

JOÃO PAULO GIACOMELLI

**Dispositivo para o auxílio e segurança de pessoas portadoras de restrições físicas
em piscinas.**

João Paulo Giacomelli

Dispositivo para o auxílio e segurança de pessoas portadoras de restrições físicas em piscinas.

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Dr. José Elias Tomazini

G429d	<p>Giacomelli, João Paulo Dispositivo para o auxílio e segurança de pessoas portadoras de restrições físicas em piscinas. / João Paulo Giacomelli – Guaratinguetá, 2015. 40 f. : il. Bibliografia : f. 40</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015. Orientador: Prof. Dr. José Elias Tomazini</p> <p>1. Biomecânica 2. Hidroterapia 3. Equipamentos de proteção I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 612.766</p>
-------	---

João Paulo Giacomelli

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOSÉ ELIAS TOMAZINI
Orientador / UNESP-FEG


Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
UNESP-FEG


Prof. Me. ERICA XIMENES DIAS
UNESP-FEG

Janeiro de 2016

Dedico esse trabalho de modo especial aos meus pais, que sempre apoiaram minhas decisões e me ajudaram nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e incontáveis graças alcançadas, aos amigos que conheci durante a minha jornada acadêmica e aos companheiros de república que sem dúvidas deixarão muitas saudades.

Agradeço também ao meu professor orientador Dr. José Elias Tomazini pela ajuda e disponibilização do seu tempo para a confecção desse trabalho e a todos os funcionários da faculdade, em especial a Regina Célia da Silva Souza que me ajudou muito durante esse ano. Agradeço ainda aos funcionários da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação e pela clara vontade de ajudar.

GIACOMELLI, J, P. **Dispositivo para o auxílio e segurança de pessoas portadoras de restrições físicas em piscinas.** 2016. 42 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016

RESUMO

Sendo a hidroterapia um tratamento na água de grande importância para crianças e adultos portadores de algum tipo de deficiência motora, promover a segurança e conforto dos mesmos é uma tarefa de grande importância, porém difícil ao profissional sem a ajuda de algum tipo de aparelho especializado. Geralmente dispositivos importados são utilizados para tais fins, esses aparelhos de alta complexidade tem um custo elevado além de limitar, em alguns casos, o movimento do paciente na água e as possibilidades de exercícios. Neste trabalho uma solução será apresentada para substituir tais equipamentos, fazendo o uso de catálogos comerciais e modelagem computacional um protótipo será estudado e um novo equipamento será desenvolvido para auxiliar a entrada na piscina além de permitir também uma mobilidade ao paciente em meio aquoso. Esta mobilidade com segurança na água aumentam as possibilidades de exercícios e os acessórios encontrados em catálogos comerciais tornam esse projeto viável do ponto de vista econômico.

PALAVRAS-CHAVE: Equipamento para segurança na Hidroterapia. Dispositivo Mecânico em Piscinas. Adaptação de Piscinas para cadeirantes.

GIACOMELLI, J, P. **Dispositivo para o auxílio e segurança de pessoas portadoras de restrições físicas em piscinas.** 2016. 42 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016

ABSTRACT

Being the hydrotherapy a treatment in water of great importance for children and adults with motor disability, providing safety and comfort is a very important task that is difficult to health professional without the aid of some specialized equipment. Generally imported devices are used for such purposes, these highly complex apparatus have a high cost and limit the patient's movement in water and exercise possibilities in some cases. In this work a solution will be presented to replace such equipment, using catalogs and computer modeling a prototype will be studied and new equipment will be developed to assist entry into the pool and it would also allow mobility to the patient in an aqueous medium. This safely mobility in the water increase the possibilities of exercises and the accessories founded in commercial catalogs make this project feasible from an economic aspect.

KEYWORDS: Hydrotherapy security. Mechanical Device in Pool.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Splash Pool Lift</i> importado do EUA.....	12
Figura 2 - Elevador com motor elétrico.....	13
Figura 3 - Elevador de acessibilidade.....	14
Figura 4 - Adaptação de rampa na piscina	15
Figura 5 - Detalhe do encaixe dos rolamentos e da parede resultando no tubo	16
Figura 6 - Corpo do dispositivo e rolamento de eixos cônicos	17
Figura 7 - Encaixe dos rolamentos no corpo do dispositivo.....	18
Figura 8 - Encaixe do De do rolamento no Di do tubo.....	19
Figura 9 - Tubo externo e arremate da parte rolamentada da estrutura.....	20
Figura 10 - Modelo com o braço soldado.....	21
Figura 11 - Dimensões médias de uma cadeira de rodas.....	22
Figura 12- Modelo em escala do protótipo e dimensões da base	22
Figura 13 – Vista frontal do protótipo e altura	23
Figura 14 - Vista lateral do protótipo e espaço para cadeira de rodas.....	23
Figura 15 - Vista do guia linear de esferas e de seu trilho.....	24
Figura 16 - Vista frontal do guia linear de esferas e de seu trilho.....	25
Figura 17 - Modelo de cinto utilizado por escaladores	25
Figura 18 - Cinto de equilíbrio utilizado por escaladores	26
Figura 19 - Guincho manual.....	27
Figura 20 - Detalhe da chave de segurança do guincho manual	27
Figura 21 - Análise da deflexão máxima do braço da estrutura	28
Figura 22 - Análise das tensões no braço e na junta soldada da estrutura.....	29
Figura 23 - Tensões atuantes em todo o corpo da estrutura	30
Figura 24 - Esquema da força envolvida e de seu ângulo	31
Figura 25 - Força resultante nos rolamentos	33
Figura 26 – Diagrama momento fletor, $\alpha=0^\circ$	35
Figura 27- Diagrama momento fletor, $\alpha=90^\circ$	36
Figura 28 - Cotas para montagem.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados catalogados para um rolamento de rolos cônicos.....	32
Tabela 2 - Valores tabelados para o guia linear de esferas.....	34
Tabela 3 - Valores tabelados para parafusos fixados em diferentes materiais.	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO	10
1.2 JUSTIFICATIVA	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 SPLASH POOL LIFT	12
2.2 SISTEMAS ELÉTRICOS	13
2.3 ELEVADOR DE ACESSIBILIDADE.....	14
2.4 RAMPA DE ACESSIBILIDADE	15
3 PROJETO	16
3.1 ESTRUTURA INICIAL.....	16
3.2 ESTRUTURA COMPLETA	21
3.3 TRILHO.....	24
3.4 CINTO DE SEGURANÇA:	25
3.5 GUINCHO MANUAL:	26
4 ANÁLISE DA ESTRUTURA	28
4.1 SIMULAÇÃO	28
4.2 OUTROS DIMENSIONAMENTOS	30
4.2.1 Rolamentos	31
4.2.2 Guia Linear de Esferas.....	33
4.2.2.1 Guia Linear de Esferas em ângulo $\alpha = 0^\circ$	34
4.2.2.1 Guia Linear de Esferas em ângulo $\alpha = 90^\circ$	35
4.3 DIMENSÕES FINAIS	37
5 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

Para promover a segurança de crianças e adultos portadores de algum tipo de deficiência motora na água geralmente são utilizados dispositivos importados. Esses aparelhos de alta complexidade tem um custo elevado no mercado, o que os tornam inacessíveis para algumas pessoas. A grande maioria dos modelos encontrados serve de auxílio para a entrada na piscina, mas acabam por limitar o movimento do paciente na água.

A falta de exercícios é um dos principais problemas que afetam a saúde de pessoas com paralisia cerebral, podendo contribuir para o desenvolvimento ou piora das condições como encurtamento muscular, dor crônica, fadiga e osteoporose (LOPES et al., 2005).

Estar com um paciente com comprometimento motor no ambiente aquático é proporcionar a ela uma sensação acolhedora com liberdade de movimentos e autoestima pela possibilidade de realização de tarefas que, muitas vezes, são complexas em solo. O principal objetivo da fisioterapia aquática é promover a máxima independência funcional a estas pessoas, tanto no solo quanto no meio líquido (OLIVEIRA et al, 2013).

Embora de extrema importância, esse tratamento pode gerar desconforto para o profissional de saúde carregar o paciente até a piscina, além de oferecer o risco de uma possível queda. Diante destes problemas surge a necessidade de um aparelho de fácil utilização pelo fisioterapeuta, seguro e confortável para o paciente.

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo propor uma alternativa que, além de auxiliar na entrada do paciente, ainda permita uma mobilidade da pessoa com segurança dentro da piscina, aumentando assim as possibilidades de exercícios e tratamentos.

O produto aqui proposto será inteiramente mecânico, não havendo partes automatizadas, mas podendo ainda ser aperfeiçoado futuramente e complementado.

1.2 JUSTIFICATIVA

Tendo visto a importância da hidroterapia no tratamento de pacientes com déficit motores o próximo passo é a segurança das pessoas envolvidas neste tipo de tratamento, passando pelo quesito segurança questões como conforto, custo final do aparelho podem ser também analisados.

Aparelhos disponíveis hoje no mercado custam em torno de R\$ 20 000,00 e são incapazes de proporcionar tal mobilidade ao longo das piscinas.

Uma estrutura de aço tratado, previamente dimensionado, correndo ao longo de um trilho pode facilmente cumprir todos os requisitos acima citados e custar menos ao consumidor final, tornando assim a hidroterapia mais acessível economicamente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Modelos automáticos ou pneumáticos podem ser encontrados hoje no mercado, mas além de não possuir nenhum sistema que facilite a transposição do paciente da cadeira para o aparelho e possuir uma mobilidade limitada, tais aparelhos tem um alto custo no Brasil devido a sua importação. Neste capítulo alguns destes dispositivos serão apresentados

2.1 SPLASH POOL LIFT

O modelo mais encontrado em piscinas medicinais é o chamado *Splash Pool Lift*, que consiste em uma cadeira adaptada a um braço hidráulico ou pneumático como visto na Figura 1. A limitação deste aparelho está na sua fixação ao chão e na dificuldade em passar o usuário para a cadeira. A grande vantagem apontada pelo fabricante está na não necessidade de reformas para instalação no local e no fato da pessoa não precisar entrar com a própria cadeira na água.

Figura 1 – *Splash Pool Lift* importado do EUA



Fonte: Abbey Mobility¹

¹ Disponível em: < <http://abbeymobility.com/hoists/> > Acesso em 18 de junho de 2015

2.2 SISTEMAS ELÉTRICOS

Sistemas compostos por um motor elétrico, engrenagens e roldanas são utilizados para levantamento de carga de diferentes aplicações, como pode ser visto na Figura 2 no caso da acessibilidade não é diferente.

Figura 2 - Elevador com motor elétrico



Fonte: Angel Accessibility Solutions²

A desvantagem deste tipo de adaptação está na complexidade de instalação do equipamento, o local deve possibilitar a instalação de uma estrutura acima da piscina para viabilizar tal dispositivo, já as principais vantagens deste equipamento consistem no controle de levantamento feito pelo próprio usuário e na mobilidade do sistema ao longo da piscina na direção de instalação da barra.

² Disponível em < <http://www.angelsolutions.com/2011/09/aquatics-made-easy/> > Acesso em 09 de janeiro de 2016

2.3 ELEVADOR DE ACESSIBILIDADE

Encontrado principalmente em locais de utilização recreativa, como piscinas de hotéis ou casas, este tipo de equipamento, mostrado na Figura 3, possibilita ao usuário entrar com a própria cadeira de rodas na água, ficando a cargo do usuário o controle do aparelho bem como a sua segurança.

Figura 3 - Elevador de acessibilidade



Fonte: Mobilidade Humana³

A desvantagem associada a este tipo de equipamento está no fato de que ele deve ser instalado em piscinas rasas, a profundidade não deve exceder a altura do cadeirante, e uma vez na água tal dispositivo não oferece segurança ao usuário.

³ Disponível em < <https://mobilidadehumana.wordpress.com/2014/03/05/acesibilidade-hoteleira> > Acesso em 09 de janeiro de 2016.

2.4 RAMPA DE ACESSIBILIDADE

Outra solução bastante encontrada são as rampas de acessibilidade que semelhante às soluções utilizada para subir andares e desníveis em solo estas permitem aos usuários entrar e sair das piscinas com a própria cadeira de rodas sem a ajuda de outra pessoa, como mostrado na Figura 4.

A dificuldade envolvida nesta situação está na mudança estrutural da piscina, este sistema exige a confecção de uma piscina adaptada desde o início e não a adaptação de uma comum já instalada como nos demais casos.

Figura 4 - Adaptação de rampa na piscina



Fonte: Calgary City News⁴

A ausência de um comando hidráulico, pneumático ou elétrico torna este dispositivo o mais simples de se utilizar, porém sem oferecer qualquer tipo de segurança durante a permanência em meio aquoso.

⁴ Disponível em < <http://www.calgary.ca/CSPS/Recreation/Pages/Accessibility.aspx>> Acesso em 09 de janeiro de 2016.

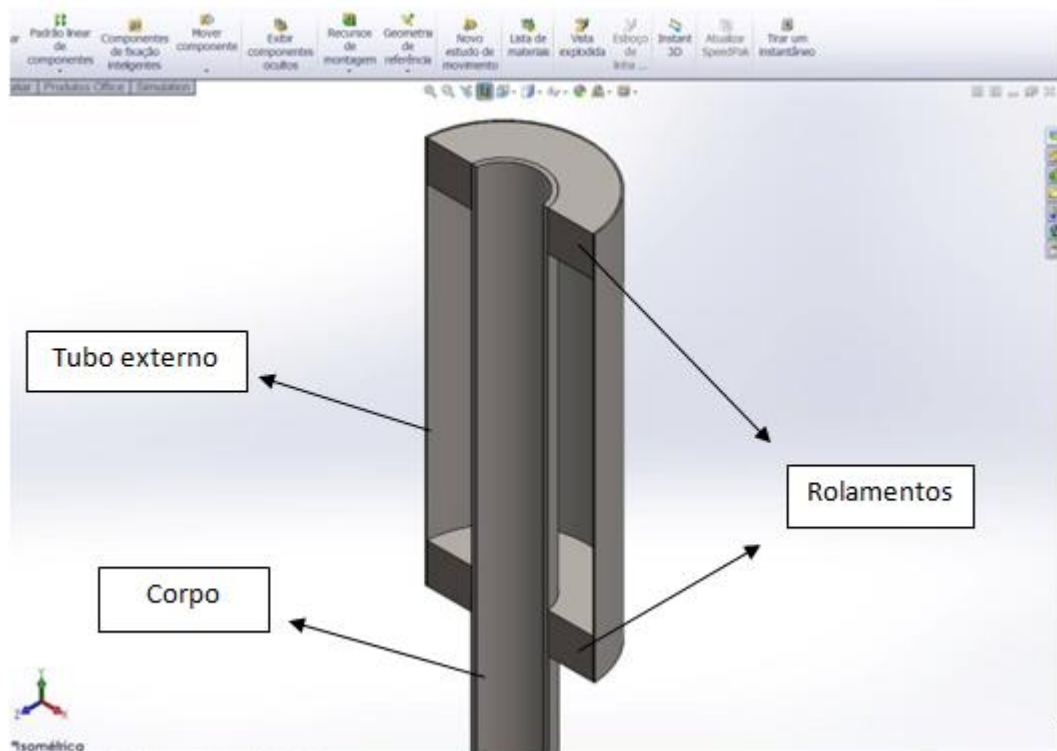
3 PROJETO

Foi idealizado um projeto inicial de um braço soldado a uma estrutura tubular capaz de girar em torno do seu eixo vertical semelhante a um pórtico, mas capaz de percorrer um trilho ao longo da piscina. Este dispositivo seria fixado ao paciente por meio de um cabo em sua linha de cintura, promovendo assim segurança ao usuário dentro da água. O protótipo foi elaborado em etapas, cada dispositivo e peça contida no projeto estão aqui descritos bem como algumas dimensões iniciais adotadas.

3.1 ESTRUTURA INICIAL

A parte estrutural foi confeccionada em aço tubular sem costura SAE 1020, o tubo escolhido deveria ter espessura suficiente para depois de usinado ainda resistir às cargas solicitantes. A fim de facilitar o encaixe dos rolamentos, um perfil cilíndrico foi selecionado e o sistema final encaixado está representado abaixo na Figura 5 e descrito a seguir.

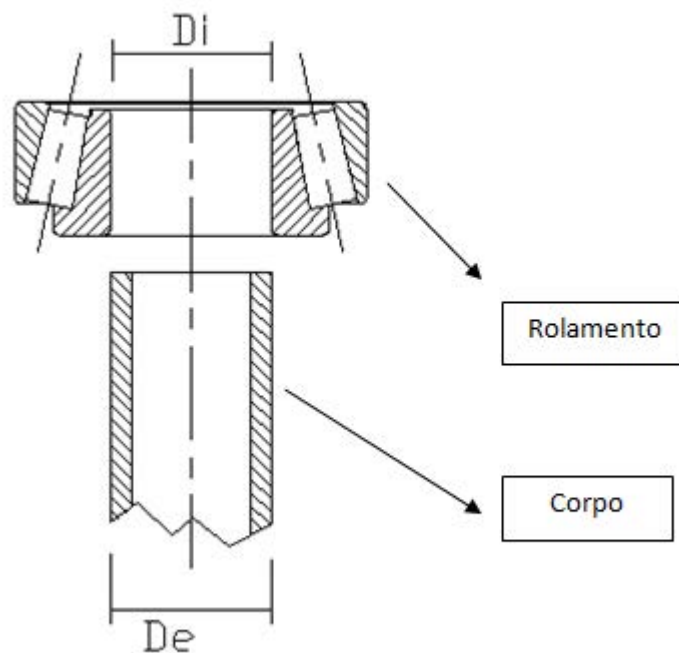
Figura 5 - Detalhe do encaixe dos rolamentos e da parede resultando no tubo



Fonte: (AUTOR, 2016)

Para possibilitar a montagem o diâmetro externo D_e do tubo utilizado como corpo do dispositivo deveria ser igual ao diâmetro interno D_i do rolamento, conforme Figura 6, e a classe de tolerância adotada ao eixo foi a f6 para facilitar o encaixe, porém um anteparo se faz necessário.

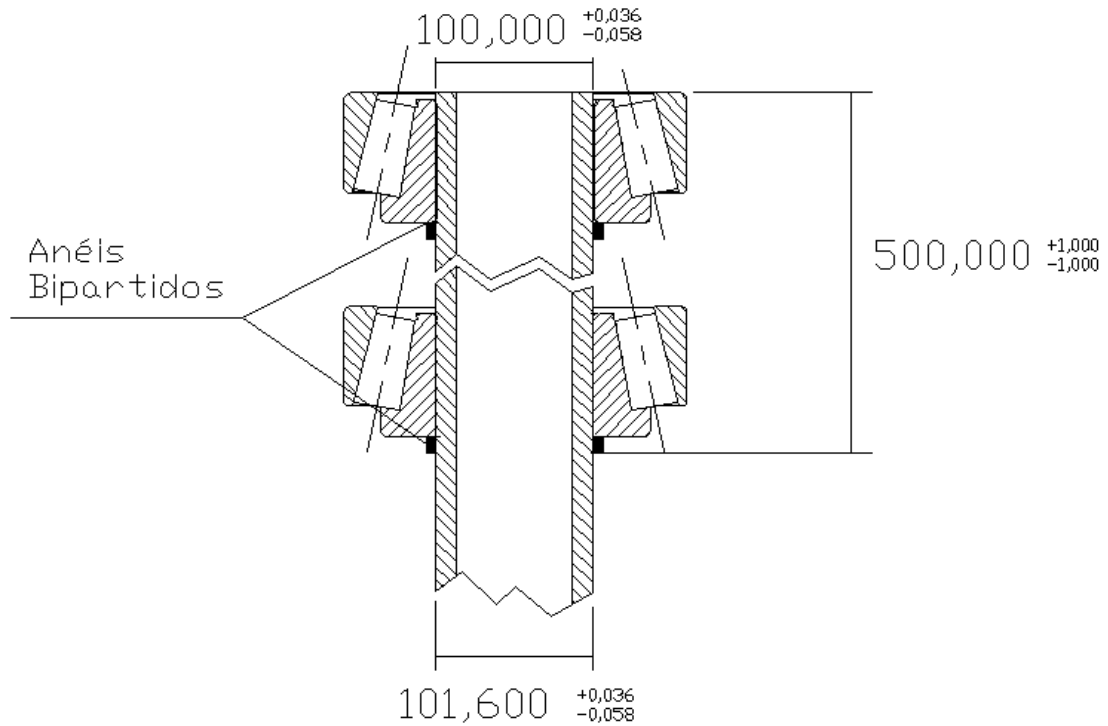
Figura 6 - Corpo do dispositivo e rolamento de eixos cônicos



Fonte: (AUTOR, 2016)

No catálogo “Tubos Oliveira” foi escolhido um tubo com $D_e = 101,6\text{mm}$ e espessura $8,71\text{ mm}$. Do catálogo de rolamentos “Koyo” foram escolhidos rolamentos de eixo cônico com $D_i = 100\text{ mm}$ (o que exigiu uma usinagem na região de encaixe do rolamento no tubo, que ainda ficou com $7,91\text{mm}$ de espessura final nesta região). Foram utilizados dois rolamentos nesta seção e os encaixes se dão conforme mostrado esquematicamente na Figura 7. Como anteparo dois anéis bipartidos metálicos serão utilizados para facilitar a montagem e manutenção do dispositivo, estes anéis devem ter dimensões suficientes para serem fixados ao diâmetro externo do tubo. A região de encaixe ficou sendo definida como tendo um comprimento de 500 mm medidos a partir do topo da estrutura.

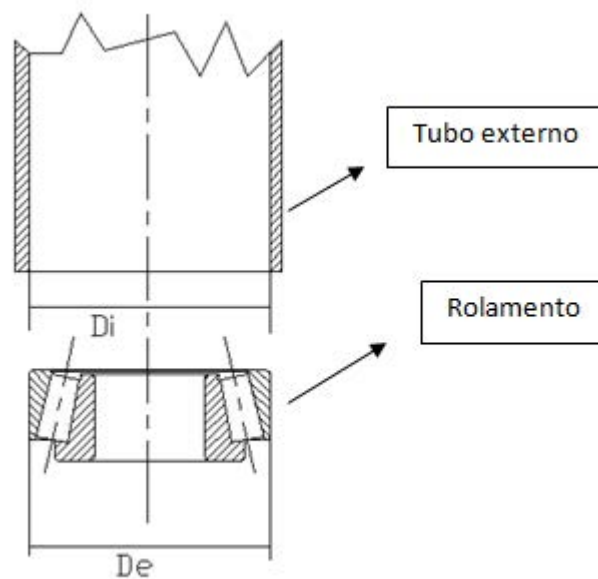
Figura 7 - Encaixe dos rolamentos no corpo do dispositivo



Fonte: (AUTOR, 2016)

Feito isso, um tubo com diâmetro interno D_i deveria agora ser selecionado para encaixar no diâmetro externo do rolamento de $D_e = 215$ mm, como representado esquematicamente na Figura 8.

Figura 8 - Encaixe do De do rolamento no Di do tubo

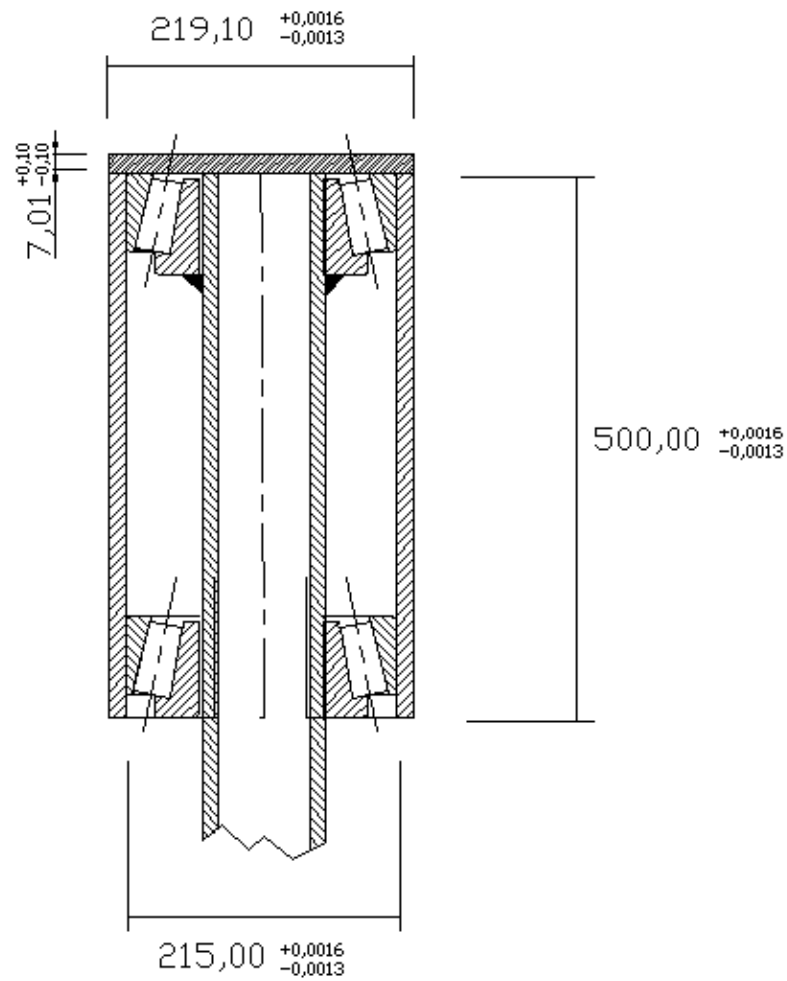


Fonte: (AUTOR, 2016)

Do mesmo catalogo de tubos foi selecionado um tubo com $D_e = 219,10$ e $D_i = 204,88$ mm (novamente um desbaste se faz necessário para encaixe correto do rolamento de $D_e = 215,00$ deixando uma parede de $2,05$ mm), a classe de tolerância aqui utilizada foi a J6. O comprimento deste tubo externo ficou definido como sendo 500 mm, e o motivo será explicado na seção 3.5 deste trabalho.

Feito isto uma chapa deve ser agora soldada acima do tubo mais externo pra fechar a estrutura, conforme Figura 9.

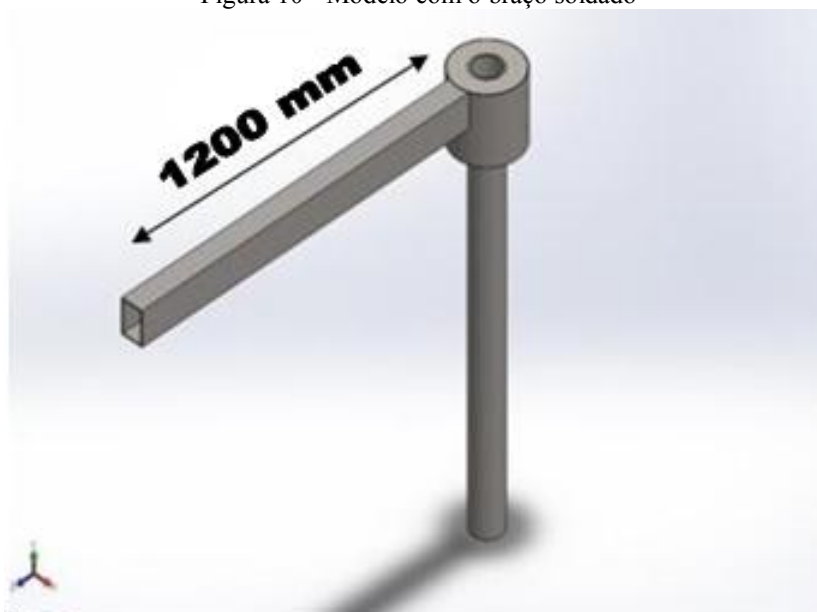
Figura 9 - Tubo externo e arremate da parte rolamentada da estrutura



Fonte: (AUTOR, 2016)

Um tubo de seção retangular com 100x75 mm de perfil, espessura de 6,30 mm e 1200 mm de comprimento foi selecionado do catálogo para o braço de levantamento da carga e soldado a estrutura alinhada ao topo do sistema rolamentado conforme Figura 10.

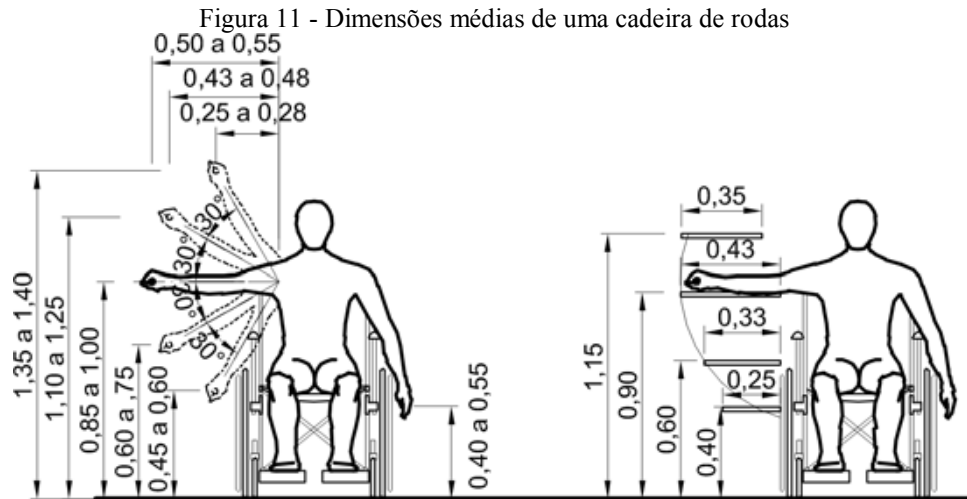
Figura 10 - Modelo com o braço soldado



Fonte: (AUTOR, 2015)

3.2 ESTRUTURA COMPLETA

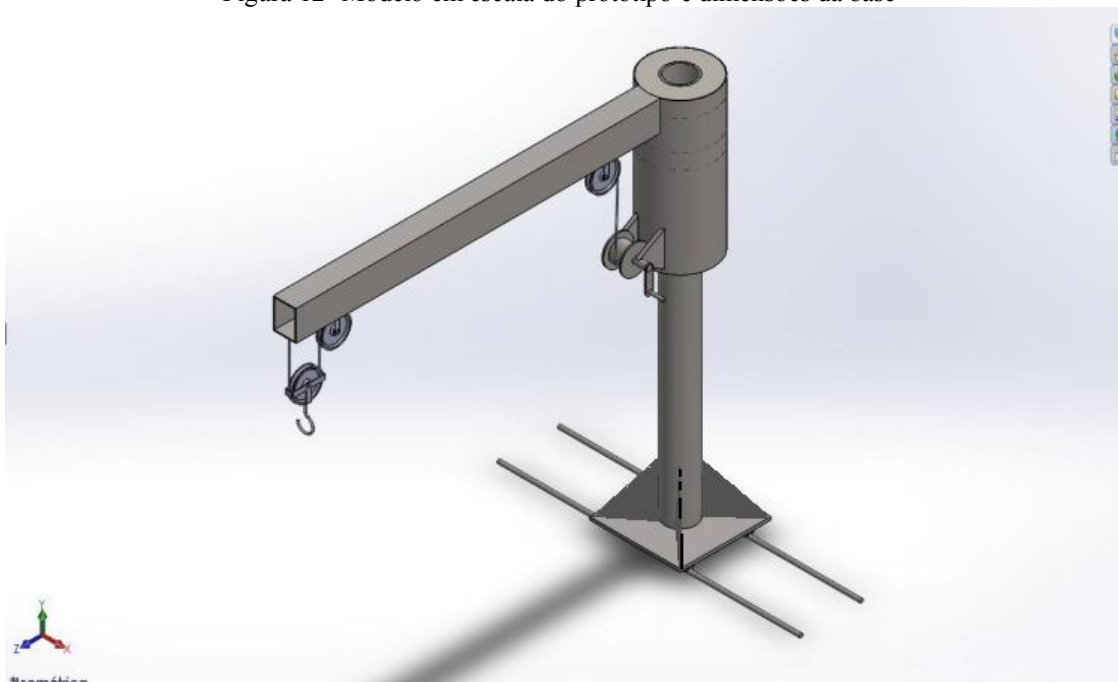
Tendo definido os perfis e suas dimensões, é possível agora uma modelagem de todo o dispositivo em um software de desenho 3D e o ensaio das tensões envolvidas no problema. As dimensões foram estipuladas pensando na altura média de uma cadeira de rodas, representadas na Figura 11. O espaço entre a cabeça de um adulto e o limite do equipamento será tomado como 350 mm, o suficiente para levantar o peso do paciente da cadeira e descer na água sem muito desgaste por parte do ajudante. O comprimento do braço deve ser suficiente para que a estrutura não atrapalhe o posicionamento da cadeira próxima ao cabo, para isso as medidas da Figura 11 também foram consultadas.



Fonte: CEIME⁵

A montagem dos componentes é representada a seguir em vista isométrica na Figura 12, vista frontal na Figura 13 e na Figura 14 tem-se a vista lateral do protótipo e o espaço entre a estrutura e o cabo.

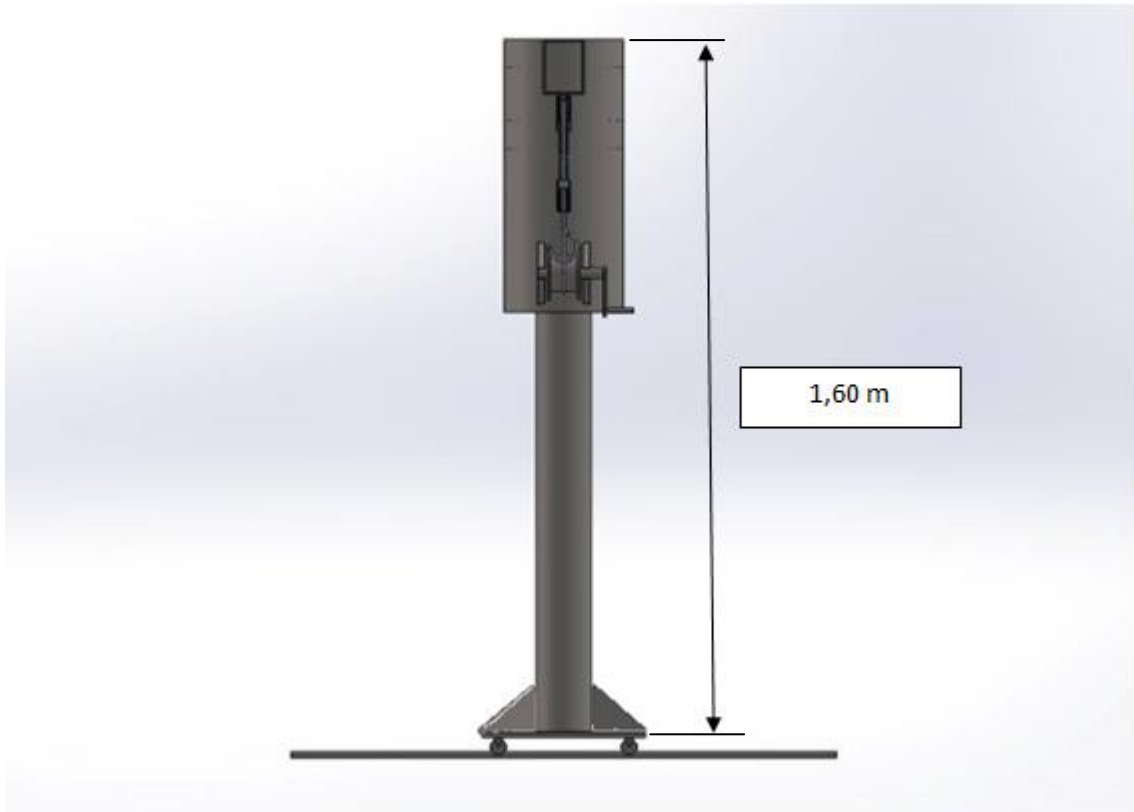
Figura 12- Modelo em escala do protótipo e dimensões da base



Fonte: (AUTOR, 2016)

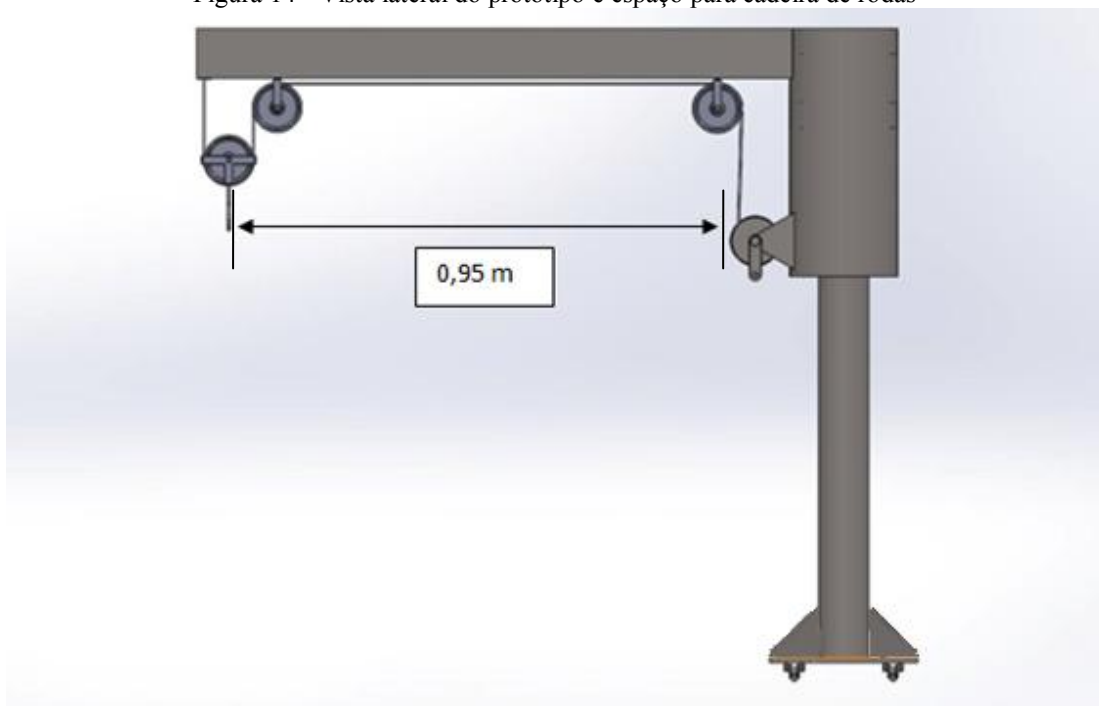
⁵ Disponível em: < <http://www.calibracaoceime.com.br/calibracao-ceime-acessibilidade-aplicacao-das-dimensoes-referenciais-para-alcance-lateral-de-pessoa-em-cadeira-de-rodas/> > Acesso em: 07 de janeiro de 2016

Figura 13 – Vista frontal do protótipo e altura



Fonte: (AUTOR, 2016)

Figura 14 - Vista lateral do protótipo e espaço para cadeira de rodas



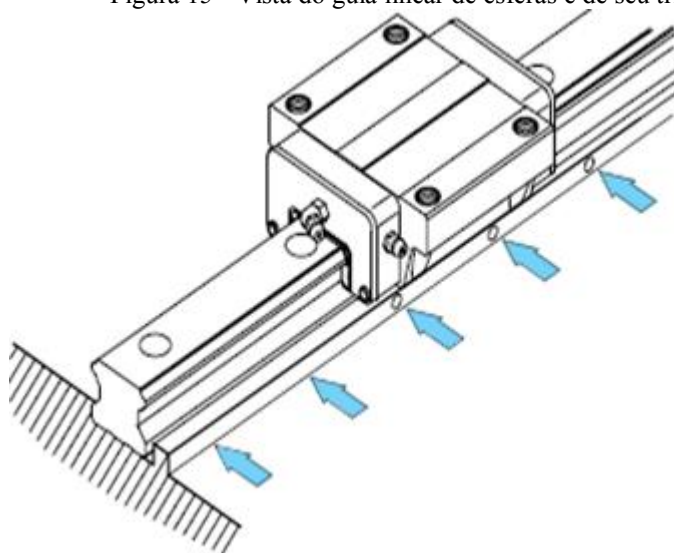
Fonte: (AUTOR, 2016)

Considerando que pouco mais da metade apenas da cadeira vá ocupar esse espaço durante o posicionamento, 950 mm será suficiente.

3.3 TRILHO

Para prover a mobilidade desejada ao longo da piscina o dispositivo deve correr sobre um trilho. A dificuldade nessa etapa foi encontrar um trilho que não apenas guie, mas também suporte o momento fletor ao qual o sistema seria sujeitado. Dentre as soluções possíveis será sugerido neste trabalho um trilho sendo percorrido por um conjunto de guias lineares de esferas, sistema semelhante aos utilizados em grandes mesas de CNC capazes de suportar e movimentar grandes cargas, representado a seguir na Figura 15 em perspectiva e na Figura 16 sua vista frontal. Lembrando apenas que devido ao meio aquoso ao qual o sistema será submetido, uma solução deve ser requerida ao fabricante caso esta solução venha a ser utilizada, os trilhos e o guia devem ser resistentes à água e as condições as quais serão expostos (caso este material não seja resistente à água, um tratamento térmico se faz necessário para viabilizar sua utilização). A correta instalação do trilho também é de fundamental importância para seu correto funcionamento.

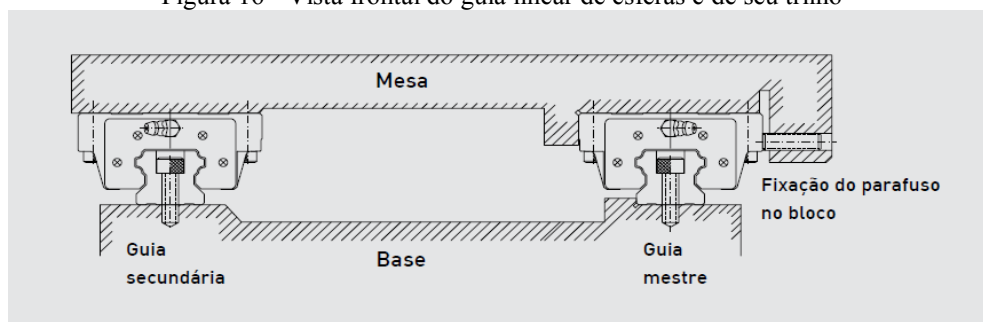
Figura 15 - Vista do guia linear de esferas e de seu trilho



Fonte: HIWIN⁶

⁶ Disponível em: < <http://www.rolamentosindustriais.com.br/catalogos/pdf/catalogo-de-guias-lineares-guia-linear.pdf> > Acesso em 12 de setembro de 2015

Figura 16 - Vista frontal do guia linear de esferas e de seu trilho



Fonte: HIWIN⁷

De posse da análise dos esforços solicitados e do catálogo fornecido pelo fabricante foi possível escolher um modelo que atenda as necessidades com margem de segurança para o momento ao qual a estrutura será sujeitada, esta seleção está explicitada na seção 4.2.2 deste trabalho.

3.4 CINTO DE SEGURANÇA:

O cinto deve prover segurança e ser de fácil colocação para viabilizar o produto final. Em pesquisas realizadas foram encontrados diversos tipos de cintos de escalada que poderiam ser vestidos e desvestidos facilmente por um sistema de fivelas, na Figura 17 é apresentado um desses modelos no formato “cadeirinha” (fixação na linha de cintura).

Figura 17 - Modelo de cinto utilizado por escaladores



Fonte: Spelaion⁸

⁷ Disponível em: < <http://www.rolamentosindustriais.com.br/catalogos/pdf/catalogo-de-guias-lineares-guia-linear.pdf> > Acesso em 12 de setembro de 2015

⁸ Disponível em: < <http://www.spelaion.com/portal/index.php/hikashop-menu-for-products-listing/product/104-cinto-abdominal-navaho-sit-fast> > Acesso em 05 de junho de 2015.

Para aumentar o equilíbrio e a segurança, é recomendada a utilização de um acessório para guiar o cabo próximo ao peito, apresentado na Figura 18, tal equipamento não exerce esforço algum, apenas auxilia na posição mantendo o usuário sempre com a cabeça para cima.

Figura 18 - Cinto de equilíbrio utilizado por escaladores



Fonte: ALTO ESTILO⁹

3.5 GUINCHO MANUAL:

Para o levantamento da carga o dispositivo deve reduzir o esforço em questão para tornar possível o levantamento do peso de um adulto, por exemplo, e ainda auxiliar na descida com segurança. Para tal problema foram encontrados guinchos manuais com redução do peso por um fator de 8 vezes.

Segundo o fornecedor, esse guincho representado na Figura 19 com suas dimensões e na Figura 20 com o detalhe da chave de segurança possui capacidade de levantamento de até 1100 kg e devem ser utilizados com um cabo de aço com 4,5 mm de diâmetro por um comprimento de até 9 metros. Devido as suas dimensões o comprimento do tubo externo precisou ser definido em 500 mm, possibilitando assim a fixação deste guincho na parte rotativa do dispositivo.

⁹ Disponível em: < <http://altoestilo.com/loja/index.php/trabalho-em-altura/peitoral-regulavel.html> > Acesso em 12 de setembro de 2015.

Figura 19 - Guincho manual

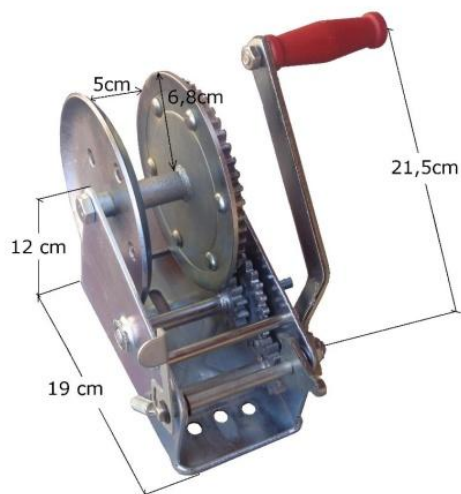
Fonte BRASUTIL¹⁰

Figura 20 - Detalhe da chave de segurança do guincho manual

Fonte BRASUTIL¹¹

Tais guinchos possuem uma chave de segurança que trava o retorno da manivela caso a força deixe de ser exercida. A descida só é possível quando pressionada essa chave.

Além da redução de 8 vezes provida pelas engrenagens do guincho será utilizada uma roldana móvel para uma redução de mais metade do peso, sendo assim uma massa de 100kg levantado por esse sistema seria equivalente a uma de 6,25 kg levantada por um sistema sem reduções.

¹⁰ Disponível em: < <http://altoestilo.com/loja/index.php/trabalho-em-altura/peitoral-regulavel.html> > Acesso em 14 de novembro de 2015.

¹¹ Disponível em: < <http://altoestilo.com/loja/index.php/trabalho-em-altura/peitoral-regulavel.html> > Acesso em 14 de novembro de 2015.

4 ANÁLISE DA ESTRUTURA

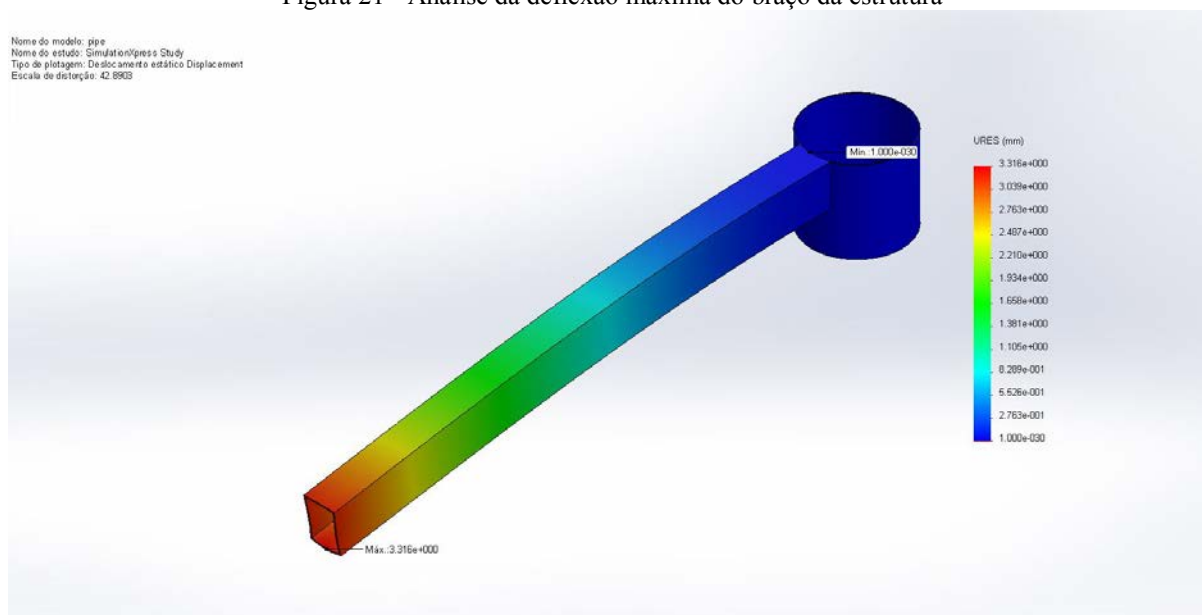
Aqui serão abordados os dimensionamentos e cálculos estruturais envolvidos no projeto, bem como o desenho do protótipo no software *Solid Works* para algumas análises. Os materiais foram selecionados de acordo com suas resistências e preços de mercado, todas as propriedades e dados foram retiradas de catálogos disponibilizados pelos fabricantes.

4.1 SIMULAÇÃO

De posse do modelo inicial em escala e dos dados fornecidos pelos fabricantes a simulação em computador pode agora ser realizada. A carga aplicada no braço soldado foi de 1200N em sua extremidade a fim de estudar os esforços sofridos e caso necessário fazer um redimensionamento da estrutura ou a troca do perfil escolhido.

Na simulação a deflexão máxima na barra de aço SAE 1020 foi medida bem como os esforços nas regiões críticas usinadas e soldadas, a máxima deflexão estimada mostrada na Figura 21 foi de 3 mm, lembrando apenas que nesta etapa a cor vermelha não representa uma região crítica ao projeto e sim a região onde a máxima deflexão ocorre.

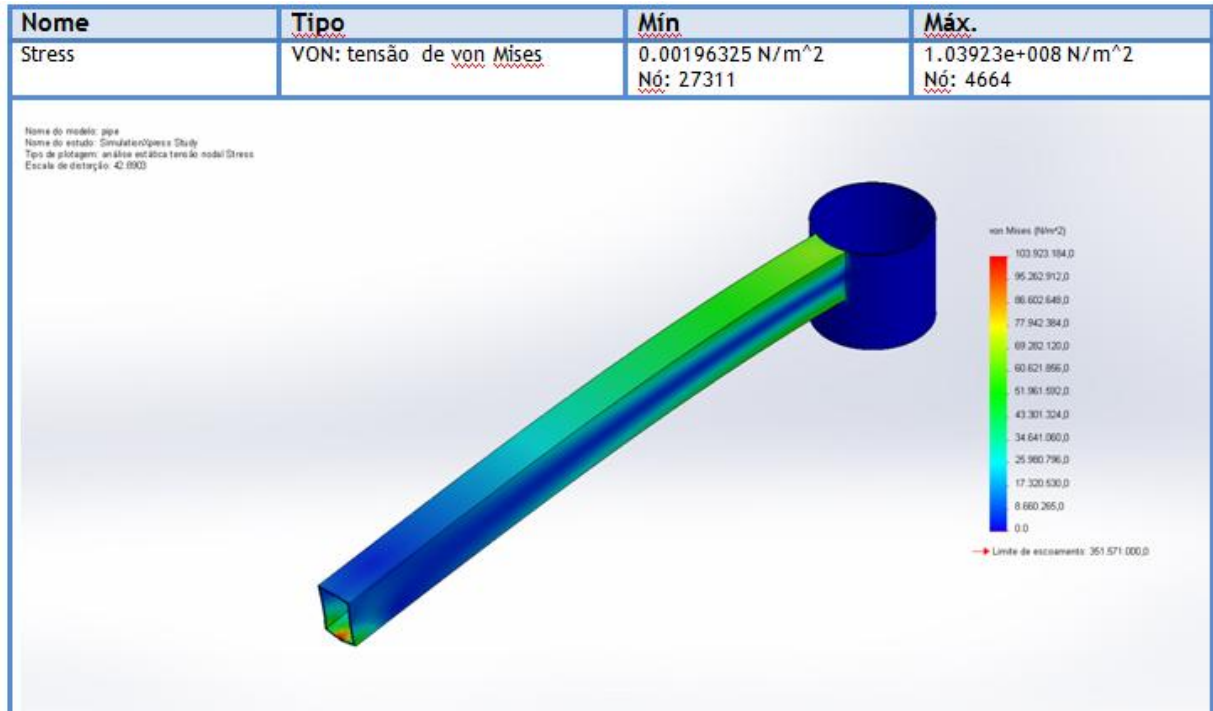
Figura 21 - Análise da deflexão máxima do braço da estrutura



Fonte: (AUTOR, 2015)

O ensaio de tensões é mostrado a seguir na Figura 22.

Figura 22 - Análise das tensões no braço e na junta soldada da estrutura

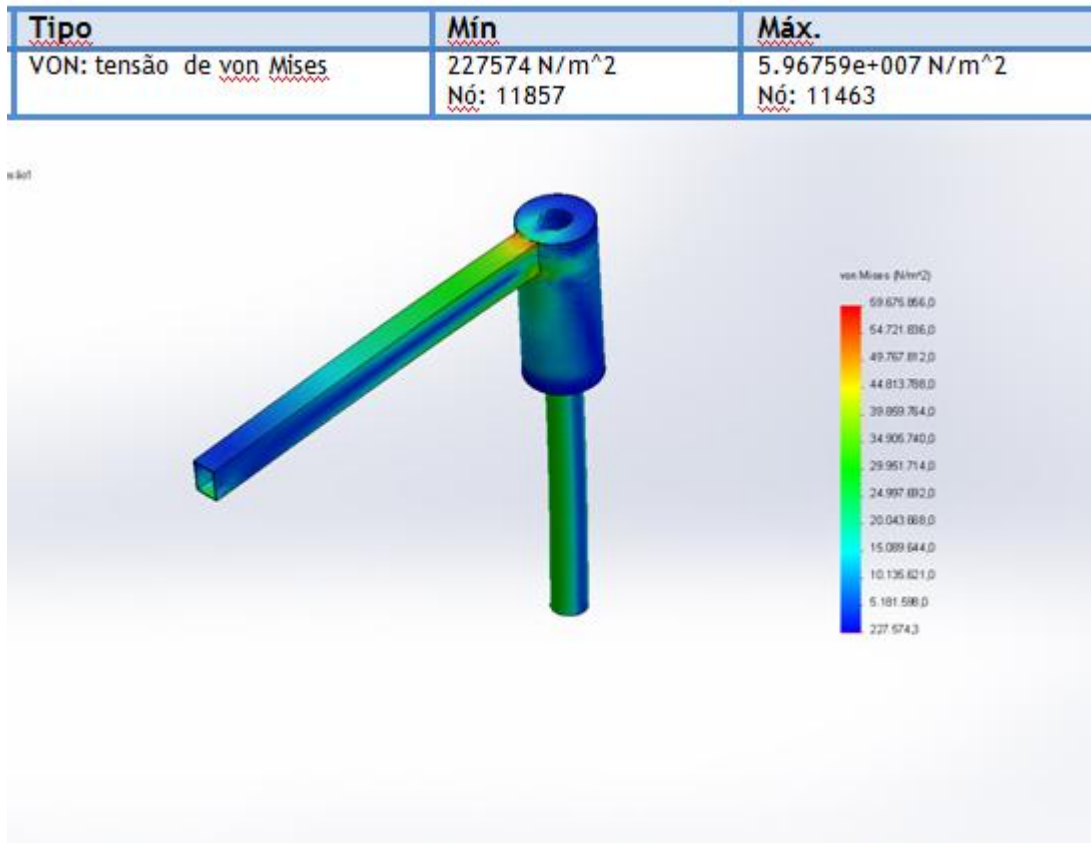


Fonte: (AUTOR, 2015)

De posse dessa análise é possível verificar pelas cores que as tensões envolvidas não chegam ao limite de escoamento do material utilizado, tornando viáveis materiais, dimensões e os perfis escolhidos para o projeto. O ponto vermelho no ensaio se dá devido à aplicação da força em um único ponto na extremidade da barra e não à uma tensão elevada.

Quando ensaiada as tensões em toda a estrutura e com a força aplicada em uma pequena área circular para evitar o erro anterior, vê-se na Figura 23 que o projeto teve uma máxima tensão estimada em 59,67 MPa.

Figura 23 - Tensões atuantes em todo o corpo da estrutura



Fonte: (AUTOR, 2016)

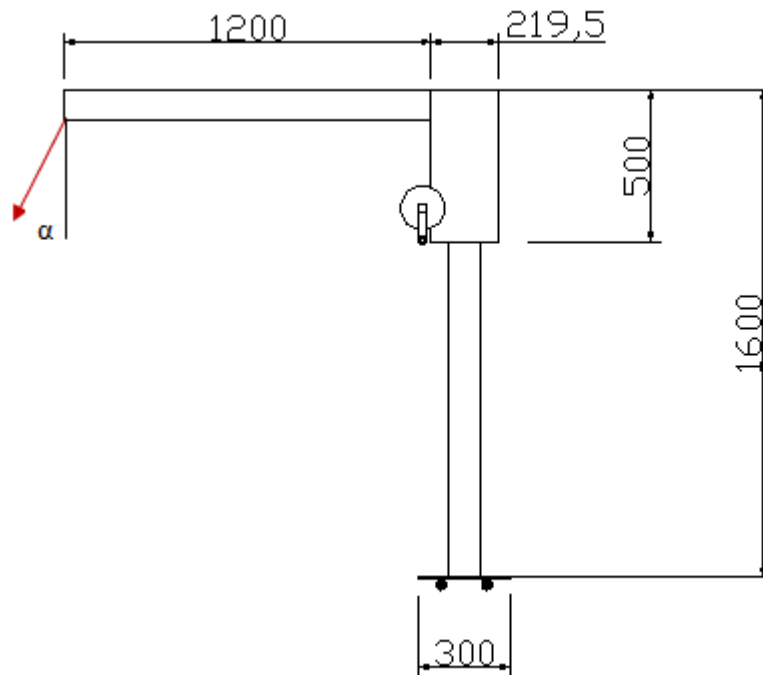
Com um limite de escoamento para esse material estipulado pelo programa em 351,57 MPa são agora aceitos os perfis e diâmetros escolhidos inicialmente para o projeto do corpo do dispositivo.

4.2 OUTROS DIMENSIONAMENTOS

Alguns esforços são necessários para o correto dimensionamento do guia linear de esferas e dos rolamentos de rolos cônicos, a seguir são apresentados esses valores.

Sendo α um ângulo entre a direção do cabo e a vertical, como representado esquematicamente na Figura 24.

Figura 24 - Esquema da força envolvida e de seu ângulo



Fonte: (AUTOR, 2016)

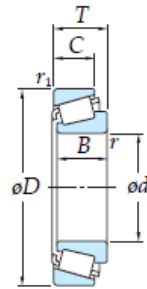
Para cobrir todas as possibilidades de esforços com segurança o modelo foi ensaiado para um ângulo α igual a 0° e 90° .

4.2.1 Rolamentos

Do catálogo de rolamentos de rolos cônico foram retiradas as resistências do modelo previamente selecionado.

Da Tabela 1, tem-se que a mínima resistência para um rolamento com as dimensões utilizadas é de 318 kN de carga dinâmica, este valor será utilizado para garantir a segurança do projeto.

Tabela 1 - Dados catalogados para um rolamento de rolos cônicos



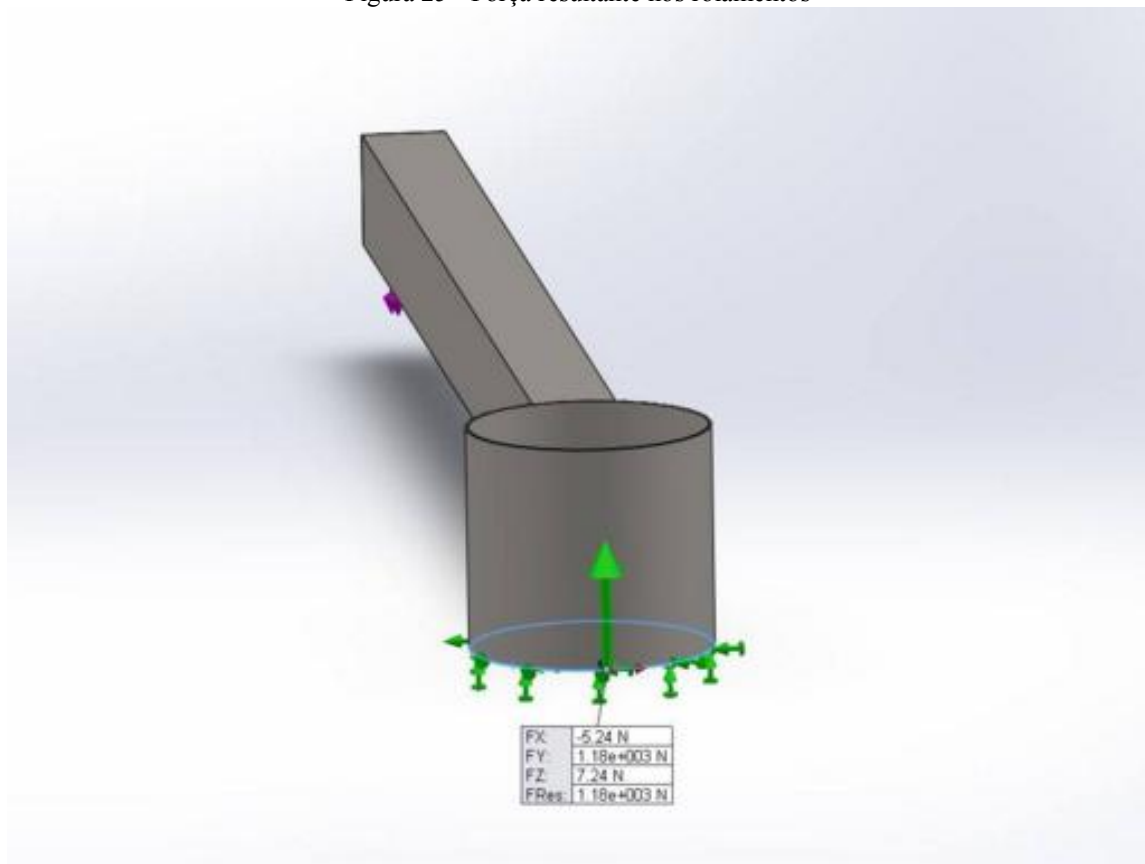
d	Dimensões externas (mm)						Índices de carga básica (kN)		Velocidades limitantes (min^{-1})		Nº do Rolamento	(Refer.) Série de dimensão da ISO355	(Refer.) Massa (kg)
	D	T	B	C	r mín.	r_1 mín.	C_r	C_{0r}	Lub. c/ graxa	Lub. c/ óleo			
100	140	25	25	20	1,5	1,5	126	217	2.400	3.300	32920JR 32020JR 33020JR	2CC	1,19
	150	32	32	24	2	1,5	185	298	2.400	3.200		4CC	1,95
	150	39	39	32,5	2	1,5	231	397	2.400	3.200		2CE	2,40
	165	52	52	40	2,5	2	325	523	2.200	3.000	33120JR	3EE	4,29
	180	37	34	29	3	2,5	258	338	2.100	2.800	30220JR	3FB	3,83
	180	49	46	39	3	2,5	347	495	2.100	2.800	32220JR	3FC	5,21
	180	63	63	48	3	2,5	431	680	2.100	2.800	33220JR	3FE	6,92
	215	51,5	47	34	4	3	318	374	1.500	2.100	30320D	—	8,02
	215	51,5	47	39	4	3	344	400	1.800	2.400	30320	—	7,76
	215	51,5	47	39	4	3	422	521	1.800	2.400	30320JR	2GB	8,49
	215	56,5	51	35	4	3	373	459	1.500	2.200	31320JR	7GB	8,72
	215	77,5	73	60	4	3	579	783	1.800	2.400	32320JR	2GD	13,0

Fonte: KOYO¹²

Para calcular o esforço solicitante no rolamento foram novamente modelados os esforços atuantes na estrutura do braço, conforme Figura 25.

¹² Disponível em: < <http://www.koyo.com.br/pdf/prod2.pdf> > Acesso em: 12 de setembro de 2015

Figura 25 - Força resultante nos rolamentos



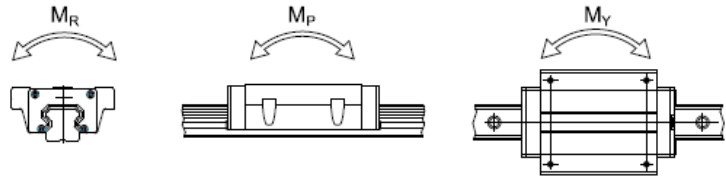
Fonte: (AUTOR, 2016)

Na simulação foi obtida uma força resultante de 1,18 kN na região em análise, considerando apoio em todo o seu interior esta região representa o peso colocado sobre um rolamento, quando comparado com o limite tabelado tem-se um superdimensionamento dos rolamentos, isso se deu devido as grandes geometrias envolvidas no projeto.

4.2.2 Guia Linear de Esferas

Para a seleção deste equipamento o catálogo da empresa HIWIN foi utilizado. O fabricante recomenda uma boa aproximação para um arranjo como sendo a divisão do esforço pelo número de guias lineares utilizados. Na Tabela 2 é fornecido para este tipo de problema os valores de momento crítico de cada peça do arranjo.

Tabela 2 - Valores tabelados para o guia linear de esferas.



Nº Modelo	Dimensões de Montagem (mm)			Dimensões do Bloco (mm)													Dimensões do Trilho (mm)					Montagem do Parafuso no Trilho (mm)	Carga Dinâmica C (kN)	Carga Estática C ₀ (kN)	Momento Estático			Peso			
	H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L ₁	L	G	M	T	T ₁	T ₂	H ₂	H ₃	W ₁	H ₄	D	h	d				P	E	M _x (kN-m)	M _y (kN-m)	M _z (kN-m)	Bloco (kg)	Trilho (kg/m)
QHW15CC	24	4	16	47	38	4.5	30	39.4	61.4	5.3	M5	6	8.9	6.95	3.95	4.2	15	15	7.5	5.3	4.5	60	20	M4x16	13.88	14.36	0.1	0.08	0.08	0.17	1.45
QHW20CC	30	4.6	21.5	63	53	5	40	50.5	76.7	12	M6	8	10	9.5	6	6	20	17.5	9.5	8.5	6	60	20	M5x16	23.08	25.63	0.26	0.19	0.19	0.40	2.21
QHW20HC								65.2	91.4																						
QHW25CC	36	5.5	23.5	70	57	6.5	45	58	83.4	12	M8	8	14	10	6	4.5	23	22	11	9	7	60	20	M6x20	31.78	33.68	0.39	0.31	0.31	0.59	3.21
QHW25HC								78.6	104																						
QHW30CC	42	6	31	90	72	9	52	70	97.4	12	M10	8.5	16	10	6.5	6	28	26	14	12	9	80	20	M8x25	46.49	48.17	0.6	0.5	0.5	1.09	4.47
QHW30HC								93	120.4																						
QHW35CC	48	7.5	33	100	82	9	62	80	113.6	12	M10	10.1	18	13	8.5	6.5	34	29	14	12	9	80	30	M8x25	60.52	63.84	1.07	0.76	0.76	1.56	6.30
QHW35HC								105.8	139.4																						
QHW45CC	60	9.2	37.5	120	100	10	80	97	139.4	12.9	M12	15.1	22	15	8.5	10	45	38	20	17	14	105	22.5	M12x35	89.21	94.81	1.83	1.38	1.38	2.79	10.41
QHW45HC								128.8	171.2																						

Nota : 1 kgf = 9.81 N

Fonte: HIWIN¹³

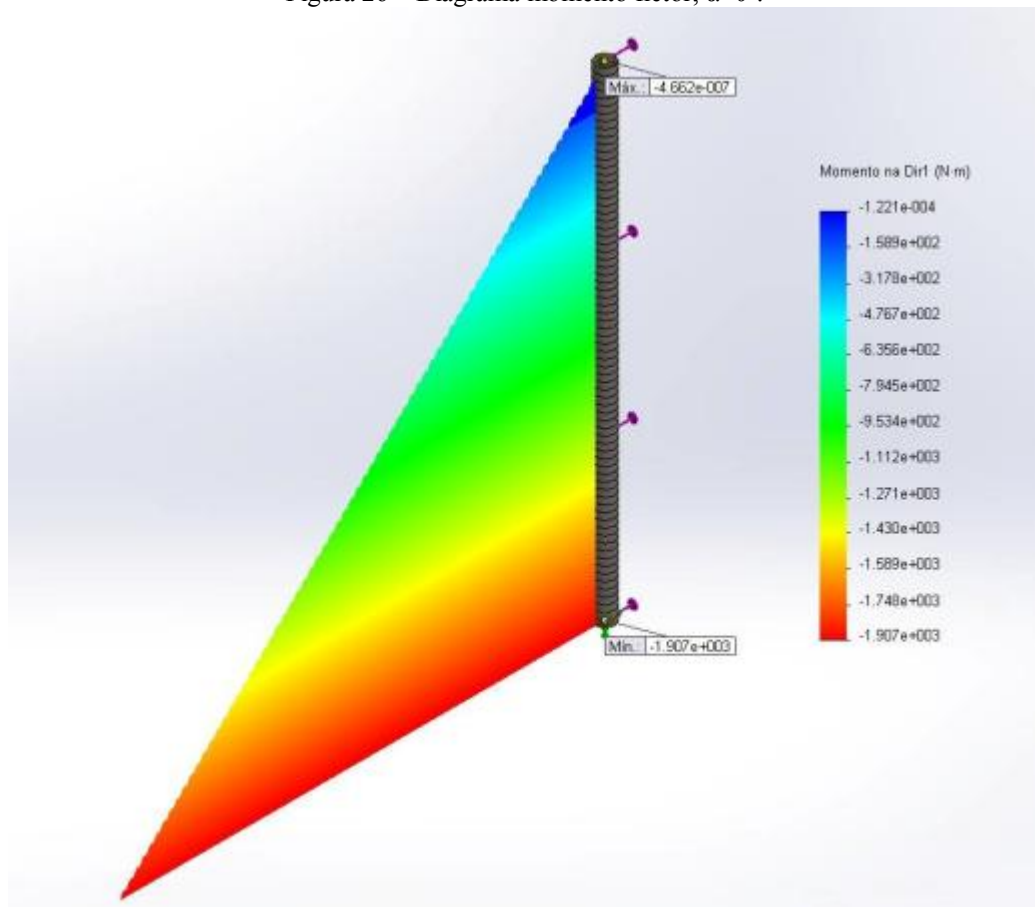
É necessário agora analisar os esforços solicitantes em cada uma das duas configurações de ângulos extremos.

4.2.2.1 Guia Linear de Esferas em ângulo $\alpha = 0^\circ$

Para este tipo de configuração o diagrama momento fletor do corpo do dispositivo é representado na Figura 26, lembrando apenas que o valor encontrado deve ainda ser dividido pelo número de guias do arranjo.

¹³ Disponível em: < <http://www.rolamentosindustriais.com.br/catalogos/pdf/catalogo-de-guias-lineares-guia-linear.pdf> > Acesso em 12 de setembro de 2015

Figura 26 – Diagrama momento fletor, $\alpha=0^\circ$.

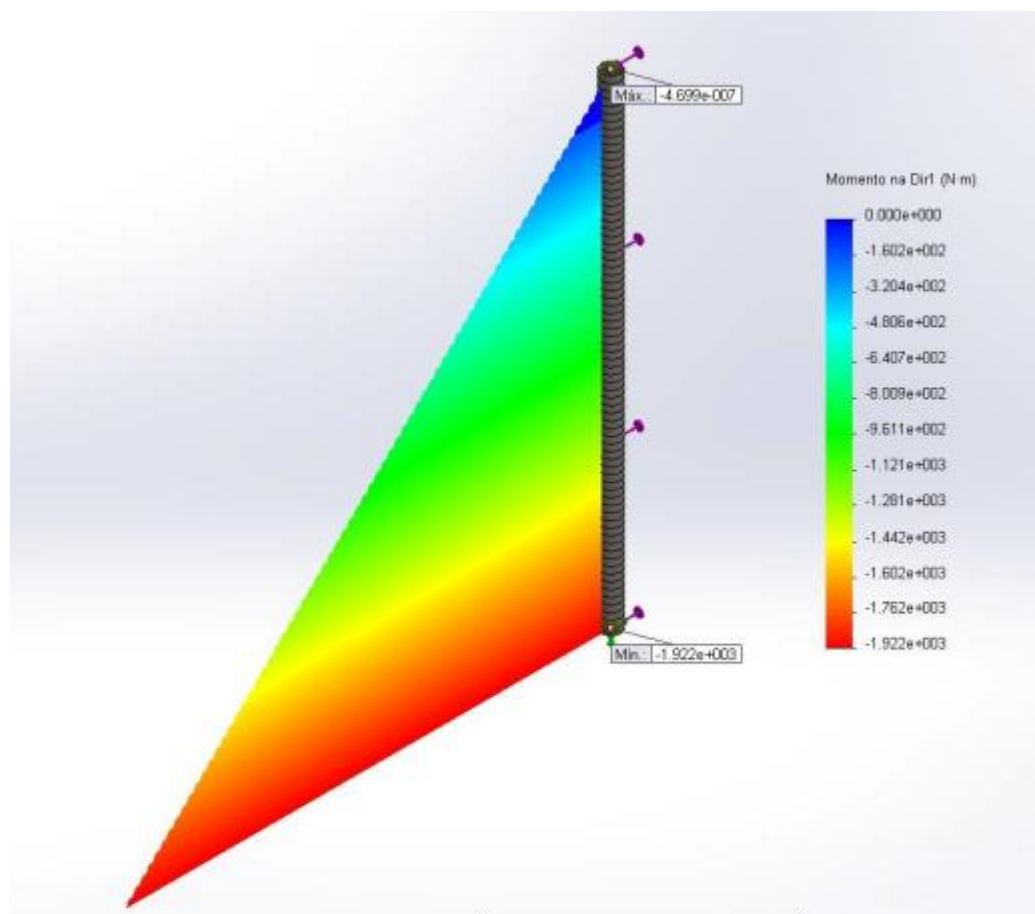


Fonte: (AUTOR, 2016)

O programa considera a força aplicada e o peso da estrutura para o cálculo deste diagrama. O momento máximo para estas condições ensaiadas foi de 1,907 kN.m.

4.2.2.1 Guia Linear de Esferas em ângulo $\alpha = 90^\circ$

Novamente foi gerado o diagrama de momento fletor do dispositivo considerando seu peso e a carga de 1200 N nele aplicada, mas agora um ângulo de 90° entre o cabo e a horizontal foi utilizado. Esse diagrama é apresentado na Figura 27.

Figura 27- Diagrama momento fletor, $\alpha=90^\circ$.

Fonte: (AUTOR, 2016)

Neste caso o momento crítico estimado na base foi de 1,922 kN.m, e por ser maior do que o encontrado na configuração de $\alpha = 0^\circ$ este valor deve ser utilizado para o projeto. Dividindo o máximo momento encontrado por 4 (conforme sugestão do fabricante), tem-se uma resistência limite necessária ao guia igual a 0,48 kN.m, da tabela de guias tem-se diversos modelos com resistência superior a essa encontrada e com dimensões cabíveis ao projeto inicial. Fica aqui portanto estipulado o modelo de resistência 0,89 kN.m para uma maior segurança.

Resta agora verificar a resistência dos parafusos fixados em concreto para instalação dos trilhos, para tal dimensionamento foi utilizado o peso de massa igual a 122 kg para levantamento (carga de aproximadamente 1200N) a fim de garantir a segurança da maioria dos possíveis usuários, com mais 45 kg da estrutura estimados pelo software de modelagem (441 N) totalizando 167 kg, ou 1641 N. Sendo a carga dividida em 2 trilhos, cada parafuso irá suportar no máximo $167 / 2$ kg, ou 83,5 kg.

Da Tabela 3 tem-se que a resistência no concreto é de 200 kg para cada bucha, fica evidente o superdimensionamento do projeto.

Tabela 3 - Valores tabelados para parafusos fixados em diferentes materiais.

Tabela de Cargas							
Cargas recomendadas F_{rec} ¹⁾ {Kg} e Carga Média de ruptura $F_{u,m}$ {Kg}							
Bucha		UX6		UX8		UX10	
Diâmetro da perfuração	(mm)	6		8		10	
Profundidade da perfuração	(mm)	45		60		75	
Diâmetro do parafuso	(mm)	4-5		4.5-6		6-8	
Material base		$F_{rec}^{1)}$	$F_{u,m}$	$F_{rec}^{1)}$	$F_{u,m}$	$F_{rec}^{1)}$	$F_{u,m}$
Concreto > C12/15	(Kg)	40	240	60	250	100	580
Tijolo maciço > Mz 12 (DIN 105)	(Kg)	20	200	30	210	50	370
Tijolo perfurado > Ksl 12 (DIN 106)	(Kg)	40	260	50	320	60	440
Concreto celular > PB2	(Kg)	5	40	15	70	20	110
Concreto celular > PB4	(Kg)	20	100	30	170	40	270
Placas de gesso 12.5mm	(Kg)	10	50	10	60	10	60
Placas de gesso 2 x 12.5mm	(Kg)	15	70	15	80	20	110

Estes dados são válidos utilizando-se parafusos rosca madeira de maior diâmetro possível recomendado.
As cargas estão calculadas tomando as maiores distâncias da borda e entre os eixos de fixação.
A bucha estará fixada a profundidade máxima da base resistente.

1) Cargas calculadas com o coeficiente de segurança correspondente.

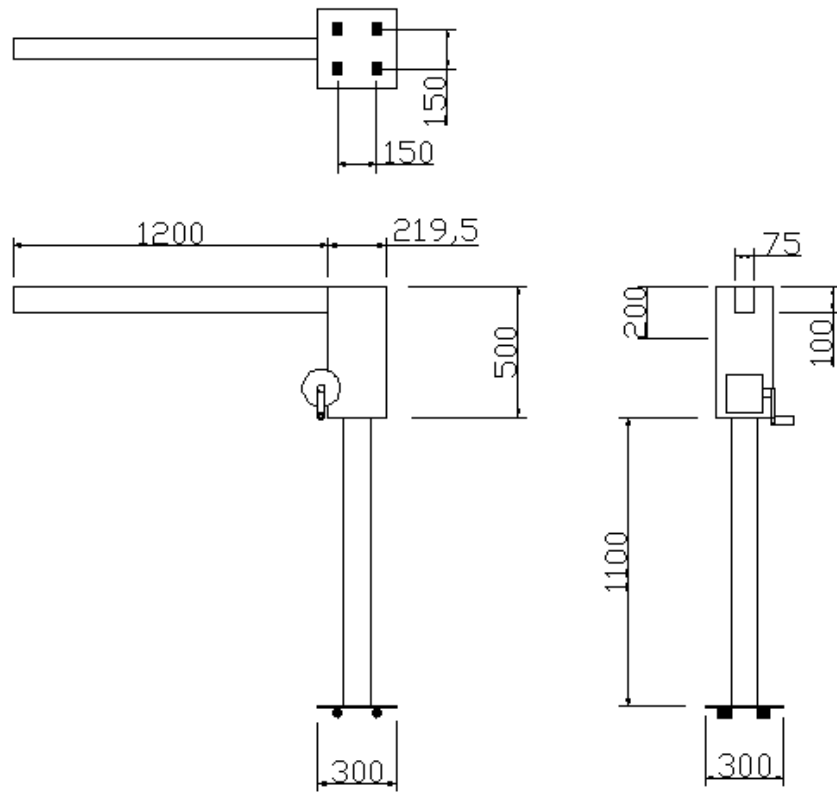
Fonte: catálogo FISHER¹⁴

4.3 DIMENSÕES FINAIS

Uma vez dimensionados e testados as partes do protótipo é possível agora o desenho final com as dimensões envolvidas. Na Figura 28 são representadas esquematicamente no 3º diedro as dimensões necessárias para a confecção da estrutura do dispositivo final, tal esquema de vistas foi utilizado para melhor apresentar a distribuição dos componentes da base do dispositivo. Os acessórios não serão aqui representados por serem comerciais, e as tolerâncias também não serão aqui mostradas neste esquema por já terem sido explicitadas neste trabalho a fim de tornar o desenho mais simples e facilitar o entendimento do sistema.

¹⁴ Disponível em: < http://www.lojadosparafusos.com.br/index_arquivos/Page3409.htm > Acesso em 07 de janeiro de 2016

Figura 28 - Cotas para montagem



Fonte: (AUTOR, 2016)

5 CONCLUSÃO

Apenas com objetos encontrados em catálogos foi possível o projeto de todo o dispositivo. Com um valor estipulado em cerca de R\$ 4000,00 (sem contar os custos envolvidos na usinagem e instalação) foi possível substituir um aparelho de R\$20 000,00 e ainda melhorar as possibilidades de tratamentos devido a maior mobilidade. Fica ainda este protótipo em aberto para futuras melhorias como a automação no levantamento da carga, à custa do aumento no preço de fabricação.

REFERÊNCIAS

LOPES, K. R.; FORTES, P. B.; OLIVEIRA, S. G. Hidrocinesioterapia no tratamento da paralisia cerebral. **Neurociências**, v. 2, n. 3, p. 151-155, 2005.

BEER, F. P.; JOHNSTON JUNIOR, E. R. **Mecânica vetorial para engenheiros: estática**. 5. ed. Rio de Janeiro: Makron Books, 1999. 793 p.

AZEVEDO, A. F. M. **Método dos Elementos Finitos**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. ABNT, **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**: normas técnicas. p. 6, 2004

HIWIN. **CATÁLOGO de rolamentos de guias lineares de esferas HIWIN**. São Paulo. Disponível em:< <http://www.rolamentosindustriais.com.br/catalogos/pdf/catalogo-de-guias-lineares-guia-linear.pdf> >. Acesso em: 12 de setembro de 2015.

TUBOS OLIVEIRA. **CATÁLOGO de tubos Oliveira**. São Paulo, 2013. Disponível em:< <http://www.tubosoliveira.com.br/images/catalogo-2013.pdf> >. Acesso em: 09 de janeiro de 2016.

KOYO. **CATÁLOGO de rolamentos de rolos cônicos Koyo**. São Paulo. Disponível em:< <http://www.koyo.com.br/pdf/prod2.pdf> >. Acesso em: 09 de janeiro de 2016.