
LEVANTAMENTO DAS TENSÕES E DEFORMAÇÕES EM UMA CADEIRA DE RODAS

Bruno Dias

Jean M. P. Sonsin

Leandro R. Alves

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

Com base na importância da cadeira de rodas, este trabalho tem por objetivo levantar as tensões e deformações de uma cadeira de rodas durante o seu uso para identificar os pontos mais críticos na estrutura. Para tanto, um estudo das tensões e deformações atuantes na estrutura foi realizado com o uso da extensometria e verificou-se a variação da temperatura no eixo da cadeira. Os resultados obtidos foram comparados à análise estática por elementos finitos realizada com o auxílio dos *softwares* Inventor e Ftool. As informações obtidas foram utilizadas para identificar as piores solicitações na estrutura da cadeira durante o seu uso.

Palavras-chave: Extensômetro. Cadeira de rodas. Testes práticos.

1 INTRODUÇÃO

Na sociedade atual, é muito comum ver a exclusão de diversos membros da população pelas mais diversas causas, que vão desde diferenças de etnias até de aspectos socioeconômicos. No entanto, muitas vezes, para os portadores de necessidades especiais essa desigualdade é mais acentuada uma vez que o próprio ambiente em volta não dispõe de meios que lhe permitam desenvolver suas atividades da mesma forma que as demais pessoas. Por esse motivo e também pelo fato de a própria cadeira de rodas poder, eventualmente, sofrer esforços e deformações além do projetado surgiu a necessidade de se realizar um estudo e uma análise mais aprofundada para tentar melhorar a condição desse tipo de equipamento e a vida das pessoas que necessitam dele.

1.1 Objetivo principal

Este trabalho teve como principal objetivo o levantamento das tensões e deformações na estrutura de uma cadeira de rodas por meio do uso de extensômetros e pela análise de sua estrutura de maneira estática por meio dos *softwares* computacionais Inventor e Ftool.

1.2 Objetivo específico

O objetivo específico é o levantamento dos pontos críticos e a análise de tensões e deformações que ocorrem em sua estrutura por meio do uso de métodos computacionais e sua posterior comparação com os resultados obtidos por extensômetros fixados nos pontos críticos da cadeira de roda. Além disso, é feito o estudo da variação da temperatura no eixo da cadeira pelo uso de um termômetro posicionado dentro dele.

1.3 Justificativa

A importância de se fazer um estudo envolvendo a cadeira de rodas é a necessidade de oferecer melhor condição de locomoção às pessoas com dificuldades. Assim, visa-se a um menor esforço por parte de tais indivíduos e sua maior integração na sociedade. Com a maior integração dessas pessoas na sociedade, percebe-se que há um aumento do fluxo desses usuários pelas vias públicas, que, em grande parte, não estão plenamente adequadas à sua circulação. Isso se deve à má conservação e à falta de estrutura das vias, como rampas de acesso e pisos táteis. Por isso, torna-se

necessário um estudo mais aprofundado das condições estruturais das cadeiras de rodas disponíveis no mercado, para que seja verificada a sua adequação às condições atuais das vias públicas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010), 30% das viagens cotidianas realizadas no Brasil são realizadas a pé e, como a maioria dos deficientes não tem condições de adquirir um automóvel adaptado, como mostrado na Figura 1, o número de deficientes que se locomovem pelas calçadas é ainda mais significativo.



Figura 1 Automóvel adaptado para deficientes físicos

Fonte: Adaptação... (2011).

Um projeto otimizado para cadeira de rodas, utilizando técnicas mais avançadas de engenharia, pode diminuir os efeitos desse quadro, o que facilitaria o deslocamento dos cadeirantes, exigindo menos esforço destes. Métodos computacionais e análises experimentais são as opções mais viáveis, porém foi escolhida a análise experimental para a realização deste estudo. A análise computacional é uma ferramenta de grande valor e precisão e, como declara Cota et al. (2008, p. 2),

[...] a utilização do Método dos Elementos Finitos (MEF) na Engenharia de Estruturas tem apresentado excelentes resultados para a análise dos estados de tensões e deformações de sólidos com geometrias variadas, apresentando soluções extremamente satisfatórias.

Porém, uma análise sobre o uso da cadeira de rodas passando por situações reais foi considerada a melhor opção, já que as considerações utilizadas e as simplificações necessárias para a análise computacional poderiam não representar a real situação da cadeira, levando a interpretações erradas dos resultados. A extensometria foi utilizada nessa análise, pois com essa técnica obtêm-se medidas precisas e facilidade de manipulação, além de os extensômetros apresentarem capacidade de monitorar as deformações até as últimas cargas em ensaios destrutivos (ANDOLFATO; CAMACHO; BRITO, 2004).

3 METODOLOGIA

O objeto de estudo foi cedido pela empresa de ortopedia Jaguaribe. A empresa é uma das maiores fabricantes de cadeiras de roda da América Latina. Inicialmente, entrou-se em contato com a Jaguaribe, expondo o problema, e a empresa gentilmente cedeu uma cadeira de 120 kg de carga máxima, conforme Figura 2.



Figura 2 Cadeira de rodas modelo FIT

Fonte: Acervo dos autores.

Inicialmente, foram verificados os pontos da estrutura de maior deformação, ou seja, aqueles que estariam mais suscetíveis aos esforços exercidos pela movimentação da cadeira. Notou-se que os tubos que compõem a região lateral da cadeira de rodas são as áreas com maior quantidade de pontos de solda, além de ser onde estão fixadas as rodas da cadeira. Assim, são as regiões com as possíveis maiores solicitações mecânicas e vibrações quando a cadeira é posta em uso.

A partir da sua região lateral, a cadeira de rodas foi analisada visualmente e por métodos computacionais para definir os pontos mais críticos da estrutura para colagem dos extensômetros, conforme a Figura 3.



Figura 3 Processo de colagem e posicionamento dos extensômetros

Fonte: Acervo dos autores.

Já para a aquisição de dados foi utilizado um condicionador de sinais modelo ADS500 da marca Lynx Tecnologic. Ele tem 16 canais multiplexados com resolução de 12 bits. Os canais foram ajustados para receber sinal de deformação oriundos de extensômetros colados na estrutura na configuração $\frac{1}{4}$ de ponte.

Com toda a calibração realizada e todos os terminais ligados na placa e na cadeira, escolheu-se um local para a realização dos testes. A princípio, foram analisados dois circuitos: no primeiro deles, considerado ideal, havia apenas quatro tipos de obstáculos (reta, curva, aclive e declive), enquanto o segundo foi um circuito real com diversos tipos de obstáculos.

Devido à complexidade da estrutura, optou-se por uma análise computacional em duas dimensões para localizar os pontos críticos. Dois métodos foram utilizados: no primeiro deles, foi utilizando o *software* Ftool, programa gráfico-interativo gratuito para ensino de comportamento de estruturas desenvolvido pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Trata-se de um *software* em duas dimensões que permite analisar as reações e deslocamentos de estruturas de barras de modo simples, informando apenas as dimensões das barras, material, apoios e tipos de carregamento.

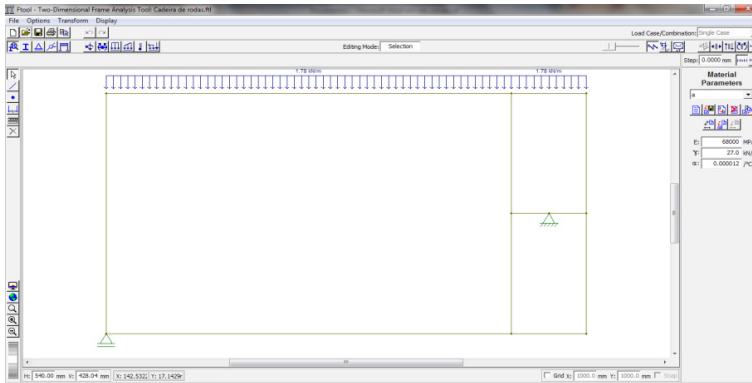


Figura 4 Análise da cadeira feita utilizando o software Ftool

Fonte: Acervo dos autores.

Após a conclusão das análises, foi construído um modelo em três dimensões (3D) no Inventor, programa desenvolvido pela companhia de *software* Autodesk. A partir dele, foi feita a análise em elementos finitos, conforme a Figura 5.

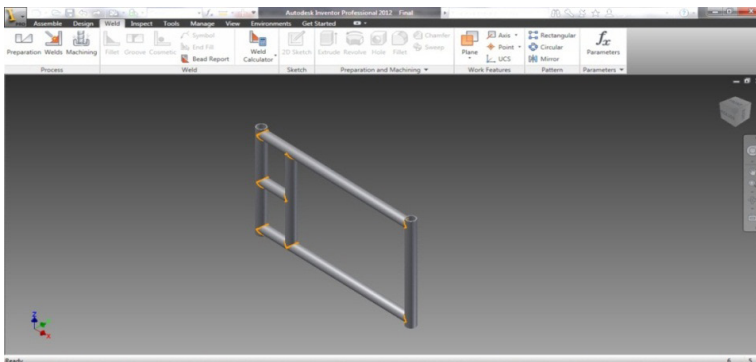


Figura 5 Cadeira modelada em 3D com o auxílio do software Inventor

Fonte: Acervo dos autores.

Para realizar a simulação, definiu-se o número de elementos (8.095) utilizando como parâmetro a tensão do tipo Von Mises e o número de nós (16.339). Foi aplicada uma carga distribuída estática no tubo superior da estrutura da cadeira, de modo a simular o peso de um cadeirante de 100 kg. Escolheu-se essa região pois nela o assento é preso à estrutura. A condição de contorno utilizadas para a modelagem foi deixar a parte inferior da barra, que representa o cubo da roda traseira, como apoio fixo (não

desliza, apenas rotacional). Enquanto isso, o outro tubo, que representa a parte dianteira da cadeira, funcionou como apoio móvel (tanto rotacional quanto deslizamento).

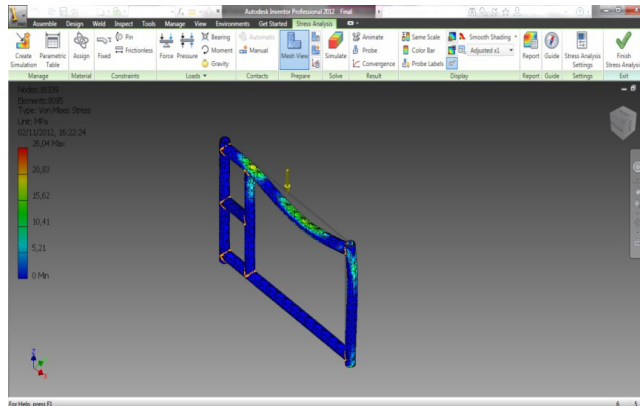


Figura 6 Execução da simulação

Fonte: Acervo dos autores.

Com os modelos prontos, analisados e comparados, notou-se que a região superior da lateral da cadeira é a que apresenta as maiores deformações. Além disso, também é o local que contém diversos pontos de solda, conforme Figura 7.

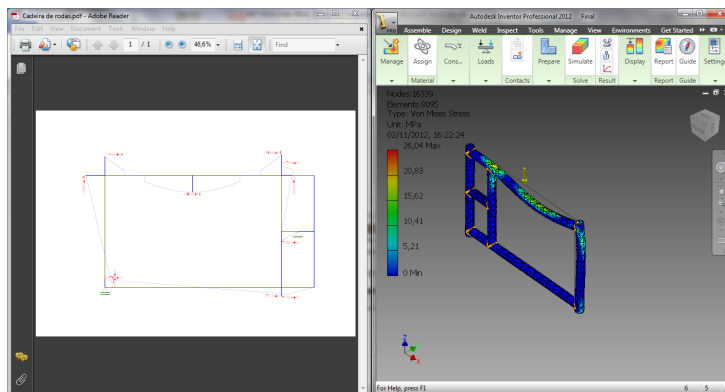


Figura 7 Comparação entre os resultados obtidos nos dois modelos

Fonte: Acervo dos autores.

Na comparação entre os modelos em duas dimensões (2D) e em três dimensões (3D) da cadeira, destacam-se os pontos críticos próximos das regiões soldadas.

3.1 Preparação da superfície para colagem dos extensômetros

Foram posicionados e marcados 12 extensômetros na cadeira de rodas, incluindo um termômetro do tipo PT100, que foi fixado no eixo da cadeira e montado pelos próprios autores, conforme mostrado na Figura 8.



Figura 8 Extensômetros devidamente posicionados

Fonte: Acervo dos autores.

4 DADOS OBTIDOS

4.1 Resultados obtidos no experimento

Após a execução dos ensaios nos circuitos ideal e real e com a marcação de tempo realizada a cada 5 metros, coletaram-se diversos valores de deformação para todos os 12 extensômetros posicionados na cadeira, conforme Figura 9.

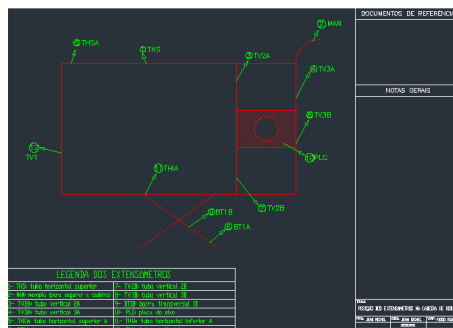


Figura 9 Posição dos extensômetros na cadeira de rodas

Fonte: Acervo dos autores.

Na Figura 9, tem-se representado o posicionamento de cada extensômetro na lateral da cadeira e a legenda que mostra o local onde foram fixados. Com esses dados obtidos, pôde-se, então, calcular a tensão exercida em cada ponto onde os extensômetros foram fixados, já que é conhecido o material da cadeira (no caso, alumínio) e tem-se seu módulo de elasticidade. A tensão em cada ponto foi calculada utilizando-se a Equação(1):

$$\sigma = \varepsilon.E \quad (1)$$

Foram realizadas duas análises distintas: a primeira delas refere-se ao circuito ideal em que, devido ao fato de o *software* ter gerado um número muito grande de valores para cada extensômetro, decidiu-se utilizar apenas os valores das marcações feitas a cada 5 metros no trajeto. A segunda análise refere-se ao circuito real em que primeiro analisou-se o vídeo com o trajeto percorrido pela cadeira e, a partir dele, utilizaram-se apenas os tempos das condições mais críticas do trecho percorrido e onde os valores de deformação foram maiores. Para o cálculo das tensões foi utilizada a Equação (1), sendo ε em μs , E em MPa e σ em Mpa.

4.2 Comparação entre os circuitos real e ideal

4.2.1 Extensômetro THS

No circuito real, o maior valor de deformação foi $-203,91 \mu\text{s}$ e o de tensão, $14,91 \text{ MPa}$ na situação de calçada com forte irregularidade. No circuito ideal, o maior valor de deformação foi $-63,84 \mu\text{s}$ e o de tensão, $-4,67 \text{ MPa}$ na situação de linha reta.

4.2.2 Extensômetro MAN

No circuito real, o maior valor de deformação foi $319,64 \mu\text{s}$ e o de tensão, $23,37 \text{ MPa}$ em simulação de calçada com forte irregularidade. No circuito ideal, o maior valor de deformação foi $152,24 \mu\text{s}$ e o de tensão, $11,13 \text{ MPa}$ em aclave.

4.2.3 Extensômetro TV2A

No circuito real, o maior valor de deformação foi $331,39 \mu\text{s}$ e o de tensão, $24,22 \text{ MPa}$ na situação de calçada com forte irregularidade. No circuito ideal, o maior valor de deformação foi $175,97 \mu\text{s}$ e o de tensão, $56,52 \text{ MPa}$ na situação de curva.

4.2.4 Extensômetro TV3A

No circuito real, o maior valor de deformação foi 194,26 μs e de tensão, 1,77 MPa na situação de calçada com forte irregularidade. No circuito ideal, o maior valor de deformação foi 110,17 μs e o de tensão, 8,05 MPa na situação de aclave.

4.2.5 Extensômetro THSA

No circuito real, o maior valor de deformação foi -365,51 μs e o de tensão, -26,72 MPa na situação de calçada com forte irregularidade. No circuito ideal, o maior valor de deformação foi 145,67 μs e o de tensão, 10,65 MPa na situação de aclave.

4.2.6 Extensômetro BT1A

No circuito real, o maior valor de deformação foi -28,73 μs e o de tensão, -2,10 MPa na situação de travamento da roda dianteira em saliência. No circuito ideal, o maior valor de deformação foi -31,17 μs e o maior valor de tensão, -2,28 MPa na situação de linha reta.

4.2.7 Extensômetro TV2B

No circuito real, o maior valor de deformação foi 230,84 μs e o de tensão, 16,87 MPa na situação de travamento da roda dianteira em saliência. No circuito ideal, o maior valor de deformação foi 172,83 μs e o de tensão, 12,63 MPa na situação de curva.

4.2.8 Extensômetro TV3B

No circuito real, o maior valor de deformação foi 80,26 μs e o de tensão, 5,87 MPa na situação de calçada com forte irregularidade. No circuito ideal, o maior valor de deformação foi -53,63 μs e o de tensão, -3,92 MPa na situação de curva.

4.2.9 Extensômetro BT1B

No circuito real, o maior valor de deformação foi -4123,25 μs e o de tensão, -301,41 MPa na situação de travamento da roda dianteira em saliência. No circuito ideal, o maior valor de deformação foi -3199,78 μs e o maior valor de tensão, -233,9 MPa na situação de aclave.

4.2.10 Extensômetro PLC

No circuito real, o maior valor de deformação foi 216,96 μs e o de tensão, 15,86 MPa na situação de empinamento da cadeira para transpor obstáculo. No circuito ideal, o maior valor de deformação foi 152,42 μs e o maior valor de tensão, 11,14 MPa na situação de aclave.

4.2.11 Extensômetro THIA

No circuito real, o maior valor de deformação foi 648,96 μs e o de tensão foi 47,44 MPa na situação de calçada com forte irregularidade. No circuito ideal, o maior valor de deformação foi 283,76 μs e a tensão, 20,74 MPa na situação de aclave.

4.2.12 Extensômetro TVI

No circuito real, o maior valor de deformação foi 167,92 μs e o de tensão foi 12,27 MPa na situação de calçada com forte irregularidade. No circuito ideal, o maior valor de deformação foi 99,82 μs e a tensão, 7,16 MPa na situação de linha reta.

4.2.13 Temperatura

No circuito real, o maior valor de temperatura foi 32,06°C na situação de saliência na calçada. No circuito ideal, o maior valor de temperatura foi de 26,65°C na situação de linha reta.

4.2.14 Análise computacional

Na análise computacional, levantou-se que a máxima tensão ocorre no THS, tendo como valor 26,04 MPa. Esse valor é apenas de referência em uma situação estática e não pode ser comparado com os valores obtidos no experimento dinâmico.

5 ANÁLISE DOS DADOS

Com todos os dados devidamente coletados e registrados, foi realizada a análise dos dados comparando os resultados obtidos no circuito ideal (referência utilizada como valor padrão para efeito de comparação) com aqueles obtidos no circuito real. No circuito ideal, foram analisados valores para três situações distintas: trecho em linha reta, trecho em curva e trecho em aclave e declive.

Em primeiro lugar, os valores de cada extensômetro para os diversos tipos de obstáculos foram analisados para se obter o maior valor para cada situação do circuito real. Em seguida, os valores máximos obtidos para cada extensômetro foram comparados com os do circuito ideal.

6 CONCLUSÕES

Após a análise de todos os extensômetros em ambos os circuitos, pode-se observar que as maiores tensões e deformações ocorreram no circuito real. Nele, encontram-se os obstáculos que impõem maior solicitação à estrutura da cadeira.

Com relação ao extensômetro BT1B, constatou-se que as medições efetuadas não correspondem à situação real, pois os valores obtidos são muito elevados se comparados com o limite de escoamento (que é da ordem de 470-540 MPa) e com o limite de resistência (510-590 MPa), conforme a Figura 5, o que ocasionaria o rompimento do tubo. Portanto, as medições desse extensômetro foram descartadas. Quanto aos demais extensômetros, levantou-se que o mais solicitado é o THIA, sendo esse o local mais suscetível a falhas.

Quanto às medições de temperatura, observa-se que a temperatura vai aumentando com o tempo de uso, independentemente do tipo de obstáculo, pois depende somente do atrito gerado pelo movimento do eixo da roda no cubo. Porém, a maior temperatura foi medida no circuito real, constatando-se que, na situação de maior solicitação da estrutura, a temperatura no eixo é mais elevada.

SURVEYING OF STRESSES AND STRAINS OF A WHEELCHAIR STRUCTURE

Abstract

Based on this important device, this work had as a primary objective to set up the stress and the strains in a wheelchair during its use to identify the most critical points. To make this possible, a study of the stress and strains in the structure was set up with the use of strain gauges, as well as a measurement of the axis temperature, and the results gathered will be compared to those gathered with an static analysis with infinite elements with the softwares Inventor and Ftool. The information gathered were used to identify the worst solicitations in the structure of wheelchair during its use.

Keywords: Strain-gages. Wheelchair. Practical tests.

REFERÊNCIAS

ADAPTAÇÃO veicular para pessoa com deficiência pode custar até R\$ 20 mil. *Blog do deficiente físico*. 2011. Disponível em: <<http://www.deficientefisico.com/adaptacao-veicular-para-pessoa-com-deficiencia-pode-custar-ate-r-20-mil/>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

ANDOLFATO, R. P.; CAMACHO, J. S.; BRITO, G. A. *Extensometria básica*. Apostila. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, 2004.

COTA, F. P. et al. Análise estrutural de uma cadeira de rodas através do método de elementos finitos. 2008. Artigo – São João Del Rey: Universidade Federal de São João Del Rey, 2008. p. 2.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Demográfico 2010. Resultados do universo. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

Contato

Bruno Dias
brunodias19@yahoo.com.br