

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE EM CONDIÇÕES DE IMPACTO DE UM CHASSI PARA UM MINIVEÍCULO OFF-ROAD

Guilherme Gabriel Sousa e Almeida¹; Lucas Souza Camargos²; Marcos Paulo Gonçalves Pedroso³; Marcelo Teodoro Assunção⁴

1 Guilherme Gabriel Sousa e Almeida, Bolsista (PIBIC-IFMG), Engenharia Mecânica, IFMG Campus Avançado, Arcos - MG; guilhermegabriel@windowlive.com

2 Lucas Souza Camargos, Bolsista (PIBIC-IFMG), Engenharia Mecânica, IFMG Campus Avançado, Arcos - MG; lucasouzac22@gmail.com

3 Marcos Paulo Gonçalves Pedroso, Docente, Orientador, IFMG Campus Avançado Arcos - MG; marcos.pedroso@ifmg.edu.br

4 Marcelo Teodoro Assunção, Docente, Co-orientador, IFMG Campus Avançado, Arcos - MG; marcelo.assuncao@ifmg.edu.br

RESUMO

O chassi é considerado o principal componente da estrutura de um automóvel, no qual todos os demais são acoplados. O chassi tubular deve ser projetado, sobretudo a fim de resistir aos esforços internos e externos, sendo os internos decorrentes das massas que o veículo transporta, e os esforços externos são os provenientes de obstáculos ou imperfeições presentes no solo. O projeto tem a finalidade de dimensionar e construir um chassi para um mini veículo *off-road*, no qual o desenvolvimento se dará por uma análise estrutural, levando em consideração os tipos de obstáculos impostos nas competições Baja SAE. Para que fosse possível desenvolver análises que condizem com a realidade da estrutura, foi necessário elaborar um modelo 3D do chassi, onde todos os tubos, emendas e detalhes presentes na versão virtual devem estar também na versão final construída fisicamente. O desenvolvimento do chassi em software 3D foi realizado no *software* Autodesk Inventor Professional Student. Para tal análise, foi empregado o método dos elementos finitos, com auxílio do *software* Inventor Professional Student, que oferece um ambiente amplo e suficiente para que seja possível obter resultados e considerações para a validação do projeto. A partir do dimensionamento, modelagem e análises, foi possível tirar conclusões positivas quanto ao projeto, visto que este apresentou boa resistência aos impactos nas condições analisadas. O estudo teve o intuito de conhecer quais são os comportamentos da estrutura diante de uma colisão. Tanto o impacto lateral quanto o superior, geraram resultados mais agressivos contra o chassi, gerando maiores deformações. Porém, estes fatos não são considerados motivos de condenação para a estrutura, visto que as deformações encontradas não são suficientes para adentrar o cockpit e ir de encontro ao piloto. E, além do mais, a estrutura será revestida por espumas elastoméricas, que visam suavizar qualquer possível impacto do piloto contra o chassi, e também, este ao conduzir o veículo deve utilizar equipamentos de segurança que são obrigatórios perante ao Regulamento Baja SAE Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: *Chassi tubular; mini Baja; análise estrutural.*

1. INTRODUÇÃO

Desde o início dos tempos o homem tem a necessidade de se deslocar. Pode-se ressaltar que foram utilizados animais para tal tarefa por grande parte da história, a fim de reduzir o gasto energético humano. Com a primeira revolução industrial, bem como a criação dos primeiros motores a vapor, foram criados novos meios de locomoção, o que mais tarde desencadeou o desenvolvimento da indústria automotiva.

O automóvel é composto por vários itens, sendo o chassi o principal componente da estrutura, no qual são acoplados todos os outros conjuntos, como a suspensão, motor, transmissão, entre outros. A estrutura do chassi é submetida a cargas internas e externas. As cargas externas são transferidas através das rodas e do solo, descarregando na suspensão através do campo aerodinâmico em torno do corpo do veículo, enquanto as cargas internas são causadas pela massa do veículo, como também a massa dos passageiros, motor e outros componentes (GENTA; MORELLO, 2009).

A indústria automotiva tem grande relevância no cenário mundial e nacional, tendo grandes destaques no meio produtivo agregando diversos setores, conduzindo o desenvolvimento e o lançamento de novos produtos, processos e materiais no mercado, servindo de referência para outros setores (CARDOSO; OLIVEIRA, 2010). Sendo assim, ao longo dos anos houve a necessidade de novos profissionais na área. Como incentivo aos estudantes de engenharia, foi criado o projeto Baja SAE (Society of Automotive

Engineers), sendo uma atividade extracurricular proposta pela SAE Brasil aos estudantes de Engenharia e Física, tendo origem nos Estados Unidos em meados de 1976 (SAEBRASIL,2020).

O projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um veículo *off-road*, monoposto, robusto e que atenda às exigências do Regulamento Técnico e Administrativo (RSBS, 2019), a fim de participar de competições regionais, nacionais e internacionais.

2. METODOLOGIA

2.1. Material utilizado no chassi

A escolha do tipo de aço a ser utilizado no projeto é primordial, pois através de suas propriedades mecânicas é possível definir qual o tipo mais aplicável no projeto.

Portanto, o tipo de aço que foi usado nas simulações estruturais do chassi, é o SAE 1020. Este aço é facilmente encontrado no mercado e possui um preço acessível para a equipe, e também atende às normas que o regulamento propõe. Este material é utilizado em toda a estrutura do veículo. As propriedades mecânicas do aço SAE 1020, consideradas neste trabalho, são listadas na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades mecânicas do aço 1020

Propriedades Mecânicas do Material	
Densidade	7870 kg/m ³
Limite de resistência à tração	420 MPa
Limite de resistência a tração (Yield)	350 MPa
Modulo de elasticidade	186 GPa
Coeficiente de Poisson	0,29
Diâmetro do tubo	25,4 mm
Espessura	3 mm

Fonte: Adaptado de Guth (2015).

Estes dados são inseridos no *software* Inventor Professional, permitindo o estudo da estrutura em diferentes condições de carregamento.

2.2 Dimensionamento

Visando a conexão dos outros componentes do veículo, como o *powertrain*, suspensão e itens de segurança, algumas considerações foram relevantes para o dimensionamento do chassi. Foram definidos os pontos de fixação dos elementos da suspensão, do motor e demais componentes do *powertrain* e o ponto de fixação do assento do piloto.

A Figura 1 representa o início do desenvolvimento do modelo, onde foi utilizado o *software* Inventor para fazer o esboço do chassi.

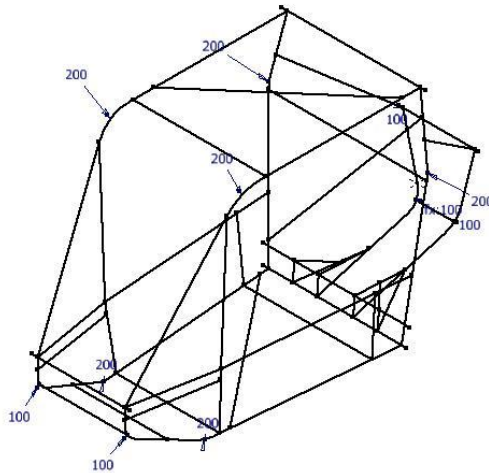


Figura 1: Desenvolvimento do dimensionamento.

Fonte: Próprios autores.

No decorrer da criação do esboço, foi notado que algumas linhas poderiam prejudicar a segurança e conforto do piloto, sendo feitas algumas atualizações para que a modelagem atenda a todos os requisitos do regulamento, possibilitando a participação da equipe Gray Wolf Baja nas competições.

Em seguida, foi possível então finalizar a modelagem 3D. Foram adicionados os elementos que compõem a estrutura tubular tridimensional. Os tubos têm diâmetro externo de 25,4mm, tanto nos itens primários e secundários, sendo padronizado a espessura de 3,05mm das paredes em todos os tubos do chassi, a fim de reduzir o tempo de processamento computacional. Assim, foi possível chegar a um dimensionamento final para realização das simulações, como mostra a Figura 2 a seguir.

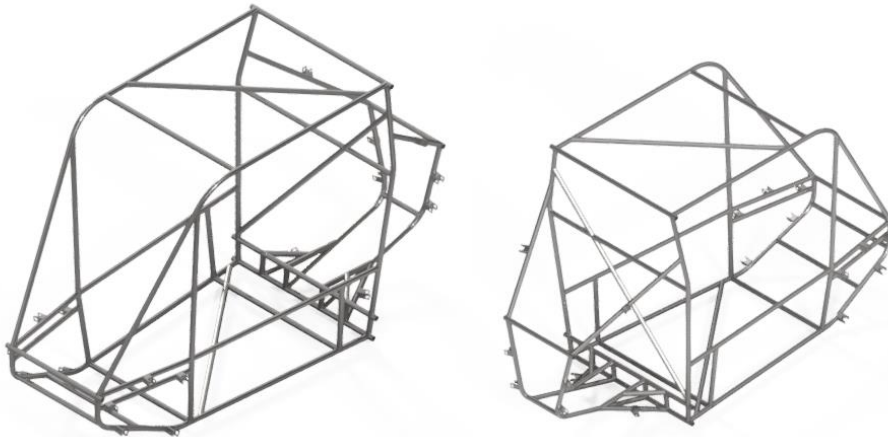


Figura 2: Vista frontal e traseira do chassi tubular.

Fonte: Próprios autores.

2.3 Análises Estruturais

2.3.1 Definição do tipo de malha utilizada

Para garantir resultados precisos e mais próximos da realidade, é necessário configurar o tipo e tamanho dos elementos da malha a ser utilizada. O *software* Autodesk Inventor permite escolher o tamanho médio dos elementos, tamanho mínimo, fator de nivelamento, e ângulo máximo de giro.

Sendo que, o tamanho médio dos elementos especifica o tamanho do elemento em relação ao tamanho do modelo, o tamanho mínimo permite o refinamento automático em áreas pequenas, o fator de nivelamento é responsável pela uniformidade da transição da malha entre fina e grossa e especifica o comprimento máximo de aresta entre as arestas de elementos adjacentes. Já o ângulo máximo de giro afeta o número de elementos das superfícies curvas, quanto menor for o ângulo, maior será o número de elementos de malha em uma curva (AUTODESKINC, 2020).

Através disso, o modelo de malha utilizado foi o tetraédrico, como representado na Figura 3, onde este modelo representa o tipo de malha sólida que permite resultados mais precisos. É possível observar também que dependendo do tamanho dos tubos, o tamanho dos elementos é alterado, isto se dá porque o próprio *software* consegue fazer a definição de tamanhos a fim de obter um estudo otimizado.

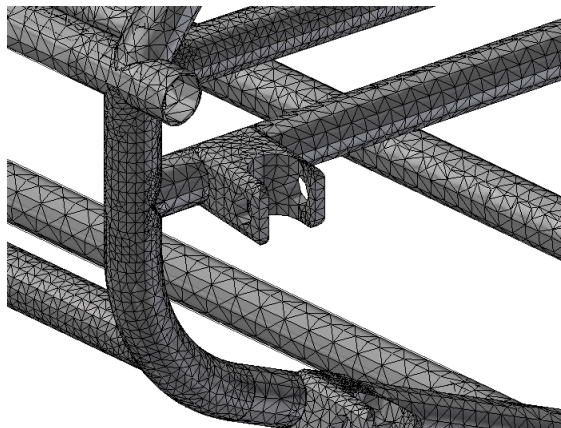


Figura 3: Malhas utilizadas no chassi.
Fonte: Próprios autores.

2.3.2 Análise estática

Usando a Equação 1, onde utiliza-se massa (m), força de impacto em Newton (F), intervalo de impacto (Δt), velocidade do veículo em metros por segundo (v), foi possível conhecer qual é a força de impacto do chassi para que a análise estática fosse realizada. Foi considerado que a massa de todos os componentes do veículo somadas é de 180kg, e que o piloto tenha uma massa de 70kg. Assim, somando todas as massas em conjunto, obtém-se 250kg. Levando em consideração que o veículo sofre um impacto a 36km/h, e que o tempo de impacto seja de aproximadamente um segundo, a força de impacto encontrada é de 2500N. A partir disso, foi possível adicionar as cargas no chassi, a fim de concluir a análise estática.

$$I = m \cdot v = F \cdot \Delta t \quad (1)$$

Assim, para realizar as análises, foram definidas forças com magnitude de 2500N. Os suportes das bandejas de suspensão foram considerados como pontos fixos (engastados) em todas as análises, conforme ilustra a Figura 3.

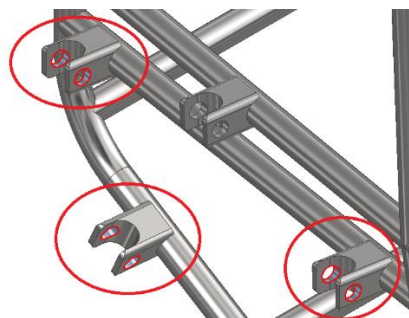


Figura 4: Local dos pontos fixos.
Fonte: Próprios autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análises estáticas

Utilizando o *software* Autodesk Inventor Professional, em seu ambiente de análise estática, realizou-se dois tipos de análises com o intuito de encontrar a tensão máxima no chassi e seu deslocamento (deformação) após a aplicação da força com magnitude de 2,5kN. Sendo assim, foram consideradas quatro situações de colisão, sendo elas, frontal, lateral esquerda, superior e traseira.

A fim de se obter melhor visualização da deformação dos componentes, considerou-se uma correção de escala de 50 vezes maior do que a real.

3.1.1 Análise através do método de tensões de Von Mises

No impacto frontal, onde foi usado a análise de tensão de Von Mises, foi possível observar que o chassi sofre uma tensão máxima de 607MPa, considerando esse valor dentro do módulo de elasticidade do material utilizado, não será necessário adicionar novos reforços na parte frontal do veículo. Assim, o protótipo irá suportar impactos menores e até maiores do que a força que foi aplicada, uma vez que o valor desta força considera o peso do veículo como um todo, com piloto, parte de *powertrain* e também periféricos.

Posteriormente o veículo sofre um impacto lateral e seu comportamento diante a tal ação é uma tensão máxima de 1217MPa, este valor está dentro do módulo de elasticidade do material, assim é pouco provável que ocorra rupturas no material.

Em seguida, a análise de Tensão de Von Mises é realizada na parte superior do chassi. Sendo que o valor encontrado durante o estudo é de 1292MPa, o que é uma tensão admissível e não gera riscos de ruptura do material, garantindo a segurança do piloto que terá uma distância mínima de 152mm entre a cabeça e capacete para os tubos superiores.

Por fim, é realizada a análise de tensão de Von Mises para o impacto traseiro, sendo o ponto máximo de tensão de 167MPa, logo respeita o módulo de elasticidade do material. Com isso é possível garantir que o impacto traseiro nesta magnitude não irá afetar a parte de *powertrain* nem os itens da suspensão que ali estão presentes. Garantindo que a parte de *powertrain* e suspensão estarão seguras, e assim, o veículo fica livre de qualquer eventualidade que venha acontecer durante a prova que seja dentro da força de impacto estabelecida. A Figura 5 apresenta os resultados obtidos da análise de tensão de Von Mises.

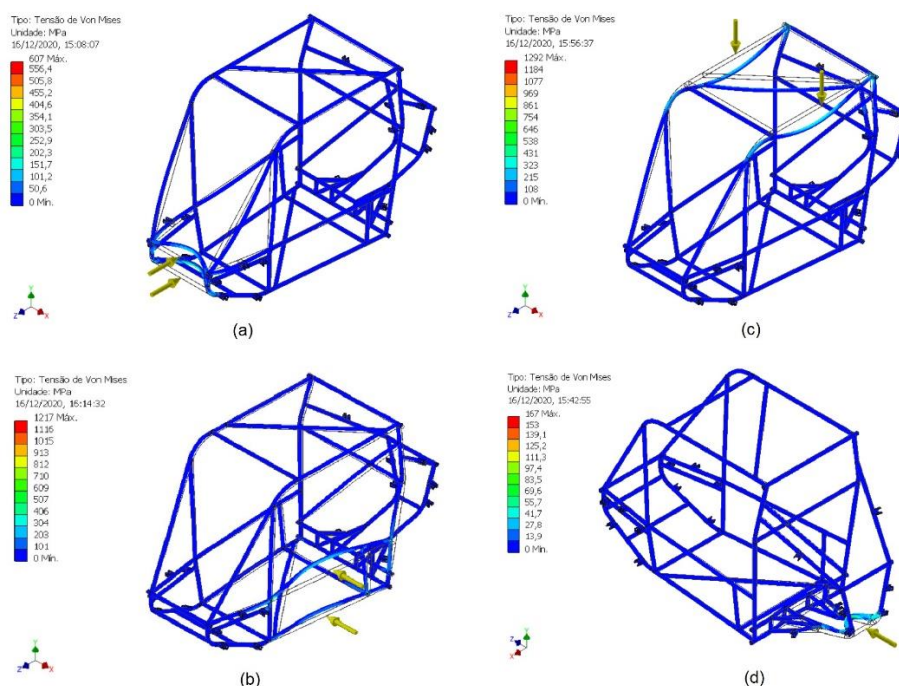


Figura 5: Análise de tensão de Von Mises em impacto: (a) frontal; (b) lateral esquerdo; (c) superior e (d) traseiro.

Fonte: Próprios autores.

3.1.2 Deformações obtidas pela análise de deformação/ impacto

Na análise de impacto frontal podemos observar o deslocamento máximo no chassi de 1,54mm. Por ser uma deformação muito baixa quando comparada a dimensão do chassi, o resultado é plausível, considerando que esta deformação não irá afetar o piloto que esteja na condução do veículo.

Já no impacto lateral, o veículo sofre uma deformação máxima de 11,06mm, ou seja, ele atinge uma deformação plástica aceitável no chassi, logo, este valor não irá afetar a integridade do condutor do veículo, respeitando assim as dimensões máximas que foram dimensionadas para comportar um condutor de estatura máxima.

A deformação decorrente de um impacto na parte superior do veículo é de 13,31mm. Tal deformação é aceitável já que existe uma distância considerável entre a cabeça do piloto e a parte deformada. Além disso, a segurança do piloto será garantida utilizando capacete adequado e terá espumas elastomérica para suavizar qualquer impacto que o piloto sofre contra a estrutura.

A deformação máxima que ocorre na parte traseira do chassi é de 0,204mm, sendo que ela pode ser considerada desprezível quando comparada às dimensões da parte traseira do veículo, logo o *powertrain* e o travamento traseiro estarão seguros diante de tal impacto. A seguir, na Figura 6, é possível observar os dados obtidos através das análises de impacto.

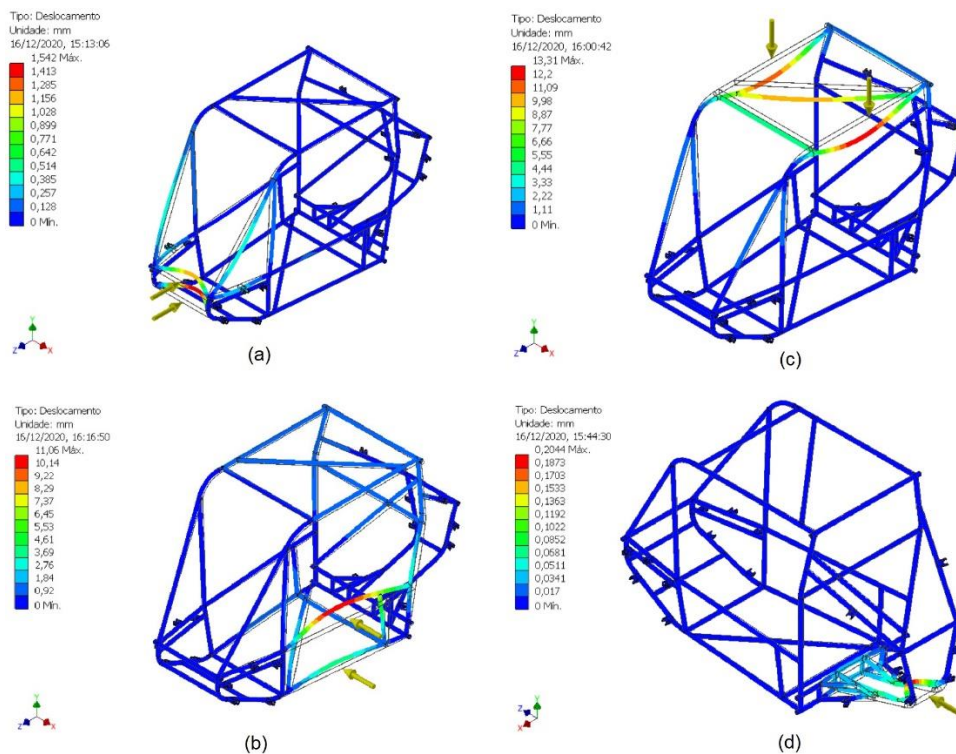


Figura 6: Análise dos deslocamentos produzidos em impacto: (a) frontal; (b) lateral esquerdo; (c) superior e (d) traseiro.

Fonte: Próprios autores.

4. CONCLUSÕES

O projeto teve grande influência em estimular os autores deste relatório nas pesquisas sobre veículos *off-road*, em especial ao do tipo *baja*. A partir disso, houve um grande entrosamento dos demais integrantes da equipe Gray Wolf Baja para que os outros subsistemas que compõem o carro sejam compatíveis com o chassi, o único subsistema que não foi definido em dimensões exatas foi o de *powertrain*, já que para isso o motor e caixa de transmissão já deveriam ter sido adquiridos. Porém, mesmo com a referida ausência de

dados, o estudo foi realizado a partir da estimativa dos esforços destes componentes e do ponto de aplicação das massas.

O dimensionamento do chassi, junto com as análises estruturais, mostrou ser de grande relevância para conhecer melhor o comportamento da estrutura tubular durante as provas que serão propostas para o veículo. Para isso, a versão estudantil do *software* Autodesk Inventor Professional foi de grande valia, já que as simulações computacionais poupam investimentos financeiros e a construção física do chassi, o que não seria possível a realização por causa do período de isolamento social. O *software* auxiliou na otimização da estrutura, visto que para cada simulação foi inspecionado onde o chassi demandaria de mais reforços, a fim de elevar a sua rigidez estrutural e em consequência a segurança.

Sabendo que um dos objetivos do projeto era construir um protótipo de chassi em escala real, vale lembrar que a mesma não foi possível devido ao período de isolamento social, já que o projeto foi desenvolvido durante a pandemia da COVID-19, e conseqüentemente não foi possível fazer testes experimentais para que haja a comprovação dos dados encontrados nas simulações. Entretanto, o período de isolamento social contribuiu para que os integrantes do trabalho se dedicassem em quase que tempo integral aos estudos, a fim de extrair o máximo de conhecimento e contribuir para o êxito do projeto.

Visto que para ambos os autores o assunto abordado no projeto é de grande interesse, todas as pesquisas e estudos abordados foram de grande valia para agregar conhecimento e experiência teórica pessoal, contribuindo de forma direta para o êxito do projeto.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUTODESKINC. **Ajustar configurações de malha e controles**. 2020. Disponível em: <<http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2021/PTB/?guid=GUID-B73B2C75-4AA4-4F9E-9BC4-4AB8D26C1765>>.

CARDOSO, E.; OLIVEIRA, B. F. **Estudo do Comportamento do Chassi de Veículo em Espuma Metálica Submetido a Teste de Impacto**. 1. ed. Porto Alegre, RS: Design Tecnologia, 2010.

GENTA, G.; MORELLO, L. **The Automotive Chassis**. [S.l.]: Springer, 2009.

GUTH, G. A. **Análise dinâmica não linear de um chassi de baja SAE utilizando a metodologia de elementos finitos**. Tese (Doutorado) — Faculdade Horizontina, 2015.

RSBS. **Regulamento administrativo e técnico Baja SAE Brasil**. 2019. Disponível em: <http://portal.saebrasil.org.br/Portals/0/Users/165/65/64165/RATBSB_emenda_03.pdf>. Acesso em: 15 de junho de 2020.

SILVA, R. C. D. **Estudo das frequências naturais de um chassi tubular de um protótipo baja offroad**. 2019. Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP.