

# ANÁLISE ESTRUTURAL PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS DE PEQUENO PORTE MONOPOSTO

Leo Guedes Blanco<sup>1</sup>; Pedro Bancillon Ventin Muniz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica; Bolsista; Iniciação científica – CNPq; Leoguedesblanco@gmail.com

<sup>2</sup> Mestrando em Engenharia Industrial; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; Pedro.muniz@fieb.org.br

## RESUMO

As análises estruturais, através de métodos computacionais, são empregadas para prever e garantir o comportamento satisfatório de estruturas quando submetidas a diversas cargas. A utilização dessas análises se faz importante no processo de desenvolvimento e criação de um protótipo elétrico monoposto, a fim de garantir que o veículo em questão consiga suportar as cargas impostas a ele em condições normais de uso.

**PALAVRAS CHAVE:** Veículos elétricos, análise estrutural, rigidez torcional, rigidez à flexão.

## 1. INTRODUÇÃO

A tecnologia dos automóveis híbridos e elétricos não representa uma inovação tecnológica recente. O início da trajetória dos elétricos acontece em meados do século XIX, paralelamente ao surgimento das primeiras baterias<sup>1</sup>. Surgiram ainda nessa época os primeiros sistemas de frenagem regenerativa e soluções híbridas para veículos. Apesar disso, por conta da melhor autonomia e disponibilidade, foram os veículos à combustão que se firmaram no mercado mundial até o século XXI.

Por ser o principal consumidor de petróleo e representar uma das principais fontes geradoras de gases causadores do efeito estufa, o setor automotivo é um dos principais alvos das políticas energéticas e ambientais<sup>2</sup>. Portanto, os veículos elétricos são hoje são considerados como soluções momentâneas na tentativa de preservar a qualidade do ar atmosférico e a escassez de recursos finitos – mais precisamente os de origem petrolífera. Os veículos elétricos são integralmente movidos por energia elétrica, seja provida por baterias, células de combustível, placas fotovoltaicas (energia solar) ou ligados à rede elétrica<sup>2</sup>.

Para o desenvolvimento de um veículo elétrico monoposto, é importante que sejam feitas análises estruturais compatíveis com os esforços em que ele será submetido. Por se tratar de um veículo de pequeno porte, cada redução de massa interfere no seu funcionamento, principalmente nos quesitos velocidade e autonomia. Além disso, visando a segurança, conforto e a dirigibilidade adequada (tomando como referência um veículo de passeio comum) se faz necessária a presença de um sistema de suspensão eficiente. Portanto, é importante que a estrutura tenha uma rigidez grande o suficiente para não interferir em tais quesitos, quando exposta a situações dinâmicas. Desta forma, através das análises, é possível projetar um veículo mais leve, compacto e sem comprometer a sua robustez e capacidade de suportar esforços.

As principais causas de deformações em um chassi automotivo são provenientes da torsão longitudinal, flexão vertical, flexão lateral e *lozenging* horizontal<sup>3</sup>. Devido à natureza dos esforços atuantes sobre os protótipos elétricos, monopostos e de pequeno porte, o estudo se concentra em duas análises específicas, a de rigidez à flexão vertical e a de rigidez longitudinal.

Em um veículo com tais características, os componentes que irão submeter o chassi à esforços verticais são as baterias e o próprio peso do piloto, por terem uma massa considerável em relação à massa final do veículo, fazendo com que a estrutura sofra uma flexão no plano vertical<sup>4</sup>. Já a rigidez torcional é definida como a resistência que a estrutura oferece a um binário aplicado na direção vertical do veículo<sup>5</sup>. Como a deformação é proporcional à força aplicada, a magnitude desta é definida arbitrariamente em cada simulação. Portanto, o objetivo da análise de rigidez torcional é verificar a resistência do chassi à deformação, principalmente quando o veículo passar por um obstáculo. O estudo deve ser realizado a fim de garantir a integridade do chassi e manter as suas dimensões globais sem interferir no funcionamento da suspensão, e mantendo a postura ergonômica e dirigibilidade do motorista.

## 2. METODOLOGIA

Para o exemplo a ser tratado nesse resumo, por ser um protótipo que não irá ser exposto a condições extremas de funcionamento, serão feitas as seguintes análises, através do software SolidWorks 2018: rigidez a flexão da bandeja de suspensão traseira, rigidez torcional e de flexão do chassi em regime estático. Para todas as situações citadas, serão desconsiderados os amortecedores e o amortecimento dos pneus.

Após a modelagem dos componentes e estruturas que irão compor o protótipo elétrico monoposto, foi definido o material do chassi e da balança de suspensão traseira para a realização da análise, além da identificação dos esforços atuantes sobre eles. A bandeja irá suportar os esforços transmitidos da estrutura através dos dois suportes de amortecedores, a massa do motor elétrico, o sistema de freio traseiro e de redução final, enquanto estiver engastada nos pontos de pivotamento na estrutura e de fixação das rodas. Na

estrutura, além do seu próprio peso, as forças consideradas na análise serão referentes à massa do piloto e das baterias, enquanto o chassi estiver engastado pelos pontos de fixação dos amortecedores, já que estes são os pontos que sofrem os esforços para sustentar o veículo sobre o chão.

Foi adotado um protótipo completo com massa de 360 kg, considerando o piloto (100 kg) e o conjunto de baterias (180 kg). A distribuição de massa do veículo se dá por 40% na dianteira e 60% na traseira. Deste modo, assumindo uma condição extrema em que o protótipo descerá um degrau de 500 mm de altura e desconsiderando a ação dos amortecedores, foram utilizados os dados mostrados na Tabela 2.

**Tabela 1:** Dados utilizados para realização das análises de rigidez à flexão

Elemento	Material	Ponto de aplicação da força	Força total aplicada (N)
Estrutura	Tubo Quadrado 40 x 40 mm, Aço SAE 1020	Suporte do banco e das baterias	5886
Balança	Tubo circular 1,5" x 3 mm	Olhais de fixação dos amortecedores	3090,15

Para a análise de rigidez torcional do chassi, os pontos de apoio dos amortecedores traseiros foram engastados, e foi aplicado um binário de magnitude de 1186,22 N nos pontos de fixação dianteiros, seguindo o método de análise<sup>7</sup>.

A quesito de comparação, os valores de rigidez torcional para diferentes veículos são apresentados na Tabela 1<sup>6</sup>.

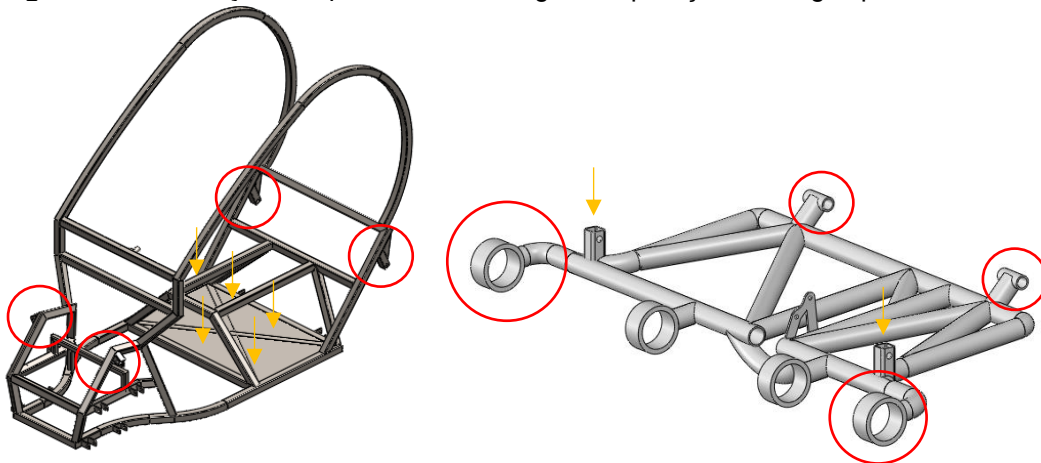
**Tabela 2:** Valores de Rigidez Torcional para Alguns Tipos de Veículos

Veículo	Rigidez Torcional (Nm/grau)
Baja SAE	750 – 1500
Fórmula SAE	1000 – 5000
Carros de Passeio	5000 – 25000
Carros Esportivos	15000 – 40000
Fórmula 1	10000 – 100000

**Fonte:** Adaptado de (BARBOSA, 2015) e (SAMPÔ, 2011)

Na Figura 1, é possível visualizar o modelo em CAD 3D da estrutura e da balança de suspensão do protótipo, bem como, estão circulado em vermelho os pontos de ancoragem e, indicados através das setas amarelas, o ponto de aplicação das forças utilizados para as análises de rigidez à flexão.

**Figura 1:** Identificação dos pontos de ancoragem e aplicação de cargas para as análises



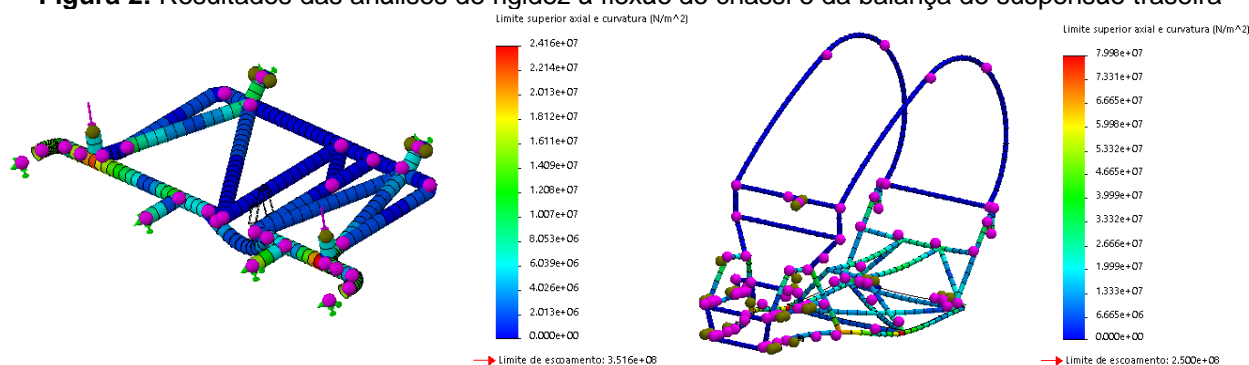
**Fonte:** Próprio autor

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2, é possível visualizar os resultados obtidos através da análise de rigidez à flexão. O limite de escoamento adotado para a balança de suspensão foi de  $3,516 \times 10^8$  N.m<sup>2</sup>, enquanto o máximo esforço gerado na bandeja foi  $2,416 \times 10^7$  N.m<sup>2</sup>, justamente no ponto de fixação do amortecedor, representando um fator de segurança de aproximadamente 1,5 para a situação simulada. Na análise da estrutura, o limite de escoamento adotado foi  $2,5 \times 10^8$  N.m<sup>2</sup>, enquanto o máximo esforço gerado no chassi foi de  $7,998 \times 10^7$  N.m<sup>2</sup>, justamente no assoalho, onde é apoiada a carga das baterias e banco, representando um fator de segurança de aproximadamente 2,9 para todo o chassi na situação simulada.

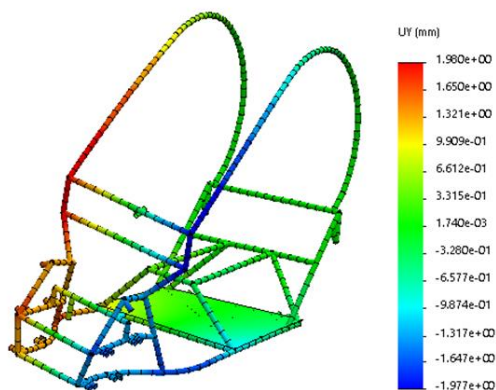
Na análise de rigidez estrutural, o deslocamento vertical encontrado no ponto de fixação do amortecedor foi de 1,650 mm, resultando em um ângulo de deformação de 0,32°. Sendo assim, dividindo o torque aplicado pelo ângulo encontrado, tem-se uma rigidez resultante de 1093,75 N.m/graus. O resultado da análise é visto na Figura 3.

**Figura 2:** Resultados das análises de rigidez à flexão do chassi e da balança de suspensão traseira



Fonte: Próprio autor

**Figura 3:** Resultado da análise de rigidez torcional do chassi



Fonte: Próprio autor

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das simulações realizadas, pode-se entender e mensurar a rigidez global de uma estrutura em geral. As análises de rigidez a flexão da bandeja de suspensão e chassi foram consideradas satisfatórias, visto que, ainda que estejamos considerando um caso de condições extremas, suportaram as solicitações com coeficiente de segurança maior que 1,5. Em relação à análise de rigidez torcional, foi considerado um valor satisfatório, por se tratar de um protótipo de veículo monoposto e que, em condições normais de funcionamento, não irá se deparar com grandes obstáculos, muito menos esforços extremos.

#### 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup>BARAN, Renata; LEGEY, Fernando Loureiro. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil.** Automotivo, BNDES Setorial 33, p. 207 – 224.
- <sup>2</sup>CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de; FERREIRA, Tiago Toledo. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades.** Automotivo, BNDES Setorial 32, p. 267 – 310.
- <sup>3</sup>RILEY, William B.; GEORGE, Albert R. **Design, Analysis and Testing of a Formula SAE Car Chassis.** Design, Analysis and Testing of a Formula SAE Car Chassis, p. 382.
- <sup>4</sup>ANDRADE, Guilherme Augusto Marques de. **Análise Estrutural – BAJA PAMPA.** 2017. 21 f. Tese (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017.
- <sup>5</sup>BOTOSSO, Antônio Carlos. **Avaliação do Efeito da Rigidez Estrutural Sobre a Dinâmica Veicular.** 2015. 45 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- <sup>6</sup>SAMPÒ, Enrico. **Modelling chassis flexibility in vehicle dynamics simulation.** 2011. 185 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Faculty of Engineering and Physical Sciences, University of Surrey, Guildford, 2011.
- <sup>7</sup>WEISS, Gabriel Hecker Evangelho. **ANÁLISE COMPUTACIONAL E EXPERIMENTAL DE RIGIDEZ À TORÇÃO DE UM CHASSI DE FÓRMULA SAE.** 2016. 85 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.