

CENTRO UNIVERSITARIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG  
ENGENHARIA MECÂNICA  
ANTONIO OTTO NEVES FILHO

N. CLASS. MG24.171  
CUTTER N 518a  
ANO/EDIÇÃO 2012

ANÁLISE ESTRUTURAL DO SISTEMA DE ACOPLAGEM DE RAMPA A  
CADEIRAS DE RODAS

Varginha  
2012

**FEPESMIG**

**ANTONIO OTTO NEVES FILHO**

**ANÁLISE ESTRUTURAL DO SISTEMA DE ACOPLAGEM DE RAMPA A  
CADEIRAS DE RODAS**

Monografia apresentada ao curso Engenharia Mecânica  
do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG  
como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel  
sob orientação do Professor Alexandre de Oliveira  
Lopes.

Varginha  
2012

**FEPEMIG**

**ANTONIO OTTO NEVES FILHO**

**ANÁLISE ESTRUTURAL DO SISTEMA DE ACOPLAGEM DE RAMPA A  
CADEIRAS DE RODAS**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia  
Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas –  
UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau  
de bacharel pela Banca examinadora compostas pelos  
membros:

Aprovado em     /     /

---

Prof. Me. Alexandre de Oliveira Lopes

---

Prof. Me. Altamiro Caldonazo Junior

---

Prof. Esp. João Mário Mendes de Freitas

OBS.:

Dedico este trabalho é em homenagem a todos que me apoiaram nesses cinco anos de luta a fim de me tornar um Engenheiro Mecânico; em foco cito a luta de minha mãe pra me ajudar a trilhar esse caminho, e em homenagem póstuma ao meu amado pai.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que me apoiaram nesse projeto, que já venho desenvolvendo à alguns anos via projetos de Iniciação Científica. Obrigado mãe, amigos, e toda a equipe da faculdade que organizam os eventos da Iniciação e colaboradores em geral que me derem algumas diretrizes pra que pudesse aperfeiçoar o projeto.

“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos  
é um oceano.”

Isaac Newton

## RESUMO

Com este trabalho de conclusão de curso, encerra-se o ciclo de estudos a cerca da criação do sistema de adaptação pra cadeiras de rodas convencionais. Esta ultima etapa é focada na análise da estrutura dos elementos desse sistema; isto é, um estudo sobre o comportamento de cada elemento sobre os efeitos do peso dos mesmos juntamente com o do usuário. Para fins comparativos serão apresentados os elementos com base em estudos anteriores, seus resultados e o novo dispositivo após as mudanças. Será dada ênfase a alguns elementos do sistema. No encerramento deste estudo ter-se-á toda a análise precisa e informações para a confecção do sistema, resguardando-se dados considerados como detalhes construtivos.

**Palavras-chave:** Acessibilidade. Cadeira de rodas. Análise estrutural.

## **ABSTRACT**

*With this completion of course work, terminating the cycle of studies about the creation of the system to adapt to conventional wheelchairs. This last step is focused on analysis of the structure of the elements of this system, i.e., a study on the behavior of each element on the effects of the weight thereof with the user. For comparative purposes, we present the elements based on previous studies, their results and the new device after the changes. Emphasis will be given to some elements of the system. At the conclusion of this study will have all the information and analysis needs for the manufacturing system, protecting data is considered as constructive details.*

**Keyword:** *Wheelchair. Adaptation. Accessibility. Structural analysis*



## LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Vista isométrica .....       | 19 |
| Figura 2 - Vista detalhada .....        | 20 |
| Figura 3 - Ensaio de deslocamento ..... | 21 |
| Figura 4 - Ensaio de deformação .....   | 22 |
| Figura 5 - Tensão .....                 | 22 |

## LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Nome e função principal de cada peça do mecanismo..... 20

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Propriedades mecânicas do SAE 1020..... | 18 |
|--|----|

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                               | <b>12</b> |
| <b>2 HISTÓRIA DE PESQUISA .....</b>                     | <b>13</b> |
| <b>3 BASE DE NORMATIZAÇÃO E CONDUTA DO PROJETO.....</b> | <b>15</b> |
| <b>4 QUANTO A ANÁLISE POR SIMULAÇÃO .....</b>           | <b>17</b> |
| <b>5 DETALHAMENTO DA NOVA ANÁLISE .....</b>             | <b>18</b> |
| 5.1 Material .....                                      | 18        |
| 5.2 Carga .....   | 18        |
| 5.3 Método.....   | 19        |
| 5.4 Características do atual modelo.....                | 19        |
| <b>6 SIMULAÇÕES.....</b>                                | <b>21</b> |
| 6.1 Deslocamento.....                                   | 21        |
| 6.2 Deformação.....                                     | 21        |
| 6.3 Tensão.....   | 22        |
| <b>7 CONCLUSÕES .....</b>                               | <b>23</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                 | <b>24</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Focado em análise estrutural este trabalho não será a criação de nenhum equipamento, sim a avaliação das condições do modelo proposto por trabalhos anteriores.

Com base no que foi projetado nos últimos cinco anos, esta análise irá apontar a resistência destes mecanismos a carga peso resultante da combinação das massas do usuário e dos próprios componentes.

Assim ao executar essas análises, serão propostas novas arquiteturas, formas de elementos, o que não implicará em mudanças significativas no sistema, logo toda e qualquer alteração dessa etapa não será de grande mudança estrutural, apenas mudará a capacidade de suportar a carga peso.

Todo esse esforço é justificado por se tratar de um equipamento de apoio pra quem usa da cadeira de rodas como seu meio de transporte, logo deve-se ter algo seguro, resistente confiável o bastante para que usem em seu meio de transporte. Fora que assim são minimizados custos de testes com protótipos (não será construído nenhum neste projeto).

## 2 HISTÓRIA DE PESQUISA

Este projeto vem sendo desenvolvido desde 2008; iniciado com um modelo que evoluiu a cada nova fase de pesquisa e estudo. Ao longo dos anos, tanto aluno quanto estudante (e criador) foram se desenvolvendo, assim o projeto muito além de uma causa social e um apoio aos usuários de cadeira de rodas, é uma representação de tudo aquilo que foi visto, aprendido e valorizado nesses últimos cinco anos.

O projeto tornou-se algo importante por ser a forma de mostrar a evolução que podemos ter, além de fatores socioeconômicos.

Ele foi iniciado em meados de Junho de 2008, com o intuito de ser exposto então no Terceiro Encontro de Iniciação Científica do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis/MG; sendo que neste evento o projeto chamou a atenção da faculdade, que ofereceu uma bolsa de pesquisa para que se desse início ao desenvolvimento do projeto.

Assim, em 2009, a pesquisa seguiu com o nome de DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE UMA CADEIRA DE RODAS COM UMA RAMPA ACOPLADA, no qual consistiu no levantamento de dados e na elaboração de desenhos bidimensionais e tridimensionais em CAD do sistema mecânico. O sistema consistia em um mecanismo instalado na base de apoio do braço da cadeira que possibilitaria ao portador travar e destravar a rampa.

Após um ano de pesquisa, já em 2010, o projeto seguiu em pesquisa de modo extra-oficial, não tendo nenhum vínculo de pesquisa com a instituição. Já em meados de Junho novamente, já a convite da faculdade, novamente o projeto pleiteou outra bolsa, essa para o ano de 2011.

Quando em 2011, o nome dado a pesquisa foi DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE UMA CADEIRA DE RODAS COM UMA RAMPA ACOPLADA. O projeto teve a meta de construir um protótipo (virtual) a partir dos dados da pesquisa realizada no ano de 2009. Logo a etapa de 2011, seria apenas a construção do modelo, porém ao se realizar a montagem virtual e tentar simular a ação dos componentes, foi detectado um erro no projeto de 2009. Tal erro inutilizava o projeto, logo então foi preciso reformular o modelo, de modo a usar elementos não antes usados e simplificar as uniões entre membros, com essas mudanças, o projeto continuou com o enfoque de criar um equipamento que não seja de alto custo, entretanto que fosse eficiente. Durante o período de reformulação, houve basicamente duas opções para serem seguidas, optou-se pela que utilizava uma mola de torção, e a partir desse meio, o projeto seguiu seu curso de desenvolvimento.

Assim chegamos em 2012, ano no qual o projeto não tem vínculo com bolsa de pesquisa, e sim é usado para encerrar as atividades de meio acadêmico, como sendo a tese para concluir o curso, assim o proposto para este ano, é analisar o projeto quanto à parte estrutural, material e dimensional.

### 3 BASE DE NORMATIZAÇÃO E CONDUTA DO PROJETO

O usuário (a) de cadeira de rodas possui grandes dificuldades quanto a sua autonomia de locomoção no âmbito urbano, tal como a ausência do cumprimento das normas estabelecidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

As normas brasileiras (NBR) são as diretrizes que os profissionais de Engenharia e Arquitetura devem seguir em seus projetos a fim de garantir a segurança mínima, os meios corretos de se construir, e assegurar a acessibilidade. Além de serem leis sancionadas e aprovadas como leis federais.

Assim, os parâmetros base para esse projeto que é voltado à acessibilidade requer uma grande atenção quanto à principal norma dessa área; a ABNT NBR 9050:2004. Isso pode ser declarado conforme a seguinte citação.

#### 1 Objetivo

1.1 Esta Norma estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quando do projeto, construção, instalação e adaptação de edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos às condições de acessibilidade.

1.2 No estabelecimento desses critérios e parâmetros técnicos foram consideradas diversas condições de mobilidade e de percepção do ambiente, com ou sem a ajuda de aparelhos específicos, como: próteses, aparelhos de apoio, cadeiras de rodas, bengalas de rastreamento, sistemas assistidos de audição ou qualquer outro que venha a complementar necessidade individual. [...]. (NBR 9050, 2004, p. 01).

Seguindo os princípios da norma, pode-se isolar e apontar certos trechos que dão uma maior clareza de pontos a se levar em consideração para confeccionar uma rampa, tendo que se ressaltar que trata de rampas estáticas, e não dinâmicas como é proposto pelos projetos anteriores.

O órgão de gestão regional poderá definir um tipo padrão de revestimento do passeio para determinada área de sua jurisdição;

- inclinação transversal da superfície de no máximo 3% para pisos externos [...];
- inclinação longitudinal máxima de 5%, pois, acima desta inclinação o piso será considerado rampa;
- no caso do piso apresentar grelhas e juntas de dilatação, estas deverão estar preferencialmente fora do fluxo principal de circulação. Quando instaladas transversalmente em rotas acessíveis, os vãos resultantes devem ter no sentido transversal ao movimento, dimensão máxima de 15 mm [...]. (TORRES, 2006, p. 27).

Ainda seguindo nessa linha de isolamento de trechos importantes ao projeto, sobre as rampas estáticas o dimensionamento mínimo para a mesma é de grande importância.

Na concepção de projetos deve ser considerada a projeção no piso de um módulo de referência de 80 cm por 1,20 m [...]. As dimensões da cadeira de rodas [...] são



importantes, mas, deve-se considerar o espaço demandado para movimentação, aproximação, transferência e rotação. (TORRES, 2006, p. 23).

Mais um esclarecimento quanto às normas de acessibilidade; não é apenas a ABNT NBR 9050:2004 a tratar desses pontos. Existem outras que tratam de pontos isolados que não apontados nesta, porém a mais ampla e a que trata do tema pertinente a rampas de acesso e de outros quesitos ligados aos usuários de cadeiras de rodas.

#### 4 QUANTO A ANÁLISE POR SIMULAÇÃO

O projeto foi desenvolvido em 2009 usando um software de CAD (*Computer Aided Design*), passou por uma reconstrução virtual em 2011, e então submetido a uma análise por meio de simulação de movimentação.

Esta mostrou a necessidade de ajuste que foram feito e assim o sistema tornava-se viável. Porém a simulação era feita com materiais e cargas indefinidas; logo só se percebia a ausência de conflitos de peças em movimento.

Partindo desse ponto, será imposta a estrutura condições reais de material e de carga. Assim poderá ser mostrando a real capacidade desse sistema; sendo que pode mostrar a necessidade de reforços ou de pontos a serem aliviados, o que tende a reduzir custos.

## 5 DETALHAMENTO DA NOVA ANÁLISE

Para fundar a análise da deformação do mecanismo, serão fixados valores para carga aplicada e material usado. Desta carga pode-se retirar as deflexões causadas pela junção do ângulo e peso aplicados as partes em estudo.

### 5.1 Material

O material estabelecido para a rampa foi o aço SAE 1020. Por ser um aço mais comum no mercado e de ter um custo mais reduzido. Além de que esse aço já está na biblioteca de dados do software usado no desenvolvimento da pesquisa; o SolidWorks®.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do SAE 1020

|                        |              |                   |
|------------------------|--------------|-------------------|
| Módulo Elástico        | 2,00E+11     | N/m <sup>2</sup>  |
| Módulo de Cisalhamento | 7.7e+010     | N/m <sup>2</sup>  |
| Densidade              | 7900,00      | kg/m <sup>3</sup> |
| Resistência à Tração   | 420507000,00 | N/m <sup>2</sup>  |
| Condução térmica       | 47,00        | W/m.K             |

Fonte: SolidWorks

### 5.2 Carga

Sobre dados de peso médio do brasileiro e com um fator de segurança estabelecido em 1,15; o que significa um acréscimo 15% da carga aos cálculos; tudo isso a fim de dimensionar um sistema seguro. Assim foi estabelecida a carga de 250,00 kg, que é o valor mínimo ao qual um acento para pessoas obesas deva resistir, como indicado pela ABNT.

8.2.1.3.3 Os assentos para P.O. devem ter largura equivalente à de dois assentos adotados no local e possuir um espaço livre frontal de no mínimo 0,60 m, conforme figura 152. Estes assentos devem suportar uma carga de no mínimo 250 kg. (NBR 9050, 2004, p. 83).

Logo o sistema deverá suportar uma carga de 287,50 kg. Isto é, a força aplicada no sistema de 2819,411875 N, dada a aceleração da gravidade em sua totalidade (9,80665 m/s<sup>2</sup>), conforme vemos na equação abaixo, que já divide o valor por dois em referência a carga ser distribuída igualmente entre as duas rampas do sistema.

Equação 1 - Cálculo da carga suportada por cada rampa

$$F_{Rampa} = \frac{287,50kg * 9,80665 \frac{m}{s^2}}{2} = 1409,7059375N$$

Fonte: O autor.

### 5.3 Método

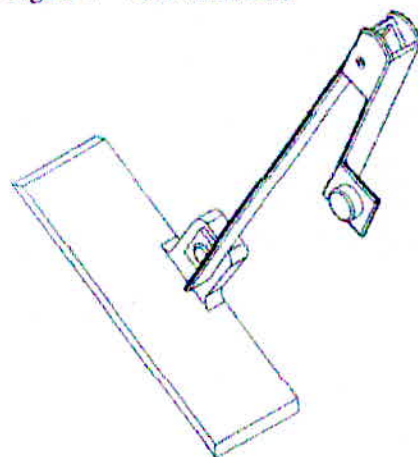
Para efetuar a análise, primeiramente será aplicada ao modelo existente a carga e o material definido, descritos anteriormente. Para esse teste, a rampa estará posicionada com uma das partes sobre a calçada e a outra apoiada no asfalto, isso a deixa em situação onde haverá maior solicitação e menor apoio. E pelas simulações de flexão sobre a rampa da carga, pode-se avaliar se o sistema está super dimensionado, ou precisa de melhoramentos. Isso, pois essa análise tem o foco de aperfeiçoar esse mecanismo tornando o mais próximo possível da realidade.

Ainda sobre a aplicação da carga, o valor da força aplicada (2819,411875 N) será repartido igualmente entre as rampas que constituem o sistema, logo cada rampa arcará com a responsabilidade de suportar 1409,7059375 N.

### 5.4 Características do atual modelo

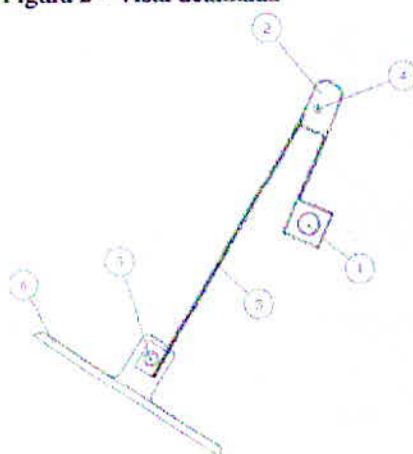
O modelo atual pode ser ilustrado e definido conforme as próximas imagens e tabela.

Figura 1 - Vista isométrica



Fonte: O autor.

Figura 2 - Vista detalhada



Fonte: O autor.

A presente tabela demonstra a função de cada peça.

Quadro 1 - Nome e função principal de cada peça do mecanismo

| Número | Nome                             | Função   |
|--------|----------------------------------|--|
| 1      | Eixo para adaptação do mecanismo | Vincular a cadeira ao mecanismo  |
| 2      | Haste menor                      | Possibilitar a mobilidade de abertura e fechamento necessários para o processo |
| 3      | Haste maior                      |  |
| 4      | Pino de união das hastes         | Unir as hastes e apoiar a mola de torção                                       |
| 5      | Pino de ligação da rampa         | Dar mobilidade para a rotação necessária da rampa                              |
| 6      | Rampa modelo                     | Superfície sobre a qual o pneu passará no processo                             |

Fonte: O autor.

Essa exposição mostra o atual estado do sistema, e a partir desse será efetuado a primeira serie de simulações.

## 6 SIMULAÇÕES

A partir do modelo descrito acima, foi feita uma simulação que mostrou que o sistema estava super dimensionado, assim o projeto foi repensado, e o novo modelo foi submetido aos mesmos valores e tipo de teste.

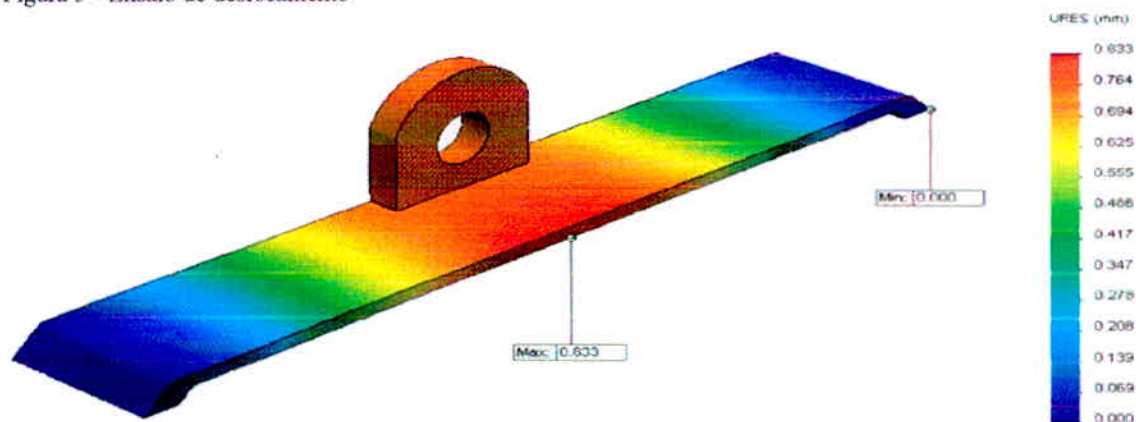
E os principais resultados são mostrados nas imagens das simulações; sendo são gerados três resultados são os ensaios de Deslocamento, Deformação e Tensão.

### 6.1 Deslocamento

Nesse modelo, é definido em milímetros qual o deslocamento que há ao longo da superfície e sendo no caso, o ponto de maior esforço o centro. Logo é ela a parte mais avermelhada na ilustração, e o ponto de menor/nula deformação é mostrada em azul.

O ponto de maior esforço esta no centro gerando uma variação de 0,833mm.

Figura 3 - Ensaio de deslocamento

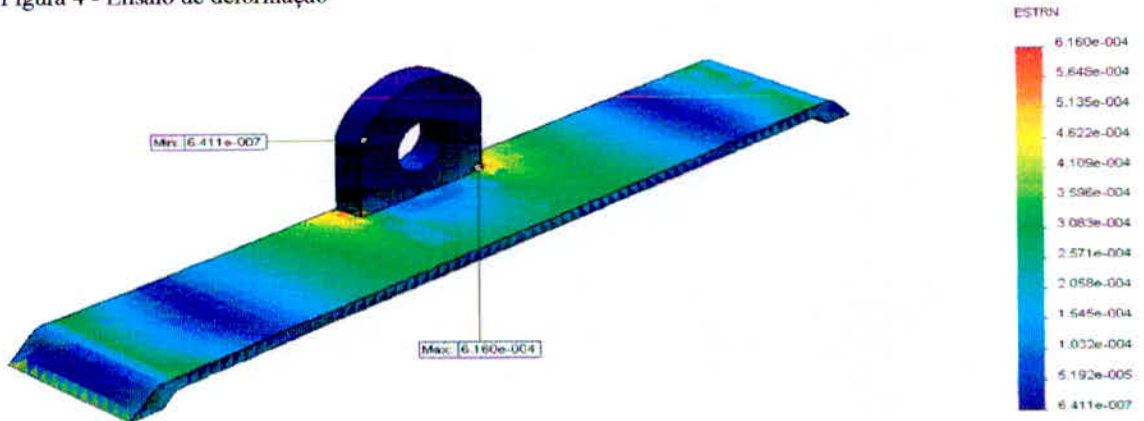


Fonte: O autor.

### 6.2 Deformação

É apresentada aqui a deformação gerada na estrutura. Assim como no anterior, o ponto em vermelho é o mais crítico (deformação máxima é de  $6,160 \times 10^{-4}$  mm) e em azul o menos solicitado.

Figura 4 - Ensaio de deformação

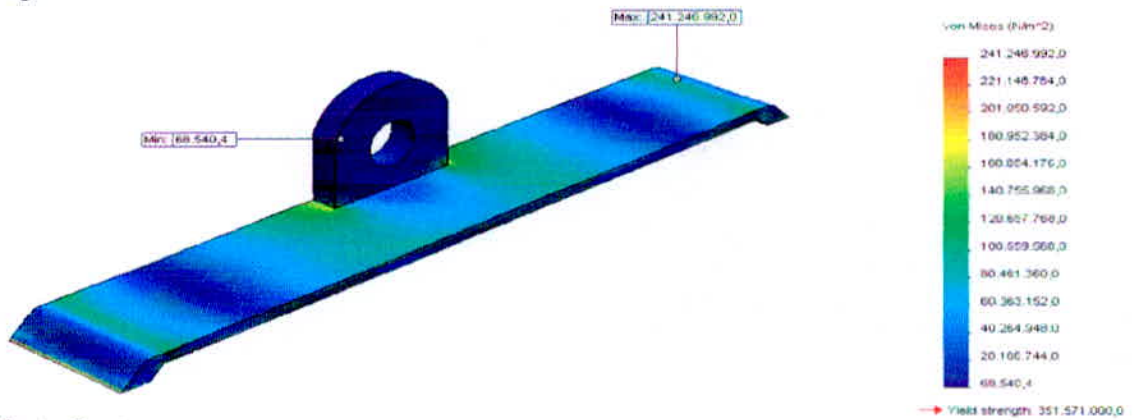


Fonte: O autor.

### 6.3 Tensão

Agora é mostrada a tensão que cada ponto sofre durante a aplicação da carga ao longo da superfície, e representa na mesma escala de cor dos anteriores. Tensão máxima de 241,246976 MPa

Figura 5 - Tensão



Fonte: O autor.

## 7 CONCLUSÕES

A análise foi vital para a elaboração do sistema definido em 2011. Apontou que havia um uso desnecessário de material na rampa, o que não tem relação com o ciclo de funcionamento da rampa, mais que poderia ser otimizado, tornando o sistema mais viável e por conseqüência diminuindo a quantidade de material, reduz-se juntamente o custo e o peso da estrutura.

Para tal, foi remodelado o modelo base, para retirar da rampa esse excesso de material, isto foi feito com o redesenho desse elemento, que ao invés de ter uma chapa espessa de aço, usa uma chapa mais fina, porém dobrada. Isso acarreta em uma estrutura igualmente resistente, porém com menos uso do metal.

Feito esse redesenho, e se levando o mesmo aos testes da simulação de carga, constatou-se que o mesmo podia suportar ainda com sobra as solicitações impostas ao sistema. Porém por métodos construtivos, não foi feito uma nova tentativa por já estar usando uma espessura de chapa reduzida, e que se fosse produzir uma sobe demanda, aumentaria o custo. Usando as chapas já em circulação no mercado, o valor cai e ainda se obtém um fator de resistência extra aos 10% indicados nos cálculos iniciais.

Logo o sistema foi minimizado em questões de custo e ainda assim obteve ganho quanto à redução de peso e estabilidade quanto à resistência.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Junho. p. 1;4; 6-12; 39; 41-42; 50-52; 83.

MELCONIAN, Sarkis. Molas. In: \_\_\_\_\_. **Elementos de máquinas**. 9. ed. rev. São Paulo: Érica, 2008. Cap. 10, p. 179-230.

TECNICAS para elaboração de trabalhos acadêmicos. Varginha: Grupo Unis, 2012. Disponível em: <<http://biblioteca2.unis.edu.br/manual-de-normalizacao-trabalhos-academicos/>>. Acesso em: 03 de maio. 2012.

TORRES, Flavia T. P. **Guia de acessibilidade urbana**. fácil acesso para todos. Belo Horizonte: CREA, 2006.