**, de 9 de dezembro de 1975. Declaração dos Direitos das Pessoas Portadoras de Deficiências. Assembleia Geral das Nações Unidas, 9 de Dezembro de 1975, p. 2. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/dec_def.pdf>. Acesso em: 01 Mai. 2017.

O'SULLIVAN, S. B.; SCHMITZ, T. J. **Fisioterapia: avaliação e tratamento**. 2. ed. São Paulo: Manole, 1993.

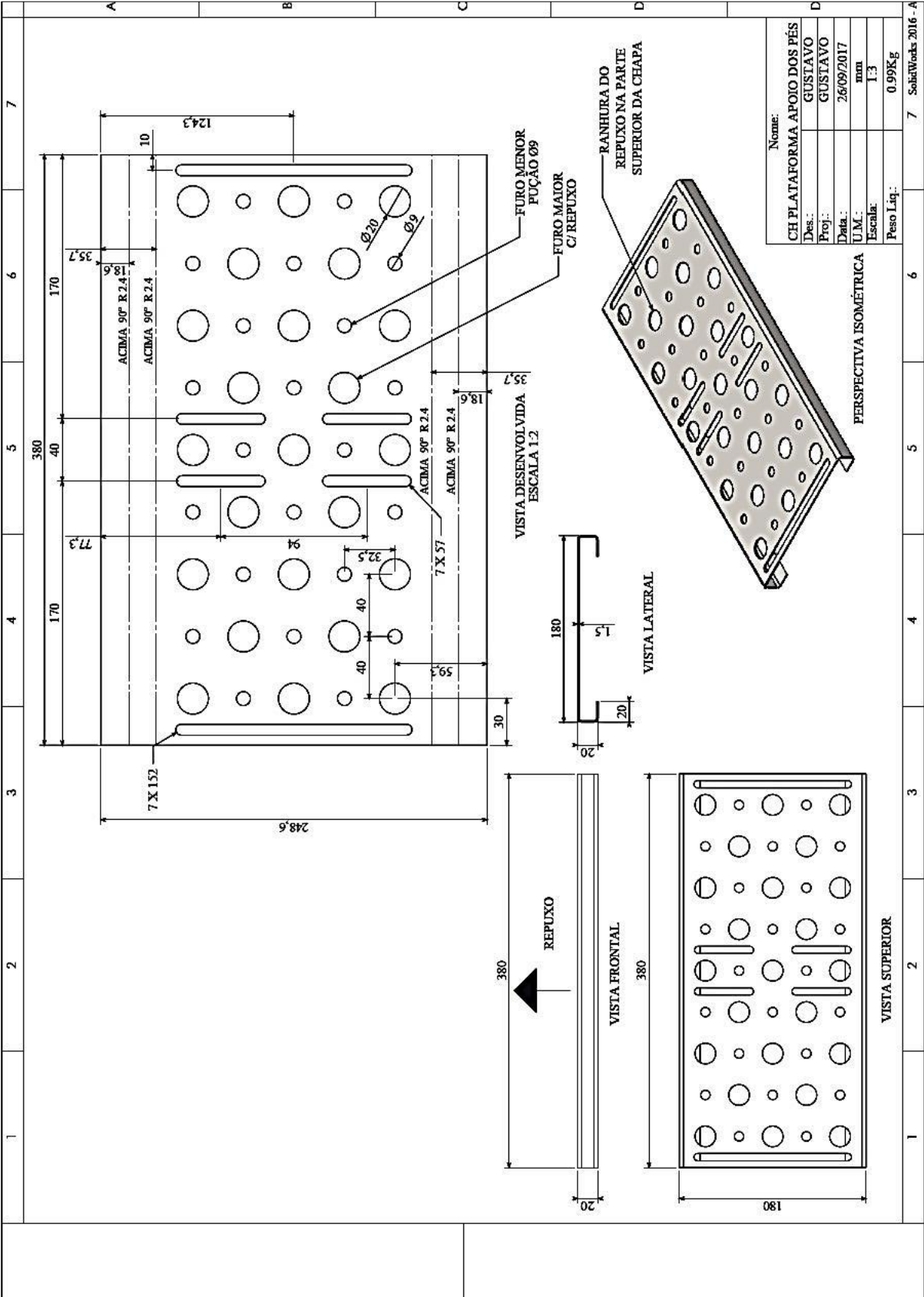
RIBAS, J. B. C. **O que são pessoas deficientes**. 6.ed. São Paulo: Brasiliense, 1998.

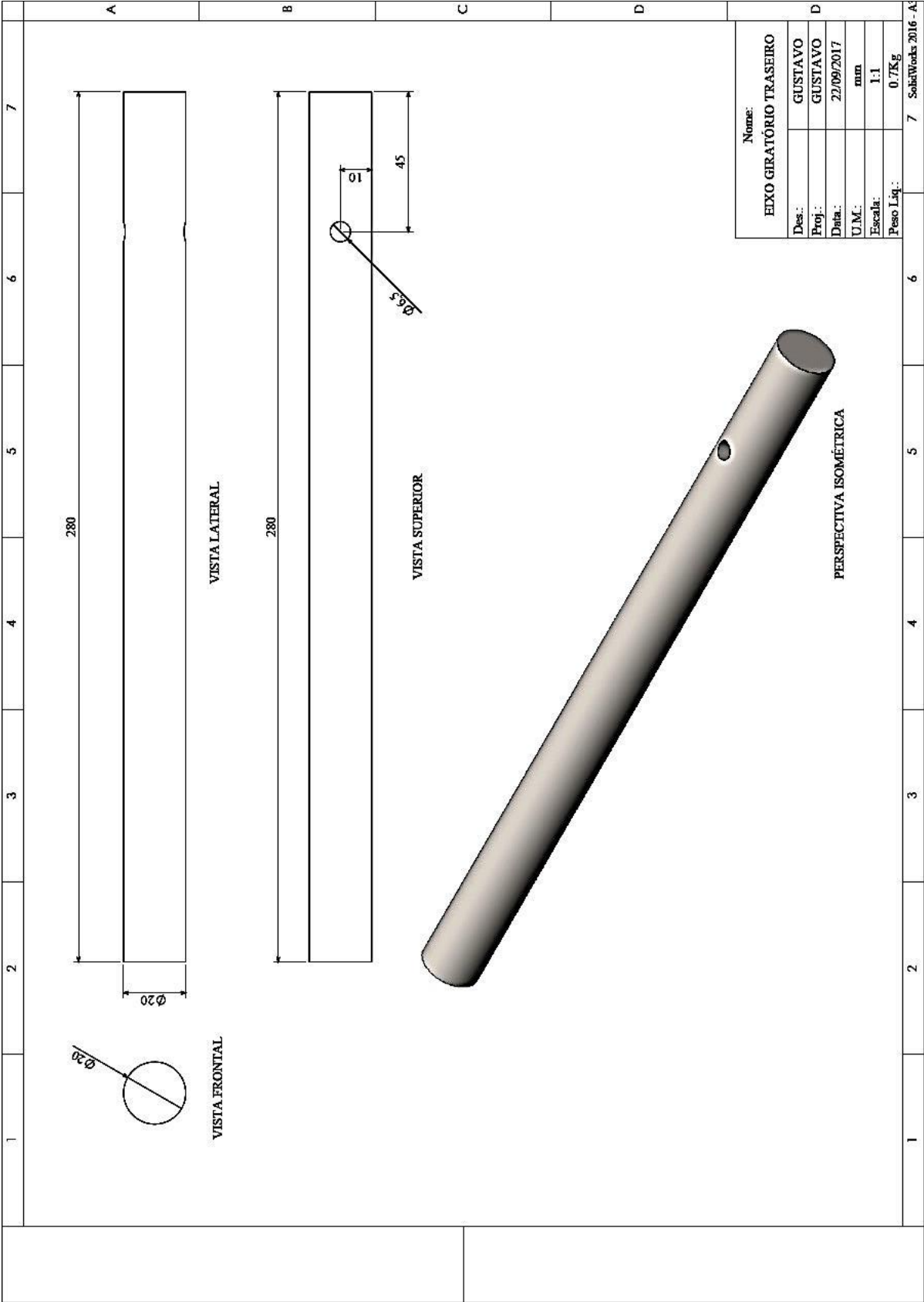
SILVA, O. M. da; DEL'ACQUA, R. J. **Cadeiras de Rodas: cadeiras de rodas e sua evolução histórica**. 2017. Disponível em: <[http://www.crfaster.com.br/Cadeira %20Rodas.htm](http://www.crfaster.com.br/Cadeira%20Rodas.htm)>. Acesso em: 30 Abr. 2017.

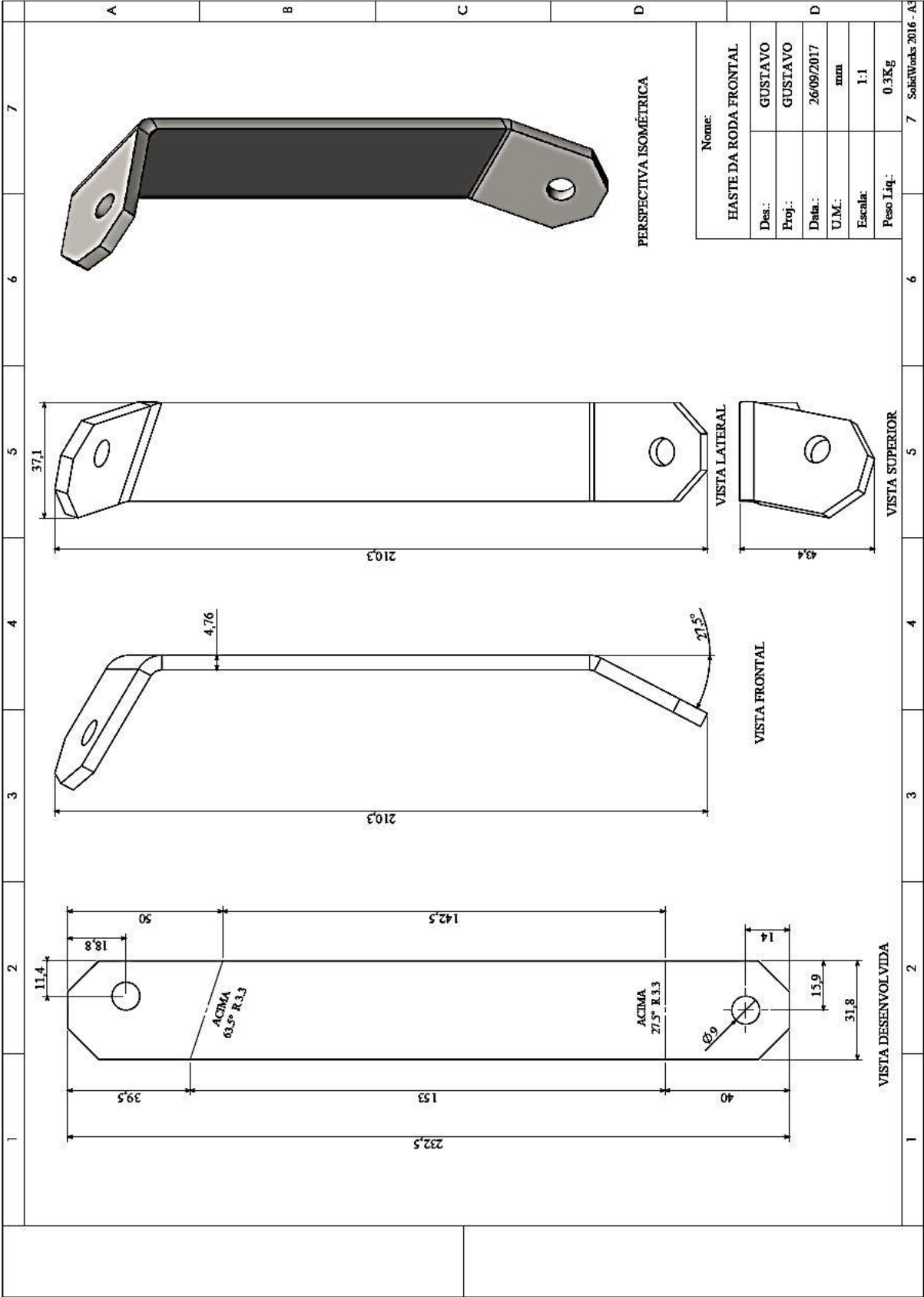
SNR. **Catálogo geral industry**. 2009. Disponível em: <https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2017-05/snr_general_catalogue_br.pdf>. Acesso em: 27 Ago. 2017.

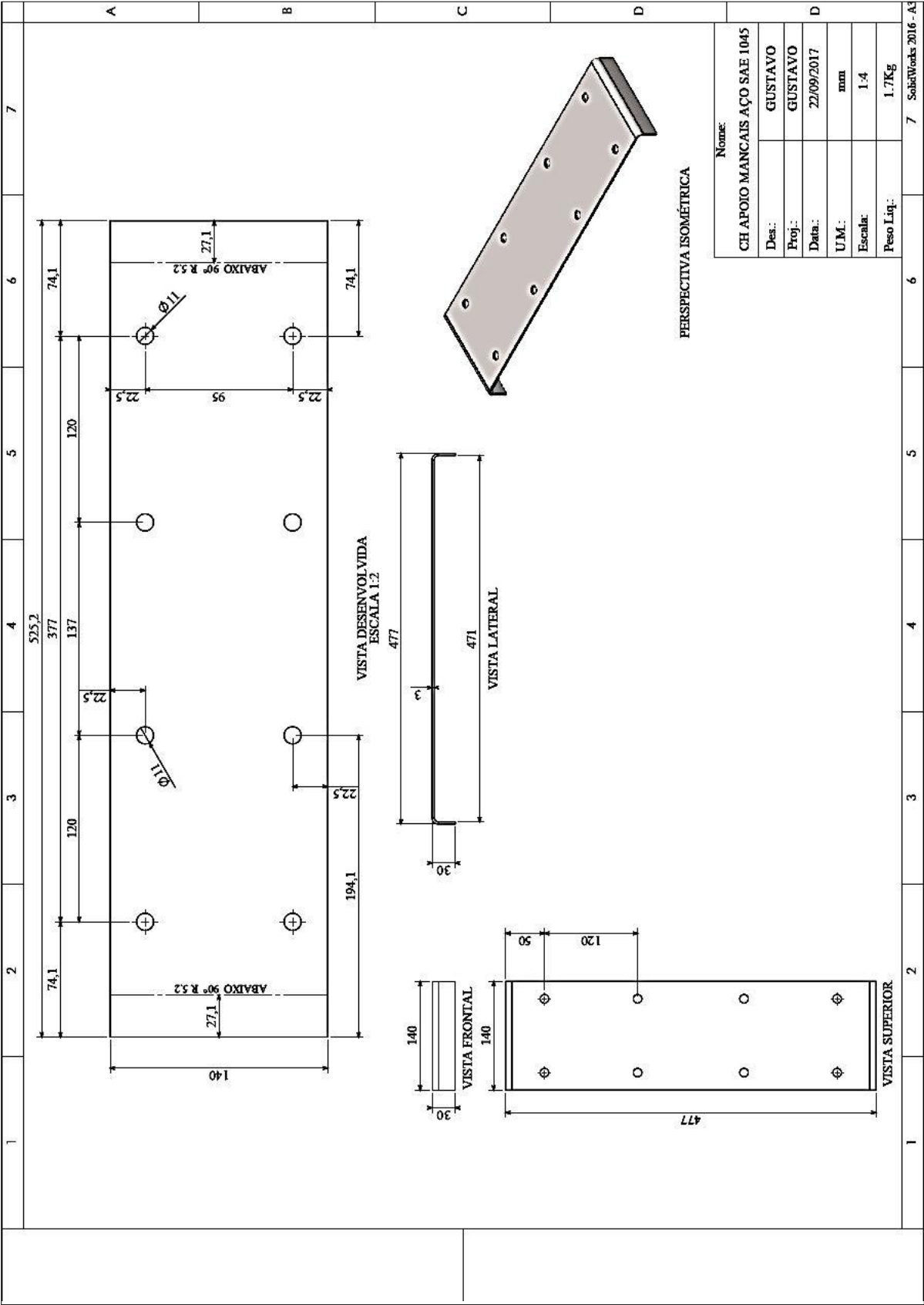
APÊNDICES

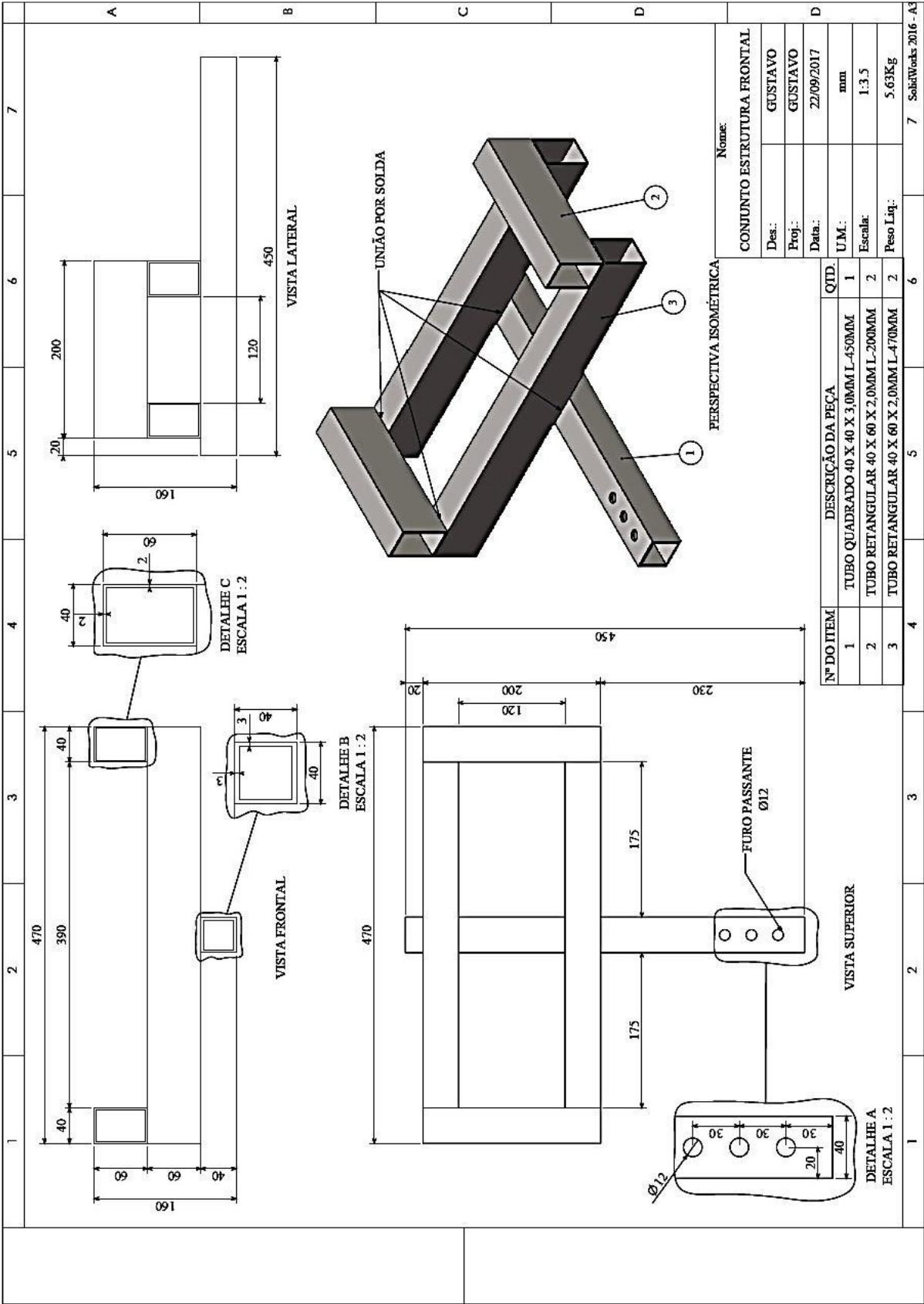
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID	QUANT	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
1	Conjunto mancal de rolamento	cj	4,00	25,00	100,00
2	Ponteira de plástico	un	20,00	1,00	20,00
3	Cubo roda traseira	un	2,00	10,00	20,00
4	Ferro redondo trefilado 20 mm SAE 1045	kg	1,5	5,70	8,60
5	Tubo quadrado 40 x 40 x 3,00	kg	1,75	5,00	8,80
6	Tubo retangular 60 x 40 x 2,00	kg	3,30	5,40	17,90
7	Chapa de suporte dos mancais	un	1,00	25,00	25,00
8	Plataforma de apoio dos pés	un	1,00	15,00	15,00
9	Roda frontal 3 polegadas	un	1,00	30,00	30,00
10	Bucha de <i>nylon</i>	un	2,00	5,00	10,00
11	Parafusos	un	14,00	0,45	6,30
12	Porcas	un	14,00	0,20	2,80
13	Arruelas	un	26,00	0,10	2,60
14	Haste de ferro chato	un	2,00	6,00	12,00
15	Tinta <i>spray</i> antiderrapante	un	1,00	25,00	25,00
16	Mão-de-obra geral	-	-	-	200,00
TOTAL					504,00





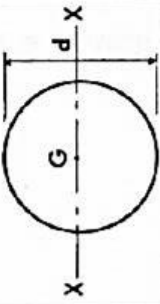
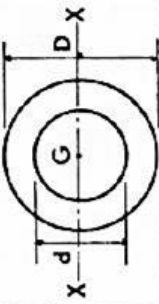
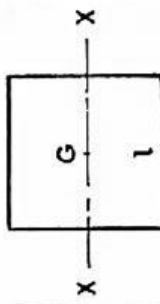
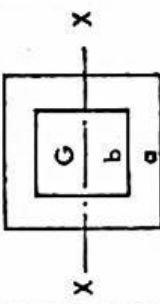


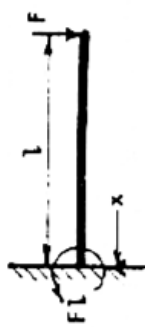




ANEXOS

N. ^o SAE	Composição Química				Tipo do Processo	Propriedades Mecânicas (Valores Mínimos)				
	% C	% Mn	% Si	% P — % S		Resistência à Tração kg/mm ²	Limite de Escoamento kg/mm ²	Alongamento %	Estricção %	Dureza Brinell
1010	0,08 — 0,13	0,30 a 0,60	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	Laminado a quente	33	18	28	50	95
1015	0,13 — 0,18				Laminado a frio	37	30	20	40	105
1020	0,18 — 0,23	0,30 a 0,60	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	Laminado a quente	35	19	28	50	101
1025	0,22 — 0,28				Laminado a frio	39	33	18	40	111
1030	0,28 — 0,34	0,30 a 0,60	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	Laminado a quente	38	21	25	50	111
1035	0,32 — 0,38				Laminado a frio	42	35	15	40	121
1038	0,35 — 0,42	0,30 a 0,60	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	Laminado a quente	40	22	25	50	116
1040	0,37 — 0,44				Laminado a frio	45	37	15	40	126
1045	0,43 — 0,50	0,30 a 0,60	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	Laminado a quente	47	26	20	42	137
1050	0,48 — 0,55				Laminado a frio	53	45	12	35	149
1055	0,50 — 0,60	0,30 a 0,60	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	Laminado a quente	50	27	18	40	143
1060	0,55 — 0,65				Laminado a frio	56	47	12	35	163
1070	0,65 — 0,75	0,30 a 0,60	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	Laminado a quente	52	28	18	40	149
1080	0,75 — 0,88				Laminado a frio	58	49	12	35	163
1090	0,85 — 0,98	0,30 a 0,60	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	Laminado a quente	53	29	18	40	149
1095	0,90 — 1,03				Laminado a frio	59	49	12	35	170
		0,30 a 0,60	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	Laminado a quente	67	31	18	40	163
					Laminado a frio	63	54	12	35	179
		0,30 a 0,60	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	Laminado a quente	63	34	15	35	179
					Laminado a frio	70	59	10	30	197
		0,30 a 0,60	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	Laminado a quente	66	36	12	30	192
					Laminado a frio	68	37	12	30	201
		0,30 a 0,60	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	Laminado a quente	71	39	12	30	212
					Laminado a frio	78	43	10	25	229
		0,30 a 0,60	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	0,10 máx. ou 0,10 — 0,20 ou 0,15 — 0,30	Laminado a quente	85	47	10	25	248
					Laminado a frio	84	46	10	25	248

<i>Seção ou Perfil</i>	<i>Momento de Inércia (I)</i>	<i>Módulo de Resistência à Flexão ($Z = \frac{I}{c}$)</i>	<i>Área (A)</i>	<i>Raio de Giração ($k = \sqrt{\frac{I}{A}}$)</i>
Circular 	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32}$	$\frac{\pi d^2}{4}$	$\frac{d}{4}$
Corôa Circular 	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$	$\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$	$\frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4}$
Quadrada 	$\frac{l^4}{12}$	$\frac{l^3}{6}$	l^2	$\frac{l\sqrt{3}}{6}$
Moldura Quadrada 	$\frac{a^4 - b^4}{12}$	$\frac{a^4 - b^4}{6a}$	$a^2 - b^2$	$\frac{1}{2}\sqrt{\frac{a^2 + b^2}{3}}$

Carregamento, Apoios, Reações	Tensão em um Ponto Qualquer	Tensão em Pontos Críticos	Deflexão em um Ponto Qualquer	Deflexão em Pontos Críticos
3) Viga engastada em uma extremidade com a outra livre (balanço). Carga concentrada na extremidade livre. 	$\sigma = \frac{F(l-x)}{Z}$	Na seção de engastamento: $\sigma = \frac{Fl}{Z}$ Numa viga de seção constante, esta é a tensão máxima.	$y = \frac{Fx^2}{6EI} (3l-x)$	Na extremidade livre ocorre a deflexão máxima: $y_{\text{máx.}} = \frac{Fl^3}{3EI}$
4) Viga com dois apoios simples e uma extremidade em balanço. Carga concentrada na extremidade em balanço. 	Entre os apoios: $(0 \leq x \leq l)$ $\sigma = \frac{Fa}{Zl} (l-x)$ Entre a carga e o apoio adjacente: $(0 \leq v \leq a)$ $\sigma = \frac{F(a-v)}{Z}$	Na seção do apoio adjacente à carga: $\sigma = \frac{Fa}{Z}$ Numa viga de seção constante, esta é a tensão máxima.	Entre os apoios: $(0 \leq x \leq l)$ (deflexão para cima) $y = \frac{Fax}{6EI} (l-x) (2l-x)$ Entre a carga e o apoio adjacente: $(0 \leq v \leq a)$ (deflexão para baixo) $y = \frac{Fv}{6EI} (3av-v^2+2a^2)$	Sob a carga: $y = \frac{Fa^2}{3EI} (l+a)$ Deflexão máxima entre os apoios; para cima, no ponto $x = 0,42265l$ e vale: $y_{\text{máx.}} = \frac{Fa^2}{15,55EI}$

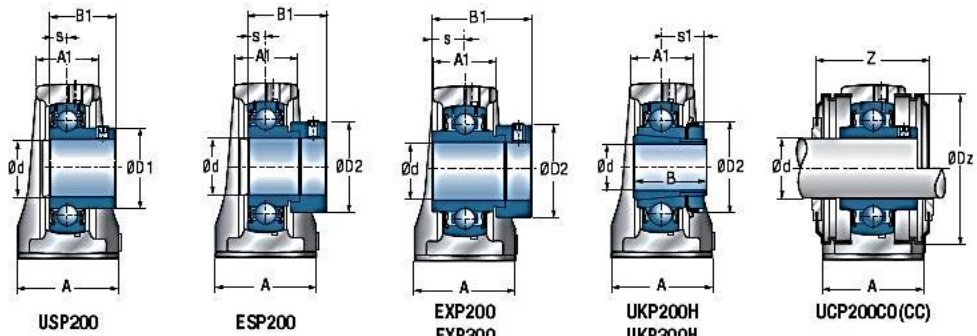
Notar o sentido da reação no apoio A.

<i>Diâmetro D(mm)</i>	<i>Tolerância mm</i>	<i>Área mm²</i>	<i>Diâmetro D(mm)</i>	<i>Tolerância mm</i>	<i>Área mm²</i>
5	— 0,030	19,63	(60)	— 0,074	2827
6	— 0,030	28,27	63	— 0,074	3 17
7	— 0,036	38,48	(65)	— 0,074	3318
8	— 0,036	50,27	70	— 0,074	3848
9	— 0,036	63,62	(75)	— 0,074	4418
10	— 0,036	78,54	80	— 0,074	5027
11	— 0,043	95,03	90	— 0,087	6362
12	— 0,043	113,1	100	— 0,087	7854
(13)	— 0,043	132,7	(110)	— 0,087	9503
14	— 0,043	153,9	(120)	— 0,087	11310
(15)	— 0,043	176,7	125	— 0,100	12270
16	— 0,043	201,1	140	— 0,100	15390
18	— 0,043	254,5	(150)	— 0,100	17670
20	— 0,052	314,2	160	— 0,100	20110
22	— 0,052	380,1	180	— 0,100	25450
25	— 0,052	490,9	200	— 0,115	31420
28	— 0,052	615,8			
(30)	— 0,052	706,9			
(35)	— 0,062	962,1			
36	— 0,062	1018			
(38)	— 0,062	1134			
40	— 0,062	1257			
45	— 0,062	1590			
50	— 0,062	1963			
56	— 0,074	2463			

Notas:

- 1) Os valores indicados entre parênteses devem ser evitados.
- 2) A tolerância é indicada para acabamento com retificação. Poderá ser modificada em função da usinagem.
- 3) O projetista deverá sempre consultar os fornecedores sobre os diâmetros normalmente existentes.

- * = equipped with two open protective caps for passing shafts: suffix CO or COE
 ** = equipped with one open and one closed protective cap for shaft ends: suffix CC or CCE



Main dimensions [mm]					Housing	Bearing insert	Open protective cap*	Closed protective cap**	Dynamic load rating	Static load rating	Weight	Shaft diameter
D1	D2	G	Z	Dz					C_r [kN]	C_{or} [kN]	kg	d mm
29,0	-	M6x1	45,0	54,0	P204	UC201G2	CO	CC	12,80	6,65	0,7	12
24,6	-	M6x1	45,0	46,0	P203	US201G2	CO	CC	9,55	4,78	0,7	
-	28,6	M6x1	58,4	46,0	P203	ES201G2	COE	CCE	9,55	4,78	0,7	
-	33,3	M6x1	63,4	54,0	P204	EX201G2	COE	CCE	12,80	6,65	0,8	
29,0	-	M6x1	45,0	54,0	P204	UC202G2	CO	CC	12,80	6,65	0,7	16
24,6	-	M6x1	45,0	46,0	P203	US202G2	CO	CC	9,55	4,78	0,6	
-	28,6	M6x1	58,4	46,0	P203	ES202G2	COE	CCE	9,55	4,78	0,7	
-	33,3	M6x1	63,4	54,0	P204	EX202G2	COE	CCE	12,80	6,65	0,8	
29,0	-	M6x1	45,0	54,0	P204	UC203G2	CO	CC	12,80	6,65	0,7	17
24,6	-	M6x1	45,0	46,0	P203	US203G2	CO	CC	9,55	4,78	0,6	
-	28,6	M6x1	58,4	46,0	P203	ES203G2	COE	CCE	9,55	4,78	0,7	
-	33,3	M6x1	63,4	54,0	P204	EX203G2	COE	CCE	12,80	6,65	0,8	
29,0	-	M6x1	45,0	54,0	P204	UC204G2	CO	CC	12,80	6,65	0,7	20
29,0	-	M6x1	45,0	54,0	P204	US204G2	CO	CC	12,80	6,65	0,7	
-	33,3	M6x1	63,4	54,0	P204	ES204G2	COE	CCE	12,80	6,65	0,7	
-	33,3	M6x1	63,4	54,0	P204	EX204G2	COE	CCE	12,80	6,65	0,8	
-	38,0	M6x1	48,0	60,0	P205	UK205G2H	CO	CC	14,00	7,88	0,8	
-	38,0	M6x1	-	-	P305	UK305G2H	-	-	22,36	11,50	1,6	
34,0	-	M6x1	48,0	60,0	P205	UC205G2	CO	CC	14,00	7,88	0,8	25
34,0	-	M6x1	48,0	60,0	P205	US205G2	CO	CC	14,00	7,88	0,8	
-	38,1	M6x1	65,2	60,0	P205	ES205G2	COE	CCE	14,00	7,88	0,8	
-	38,1	M6x1	65,2	60,0	P205	EX205G2	COE	CCE	14,00	7,88	0,9	
-	45,0	M6x1	53,0	70,0	P206	UK206G2H	CO	CC	19,50	11,20	1,4	
35,4	-	M6x1	-	-	P305	UC305G2	-	-	22,36	11,50	1,4	
-	42,8	M6x1	-	-	P305	EX305G2	-	-	22,36	11,50	1,5	
-	45,0	M6x1	-	-	P306	UK306G2H	-	-	27,00	15,20	2,0	
40,3	-	M6x1	53,0	70,0	P206	UC206G2	CO	CC	19,50	11,20	1,4	30
40,3	-	M6x1	53,0	70,0	P206	US206G2	CO	CC	19,50	11,20	1,3	
-	44,5	M6x1	71,2	70,0	P206	ES206G2	COE	CCE	19,50	11,20	1,4	
-	44,5	M6x1	71,2	70,0	P206	EX206G2	COE	CCE	19,50	11,20	1,5	
-	52,0	M6x1	60,0	80,0	P207	UK207G2H	CO	CC	25,70	15,20	1,8	
44,6	-	M6x1	-	-	P306	UC306G2	-	-	27,00	15,20	1,9	
-	50,0	M6x1	-	-	P306	EX306G2	-	-	27,00	15,20	2,1	
-	52,0	M6x1	-	-	P307	UK307G2H	-	-	33,50	19,20	2,8	