

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CAMPUS ALEGRETE  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DIOSIFER GONÇALVES DUARTE**

**ANÁLISE NUMÉRICA E DESENVOLVIMENTO DE UM CHASSI BAJA SAE**

**Alegrete**

**2024**

**Diosifer Gonçalves Duarte**

**ANÁLISE NUMÉRICA E DESENVOLVIMENTO DE UM CHASSI BAJA SAE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Mecânica, do Campus Alegrete, da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Vicente Bergamini Puglia

**Alegrete**

**2024**

**DIOSIFER GONÇALVES DUARTE**

**ANÁLISE NUMÉRICA E DESENVOLVIMENTO DE UM CHASSI BAJA SAE**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Monografia defendida e aprovada em 09 de dezembro de 2024.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Vicente Bergamini Puglia  
Orientador  
(UNIPAMPA)

---

Prof. Dr. Tonilson de Souza Rosendo  
(UNIPAMPA)

---

Prof. Dr. Angélica Bordin Colpo  
(UNIPAMPA)

---



Assinado eletronicamente por **TONILSON DE SOUZA ROSENDO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/12/2024, às 14:49, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **VICENTE BERGAMINI PUGLIA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/12/2024, às 14:57, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **ANGELICA BORDIN COLPO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/12/2024, às 14:58, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1619392** e o código CRC **40CA7462**.

---

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que, acima de tudo, me deu força, persistência e sabedoria para enfrentar os desafios ao longo dessa caminhada. Sem Sua orientação e proteção, não teria chegado até aqui.

Agradeço aos meus pais queridos, minha mãe e meu pai, que foram a base sólida sobre a qual construí minha trajetória. O apoio incondicional e o exemplo de determinação que me deram foram fundamentais para que eu pudesse iniciar e concluir este curso.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, fornecendo suporte e encorajamento nos momentos mais difíceis, meu sincero agradecimento. Cada palavra de apoio e gesto de carinho foi essencial.

À minha namorada, que sempre esteve ao meu lado, enfrentando as dificuldades comigo, meu muito obrigado. Sua presença e compreensão foram fundamentais para que eu continuasse perseverando nos momentos mais desafiadores.

Ao meu orientador, Professor Vicente Bergamini Puglia, expresso minha profunda gratidão. Sua paciência, conhecimento e orientação foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Obrigado por cada conselho, por cada revisão detalhada e por me guiar com tanto comprometimento e dedicação ao longo do projeto.

Agradeço também à equipe do BAJA PAMPA, que contribuiu diretamente para a construção e o desenvolvimento deste projeto de TCC. O trabalho em equipe, as trocas de conhecimentos e o comprometimento de todos foram elementos cruciais para o sucesso desta jornada.

Por fim, agradeço a todos que passaram ao longo dessa trajetória e, de alguma forma, contribuíram para a minha formação. Cada pessoa deixou uma marca importante em minha caminhada, e sou grato por todo o apoio e aprendizado compartilhado.

A todos vocês, meu sincero obrigado.

## RESUMO

O Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo o desenvolvimento de um modelo numérico para auxiliar a construção do chassi de um veículo BAJA SAE, projetado para competições estudantis nacionais e internacionais. A pesquisa, realizada utilizou o método dos elementos finitos (FEM) no software ANSYS APDL para analisar a rigidez à flexão e à torção da estrutura, propriedades fundamentais para o desempenho do chassi. O modo do desenvolvimento do projeto envolveu a criação de um modelo tridimensional detalhado do chassi em CAD, respeitando as especificações do Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil (RATBSB). Foram realizadas simulações computacionais que permitiram avaliar tensões, deformações e rigidez da estrutura. Os resultados indicaram que o chassi atende aos requisitos de segurança e desempenho exigidos pela competição, situando-se dentro da faixa de rigidez torcional recomendada (750 a 1500 Nm/°) e com tensões bem abaixo do limite de escoamento do material utilizado (aço SAE 1020). Este estudo contribui diretamente para o avanço técnico da equipe Baja Pampa, fornecendo uma base sólida para futuras análises experimentais e desenvolvimento.

Palavras-Chave: Chassi, Método de elementos finitos, Rigidez a flexão, Rigidez torcional, BAJA.

## ABSTRACT

*This term paper aimed to develop a numerical model to assist in the construction of the chassis of a BAJA SAE vehicle, designed for national and international student competitions. The research was carried out through the use of the finite element method (FEM) in the ANSYS APDL software, in order to analyze the bending and torsional stiffness of the structure, which are fundamental properties for the chassis' performance. The way the project was developed involved the creation of a detailed three-dimensional model of the chassis in CAD, respecting the specifications of the Baja SAE Brasil Administrative and Technical Regulation (RATBSB). Computational simulations were carried out to evaluate stresses, strains and stiffness of the structure. The results indicated that the chassis meet the safety and performance standards required by the competition, being within the recommended torsional stiffness range (750 to 1500 Nm/°), with stresses well below the yield limit of the material used (SAE steel 1020). This study directly contributes to the technical advancement of the Baja Pampa team by providing a solid foundation for future experimental analysis and development.*

*Keywords: Chassis, Finite Element Method, Bending Stiffness, Torsional Stiffness, BAJA.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Chassi do tipo ladder frame (escada) .....	12
Figura 2 - Chassi do tipo cruciforme.....	12
Figura 3 – Chassi do tipo monobloco .....	13
Figura 4 - Chassi do tipo Spaceframe (Tubular) .....	14
Figura 5 – Deformação por carga de flexão vertical no chassi .....	15
Figura 6 – Deformação por carga de flexão lateral no chassi .....	16
Figura 7 - Deformação Torção Longitudinal no chassi .....	17
Figura 8 – Deformação do chassi em forma de paralelogramo .....	17
Figura 9 – Membros da Gaiola de Proteção .....	19
Figura 10 - Fluxograma do projeto .....	21
Figura 11 - Modelo do chassi 3D: (A) Vista lateral e (B) Vista Isométrica .....	22
Figura 12 - Modelo numérico: (A) Vista lateral e (B) Vista Isométrica .....	23
Figura 13 - Modelo numérico: (A) Rigidez a flexão e (B) Rigidez torcional .....	25
Figura 14 - Vista frontal com condições iniciais .....	28
Figura 15 – Vista lateral do deslocamentos do chassi após aplicação das condições de contorno .....	29
Figura 16 - Vista isométrica do deslocamentos do chassi após aplicação das condições de contorno .....	29
Figura 17 - Vista frontal com as condições iniciais .....	30
Figura 18 - Vista lateral do deslocamentos do chassi após aplicação das condições de contorno .....	31
Figura 19 - Vista isométrica do deslocamentos do chassi após aplicação das condições de contorno .....	31
Figura 20 - Vista frontal com as condições iniciais .....	33
Figura 21 - Vista frontal do chassi com condições de contorno sob torção .....	33
Figura 22 – Vista lateral do chassi com condições de contorno sob torção .....	34
Figura 23 - Vista Traseira com as condições iniciais .....	35
Figura 24 - Vista frontal do chassi com condições de contorno sob torção .....	36
Figura 25 - Vista lateral do chassi com condições de contorno sob torção .....	36
Figura 26 - Centro de gravidade do chassi.....	38
Figura 27 - Tensão de von Misses do chassi .....	39



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	9
1.1 Objetivos .....	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	10
2.1 Tipos de Chassi .....	11
2.1.1 Chassi escada ( <i>Ladder frame</i> ) e Cruciforme.....	11
2.1.2 Chassi monobloco .....	13
2.1.3 Chassi Tubular ( <i>Spaceframe</i> ).....	13
2.2 Análise Estática.....	14
2.2.1 Carregamentos atuantes em um chassi .....	15
2.2.1.1 Flexão Vertical .....	15
2.2.1.2 Flexão Lateral .....	16
2.2.1.3 Torção Longitudinal.....	16
2.2.1.4 <i>Lozenging</i> Horizontal.....	17
2.3 Competição BAJA SAE.....	18
2.4 Regulamento.....	18
2.4.1 Elementos da gaiola .....	19
3. METODOLOGIA .....	20
3.1 Construção de modelo e geometria .....	21
3.2 Modelo numérico.....	23
3.3 Condições de contorno .....	24
3.4 Rigidez á flexão .....	25
3.5 Rigidez torcional .....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	28
4.1 Rigidez a flexão dianteira .....	28
4.2 Rigidez a flexão traseira .....	30
4.3 Rigidez a flexão média.....	32
4.4 Rigidez torcional dianteira .....	32
4.5 Rigidez torcional traseira .....	35

<b>4.6 Rigidez torcional média .....</b>	<b>37</b>
<b>4.7 Tensões e Deformações .....</b>	<b>38</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O chassi é uma estrutura fundamental em veículos. No final do século XIX e início do século XX, quando os automóveis começaram a ser produzidos, o chassi surgiu como uma estrutura robusta e essencial para suportar todos os componentes do veículo, como o motor, a transmissão, as rodas e a carroceria (AMARAL,2017).

O chassi é responsável por fornecer suporte estrutural e rigidez, resistindo a diversos tipos de esforços, como tração, compressão, flexão, torção, cisalhamento e flambagem. Além disso, o chassi absorve e distribui as forças geradas durante a condução, garantindo a dirigibilidade, o conforto e a segurança do piloto (SANTOS, CHAVES, 2021).

O comitê técnico e administrativo do BAJA SAE Brasil (RATBST) define no regulamento o tipo de chassi utilizado no veículo, as regras de segurança, e o escopo de outras atividades relacionadas à competição. O chassi constitui uma parte relevante do peso total do veículo e desempenha um papel crucial na absorção de energia em situações de impacto. Para avaliar o desempenho estrutural do chassi, são realizados testes rigorosos onde este deve atingir os parâmetros mínimos requisitados no regulamento (BEZERRA FILHO,2020).

Métodos analíticos clássicos tornam-se inviáveis para casos complexos, tornando indispensável o uso de soluções aproximadas, um exemplo seria o chassi ladder frame onde são apenas duas longarinas na longitudinal e alguma na transversal, comparando com o chassi monobloco onde as cargas percorre por toda estrutura e é mais complexa de projetar. Nesse contexto, a utilização de softwares de análise numérica tornou-se uma ferramenta essencial. Com um modelo numérico bem elaborado, pode-se identificar pontos críticos do projeto e é possível reduzir significativamente o número de protótipos necessários, o que torna a análise mais econômica e eficiente. Os softwares permitem a simulação do desempenho estático e dinâmico dos projetos, possibilitando melhorias contínuas e a resolução de diversos desafios. Em particular, a análise de chassis modernos, que são estruturas extremamente complexas, se beneficia significativamente das simulações, permitindo uma avaliação detalhada e precisa que não seria possível com métodos tradicionais (AZEVEDO CANUT, 2014).

O programa BAJA SAE promove competições regionais e nacionais que são organizadas por meio de eventos dinâmicos que submetem o protótipo a condições

adversas, com foco no dimensionamento de uma estrutura com elevada resistência. A razão por trás deste trabalho vem de uma motivação pessoal com o compromisso de contribuir com a equipe do BAJA PAMPA da Universidade Federal do Pampa Campus Alegrete, colaborando no desenvolvimento de um projeto que leve em conta as regras da competição e, mais importante, o conhecimento em análise numérica de estruturas. Com o projeto da estrutura numérica realizado, isso irá contribuir para o início do desenvolvimento do chassi, possibilitando também a realização de análises numéricas durante as sessões de competição para possíveis melhorias que necessitem ser feitas.

### **1.1 Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo desenvolver o projeto de chassi do tipo *spaceframe* (estrutura espacial) conforme a especificação do SAE BRASIL, de modo a proporcionar à equipe BAJA PAMPA uma estrutura de um chassi robusta, rígida e seguro, capaz de resistir a situações críticas e ter um melhor desempenho nas competições regionais e nacionais.

Como objetivos específicos, destaca-se: 1) a modelagem estrutural do chassi de um protótipo do BAJA SAE, utilizando o software CAD/CAE; 2) um modelo utilizando o método de elementos finitos (MEF); 3) a análise de tensões e deformações sob situação estáticas.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

No final do século XIX, com a invenção dos primeiros veículos motorizados, o chassi era uma estrutura simples, geralmente feita de madeira ou metal, que suportava o motor e a carroceria. O chassi de um automóvel serve para conectar todas as partes integrantes do veículo, como motor, pneus, conjunto de eixos, freios e direção, tornando-se o componente estrutural mais significativo. A principal função desempenhada é suportar os esforços de flexão e torção, absorver impactos protegendo o piloto em caso de colisão seja frontal ou lateral. Essas cargas que atuam sobre um chassi podem ser estáticas ou dinâmicas, com variações na magnitude, direção e posição ao longo do tempo (ARAÚJO, 2022).

Ao longo da história, novas ferramentas surgiram, como a análise numérica, possibilitando a criação de modelos para simular novos projetos de estruturas mais complexas e realizar análises antes da produção. Os chassis modernos são leves, robustos e apresentam uma geometria significativamente mais complexa em comparação com os chassis mais antigos. Dessa forma, a engenharia do chassi integra diversos aspectos históricos e tecnológicos, resultando em estruturas que atendem aos rigorosos requisitos modernos de segurança e desempenho, exigindo uma cuidadosa consideração de materiais, geometria e técnicas de fabricação (AZEVEDO CANUT, 2014).

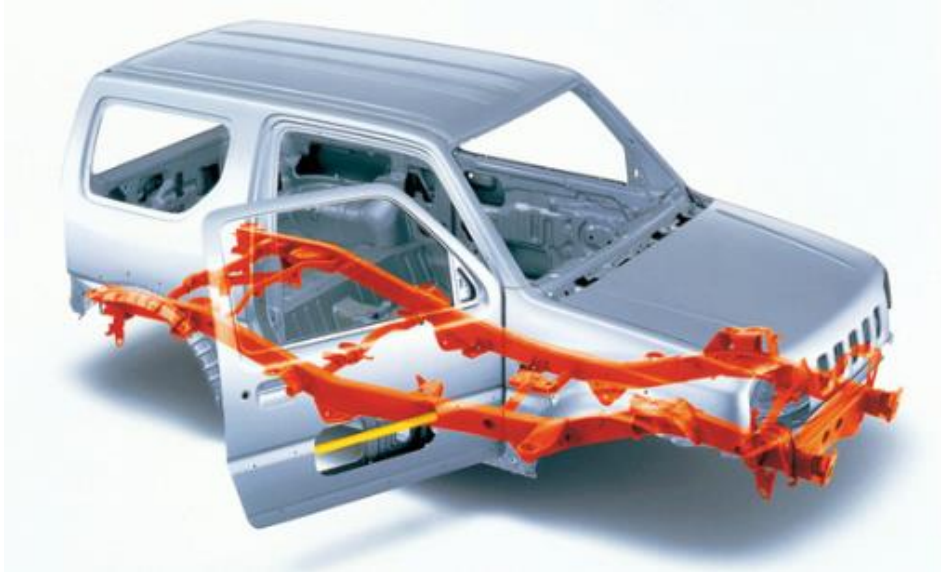
## **2.1 Tipos de Chassi**

### **2.1.1 Chassi escada (*Ladder frame*) e Cruciforme**

O chassi tipo *ladder* é uma estrutura semelhante a degraus de uma escada, onde a carroceria é separada, como mostrada na figura 1. Ele é constituído por duas vigas longitudinais chamadas longarinas, que percorrem todo o comprimento do veículo. Essas longarinas são ligadas entre si por uma série de vigas transversais chamadas travessas (CASTRO, 2008). No entanto, a principal vantagem deste tipo de chassi é sua grande flexibilidade, permitindo acomodar diversas formas e tipos de carrocerias, desde furgões e pick-ups até caminhões (HAPPIAN-SMITH, 2002).

Esse tipo de estrutura possui característica de ser resistente e estável, tem alta capacidade de transportar cargas, é ótima em veículos off-road, apesar de possuir baixa rigidez a torção. Devido a carroceria estar separada do chassi, a mesma apresenta movimentos relativos quando o veículo está em movimento, proporcionando algum desconforto aos ocupantes do veículo.

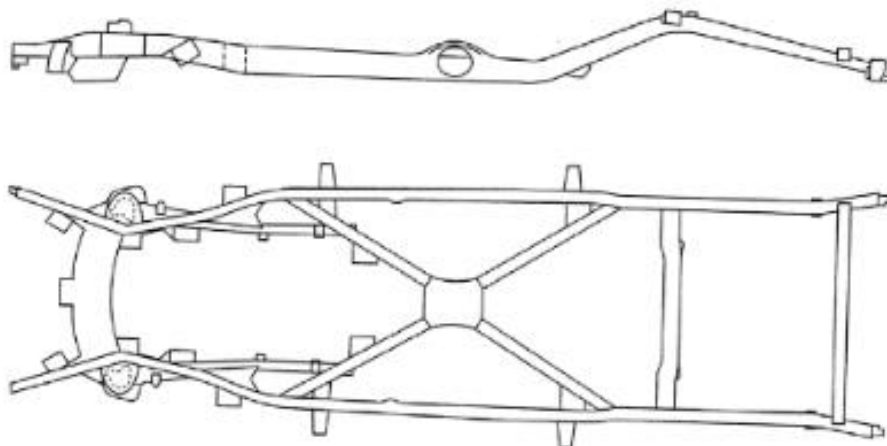
Figura 1 – Chassi do tipo ladder frame (escada)



Fonte: DIAS, 2018

Projetistas observaram que a adição de vigas em formato de "X", na figura 2, entre as longarinas do chassi tipo *ladder* trouxe muitos resultados positivos. Isso levou ao desenvolvimento do chassi cruciforme. Esta configuração incrementada combina duas vigas retas, que são solicitadas apenas por forças de flexão. A rigidez do chassi como um todo aumenta proporcionalmente à rigidez da junta central (ARAÚJO, 2022).

Figura 2 - Chassi do tipo cruciforme



Fonte: VENÂNCIO, 2013

### 2.1.2 Chassi monobloco

O chassi monobloco é uma técnica de construção em que a carroceria e o chassi são incorporados em uma estrutura única, eliminando assim a necessidade de um chassi separado, figura 3. Comumente construído com aço estampado, o chassi monobloco também pode incorporar materiais avançados, como alumínio, fibra de carbono e aço de ultra resistência, para aumentar a resistência e reduzir o peso. A estrutura monobloco é projetada para distribuir as cargas de forma eficiente por toda a carroceria, deformando-se de maneira controlada em caso de colisão, absorvendo melhor a energia do impacto e protegendo os ocupantes. Isso é alcançado através de técnicas de engenharia que integram suportes estruturais, pilares e reforços dentro da própria carroceria (BEZERRA,2012).

Figura 3 – Chassi do tipo monobloco



Fonte: CROLLA, 2009

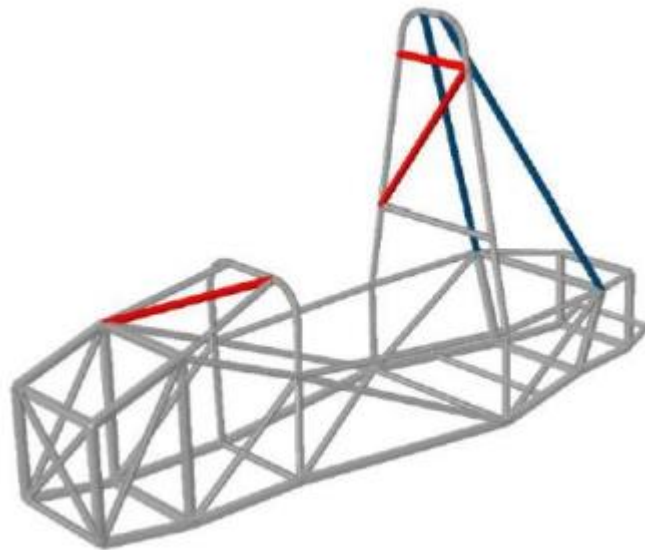
### 2.1.3 Chassi Tubular (*Spaceframe*)

O chassi tubular (*Spaceframe*), também chamado de gaiola, é uma estrutura que utiliza tubos interconectados, figura 4, geralmente com seções circulares ou quadradas, feitos de aço ou alumínio. Os tubos com seção circular são mais utilizados devido ao seu melhor desempenho estrutural. A geometria do chassi deve formar estruturas triangulares para suportar todas as cargas exigidas pelo veículo, pois os tubos sofrem apenas tração e compressão. Assim, cada ponto de carga é apoiado

nas três coordenadas, aumentando a rigidez e a estabilidade do chassi, garantindo uma distribuição eficiente das forças.

Um chassi *spaceframe*, construído exclusivamente com tubos, é leve e altamente rígido. Esta combinação é exatamente o que os projetistas almejam para carros de corrida: leveza para permitir maior aceleração e rigidez para preservar a geometria da suspensão, assegurando que as rodas mantenham contato constante com o solo. No entanto, alcançar o equilíbrio ideal entre peso e rigidez continua sendo um desafio persistente na engenharia automotiva (PAULINO; VIEIRA; TAVARES, 2016).

Figura 4 - Chassi do tipo Spaceframe (Tubular)



Fonte: CANUT, 2014

## 2.2 Análise Estática

A função do chassi é conectar todas as partes do veículo, sejam elas estáticas ou dinâmicas, tornando seu estudo fundamental para a engenharia automotiva. A análise estática de um chassi é um processo importante que avalia a resposta do chassi às cargas aplicadas em condições estacionárias. O objetivo é garantir que o chassi possa suportar essas cargas sem deformação excessiva ou falha estrutural (ANDRADE, 2022).



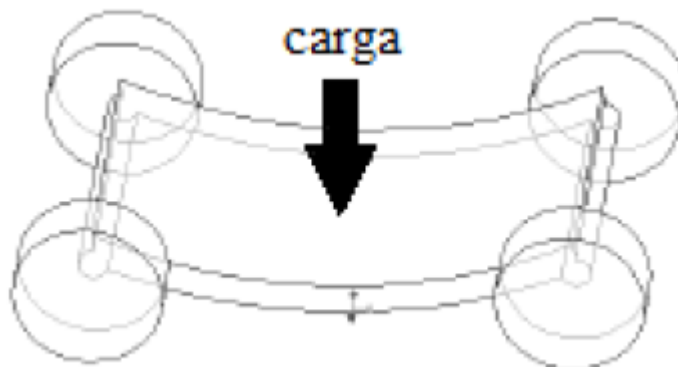
## 2.2.1 Carregamentos atuantes em um chassi

As cargas que atuam sobre um chassi podem ser classificadas de várias maneiras, com base em sua natureza, direção e origem. Compreender esses diferentes tipos de carregamentos é essencial para garantir que o chassi seja projetado para suportar todas as forças encontradas durante a operação do veículo (BEZERRA FILHO, 2011). Para iniciar o projeto de um chassi, é preciso entender esses tipos de carregamentos ou forças que atuam na estrutura do chassi (RILEY; GEORGE; 2002). Os 4 principais carregamentos que geram esforços de deformação no chassi são flexão vertical, flexão lateral, torção longitudinal e *lozenging* horizontal (HISLER; 2002).

### 2.2.1.1 Flexão Vertical

A flexão vertical, causada por cargas estáticas, é um dos principais tipos de carregamentos que atuam sobre um chassi de veículo, figura 5, gerando esforços de deformação na estrutura. Este tipo de carregamento ocorre principalmente devido ao peso do veículo, incluindo a carga útil, passageiros e o próprio chassi, assim como devido a forças de aceleração e desaceleração (ANDRADE, 2017).

Figura 5 – Deformação por carga de flexão vertical no chassi

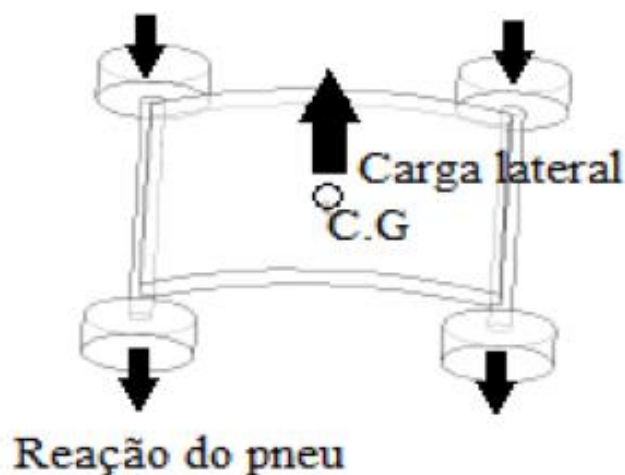


Fonte: ARAÚJO, 2022

### 2.2.1.2 Flexão Lateral

A deformação de um veículo é chamada de flexão lateral: ocorre quando as forças laterais são aplicadas à estrutura. Esse carregamento ocorre principalmente em curvas e manobras, onde a força centrífuga tende a tirar o veículo da estrada enquanto os pneus desenvolvem forças de reação ao solo em ângulos retos devido à sua resistência, como mostra a figura 6. A resistência é criada por essas forças contra a flexão causada pela carga lateral. Pode causar deformação temporária ou permanente, levando às vezes até falhas fatais de resistência e durabilidade (RILEY; JORGE, 2002).

Figura 6 – Deformação por carga de flexão lateral no chassi



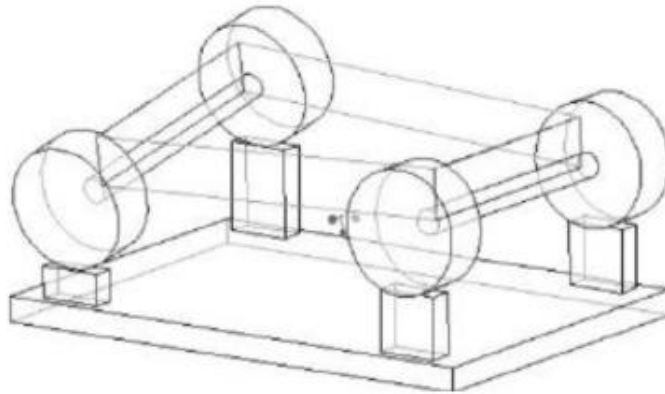
Fonte: ARAÚJO, 2022

### 2.2.1.3 Torção Longitudinal

Este tipo de carregamento é comum em situações onde há forças desiguais atuando nas extremidades do chassi, como durante curvas bruscas, deslocamentos e frenagens desiguais, ou ao atravessar terrenos irregulares, como mostra a figura 7. O desempenho de um chassi é determinado principalmente pela sua rigidez torcional, já que uma parte significativa do movimento do veículo é atribuída à distribuição de peso entre os pneus. Além disso, quando tanto a rigidez à flexão vertical quanto a

rigidez torcional atendem aos requisitos necessários, o chassi pode ser considerado eficiente (Weiss, 2016).

Figura 7 - Deformação Torção Longitudinal no chassi



Fonte: ARAÚJO, 2022

#### 2.2.1.4 *Lozenging* Horizontal

Esse tipo de carregamento acontece principalmente devido a forças laterais e momentos de torção que não são uniformemente distribuídos, como mostra a figura 8. A deformação que ocorre quando um chassi de veículo é submetido a essas forças resulta em um deslocamento em forma de paralelogramo (ARAÚJO, 2022).

Figura 8 – Deformação do chassi em forma de paralelogramo



Fonte: ARAÚJO, 2022

### 2.3 Competição BAJA SAE

O início do Projeto Baja SAE sob a tutela do Dr. John F. Stevens remonta à sua edição inaugural em 1976 na Universidade da Carolina do Sul, isso marcou seus passos em solo americano. Somente em 1991 é que a SAE BRASIL surgiu, mas a recuperação foi rápida; em 1994, já havia implantado o Programa SAE BRASIL Baja. A etapa nascente culminou em uma competição nacional em 1995, no autódromo Guido Caloi, revelando-se um evento criativo enraizado no bairro do Ibirapuera, em São Paulo. No entanto, a SAE BRASIL não limitou seu apoio apenas a esses grandiosos eventos anuais, desde 1997, eles estenderam seu apoio à realização de eventos regionais da Baja SAE BRASIL por meio de suas seções regionais. A razão de ter o projeto é permitir que os alunos apliquem na prática os conceitos aprendidos academicamente, desenvolvendo projetos em tempo real, assim, nutrindo uma experiência semelhante a ser aproveitada no mercado de trabalho. Assim, a tarefa dos alunos é colaborar e trabalhar coletivamente na concepção, construção, teste, promoção e participação numa competição com um veículo que cumpra os regulamentos especificados. Espera-se que o veículo *off-road* de passageiros seja robusto e tenha um assento único. Num esforço para promover o envolvimento de acadêmicos, o BAJA SAE organiza eventos onde apresentam as suas instituições de ensino superior através destas competições de projetos, audiências de acordo com padrões estabelecidos com um painel de juízes, voluntários e equipes participantes. As competições brasileiras são conhecidas em todo o país: Etapa Sul, Etapa Sudeste e Etapa Nordeste.

### 2.4 Regulamento

O Regulamento Administrativo e Técnico da Baja SAE BRASIL (RATBSB) estabelece normas que descrevem o Projeto Baja SAE BRASIL, e especifica todas as regras da competição a serem seguidas na fabricação de seu veículo *off-road*. Para participar da competição, deve-se atender a todas as diretrizes descritas nos regulamentos técnicos. Isso inclui, aspectos como motor, sistema elétrico, freios, suspensão, gaiola de proteção, todos os quais serão devidamente avaliados pelo comitê de supervisão da competição.



Membros secundários:

- LDB: *Lateral Diagonal Bracing* (Reforço Diagonal Lateral).
- SIM: *Side Impact Members* (Membros de Impacto Lateral).
- FAB: *Fore-Aft Bracing members* (Membros de Reforço Longitudinal).
- USM: *Under Seat Member* (Membro Sob o Assento).
- LFDB: *Lower Frame Diagonal Bracing* (Reforço Diagonal da Estrutura Inferior).
- ILC: *Intermediate Lateral Cross member* (Membro Transversal Lateral Intermediário).
- RLC: *Rear Lateral Cross member* (Membro Transversal Lateral Traseiro).

Cada categoria de membro terá limitações específicas. De acordo com o regulamento, há parâmetros definidos para o chassi em relação aos membros primários e secundários, entre os quais estão:

1) Tubo circular de aço com diâmetro externo de 25,4 mm, espessura mínima de 3,05 mm e teor de carbono  $\geq 0,18\%$ . 2) Perfis alternativos com rigidez e resistência superiores devem ter espessura  $\geq 1,57$  mm, mesmo teor de carbono, e atender cálculos considerando a linha neutra. 3) Os membros secundários precisam de espessura mínima de 0,89 mm, diâmetro externo  $\geq 25,4$  mm e carbono  $\geq 0,18\%$ .

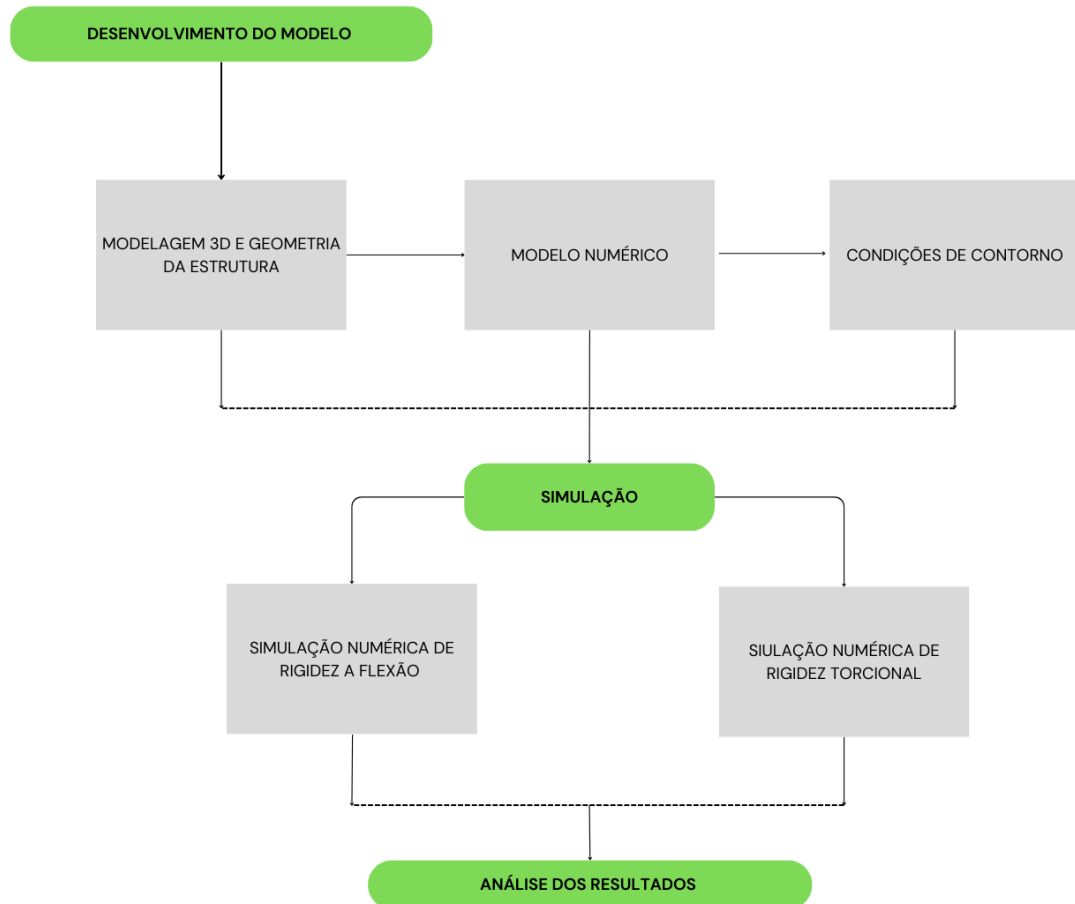
### 3. METODOLOGIA

O objetivo deste projeto é desenvolver um modelo de elementos finitos (MEF) para o projeto de um novo chassi, com foco na construção de um protótipo para a competição BAJA SAE Universitária. A pesquisa realizada neste trabalho busca aprimorar a resistência e o desempenho estrutural do veículo BAJA PAMPA, atendendo aos requisitos estabelecidos pelo Regulamento Administrativo e Técnico BAJA SAE Brasil (RATBSB). Embora o regulamento imponha restrições à geometria do chassi, ele também permite que as equipes adaptem o design às suas necessidades específicas. Para o início do projeto seguiu-se o seguintes etapas do projeto, como mostra o fluxograma na figura 10, com cada etapa.

A equipe BAJA PAMPA SAE da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) já possuía um modelo inicial do chassi, desenvolvido com o uso de software CAD. Com base nesse modelo inicial, foi criado um modelo numérico para

realizar simulações e análises estruturais. As condições de contorno foram definidas, e as simulações numéricas foram executadas para avaliar as respostas do chassi a diferentes tipos de solicitações.

Figura 10 - Fluxograma do projeto



Fonte: Autor

### 3.1 Construção de modelo e geometria

A criação do chassi começou com uma análise detalhada do regulamento BAJA SAE, já que vários tubos específicos são exigidos para atender aos requisitos de segurança dos ocupantes. Segundo (RATBSB) para a construção do veículo, devem ter nos projetos os membros primários e secundários, seguindo as dimensões exigidas no documento regulamentário. Considerando que o veículo será usado em terrenos irregulares e acidentados, com subidas e descidas íngremes, é fundamental

garantir a presença de chassi robusto, especialmente para proteger os ocupantes em caso de capotamento.

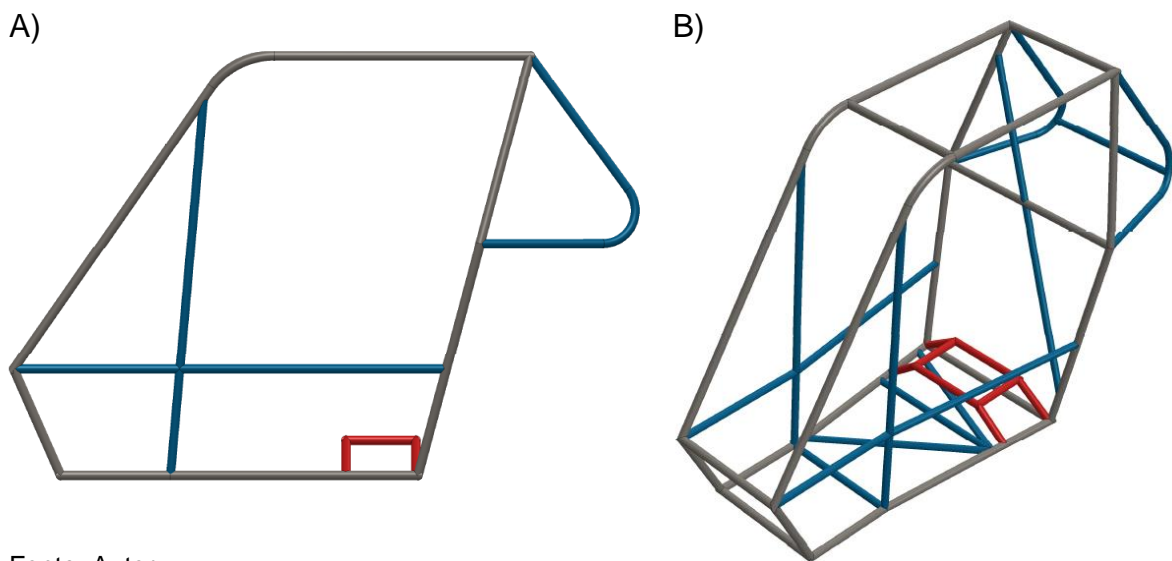
O primeiro modelo foi realizado no software do CAD, figura 11, pela equipe do BAJA PAMPA, com os seguintes parâmetros da tabela 1:

Tabela 1 – Dados geométricos do modelo

Parâmetros geométricos gerais do modelo	
Comprimento	1,790 m
Altura	1,200 m
Largura	0,737 m
Diâmetro externo do tubo	0,0254 m
Diâmetro interno do tubo	0,0193 m

Fonte: Autor

Figura 11 - Modelo do chassi 3D: (A) Vista lateral e (B) Vista Isométrica



Fonte: Autor

É importante destacar que os tubos usados em competições BAJA SAE seguem restrições em relação às dimensões e à resistência mecânica. Uma exigência inicial do projeto é que os tubos sejam feitos de aço com pelo menos 0,18% de carbono em sua composição, com as propriedades descritas na tabela 2. Assim, a equipe optou pelo aço 1020, um material amplamente utilizado por seu custo acessível e por oferecer resistência mecânica superior aos aços de baixo carbono.



Tabela 2 – Propriedades do material

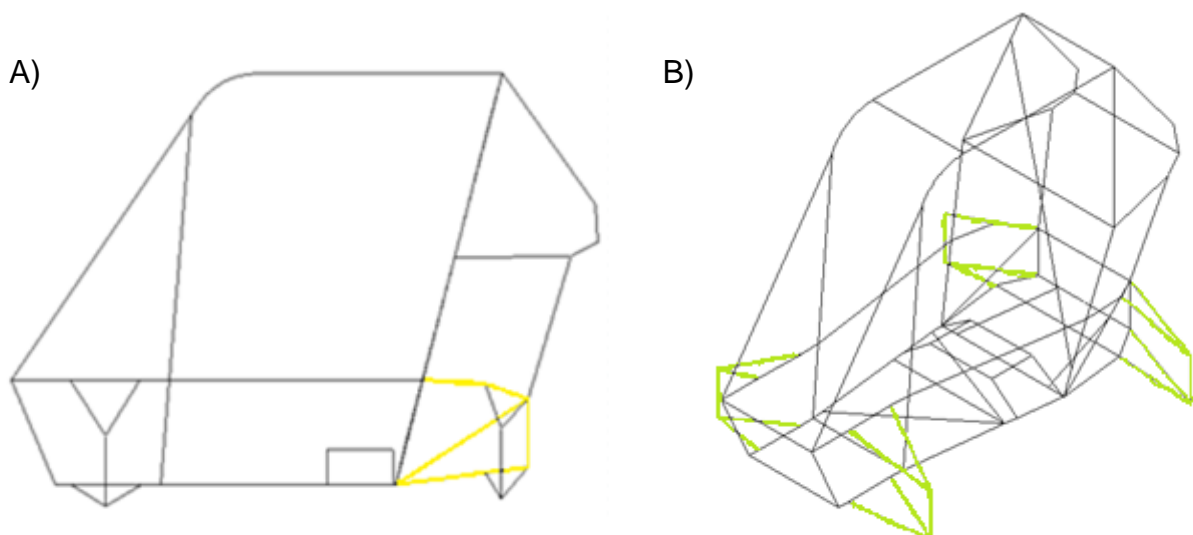
Propriedades	Aço SAE 1020
Módulo de Elasticidade	205 (GPa)
Densidade	7,85 (g/cm <sup>3</sup> )
Coeficiente de Poisson	0,3
Resistência ao Escoamento	350 (MPa)
Resistência a Tração	420 (MPa)

Fonte: William, D. Callister (2016)

### 3.2 Modelo numérico

A estrutura do chassi foi modelada em elementos finitos, usando o módulo *Mechanical APDL (ANSYS Parametric Design Language)*. Para executar a simulação de rigidez do chassi utilizando o método dos elementos finitos, foi preciso ajustar o modelo. Em vez de replicar a geometria exata de um veículo BAJA com todas as soldas, optou-se por uma versão simplificada. Esse modelo representa apenas o chassi tubular, sem incluir subcomponentes como freios, direção e motor, mas mantém a estrutura original projetada pela equipe, com pequenas modificações adicionais, dentre essas alterações, destacam-se as inclusões do subchassi na traseira representado na cor amarelo na figura 12 (A) e a suspensão básica dianteira e traseira diretamente no chassi, representado na cor verde na figura 12 (B), que tornou o modelo mais próximo das condições reais e adequado para simulação.

Figura 12 - Modelo numérico: (A) Vista lateral e (B) Vista Isométrica



Fonte: Autor

Inicialmente realizou-se uma pesquisa sobre materiais e características geométricas, seguida de uma simulação preliminar para estimar o peso da geometria desenvolvida pela equipe Baja PAMPA. A estrutura inicial projetada é de 51,574 kg.

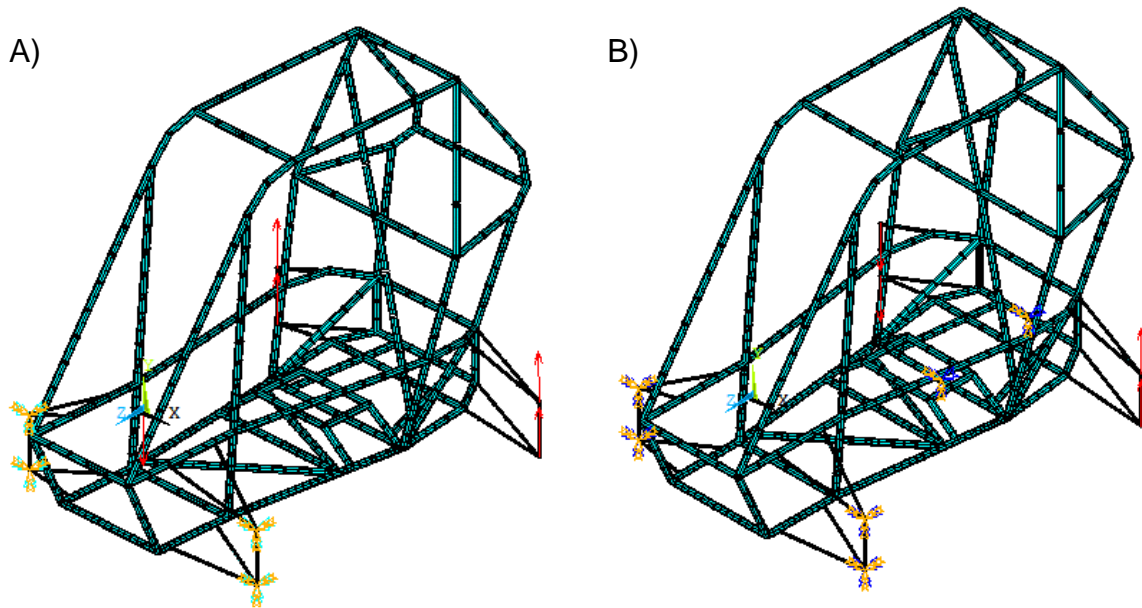
Na simulação é utilizado o elemento BEAM189 possui seis graus de liberdade em cada nó, com três direções de deslocamento linear e três rotações em torno dos eixos de referência. Esse elemento é especialmente útil em análises que envolvem grandes tensões e deformações.

### **3.3 Condições de contorno**

Para utilizar o elemento BEAM189 na simulação, é necessário especificar algumas propriedades mecânicas como dados de entrada: o módulo de elasticidade  $E$  (GPa), o coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) e a densidade  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ). Esse tipo de elemento permite também a atribuição de diferentes geometrias às seções transversais. Assim, no modelo, os tubos da estrutura são representados por elementos com seção tubular circular.

No presente projeto, foram realizadas duas simulações para determinar as rigidez do chassi. A primeira simulação refere-se à rigidez à flexão, na qual as condições de contorno são apresentada na figura 13 (A), neste modelo foram aplicadas restrições de rotação (nos eixos X, Y e Z) e restrições de deslocamento (nos eixos X e Z) nos quatro duplo A, as forças foram aplicadas nos duplo A da traseira (no eixo Y). A segunda simulação apresentada na figura 13 (B), que analisa a rigidez torcional, consistiu na aplicação de restrições de rotação e deslocamento (nos eixos X, Y e Z) nos duplos A da suspensão dianteira, juntamente com a restrição de rotação (nos eixos X e Y) em duas barras transversais. Em seguida, foram aplicadas forças em cada lado do chassi, com direções opostas, gerando assim um torque na estrutura.

Figura 13 - Modelo numérico: (A) Rigidez a flexão e (B) Rigidez torcional



Fonte: Autor

### 3.4 Rigidez á flexão

A análise da rigidez à flexão busca entender o quanto o chassi consegue resistir a deformações quando submetido a cargas verticais e outras forças externas. Um chassi com alta resistência à flexão é capaz de minimizar essas deformações, proporcionando uma base mais estável para todos os sistemas e componentes instalados. Isso ajuda a distribuir melhores forças que atuam sobre o veículo, o que contribui para a durabilidade e o desempenho do conjunto como um todo (MILLIKEN & MILLIKEN, 1995).

A flexão ocorre quando uma força é aplicada a uma viga ou estrutura, causando uma curvatura. O conceito central de flexão está relacionado à como a viga se deforma sob uma carga aplicada. Logo isto podemos relacionar a estrutura com a teoria da flexão em vigas, que podem ser descritas por uma equação diferencial. A relação entre o momento fletor ( $M$ ), o módulo de elasticidade ( $E$ ), o momento de inércia ( $I$ ) e o ângulo da curvatura ( $\theta$ ) é dada por:

$$\theta = \frac{M}{EI}$$

A rigidez da viga é descrita por ( $k = EI$ ), e não depende apenas das propriedades do material e da geometria, mas também das condições de contorno e das condições de carregamento (R.C. HIBBELER, 2013).

A abordagem utilizando a lei de Hooke, onde é aplicável dentro do regime elástico, destaca a importância do entendimento integrado entre propriedades intrínsecas dos materiais, como o módulo de elasticidade, e características geométricas, como o momento de inércia. Essa abordagem facilita a modelagem das estruturas e garante um desempenho em aplicações reais.

Assim pode-se entender que a rigidez a flexão ( $k_f$ ) é dada pela razão entre uma força ( $F$ ) e um deslocamento resultante ( $\delta$ ) :

$$k_f = \frac{F}{\delta} \quad [\text{N/m}]$$

### 3.5 Rigidez torcional

Os procedimentos experimentais para determinar a rigidez torcional do chassi automotivo são um tanto custosos e demorados, pois vários protótipos precisam ser fabricados para teste. O principal motivo dos testes é, na verdade, identificar quaisquer áreas problemáticas dentro da estrutura e avaliar o potencial de reforço (MILLIKEN, 1995). Na tabela 3, se encontra uma faixa de valores de rigidez torcional de alguns tipos de veículos, estando dentro desses valores se encontra satisfatório, segundo a análise numérica e experimental realizada por Sampó e Barbosa.

A rigidez do chassi é muito importante para a dinâmica do veículo: se ele não tiver resistência suficiente, todos os sistemas montados nele são afetados. O chassi mais rígido garante que o veículo seja mais eficiente, pois permite uma melhor sincronia entre os sistemas e entre as regiões dianteira e traseira (DANIELSSON, O. et al, 2016).

Tabela 3 – Valores de Rigidez torcional de tipos de chassis

Veículo	Rigidez Torcional (N · m/°)
Baja SAE*	750 – 1.500
Fórmula SAE	1.000 – 5.000
Carros de passeio	5.000 – 25.000
Carros esportivos	15.000 – 40.000
Fórmula 1	10.000 – 100.000

\*Faixa de valores estimada Sampò (2010). Adaptado Barbosa (2015)  
 Fonte: Barbosa, 2015

Atualmente os testes são feitos por simulação computacional usando software CAD que emprega elementos finitos para replicar aplicações de carga e produzir resultados bastante realistas.

A rigidez a torção é uma relação entre o torque aplicado na estrutura e o quanto ela deflete, assim se obtém a rigidez torcional ( $k_t$ ) a partir da equação:

$$k_t = \frac{T}{\phi} \quad [\text{N} \cdot \text{m}/^\circ]$$

T – Torque

$\phi$  - Ângulo de torção

Temos então, o torque aplicado a alguma estrutura:

$$T = F * L \quad [\text{N} \cdot \text{m}]$$

F – Força

L - Distância de uma força aplicada com relação ao eixo simétrico

A ângulo de torção ( $\phi$ ) pode ser descrita da seguinte forma:

$$\phi = \tan^{-1} \left[ \frac{|\delta e| + |\delta d|}{L} \right] * \frac{180}{\pi} \quad [^\circ]$$

$\delta_e$  - Deslocamento vertical máximo na seção transversal esquerda (m)

$\delta_d$  - Deslocamento vertical máximo na seção transversal direita (m)

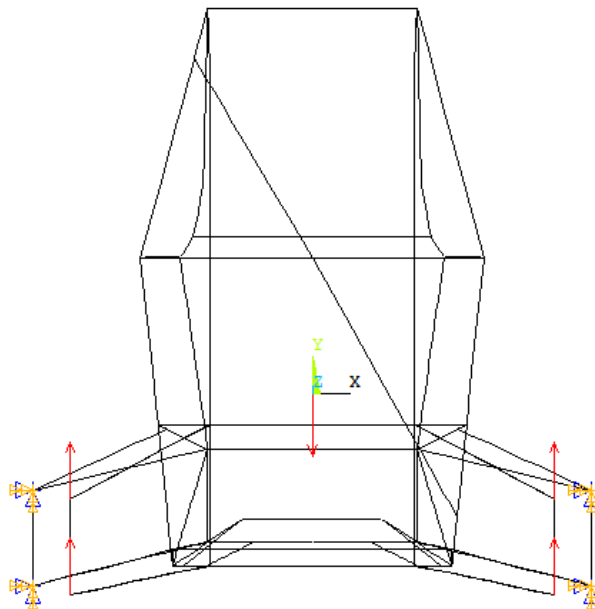
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados dos parâmetros estabelecidos na seção anterior e analisa suas implicações para a continuidade do projeto. Além disso, são avaliadas possíveis modificações necessárias para atender aos objetivos definidos.

##### 4.1 Rigidez a flexão dianteira

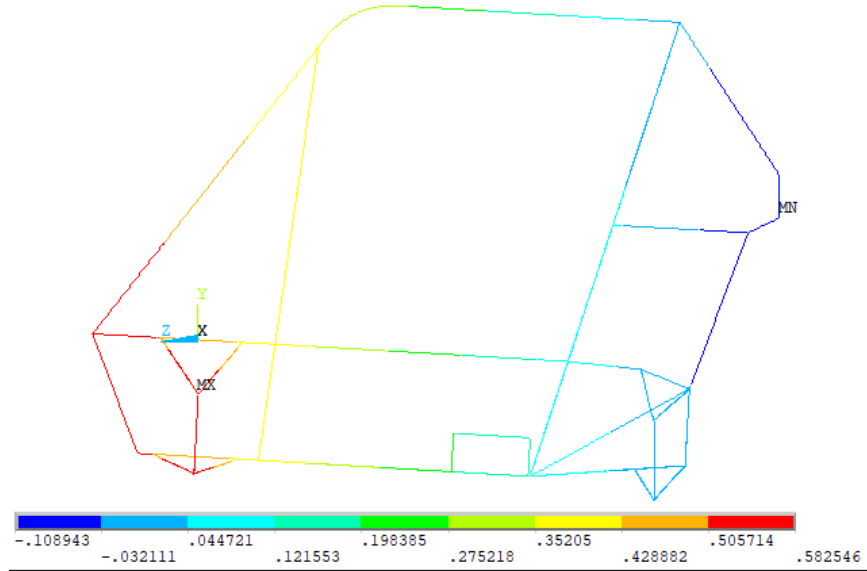
Para o projeto proposto, foi realizada uma simulação e considerando as condições de contorno descritas na metodologia. No modelo, figura 14, os pontos traseiros foram restringidos, enquanto na dianteira foi aplicada uma força total de  $F_Y=3.334\text{N}$  no sentido positivo. Onde o valor da força foi escolhida de forma arbitrária, para realizar as simulações.

Figura 14 - Vista frontal com condições iniciais



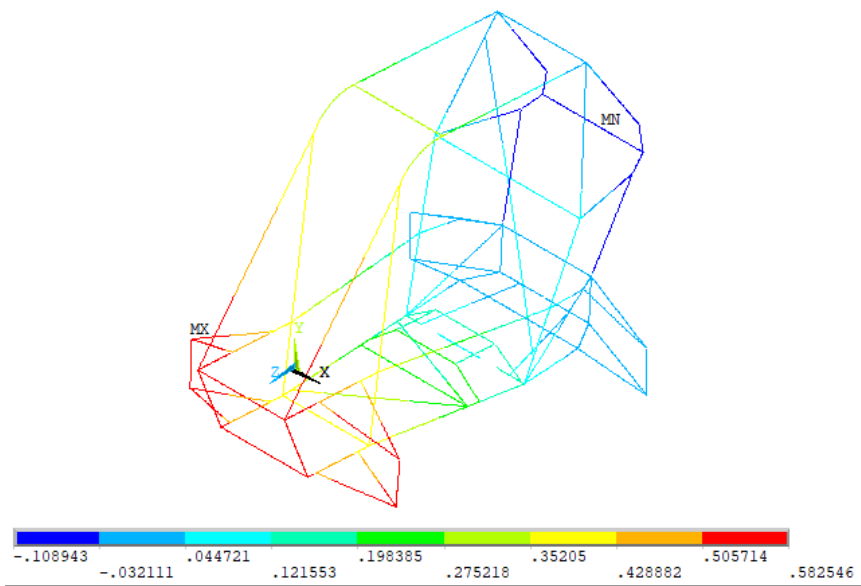
Fonte: Autor

Figura 15 – Vista lateral do deslocamentos do chassi após aplicação das condições de contorno



Fonte: Autor

Figura 16 - Vista isométrica do deslocamentos do chassi após aplicação das condições de contorno



Fonte: Autor

Após plotado a simulação, como mostrado na figura 15 e figura 16, podemos observar um gradiente com uma faixa de valores referente a deslocamentos. Obteve-se um deslocamento máximo ( $\delta$ ) = 0,587 m.

Aplicando a equação de Rigidez a flexão obtemos os seguinte resultado:

$$k_f = \frac{F}{\delta} = \frac{Fa+Fg}{\delta} = \frac{3.334+(51,574*(-9,81))}{0,587} = 2.828,059 \quad [\text{N/m}]$$

Onde:

$Fa$  - Força total aplica

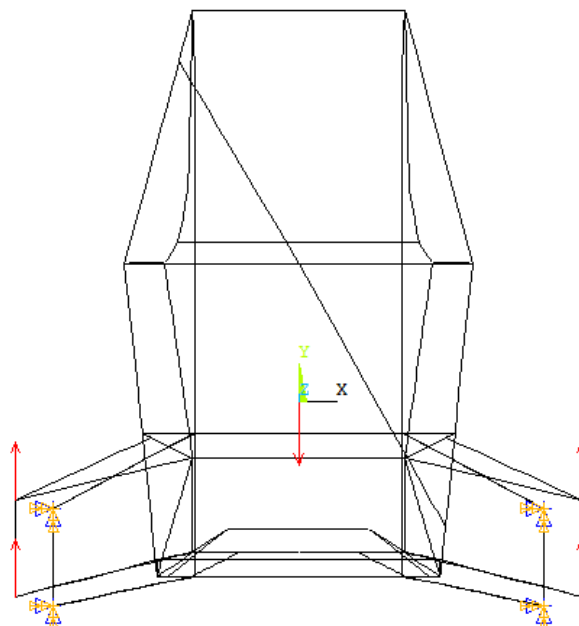
$Fg$  - Força gravitacional

$\delta$  – Deslocamento em Y

## 4.2 Rigidez a flexão traseira

No segundo modelo, figura 17, os pontos dianteiros foram restringidos, enquanto na traseira foi aplicada uma força total de  $F_Y=3.334\text{N}$  no sentido positivo. Onde o valor da força foi escolhida de forma arbitrária, para realizar as simulações.

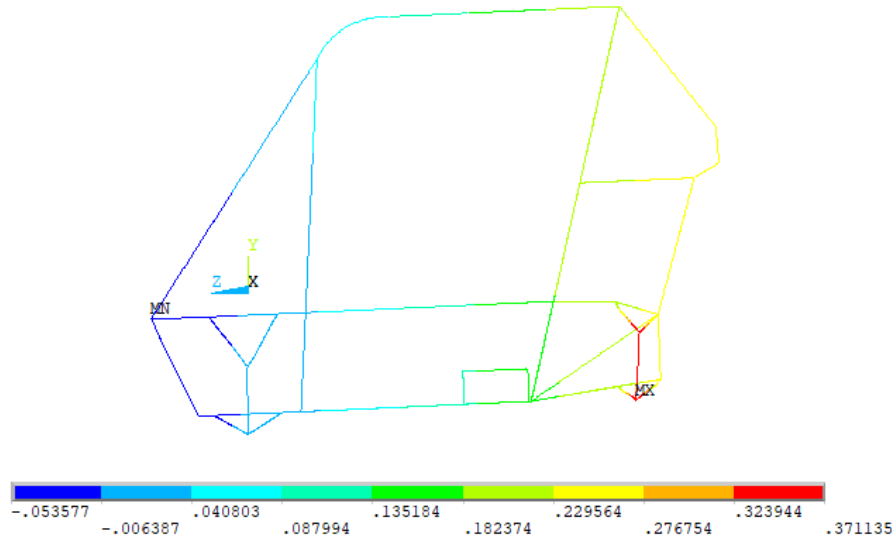
Figura 17 - Vista frontal com as condições iniciais



Fonte: Autor

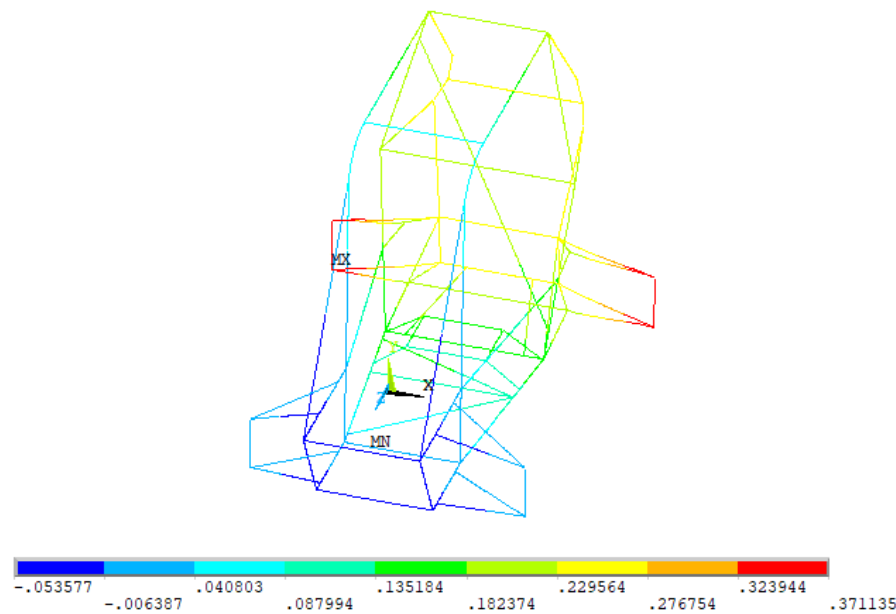


Figura 18 - Vista lateral do deslocamentos do chassi após aplicação das condições de contorno



Fonte: Autor

Figura 19 - Vista isométrica do deslocamentos do chassi após aplicação das condições de contorno



Fonte: Autor

Após plotado a simulação, como mostrado na figura 18 e figura 19, podemos observar um gradiente com uma faixa de valores referente a deslocamentos. Obteve-se um deslocamento máximo ( $\delta$ ) = 0,379 m.

Aplicando a equação de Rigidez a flexão obtemos os seguinte resultado:

$$k_f = \frac{F}{\delta} = \frac{Fa + Fg}{\delta} = \frac{3.334 + (51,574 * (-9,81))}{0,379} = 7.461,897 \quad [\text{N/m}]$$

Onde:

$Fa$  - Força total aplica

$Fg$  - Força gravitacional

$\delta$  – Deslocamento em Y

### 4.3 Rigidez a flexão média

Após a simulação nas regiões dianteira e traseira do chassi, foi possível determinar a média da rigidez à flexão da estrutura, como observa-se na tabela 4.

Tabela 4 – Rigidez a flexão

Esforços	Rigidez a flexão
Rigidez a flexão dianteira	2.828,059 (N/m)
Rigidez a flexão traseira	7.461,897 (N/m)
Rigidez a flexão média	5.144,978 (N/m)

Fonte: Autor

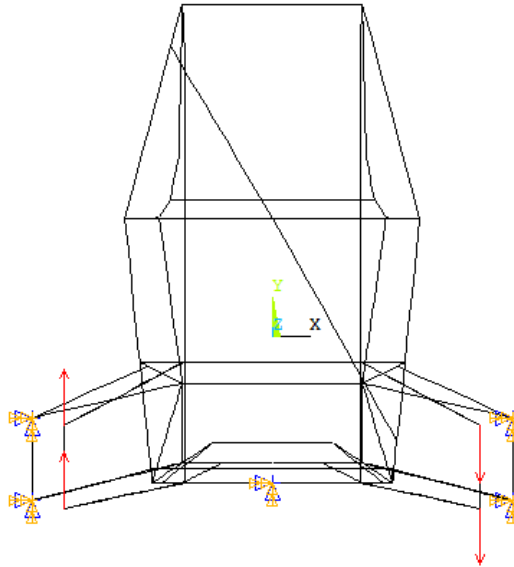
Com base nos resultados das análises dianteira e traseira, foi possível calcular uma rigidez a flexão média de 5.144,98 N/m.

### 4.4 Rigidez torcional dianteira

Para realizar as simulações de rigidez torcional, foram aplicadas condições de contorno, fundamentais para a obtenção dos resultados desejados. Nesse contexto, foram estabelecidos parâmetros iniciais que incluíram a restrição da suspensão traseira e de pontos central dianteira no chassi, permitindo liberdade apenas para a rotação no eixo z, aplicando forças (F) nos sentidos opostos no valor de  $F = 1,667 \text{ N}$ ,

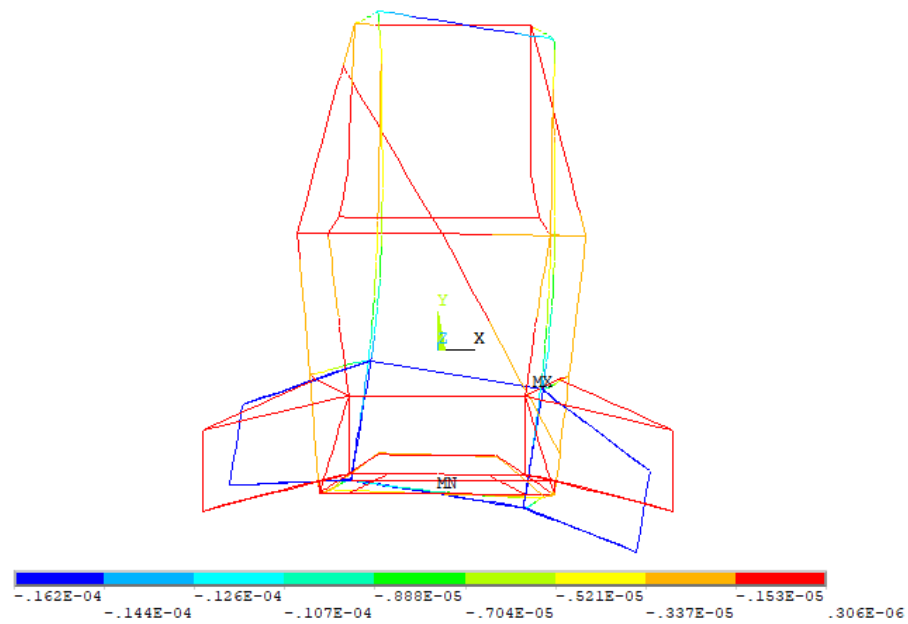
como mostra na figura 20. Onde o valor da força foi escolhida de forma arbitrária, para realizar as simulações.

Figura 20 - Vista frontal com as condições iniciais



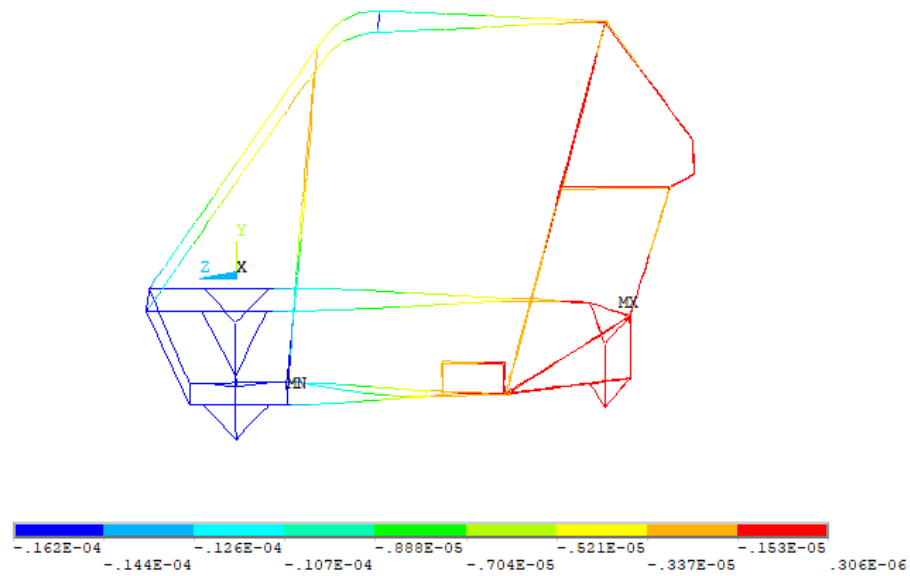
Fonte: Autor

Figura 21 - Vista frontal do chassi com condições de contorno sob torção



Fonte: Autor

Figura 22 – Vista lateral do chassi com condições de contorno sob torção



Fonte: Autor

Após plotado a simulação, como mostrado na figura 21 e figura 22, podemos observar um gradiente com uma faixa de valores referente a ângulo de torção. Obteve-se um ângulo de torção ( $\phi$ ) =  $0,162 * 10^{-4} \text{ rad}$  ou deslocamento máximo ( $\delta$ ) =  $0,814 * 10^{-5} \text{ m}$ .

Aplicando a equação de Rigidez torcional obtemos os seguinte resultado:

Cálculo do torque:

$$T = F * L = 1,667 * 0,6 = 1 \quad [\text{N} \cdot \text{m}]$$

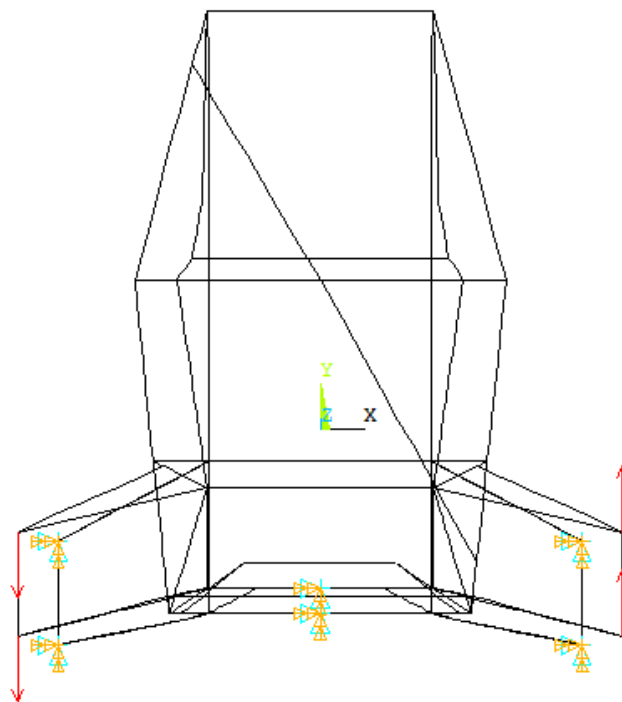
Rigidez torcional:

$$k_t = \frac{T}{\phi} = \frac{1}{(0,162 * 10^{-4}) * \frac{180}{\pi}} = 1.077,364 \quad [\text{N} \cdot \text{m}/^\circ]$$

#### 4.5 Rigidez torcional traseira

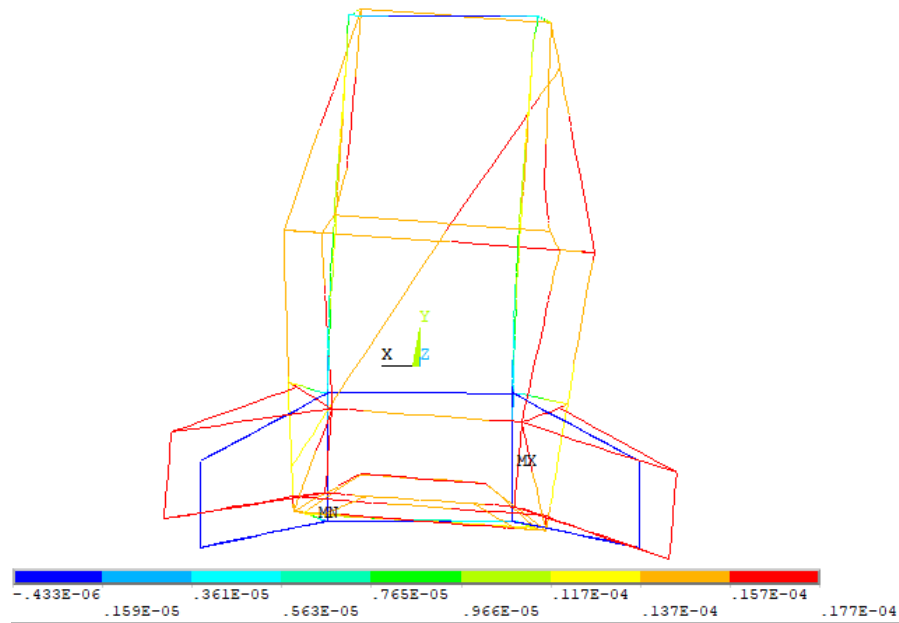
Para os parâmetros da parte traseira, as condições de contornos incluíram a restrição da suspensão dianteira e de pontos central traseira no chassi, permitindo liberdade apenas para a rotação no eixo z, aplicando forças (F) nos sentidos opostos no valor de  $F = 1,667 \text{ N}$ , como mostra na figura 23. Onde o valor da força foi escolhida de forma arbitrária, para realizar as simulações.

Figura 23 - Vista Traseira com as condições iniciais



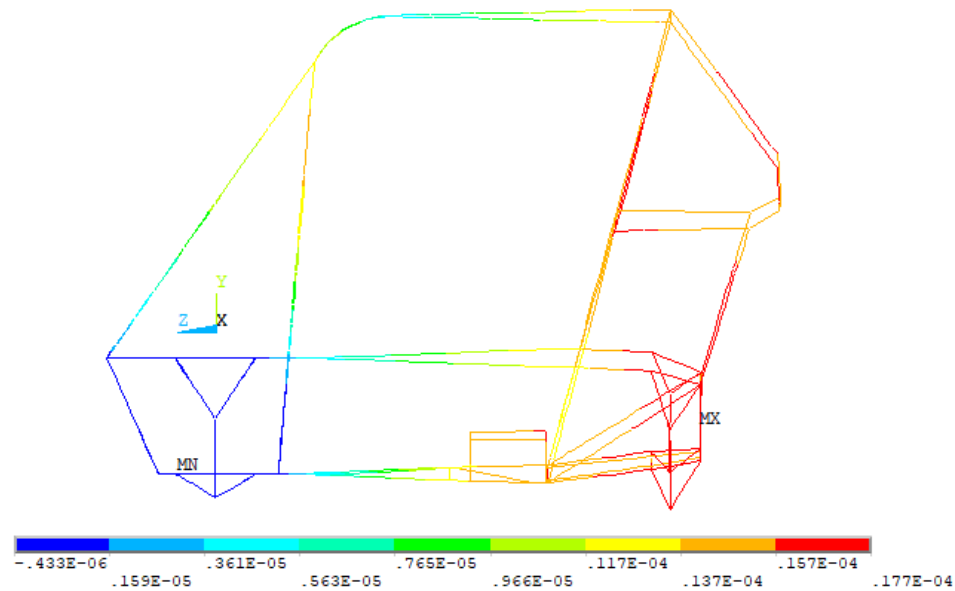
Fonte: Autor

Figura 24 - Vista frontal do chassi com condições de contorno sob torção



Fonte: Autor

Figura 25 - Vista lateral do chassi com condições de contorno sob torção



Fonte: Autor

Após plotado a simulação, como mostrado na figura 21 e figura 22, podemos observar um gradiente com uma faixa de valores referente a ângulo de torção. Obteve-se um ângulo de torção ( $\phi$ ) =  $0,177 \times 10^{-4} \text{ rad}$  ou deslocamento máximo ( $\delta$ ) =  $0,998 \times 10^{-5} \text{ m}$ .

Aplicando a equação de Rigidez torcional obtemos os seguinte resultado:

Cálculo do torque:

$$T = F * L = 1,667 * 0,6 = 1 \quad [\text{N} \cdot \text{m}]$$

Rigidez torcional:

$$k_t = \frac{T}{\theta} = \frac{1}{(0,177 * 10^{-4}) * \frac{180}{\pi}} = 1.008,861 \quad [\text{N} \cdot \text{m}/^\circ]$$

#### 4.6 Rigidez torcional média

A partir das simulações realizadas nas regiões dianteira e traseira do chassi, foi possível determinar a média da rigidez torcional da estrutura. Os resultados obtidos serão confrontados com os valores teóricos, tabela 5, possibilitando a avaliação da eficácia e da adequação do modelo inicial proposto.

Tabela 5 – Comparativos da Rigidez torcional

<b>Esforços</b>	<b>Rigidez Torcional</b>
*Teórico	750 – 1.500 (N · m/°)
Numérico	1.043,113 (N · m/°)

\*Faixa de valores estimada Sampò (2010). Adaptado Barbosa (2015)  
Fonte : Autor

Os resultados confirmam que o chassi apresenta rigidez torcional suficiente para suportar as forças aplicadas, sem comprometer sua integridade estrutural. Os valores simulados está dentro da faixa de valores teóricos estimada por Sampò (2010), demonstrado na tabela 3. Além disso, a rigidez observada sugere que a estrutura está preparada para suportar condições de carga adicionais, garantindo um bom desempenho em cenários operacionais mais exigentes.

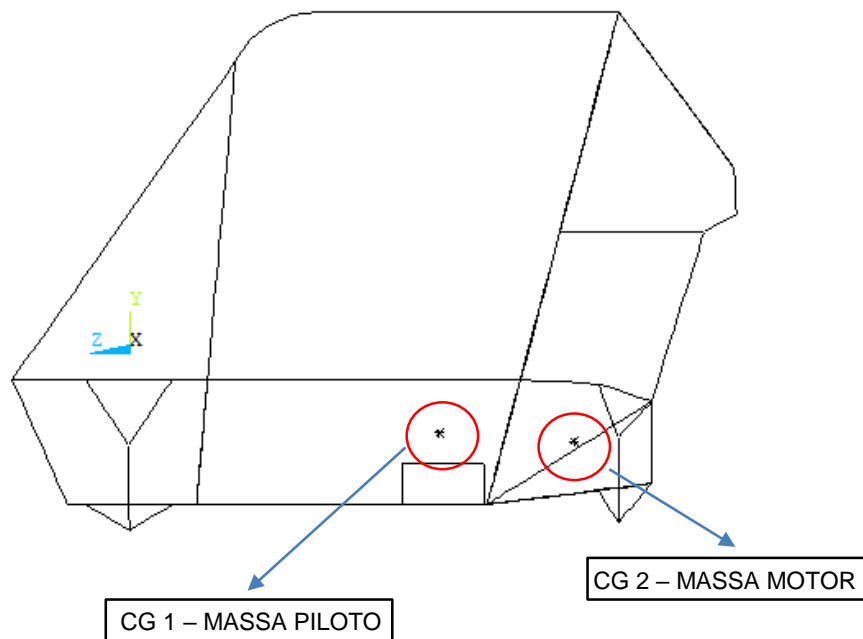
Assim, o modelo proposto demonstra não apenas conformidade com os requisitos de projeto, mas também uma margem de segurança que assegura confiabilidade e robustez à estrutura do chassi.

#### 4.7 Tensões e Deformações

Para calcular a tensão e o deslocamento, foi essencial definir as condições de contornos e aplicar forças. Assim, o centro de gravidade (CG) foi determinado, considerando a massa do piloto, do motor e de componentes eletrônicos. A massa total do carro foi estimada em 450 kg, resultando em uma força peso de 4.414,5 N. Essa massa total considera um fator de amplificação dinâmica no valor de 3, como exemplificado pelo autor Derek Seward, no livro *Race car design* (2015).

O cálculo do centro de gravidade foi realizado utilizando o software, onde foram definidos dois pontos de referência para o CG: o primeiro localizado acima do assento do piloto, com uma massa estimada de 70 kg e o segundo no centro do subchassi do motor, com uma massa estimada de 30 kg, como mostra na figura 26. Por meio da simulação, considerando os pontos posicionados e a massa total do chassi, foi possível determinar o centro de gravidade completo do conjunto, plotando as novas coordenadas.

Figura 26 - Centro de gravidade do chassi



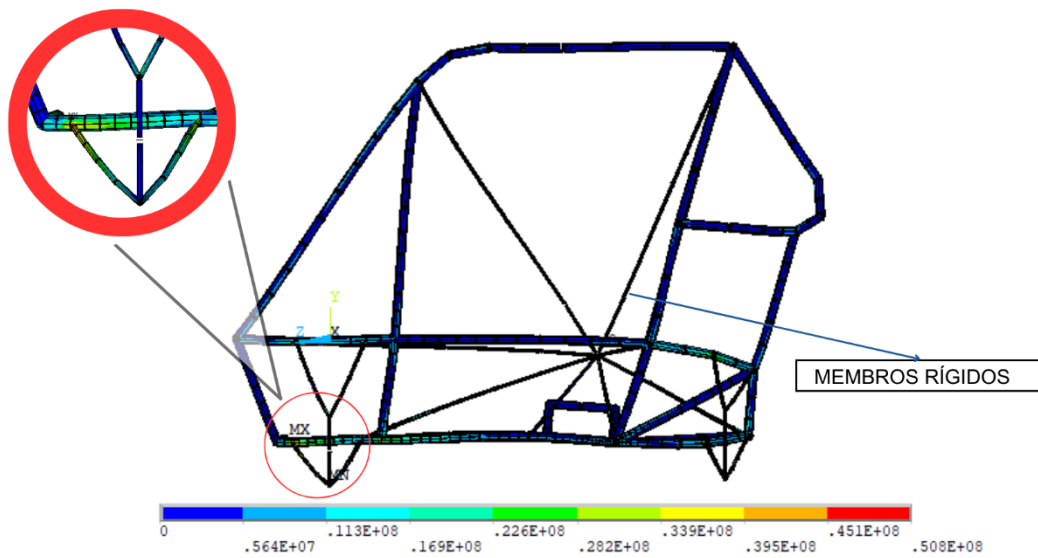
Fonte: Autor

Após determinar a posição correta do centro de gravidade (CG), aplicou-se uma carga correspondente a força peso diretamente no CG, figura 27. Essa carga foi distribuída uniformemente pela estrutura do chassi por meio de membros rígidos com alto módulo de elasticidade, garantindo a transmissão eficiente das forças. Esses



membros foram modelados com densidade nula para evitar interferências no peso total do chassi projetado. Além disso, os pontos de suspensão foram totalmente restringidos, bloqueando tanto os deslocamentos e rotações. O objetivo da aplicação das forças foi identificar os pontos críticos da estrutura, destacando as regiões sujeitas às maiores tensões.

Figura 27 - Tensão de von misses do chassi



Fonte: Autor

Após a simulação, foi possível obter os resultados referentes à tensão de von misses e à deformação do chassi, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Tensão de von misses

<b>Estrutura</b>	<b>Tensão Von Mises (<math>\sigma</math>)</b>	<b>Deformação</b>
Chassi Tubular	39,5 (MPa)	0,0248 %

Fonte: Autor

Ao comparar os resultados da tensão de Von Mises obtidos na simulação com o limite de escoamento do aço 1020, que é de 350 MPa, observa-se que a tensão simulada está significativamente abaixo desse valor. Isso indica que o chassi não sofrerá deformações plásticas, demonstrando que a estrutura está superdimensionada, considerando os parâmetros mínimos exigidos pelo projeto do BAJA SAE. Assim dessa forma, mesmo sob esforços adicionais ou aumento de carga, a estrutura será capaz de suportar as tensões sem apresentar deformações significativas.

## 5. CONCLUSÃO

Para iniciar o trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica com o intuito de identificar os melhores critérios a serem considerados na análise de um chassi para a competição. A pesquisa abordou aspectos essenciais como a segurança, o desempenho e os requisitos técnicos impostos pelo regulamento, com ênfase na rigidez e nas tensões estruturais, que são fundamentais para garantir um chassi bem dimensionado.

- A obtenção dos valores de rigidez por meio de simulações computacionais se mostrou uma alternativa prática e confiável diante da indisponibilidade de dados experimentais.
- O valor da simulação de rigidez à flexão indicaram um desempenho satisfatório, podendo ser validado com um trabalho experimental futuro.
- O resultado da rigidez torcional situou-se dentro da faixa recomendada pela revisão bibliográfica (750 a 1.500 Nm/°), sendo adequado para veículos BAJA SAE.
- Referente a análise identifica-se que o material empregado no chassi suporta, de forma segura, os carregamentos estáticos aplicados, já que as tensões resultantes ficaram abaixo da tensão de escoamento do material.
- Este estudo oferece uma contribuição significativa ao projeto da equipe Baja Pampa, propondo uma nova estrutura que poderá ser aprimorada com análises experimentais futuras.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, Marcos Henrique Rodrigues. **ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DE UM PROTÓTIPO DE CHASSI ESCADA**. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB, FACULDADE UNB GAMA - FGA, 2017.
- ANDRADE, Anderson Guimarães. **ANÁLISE ESTRUTURAL DE CHASSI TIPO SPACEFRAME DE VEÍCULO OFFROAD TIPO BAJA SAE**. INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO CAMPUS SÃO MATEUS, 2022.
- ANDRADE, Guilherme Augusto Marques. **ANÁLISE ESTRUTURAL – BAJA PAMPA**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA, 2017.
- ANTOLIN; CABOCLO; MACEDO; *et al.* Análise estrutural e otimização de um veículo mini baja. **CADERNOS UniFOA**, p. 7–17, 2021.
- ARAÚJO, Andreos Heller Pereira. **ANÁLISE ESTRUTURAL ESTÁTICA POR ELEMENTOS FINITOS DE UM CHASSI TIPO MULTITUBULAR DE UM CARRO DE CORRIDA DE ARRANCADA**. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA, CAMPUS JARAGUÁ DO SUL, 2022.
- AZEVEDO CANUT, Felipe. **ANÁLISE ESTRUTURAL DO CHASSI DE UM VEÍCULO FÓRMULA SAE PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2014.
- BARBOSA, L. F. F. M. **AVALIAÇÃO DA RIGIDEZ TORCIONAL DO CHASSI DE UM PROTÓTIPO BAJA SAE ATRAVÉS DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS E ENSAIO EXPERIMENTAL**. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2015.
- BEZERRA FILHO, Renato José Lima. **OTIMIZAÇÃO E ANÁLISE ESTRUTURAL DO CHASSI DE UM VEÍCULO BAJA SAE**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, 2020.
- BRITO, Matheus Hoffmann. **SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DA GAIOLA DE PROTEÇÃO DE UM VEÍCULO BAJA SAE**. UNIVERIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, 2018.
- CALLISTER Jr, W. D. C. **CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS: UMA INTRODUÇÃO**, 8ª EDIÇÃO. 2015.
- CASTRO, M. S. **UMA METODOLOGIA PARA MELHORIA DA RIGIDEZ TORCIONAL DE COMPONENTES ESTRUTURAIS AUTOMOTIVOS**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2008.
- DANIELSSON, O. *ET AL.* **DEVELOPMENT OF A NOVEL MODEL OF DRIVER-VEHICLE STEERING CONTROL INCORPORATING SENSORY DYNAMICS**. IN: **THE DYNAMICS OF VEHICLES ON ROADS AND TRACKS**. UNIVERSITY CHALMERS, 2016.

DIAS, Anderson Luiz. **DETALHES MECÂNICOS DE CHASSI E CARROCERIA NÃO UNIDOS – CARROS INFOCO.** Disponível em: <<https://carrosinfoco.com.br/2018/07/detalhes-mecanicos-de-chassi-e-carroceria-nao-unidos/>>. Acesso em: 3 Jul. 2024.

FANTECELE, Diogo Alcides. **ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM CHASSI DE UM PROTÓTIPO DE MINIBAJA PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.** INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO CAMPUS SÃO MATEUS, 2018.

GAMBÔA, T. L. **DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA RIGIDEZ TORCIONAL DE UM CHASSI TIPO SPACEFRAME DA EQUIPE BAJA SAE DA UFRGS,** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2020.

GUERRA, Pedro H. L. **AS 4 CONSTRUÇÕES DE CHASSIS MAIS COMUNS.** Educação Automotiva. Disponível em: <<https://educacaoautomotiva.com/2018/03/30/construcoes-chassis/>>. Acesso em: 3 Jul. 2024.

HAPPIAN-SMITH, J. **AN INTRODUCTION TO MODERN VEHICLE DESIGN.** BUTTERWORTH HEINEMANN, 2002.

HEISLER, H. **ADVANCED VEHICLE TECHNOLOGY.** BUTTERWORTH HEINEMANN, 2002.

HIBBELER, R. C. **ANALISE DAS ESTRUTURAS.** 2013.

MELO, Matozo. **ANÁLISE ESTRUTURAL EM GEOMETRIAS DE UM PROTÓTIPO BAJA VIA ELEMENTOS FINITOS.** UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO, 2021.

LOTTERMANN, João Pedro Taborda. **PROJETO ESTRUTURAL DE CHASSI TIPO GAIOLA PARA VEÍCULOS MINIBAJA: ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL.** UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB, 2014.

MILLIKEN, W. F. **RACE CAR VEHICLE DYNAMICS,** 1995.

NETO; BARBOSA; GOMES; *et al.* Análise estrutural não linear estático de um protótipo BAJA M.E.F. **REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA,** p. 199–212, 2022.

OLIVEIRA, Fernando César Gama de. **CONTRIBUIÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA VEICULAR TIPO SPACEFRAME USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS E MÉTODOS HEURÍSTICOS DE OTIMIZAÇÃO NUMÉRICA.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 2007.

PAULINO; VIEIRA, Paulo Henrique and TAVARES. **PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL DO VEÍCULO BAJA SAE.** FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ, 2016.

RILEY, William B and GEORGE, Albert R. **DESIGN, ANALYSIS AND TESTING OF A FORMULA SAE CAR CHASSIS**. MOTORSPORTS ENGINEERING CONFERENCE AND EXHIBITION, 2002.

SAMPO, E. **CHASSIS TORSIONAL STIFFNESS: ANALYSIS OF THE INFLUENCE ON VEHICLE DYNAMICS**. UNIVERSITY OF SURREY, 2010.

SAMPÒ, E. **MODELLING CHASSIS FLEXIBILITY IN VEHICLE DYNAMICS SIMULATION**. UNIVERSITY OF SURREY, 2011.

SANTOS, Hádrian George da Rocha and CHAVES, Alexandre Ribeiro. Análise estrutural por elementos finitos do chassi de um veículo BAJA SAE. **REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO CONHECIMENTO**, p. 153–180, 2021.

SILVA, Anderson Souza. **FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO BAJA PARA COMPETIÇÕES**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA, 2018.

SEWARD, D. **RACE CAR DESIGN**. 2015.

VENÂNCIO, Nicolas F. **PROJETO DO CHASSI DE UMA VIATURA DE FÓRMULA**. UNIVERSIDADE DO PORTO, 2013.

**REGULAMENTO ADMINISTRATIVO E TÉCNICO BAJA SAE BRASIL**, 2023. Disponível em:

<[http://arquivos.saebrasil.org.br/2023/Baja/RATBSB\\_emenda\\_05.pdf](http://arquivos.saebrasil.org.br/2023/Baja/RATBSB_emenda_05.pdf)>.

**SAE BRASIL**, 2020. Disponível em: <<https://saebrasil.org.br/quem-somos/>>. Acesso em: 17 maio 2024.