

## **Caracterização da rigidez torcional de um baja SAE utilizando um Braço Articulado de Medição**

## **Characterization of torsional stiffness of a baja SAE using an Articulated Mesuaring Arm**

**Clídio Richardson Gonçalves de Lima<sup>1</sup>, Alisson Patrick Oliveira Callou<sup>2</sup>, Alberto Alan Neto<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> UNIVERSIDADE DE FORTALEZA, <sup>3</sup> FORD MOTOR COMPANY – Divisão TROLLER.

E-mail: clidio.lima@unifor.br

**Resumo:** A exigência do setor automotivo somada à necessidade de redução de emissões e o conseqüente aumento da eficiência tem tornado cada vez mais altos os investimentos na caracterização de estruturas veiculares. As máquinas de medição por coordenadas podem desempenhar um papel muito importante nesse contexto, tornando a caracterização da rigidez torcional mais acessível. Neste trabalho, através do estudo dos braços articulados de medição e dos esforços em um chassi, apresenta a viabilidade técnica da avaliação dimensional de estruturas veiculares em um ensaio de torção, tornando possível a caracterização destas estruturas quanto à rigidez torcional.

**Palavras-chave:** Rigidez Torcional, Torção, Braço Articulado de Medição, Chassi.

**Abstract:** Requirements for automotive sector added the need of emissions reduction and the high efficiency that comes with it has been raising the investments on structure evaluation as they try to reach these goals. Coordinate Measuring Machines have a significant role to play in this context as they are already found tools in manufactures, making this type of characterization accessible. This paper seeks, through the study of those tools and the loadings on car structure, to present the technical feasibility of vehicle structures dimensional analysis in torsion, making it possible to characterize the torsion stiffness of a car structures using those.

**Keywords:** Torsion stiffness, Torsion, Articulated Arm, Chassis.

### **1. INTRODUÇÃO**

A atual situação econômica aliada à necessidade da redução de emissões por parte dos veículos automotores tem forçado as empresas desta cadeia de suprimentos a procurar novos

meios de caracterização das estruturas veiculares para buscar a diminuição do peso embarcado, sem comprometer a segurança, obtendo também a redução nos custos indiretos de produção.

Hoje, o sistema integrado de ferramentas computacionais diminui muito o *lead time* do

projeto, ou seja, o tempo que um produto leva desde a idealização ao início da produção, pois dispõem de ferramentas capazes de analisar os componentes virtualmente, por exemplo, Análise de Elementos Finitos (FEA), análise visual e computacional de *packaging* no CAD.

Contudo, a utilização de novos materiais, muitos deles anisotrópicos (como os compósitos), requer a obtenção de dados que sirvam de calibração para tais ferramentas, ou em outras palavras, um comparativo entre o real e o virtual para saber o nível de aproximação dos resultados (HANSEN, 1996).

Desta forma, se fazem necessários estudos reais onde se possam conhecer os deslocamentos dos pontos principais do chassi, podendo se caracterizar tal estrutura, permitindo não só conhecer as deformações, mas também onde deve ser reforçado, ou onde pode ser reduzido peso.

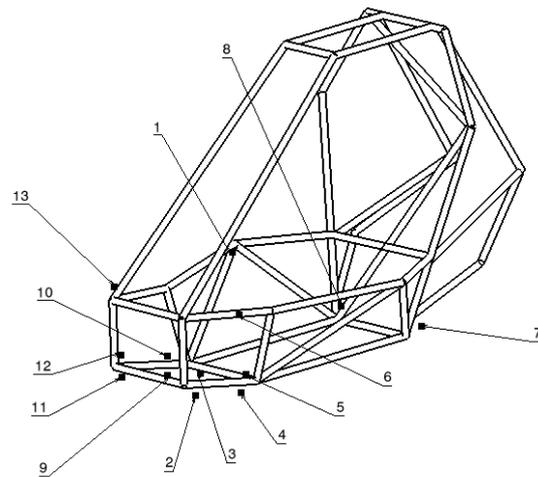
Do contrário as análises tem que ser feitas utilizando uma situação de contorno, ou seja, considerar o material isotrópico. Isso implica diretamente sobre o comportamento veicular, pois a principal importância do estudo das deformações se aplica a segurança e ao desempenho através da dinâmica veicular.

Essa análise também pode ser relevante para a avaliação do chassi quanto à importância do espaçamento entre os componentes, tendo em vista a necessidade de *clearance* (espaçamento entre dois corpos) devido aos deslocamentos causados pela deformação elástica da estrutura durante o uso. Portanto, diretamente ligada à capacidade da estrutura em absorver esforços ou deformações com menos deslocamento dos pontos da estrutura. Tais deslocamentos podem ser medidos através de ferramentas já existentes nas montadoras de automóveis, como o Braço Articulado de Medição (BAM).

## 2. SOBRE O MENSURANDO E O ENSAIO

Um estudo de ensaio de torção não destrutivo em um baja foi realizado utilizando um BAM.

Partindo do modelo de ensaio proposto por Milliken (2002), foi elaborada a medição de 13 pontos conforme figura 1, sendo 8 destes pertencentes à suspensão dianteira, 2 à suspensão traseira, os 2 pontos de fixação das molas dianteiras e o ponto central superior do tubo de encaixe do volante. Sendo todos eles medidos antes, durante e depois do ensaio de torção. Os pontos de fixação das molas traseiras não foram medidos, pois estavam posicionados pelo suporte do chassi e os parafusos de fixação estavam torquados.



**Figura 1** – Pontos de medição. Próprios autores.

Os pontos 13 e 6 são os de fixação das molas dianteiras, tendo a medição que ser realizada no eixo de menor carregamento (HAPPIAN-SMITH, 2002), neste caso, o eixo dianteiro. O ponto 13 foi o ponto que estava fixado ao suporte do chassi. Os pontos 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11 e 12 são referentes aos pontos de fixação das quatro bandejas de suspensão dianteira. O ponto 1 refere-se à coluna de direção e os pontos 7 e 8 referem-se à fixação da suspensão traseira.

Ressalta-se que a medição do ponto 13 não foi realizada diretamente no chassi e sim num

componente de fixação entre o chassi e o suporte (arruela). O suporte foi feito em tubos de aço de seções retangulares e quadradas com dimensões (100 x 50) mm e (40 x 40) mm, respectivamente. Foi necessária a adição de reforços tubulares de seção circular com dimensões iguais a 35 mm de diâmetro.

O BAM utilizado foi um FARO Platinum de 3 m de comprimento (diâmetro da esfera) calibrado.

Foram utilizadas duas massas cilíndricas fixadas à estrutura através de uma base presa ao chassi pelo ponto de ancoragem da mola dianteira esquerda (ponto 6). A primeira massa possuía 33,6 kg (1) e a segunda com 34,6 kg (2). Ambas as balanças foram medidas numa balança calibrada.

A medição da torção foi realizada por etapas em todos os *hard points* da suspensão para que seja justificado o estudo. Cada etapa com a colocação de diferentes cargas para que se possa gerar uma curva mostrando a tendência, ou seja, para que se possa caracterizar o comportamento do veículo ao longo de uma faixa de esforços.

Segundo Braess (2005), para a caracterização da rigidez torcional, o chassi não deve ultrapassar a região elástica, porém caso seja a intensão do estudo, o ensaio pode vir a se tornar destrutivo, caracterizando o esforço necessário para que o chassi tenha deformações plásticas.

### 3. AVALIAÇÃO DIMENSIONAL DAS DEFORMAÇÕES NO BAJA UTILIZANDO O BAM

Inicialmente a medição nominal foi realizada para servir de referência para as outras medições. Em seguida, as medições com carga foram feitas em uma etapa e de forma subsequente, pois a massa de número 2 foi adicionada sem que tivesse sido feita nenhuma alteração na massa de número 1.

Posteriormente após a retirada das cargas foi realizada a última etapa de medição com, a finalidade de descobrir se havia alguma deformação residual (plástica).

Os resultados apresentados na tabela 1 foram obtidos através da diferença entre os valores nominais e os valores de medição utilizando a massa 1. A coluna resultante encontrada na tabela 1 é o vetor resultante dos deslocamentos de cada eixo em um mesmo ponto.

**Tabela 1** – parte (a) diferença (em mm) entre os valores nominais e os valores da medição com a primeira carga e parte (b) entre estes valores e os da medição com as duas cargas.

Pontos	$ x_1 - x_0 $	$ y_1 - y_0 $	$ z_1 - z_0 $	Resultante	Pontos	$ x_2 - x_0 $	$ y_2 - y_0 $	$ z_2 - z_0 $	Resultante
1	0,01	0,25	0,64	<b>0,69</b>	1	0,05	0,66	1,24	<b>1,41</b>
2	0,21	0,43	1,16	<b>1,26</b>	2	0,44	0,95	2,35	<b>2,57</b>
3	0,17	0,26	1,18	<b>1,22</b>	3	0,36	0,64	2,41	<b>2,52</b>
4	0,18	0,53	1,04	<b>1,18</b>	4	0,47	1,14	2,10	<b>2,44</b>
5	0,19	0,33	1,00	<b>1,07</b>	5	0,42	0,81	2,09	<b>2,28</b>
6	0,12	0,15	1,54	<b>1,55</b>	6	0,07	0,18	2,86	<b>2,87</b>
7	0,23	0,70	0,41	<b>0,90</b>	7	0,41	1,48	0,85	<b>1,80</b>
8	0,16	0,68	0,03	<b>0,70</b>	8	0,18	1,40	0,08	<b>1,41</b>
9	0,11	0,54	0,33	<b>0,64</b>	9	0,24	1,18	0,69	<b>1,39</b>
10	0,12	0,41	0,33	<b>0,54</b>	10	0,23	0,96	0,67	<b>1,20</b>
11	0,12	0,44	0,40	<b>0,61</b>	11	0,26	0,94	0,85	<b>1,30</b>
12	0,09	0,28	0,40	<b>0,50</b>	12	0,17	0,67	0,82	<b>1,07</b>
13	0,01	0,09	0,12	<b>0,15</b>	13	0,04	0,12	0,09	<b>0,16</b>

Parte (a)

Parte (b).

Fonte: Próprios autores.

Através da tabela 1 - parte (a) percebe-se que o ponto 6, foi o que apresentou o maior deslocamento cujo valor foi de 1,54 mm ao longo do eixo Z. Para as demais coordenadas (X e Y) o deslocamento pode ser considerado desprezível o que é evidenciado no deslocamento total cujo valor é de 1,55 mm.

O mesmo comparativo foi realizado para a situação em que foram aplicadas ambas as cargas e os valores encontram-se apresentado na tabela 1- parte (b). Novamente foi possível observar o mesmo comportamento para o ponto 6. Este apresentou um maior deslocamento ao longo do eixo Z, atingindo o valor de 2,86 mm e 2,87 mm de deslocamento total.

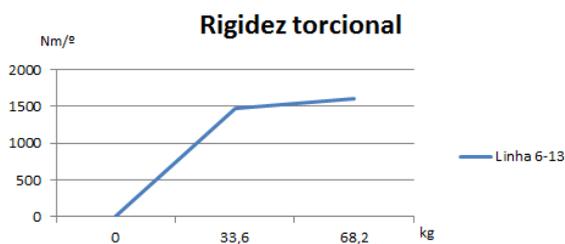
Ressalta-se que o suporte cumpriu bem o papel de base para a medição do chassi apresentando deslocamentos considerados desprezíveis quando comparados com o valor médio dos demais deslocamentos.

O ângulo formado pelas linhas compostas pelos pontos 6 e 13 na condição nominal e pelos pontos 6 e 13 quando aplicada a primeira carga foi de  $0,141^\circ$ . Logo, para a distância entre estes pontos igual a 628,78 mm, carregamento de 329,61 N (33,6 kg) e utilizando a equação 1, temos:

$$\text{Equação 1 } R_t = \frac{329,61 \cdot 0,62878}{0,141} = 1469,90 \text{ Nm/}^\circ$$

Em se tratando da segunda carga, o deslocamento angular foi de  $0,262^\circ$  e carregamento de 669,04 N resultando numa rigidez torcional de  $1605,65 \text{ Nm/}^\circ$ .

O gráfico 1 sugere um comportamento tendencioso da rigidez torcional em se estabilizar por volta dos  $1600 \text{ Nm/}^\circ$ . Porém, maiores estudos são necessários para poder ser afirmado que tal tendência existe. Não encontrado qualquer outro estudo sobre rigidez torcional em MiniBajas SAE, logo não se pode afirmar se a rigidez encontrada é compatível com a aplicação a que se destina a estrutura.



**Gráfico 1** – Rigidez torcional. Fonte: Próprios autores.

#### 4. CONCLUSÕES

Esse trabalho concluiu que o BAM pode ser utilizado para avaliação dimensional e caracterização de estruturas veiculares, pois as

deformações sofridas pela estrutura foram da ordem de grandeza dez vezes maior que a incerteza encontrada na calibração do sistema de medição.

Embora o suporte tenha apresentado deslocamento, este apresentou deformações da mesma ordem de grandeza da incerteza do BAM, validando a utilização deste para a finalidade proposta.

A caracterização foi realizada com sucesso definindo a rigidez torcional para a aplicação de duas cargas. No geral, os dados apresentaram um comportamento linear quanto à distribuição dos deslocamentos o que caracteriza uma boa distribuição dos esforços no chassi.

O chassi não apresentou deformação residual de forma consistente para que se pudesse afirmar que houve deformação plástica. Este apresentou uma rigidez torcional semelhante aos chassis de um fórmula SAE. Porém não se pode afirmar que tal resultado seja satisfatório, pois não se tem conhecimento sobre a rigidez de outros veículos da mesma categoria (BAJA SAE), ou seja, não se pode concluir se o chassi medido possui a rigidez necessária para aplicação a qual ele se destina.

#### REFERÊNCIAS

- HANSEN, R.. A feasibility study of composite vehicle structure. 1996. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Cranfield University, Cranfield, 1996.
- MILLIKEN, William F.; MILLIKEN, Douglas L.; OLLEY, Maurice. Chassis Design. Boston: Bentley Publishers, 2002.
- HAPPIAN-SMITH, Julian et al (Ed.). An introduction to modern vehicle design. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 585 p.
- BRAESS, H. H.; SEIFFERT, U. Handbook of Automotive Engineering. New York: SAE, 2005.