



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Goiás
Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação
Disciplina: Projeto Final de Curso



Felipe Santana Rêgo

PROJETO DE REBOQUE PARA TRANSPORTE DE VEÍCULOS MINI-BAJA

Goiânia, 2018

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC nº 1204/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG):

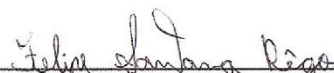
Nome completo do autor: Felipe Santana Rêgo

Título do trabalho: Projeto de Reboque para Transporte de Veículos Mini-Baja

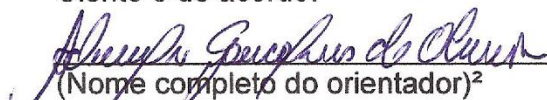
2. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF do TCCG.


(Nome completo do autor)²

Ciente e de acordo:


(Nome completo do orientador)²

Data: 02 / 01 / 2019

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Versão abril de 2018

² As assinaturas devem ser originais sendo assinadas no próprio documento, imagens coladas não serão aceitas.

Felipe Santana Rêgo

PROJETO DE REBOQUE PARA TRANSPORTE DE VEÍCULOS MINI-BAJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação – EMC, da Universidade Federal de Goiás – UFG, na disciplina de Projeto Final de Curso no 2º semestre de 2018, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Ademyr Gonçalves de Oliveira

Goiânia, 2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Santana Rêgo, Felipe
Projeto de Reboque para Transporte de Veículos Mini-Baja
[manuscrito] / Felipe Santana Rêgo. - 2018.
65 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Ademyr Gonçalves de Oliveira.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de
Computação (EMC), Engenharia Mecânica, Goiânia, 2018.
Bibliografia. Apêndice.

1. Reboque. 2. Mini-baja. 3. Chassi. 4. Longarina. 5. Travessa. I.
Gonçalves de Oliveira, Ademyr, orient. II. Título.

CDU 621.03

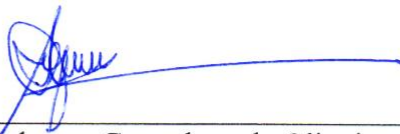
Felipe Santana Rêgo

PROJETO DE REBOQUE PARA TRANSPORTE DE VEÍCULOS MINI-BAJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação – EMC, da Universidade Federal de Goiás – UFG, na disciplina de Projeto Final de Curso no 2º semestre de 2018, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Monografia apresentada e aprovada em 17 de Dezembro de 2018.

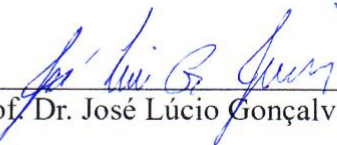
BANCA EXAMINADORA



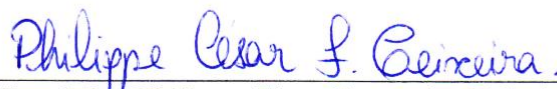
Prof. Dr. Ademyr Gonçalves de Oliveira – UFG - orientador



Prof. Dr. Demóstenes Ferreira Filho – UFG



Prof. Dr. José Lúcio Gonçalves Júnior – UFG



Eng. Msc. Philippe César Fernandes Teixeira

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde e disposição para superar o desafio do curso superior em uma universidade pública e por atender às minhas orações nos momentos de desespero antecedentes às avaliações.

A minha mãe, pelo seu amor e apoio durante toda minha vida, e por me possibilitar uma educação básica de qualidade que me proporcionou a entrada na universidade pública.

Ao meu pai, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao meu irmão, pelo companheirismo, paciência e instrução desde o ensino fundamental.

A minha namorada, pelo seu apoio nas minhas fraquezas, incentivo quando a ânsia de renúncia me afrontava e compreensão nos momentos de estresse.

Ao meu orientador, prof. Dr. Ademyr Oliveira, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelos seus conselhos, instruções e incentivos ao longo de toda minha estada como discente da universidade.

A esta universidade e seu corpo docente que oportunizou todo o aprendizado tanto acadêmico quanto profissional e pessoal.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“Prefiram a minha instrução à prata, e o conhecimento ao ouro puro, pois a sabedoria é mais preciosa do que rubis; nada do que vocês possam desejar compara-se a ela.”

Provérbios 8:10-11

RESUMO

Os reboques para automóveis são uma solução prática para o transporte de volumes. Observando a necessidade de transporte do veículo mini-baja da equipe da universidade, decidiu-se projetar um reboque para solucionar este impasse. Findou-se então em um equipamento simplificado que pode ser produzido no próprio laboratório de fabricação da universidade: um reboque com PBT de 750 kg fabricado com processos usuais de corte e solda. Serão apresentados neste trabalho o passo a passo do projeto, as simulações de solicitações estáticas e análise de frequências naturais juntamente com seus modos de vibração.

Palavras-chave: Reboque. Mini-baja. Chassi. Longarina. Travessa.

ABSTRACT

Car trailers are a practical solution for volume transport. Observing the need for transportation from the university's mini-baja team vehicle, it was decided to design a trailer to solve this impasse. It was then found in simplified equipment that can be produced in the university's own manufacturing laboratory: a trailer with 750 kg PBT made with usual cutting and welding processes. This paper will present the step-by-step of the project, the simulations of static requests and analysis of natural frequencies together with their modes of vibration.

Keywords: Trailer. Mini-Baja. Chassis. Stringer. Crossbar.

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Protótipo Urutu P1 da Equipe CaryoCAR Baja UFG	16
Figura 1.2 – Protótipo Urutu P1 fixado no reboque padrão	16
Figura 1.3 – Exemplo de caminhão para carga, do tipo trucado	18
Figura 1.4 – Exemplo de caminhão trator	18
Figura 1.5 - Exemplo de reboque rodoviário	19
Figura 1.6 - Exemplo de semirreboque rodoviário	19
Figura 1.7 – Exemplo de chassi de semirreboque para carga.	20
Figura 1.8 – Vista superior do esquema do chassi de um reboque para veículos leves.	20
Figura 1.9 – Exemplo de malha de uma estrutura 3D.	22
Figura 2.1 – (a) Seção transversal da viga I do exemplo 6.15 do Hibbeler. (b) Esquema dos apoios e carregamento da viga do exemplo 6.15 do Hibbeler.	24
Figura 2.2 – Vista isométrica do modelo 3D da viga I do exemplo 6.15 do Hibbeler.	25
Figura 2.3 – Restrições de translação da viga I.	26
Figura 2.4 – Carga sobre a viga.	26
Figura 2.5 – Malha de elementos finitos da viga.	26
Figura 2.6 – Plotagem de tensões normais.	27
Figura 3.1 – Esboço no 3º diedro das vistas superior e lateral do eixo traseiro.	28
Figura 3.2 – Esboço da vista superior da fixação do eixo traseiro.	29
Figura 3.3 – Medidas do pneu 175/75R13.	30
Figura 3.4 – Vista inferior do posicionamento da chapa de fixação do eixo.	31
Figura 3.5 – Vista superior do chassi do reboque com dimensões.	32
Figura 3.6 – Vista superior do chassi do reboque com as indicações dos elementos	32
Figura 3.7 – Imagem ilustrativa de uma munheca comercial.	33
Figura 3.8 – Vista frontal dos prolongadores cortados.	34
Figura 3.9 – Apoio dianteiro do cambão.	35
Figura 3.10 – Força peso dos veículos mini-baja agindo sobre a estrutura do chassi.	36
Figura 3.11 – Vista isométrica da malha criada para a análise estática com detalhe.	38
Figura 4.1 – Plotagem das tensões de von Mises na estrutura do chassi.	39
Figura 4.2 – Localização do nó com maior tensão de von Mises.	40
Figura 4.3 – Nó com maior tensão de von Mises.	40
Figura 4.4 – Localização do segundo nó com maior tensão de von Mises.	41
Figura 4.5 – Segundo nó com maior tensão de von Mises.	41

Figura 4.6 – Plotagem dos fatores de seguranças.	42
Figura 4.7 – Menor coeficiente de segurança apresentado pela simulação estática do chassi.	43
Figura 4.8 – Segundo menor coeficiente de segurança apresentado pela simulação estática do chassi.	43
Figura 4.9 – Plotagem de deslocamento do chassi submetido à carga dos veículos mini-baja.	44
Figura 4.10 - Ponto de maior deslocamento do chassi submetido à carga dos veículos mini-baja.	44
Figura 4.11 – Plotagem dos resultados do primeiro modo de vibração.	45
Figura 4.12 – Plotagem dos resultados do segundo modo de vibração.	46
Figura 4.13 – Plotagem dos resultados do terceiro modo de vibração.	46
Figura 4.14 – Plotagem dos resultados do quarto modo de vibração.	47
Figura 4.15 – Plotagem dos resultados do quinto modo de vibração.	47

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Propriedades do aço ASTM A36	35
Tabela 3.2 – Dados da malha da análise estática	37
Tabela 3.3 – Dados da malha da análise de frequência natural	37
Tabela 3.4 – Configuração do hardware utilizado	37

Lista de Abreviaturas e Siglas

ASTM	American Society for Testing and Materials
CAD	Computer-Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
ILOS	Instituto de Logística e Supply Chain
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LAMAF	Laboratório de Materiais e Processos de Fabricação
MEF	Método dos Elementos Finitos
PBT	Peso Bruto Total
PIB	Produto Interno Bruto
SAE	Sociedade de Engenheiros da Mobilidade
UFG	Universidade Federal de Goiás

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Motivação.....	16
1.2 Objetivos.....	17
1.3 Introdução ao Layout de Chassi de Reboque Leve.....	17
1.4 Frequências de Excitação da Suspensão.....	21
1.5 Método dos Elementos Finitos.....	21
1.6 O Software de Modelagem e Simulação.....	22
2 VERIFICAÇÃO DO SOFTWARE.....	24
2.1 Simulação da Viga I Simplesmente Apoiada.....	24
3 CONCEPÇÃO DO CHASSI DO REBOQUE PARA O TRANSPORTE DE DOIS VEÍCULOS MINI-BAJA.....	28
3.1 Peças do Gol.....	28
3.2 Dimensões dos Veículos Mini-Baja.....	29
3.3 Layout do Chassi.....	30
3.4 Escolha dos Perfis Estruturais.....	33
3.5 Simulação do Chassi.....	34
3.5.1 Propriedades do Material.....	34
3.5.2 Apoios da Estrutura.....	35
3.5.3 Forças Sobre a Estrutura.....	36
3.5.4 A Malha Gerada.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1 Tensões.....	39

4.2 Fator de Segurança.....	42
4.3 Deslocamento.....	44
4.4 Modos de Vibração e Frequências Naturais.....	45
5 CONCLUSÃO.....	49
5.1 Trabalhos Futuros.....	49
6 REFERÊNCIAS.....	51
APÊNDICE A – Desenhos Técnicos.....	53

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Em meados do ano de 2014 surgia a equipe CaryoCAR, a equipe de mini-baja da Universidade Federal de Goiás. Durante três anos os membros da equipe projetaram e fabricaram seu primeiro protótipo de veículo mini-baja, batizado de Urutu P1 (Figura. 1.1), o qual rendeu aprendizado aos envolvidos no projeto e também serviu de tema de estudo de alguns trabalhos finais de curso.

Figura 1.1 – Protótipo Urutu P1 da Equipe CaryoCAR Baja UFG.



Fonte: CaryoCAR Baja UFG, 2017.

Quando se tem a necessidade do transporte do protótipo para eventos e exposições, como a equipe não possui carreta própria, utiliza-se uma carreta que é cedida à equipe, a qual é uma carreta de tamanho padrão comercial do tipo fazendinha. Esta carreta é imprópria para o transporte deste tipo de carga, ficando o veículo ancorado de forma inadequada por sobre as laterais do reboque (Figura 1.2).

Figura 1.2 – Protótipo Urutu P1 fixado no reboque padrão.



Fonte: Próprio autor.

Estimulado a solucionar este problema, este trabalho tem como objeto de estudo o projeto e simulação do chassi de um reboque para o transporte deste protótipo, o Urutu P1, e do protótipo seguinte da equipe CarylCAR, o Cascavel P2, que se encontra em fase de projeto. Sendo assim, a carreta deverá transportar os dois protótipos mini-baja de forma simultânea e devidamente fixados, para que a equipe possa levar ambos os veículos para eventos, exposições e competições.

1.2. Objetivos

A finalidade deste é o projeto e simulação de um reboque leve, com PBT de 750 kg, sem sistema de freio, conforme Portaria nº 69 do Inmetro, de 1996. Para isso foi considerada a utilização de peças automotivas já de posse da universidade, sendo elas um eixo do tipo de torção, um par de molas helicoidais e um par de rodas. Além disso, o projeto foi planejado para ser executado no próprio laboratório da universidade, o LAMAF, com processos de fabricação habituais, sendo estes corte e solda.

Os critérios considerados neste projeto foram um coeficiente de segurança maior ou igual a 3, deslocamento máximo de 10 mm e frequências naturais fora do intervalo de 6 a 15 Hz.

1.3. Introdução ao Layout de Chassi de Reboque Leve

A área de transportes no Brasil tem um grande papel no desenvolvimento e no seu produto interno bruto, envolvendo os modais rodoviário, ferroviário, aquaviário, aéreo e dutoviário. Segundo dados do Instituto de Logística e Supply Chain (ILOS), publicado pela Revista Exame em 2013, o custo com transportes no Brasil consome 11,5% do Produto Interno Bruto - PIB. O modal rodoviário ainda é preponderante na matriz logística do país. A pesquisa ainda aponta que 67,4% das cargas transportadas no país são feitas no modal rodoviário, seguido pelas ferrovias (18,2%), hidrovias (11,4%) e dutos (3%). Para minimizar custos, as empresas vêm buscando alternativas para o transporte de suas cargas, principalmente optando por ter sua frota própria para transportar seus produtos. (CALAZANS, 2014)

Os veículos rodoviários para transporte de cargas podem ser classificados de várias formas, como por exemplo quanto à tração, no caso veículos automotores e veículos rebocáveis (implementos rodoviários). Os veículos automotores podem ser subclassificados

em caminhões de carga, sendo toco ou trucado (Figura 1.3), onde o carregamento vai por sobre este, e caminhões tratores (Figura 1.4), em que a carga é suportada por um implemento rodoviário e o implemento é acoplado sobre o caminhão trator. Os implementos rodoviários também têm suas subclassificações: reboques (Figura 1.5) e semirreboques (Figura 1.6). A principal diferença entre eles está no apoio do carregamento, enquanto os eixos do reboque suportam toda a carga, parte da carga do semirreboque é suportada pelo caminhão trator ou por outro reboque/semirreboque, conforme o Código de Trânsito Brasileiro (2010).

Figura 1.3 – Exemplo de caminhão para carga, do tipo trucado.



Fonte: Estadão, 2018.

Figura 1.4 – Exemplo de caminhão trator.



Fonte: clasf, 2018.

Figura 1.5 - Exemplo de reboque rodoviário.



Fonte: Librelato, 2018.

Figura 1.6 - Exemplo de semirreboque rodoviário.



Fonte: Librelato, 2018.

Apesar de todas estas classificações e subclassificações, algo se assemelha para todos os veículos de transporte de carga: o chassi. Os veículos de transporte de carga são projetados com o chassi do tipo chassi de longarina, o qual é composto por longarinas geralmente de perfil U e travessas de perfis diversos.

Segundo o portal São Francisco (2018), o chassi de longarina é utilizado em 100% dos utilitários pesados e composições ferroviárias, devido à facilidade de ser instalada uma grande quantidade de carrocerias diferentes. Outra vantagem está no custo de produção em relação à capacidade de carga transportável.

As longarinas são as principais responsáveis por suportar as tensões enquanto as travessas são os elementos que suportam parte da carga e distribuem nas longarinas, além de realizarem a ligação e o travamento entre elas, conforme o portal São Francisco (2018). A Figura 1.7 exemplifica um chassi para carga.

Figura 1.7 – Exemplo de chassi de semirreboque para carga.

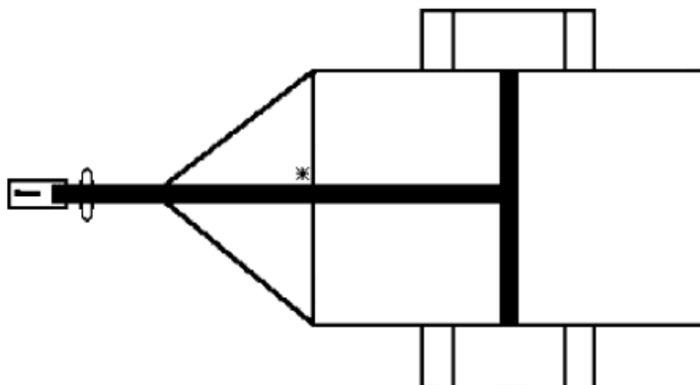


Fonte: Romano Carretas, 2013.

Segundo Inmetro (1996), no caso de reboques para veículos leves e utilitários de pequeno porte, ao chassi é acrescentado o cabeçalho, que é composto pela lança, ou cambão, e por barras do tipo “mão francesa” ou duplo V, de forma a realizar o travamento da lança, como mostra a Figura 1.8.

A lança (cambão), que é a barra que une o cabeçote de tração ao quadro do chassi deve ser projetada de modo a resistir aos momentos de torção que ocorrem neste último ponto. Idealmente, a lança deve transpassar o quadro do chassi e ancorar em travessa central ou próxima. No ponto de máximo momento de flexão (ver Figura 1.8), na parte externa do quadro, preferencialmente, não deve haver solda, para diminuir as possibilidades de quebra por fadiga (usar grampo, bucha, etc.). (INMETRO, 1996)

Figura 1.8 – Vista superior do esquema do chassi de um reboque para veículos leves.



Fonte: Inmetro, 1996.

1.4. Frequências de Excitação da Suspensão

Sabe-se que as irregularidades das vias de tráfego rodoviário impõem deslocamentos na suspensão dos veículos que por nelas circulam e, de acordo com essas irregularidades e com a velocidade do veículo, as frequências de excitação da suspensão se alteram. Infelizmente pouco se encontra a respeito de estudos destas frequências de excitação da suspensão de veículos devido às irregularidades do solo.

Entretanto, nos testes de suspensão realizados em inspeções veiculares com o intuito de caracterizar a gravidade do sinistro de veículos, a suspensão dos veículos são excitadas com frequências entre 6 e 15 Hz (informação verbal)¹. Daí, deduz-se que provavelmente este intervalo de frequências deva ser o mesmo da excitação que é imposta à suspensão pelas irregularidades do solo, pois não faria sentido executar o teste em frequências diferentes destas.

Sendo assim, a estrutura do reboque que será projetado deverá apresentar frequências naturais de vibração superiores as deste intervalo, a fim de que o chassi não entre em ressonância e, por consequência, sofra de fadiga.

1.5. Método dos Elementos Finitos

Para o projeto do reboque ao qual este trabalho se refere foi utilizado o Método dos Elementos Finitos (MEF). Do ponto de vista matemático, muitas vezes os problemas de engenharia tornam-se complexos o suficiente para inviabilizar a solução analítica da situação. Entretanto, com um bom entendimento da natureza do sistema, tendo a percepção das forças e apoios envolvidos, o MEF é uma ótima ferramenta para apresentar ao engenheiro uma solução com boa aproximação de resultados.

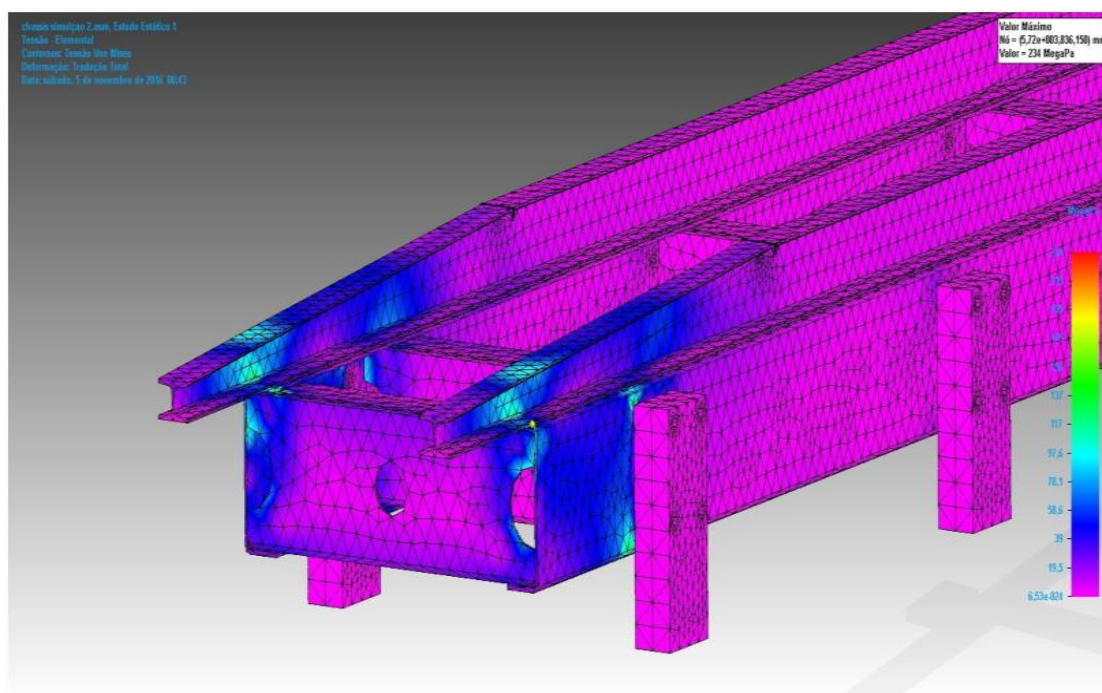
A ideia central do MEF é discretizar o domínio, representando-o, ainda que de forma aproximada, por uma reunião de um número finito de elementos; e resolver não o problema original, mas sim um que lhe é associado - sua forma fraca. (GIACCHINI, 2012)

Os componentes da estrutura a ser projetada são discretizados em vários elementos menores (Figura 1.9), podendo ser tratados como vários tipos de elementos, entre eles: elementos de barra, que sofrem apenas esforços axiais (tração e compressão); elementos de viga, que são submetidos também a esforços de flexão; entre outros. O fato é que estes

¹ Informação fornecida pelo orientador deste.

elementos são ligados uns aos outros, tornando os pontos de união comuns a ambos – os nós. Desta forma, os deslocamentos destes nós são os mesmos para os elementos que estão ligados por eles, daí possuem as mesmas condições de contorno.

Figura 1.9 – Exemplo de malha de uma estrutura 3D.



Fonte: Santos, 2016.

Partindo-se destas condições de contorno semelhantes, os softwares de simulação baseados em MEF realizam os cálculos de forma iterativa, como é o caso do SolidWorks Simulation, complemento do software SolidWorks, utilizado para o projeto do reboque em questão.

1.6. O Software de Modelagem e Simulação

Para a realização do projeto do chassi do reboque, utilizando o MEF, era necessário a modelagem e simulação de sua estrutura. Para simplificar a logística de compatibilidade entre software de modelagem e software de simulação, a opção mais sensata era o uso de um único software que desempenhasse as duas funções. Por conseguinte, o software escolhido foi o SolidWorks, da Dassault Systemes.

O SolidWorks é um software de modelagem CAD 3D com muitos recursos e suplementos de utilidade para a Engenharia Mecânica. Dentre eles, o SolidWorks Simulation,

utilizado neste trabalho, permite a criação da malha de elementos finitos de corpos tridimensionais modelados previamente no SolidWorks e a simulação destes submetidos a carregamentos estáticos ou dinâmicos, com suas devidas relações de apoio.

Segundo Beer & Johnston (2011), os elementos estruturais e componentes de máquinas feitos com material dúctil geralmente são projetados de modo que o material não escoe sob as condições esperadas de carregamento. Para determinar se o material entrará no regime plástico ou não, são utilizados critérios de falha, e o critério com o qual o SolidWorks trabalha é o *critério de von Mises*, ou critério da energia de distorção máxima.

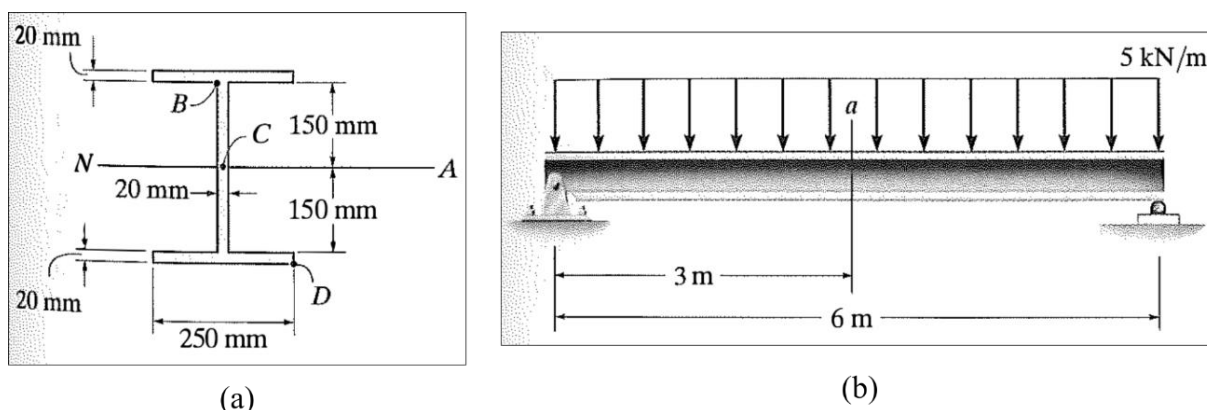
Este critério baseia-se na determinação da energia de distorção em um dado material, isto é, da energia associada a variações na forma do material. De acordo com esse critério, um componente estrutural está seguro desde que o valor máximo da energia de distorção por unidade de volume naquele material permaneça menor que a energia de distorção por unidade de volume necessária para provocar escoamento em um corpo de prova do mesmo material, em um ensaio de tração. (BEER & JOHNSTON, 2011)

2. VERIFICAÇÃO DO SOFTWARE

Para a análise computacional de problemas de engenharia faz-se necessário a verificação e validação do software de simulação utilizado. Devido à inviabilidade da validação do software, o que careceria de um experimento físico elaborado, foi realizada apenas sua verificação. Para isso tomou-se como adequado e correto o exemplo 6.15 de Hibbeler (2010).

Neste exemplo, Hibbeler (2010) traz uma viga I simplesmente apoiada com alma e mesas de 20 mm de espessura, 340 mm de altura e 250 mm de largura, submetida a um carregamento uniformemente distribuído de 5 kN/m. A Figura 2.1 (a) mostra a seção transversal da viga I enquanto a Figura 2.1 (b) esquematiza o carregamento e seus apoios.

Figura 2.1 – (a) Seção transversal da viga I do exemplo 6.15 do Hibbeler. (b) Esquema dos apoios e carregamento da viga do exemplo 6.15 do Hibbeler.



Fonte: Hibbeler, 2010.

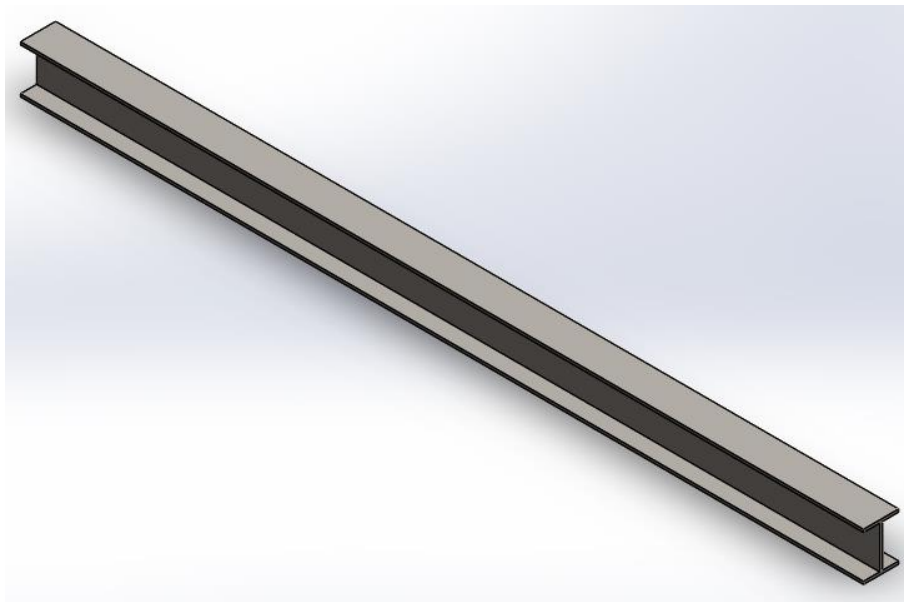
De acordo com Hibbeler (2010), para esta viga simplesmente apoiada e submetida a este carregamento, a tensão axial máxima que age sobre ela é de 12,7 MPa, tanto de tração na mesa inferior quanto de compressão na mesa superior, ambas em suas faces externas. Sendo assim, teremos estes dados como referência para a verificação do software.

2.1. Simulação da Viga I Simplesmente Apoiada

Para realizar a simulação de verificação do software, a viga foi modelada de forma tridimensional com as mesmas dimensões do exemplo 6.15 do Hibbeler, tanto de seção

transversal quanto de comprimento, e a malha de elementos finitos foi gerada sobre este modelo (Figura 2.2).

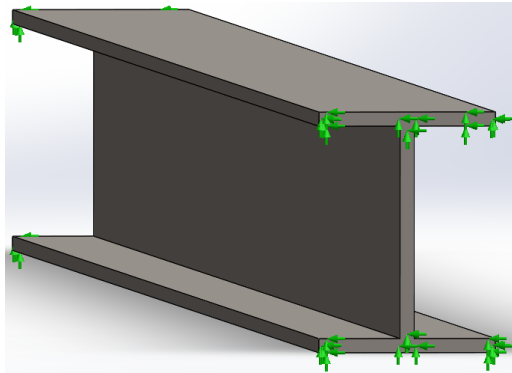
Figura 2.2 – Vista isométrica do modelo 3D da viga I do exemplo 6.15 do Hibbeler.



Fonte: Próprio autor.

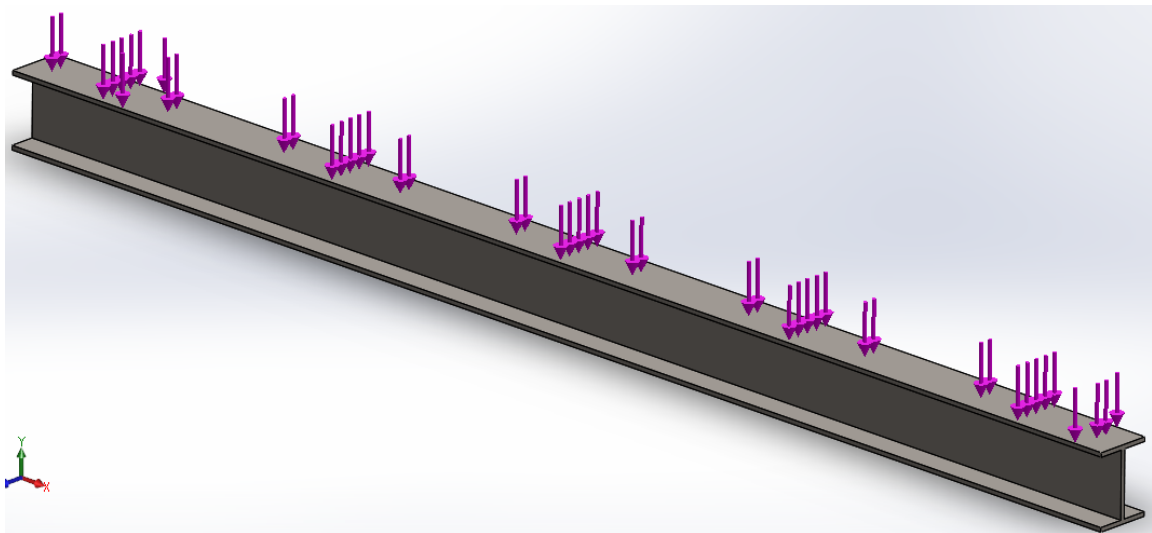
Partindo do modelo confeccionado na ferramenta CAD 3D do SolidWorks, a malha foi gerada e as condições de contorno foram impostas. Para simular os apoios foi aplicada às faces transversais extremas restrições de translação limitando o movimento radial, porém permitindo o movimento axial, como mostra a Figura 2.3. A carga foi aplicada da seguinte forma: uma força uniformemente distribuída sobre a face superior da viga com intensidade total de 30 kN, equivalente à carga de 5 kN/m multiplicada pelo comprimento de 6 m da viga. A Figura 2.4 mostra os vetores que representam a força sobre a face da viga na interface do software. A malha gerada para a simulação de verificação (Figura 2.5) foi construída baseada em elementos triangulares e apresentou 16980 nós e 8205 elementos, refinamento de malha limitado pelo hardware.

Figura 2.3 – Restrições de translação da viga I.



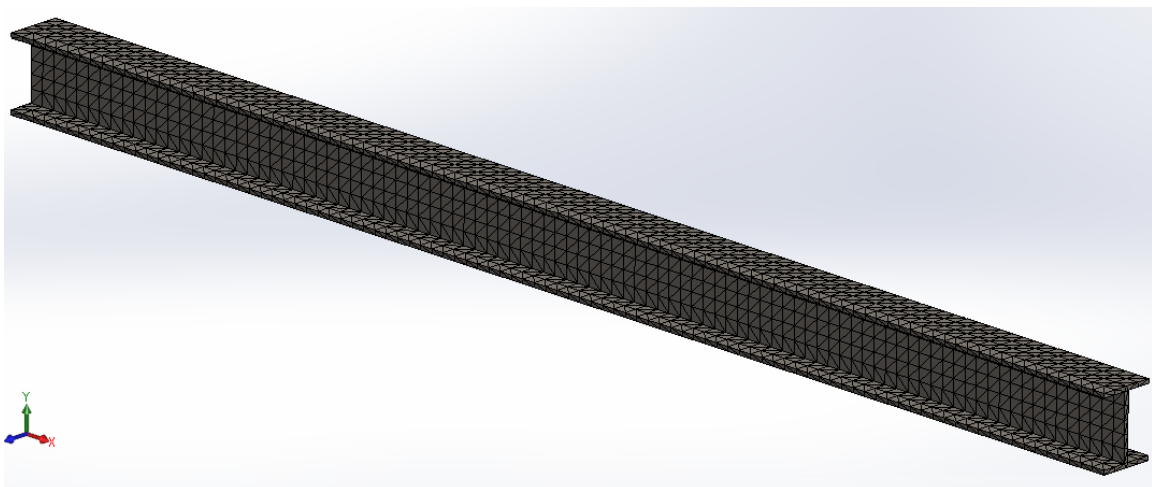
Fonte: Próprio autor.

Figura 2.4 – Carga sobre a viga.



Fonte: Próprio autor.

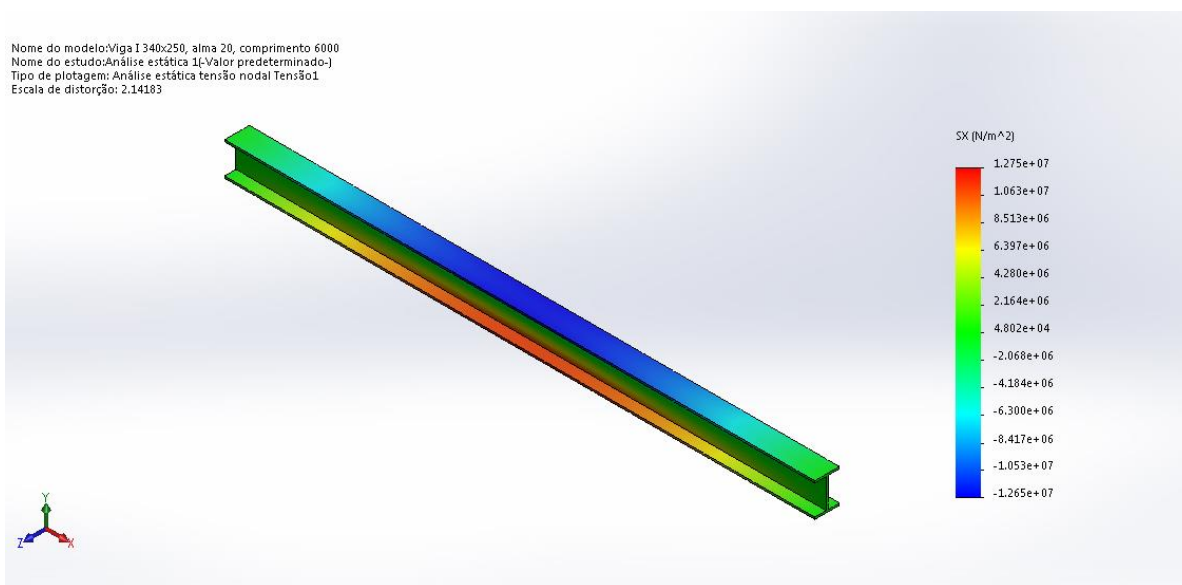
Figura 2.5 – Malha de elementos finitos da viga.



Fonte: Próprio autor.

Os resultados obtidos com a simulação foram uma tensão normal de tração máxima de $12,75 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ na face externa da mesa inferior e uma tensão normal de compressão máxima de $12,65 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ na face externa da mesa superior da viga, conforme Figura 2.6.

Figura 2.6 – Plotagem de tensões normais.



Fonte: Próprio autor.

Os resultados são bem próximos do exemplo tomado como referência apresentando cerca de 0,4% de erro, o qual certamente foi causado devido a força ter sido aplicada na face superior da viga, enquanto no exemplo o carregamento é considerado distribuído na linha neutra. Como o erro apresentado foi pequeno, menor que 1%, a verificação foi considerada satisfatória e o software julgado adequado para o projeto e simulação do chassi do reboque em questão.

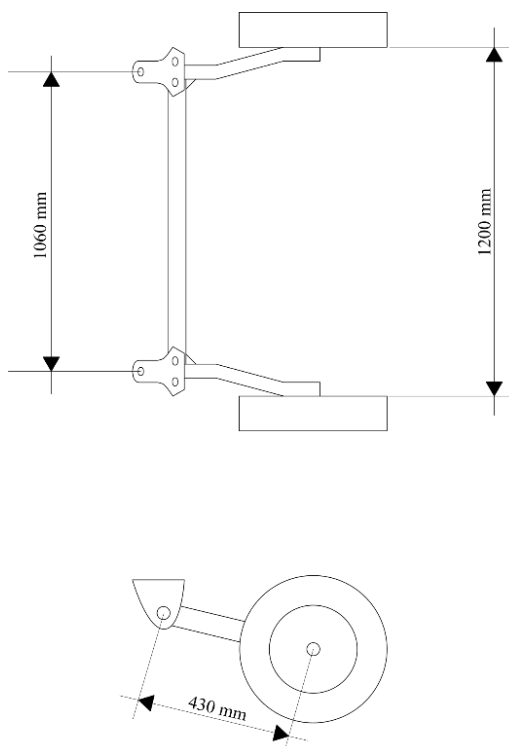
3. CONCEPÇÃO DO CHASSI DO REBOQUE PARA O TRANSPORTE DE DOIS VEÍCULOS MINI-BAJA

Para minimizar os custos de produção do reboque, o chassi foi idealizado a partir de peças automotivas já de propriedade da universidade, peças quais são um par de rodas, um par de molas helicoidais e um eixo traseiro, ambos de um veículo Volkswagen modelo Gol de primeira geração. Estas peças foram doadas à universidade juntamente com o veículo cadastrado como sucata no departamento de trânsito.

3.1. Peças do Gol

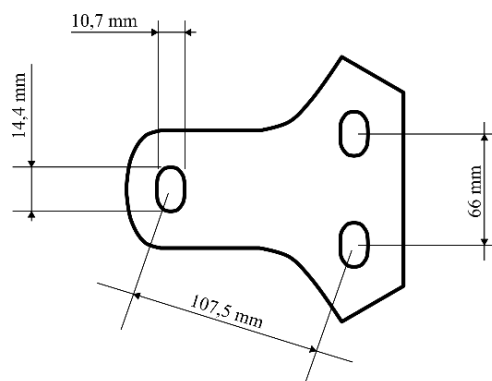
As rodas automotivas que já são de propriedade da universidade são fabricadas em aço e tem diâmetro comercial de 13". O eixo traseiro é do tipo eixo de torção e tem as dimensões de acordo com o esboço simplificado da Figura 3.1. A Figura 3.2 traz o esboço com os detalhes dos furos oblongos para a fixação por parafuso do eixo ao chassi do veículo, os quais serão usados para a fixação ao chassi do reboque.

Figura 3.1 – Esboço no 3º diedro das vistas superior e lateral do eixo traseiro.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.2 – Esboço da vista superior da fixação do eixo traseiro.



Fonte: Próprio autor.

Partindo-se destas dimensões aferidas com paquímetro e trena, tem-se as primeiras condições de contorno para o layout do chassi: as longarinas devem ser espaçadas com a mesma distância de centro da fixação do eixo do Gol para que o eixo seja fixado diretamente nas longarinas do reboque.

3.2. Dimensões dos Veículos Mini-Baja

Os outros dados de entrada são as dimensões externas dos veículos mini-baja que serão transportados pelo reboque, sendo estas a bitola (largura) e comprimento total. Para o primeiro caso foram aferidas dimensões do protótipo Urutu P1, sendo a bitola de 1400 mm e o comprimento total de 2200 mm, ambas dimensões aproximadas. Para o segundo caso as dimensões do protótipo Cascavel P2, ainda em fase de projeto, foram consideradas as seguintes: 1500 mm de bitola e 2000 mm de comprimento total, dimensões as quais estão contempladas pelo regulamento da competição nacional de mini-bajas da Sociedade dos Engenheiros da Mobilidade (SAE). A partir destas dimensões deduz-se as dimensões do quadro principal do chassi do reboque, pois com a bitola dos bajas estipula-se a largura do quadro do chassi, e com o comprimento dos veículos o comprimento total do quadro.

Tomando como base a maior bitola de 1500 mm e admitindo uma folga de 100 mm para cada lado do mini-baja, temos definido a largura do reboque em 1700 mm. Para o comprimento é necessário dois vãos com assoalho, um para cada baja, e um vão livre para que, com o trabalho da suspensão, os pneus do próprio reboque não toquem o chassi. Considerando o maior comprimento total de 2200 mm, e levando em conta que o contato da roda do baja com o assoalho do reboque obedece a distância entre eixos que é menor que o

comprimento total, julgaremos o comprimento de 2200 mm suficiente para a ancoragem do veículo mini-baja. Para o vão livre, tomaremos o diâmetro dos pneus do próprio reboque para o dimensionamento do vão, desta forma tendo o comprimento de 593 mm para pneus de medida 175/75R13, os quais têm os mesmos 593 mm de diâmetro, como mostra a Figura 3.3.

Figura 3.3 – Medidas do pneu 175/75R13.



Fonte: Calculadora de Pneus Online.

3.3. Layout do Chassi

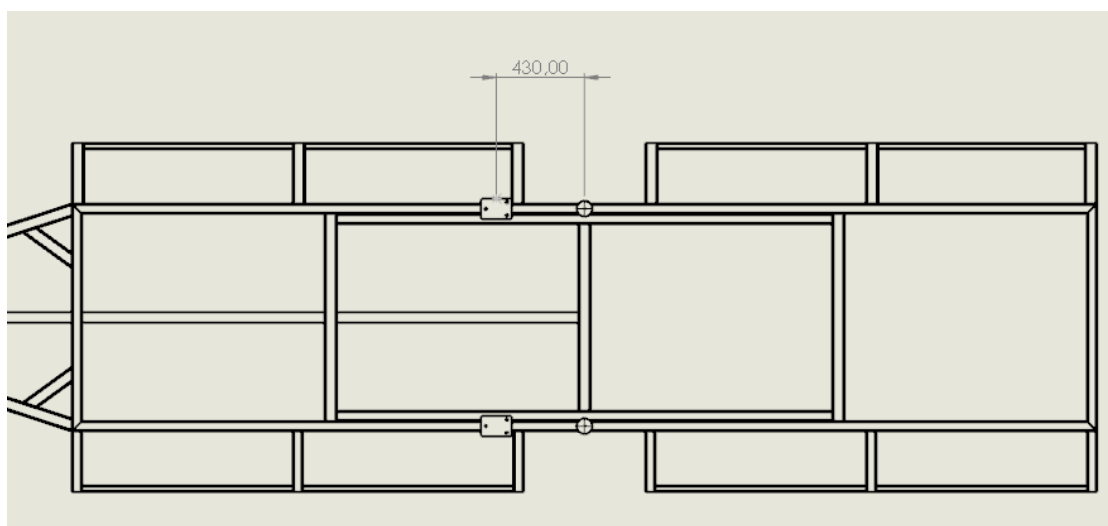
Partindo dos dados de entrada apresentados nas seções 3.1 e 3.2 e da Portaria nº 69 do Inmetro, de 1996, que trata da inspeção de segurança veicular em rebocáveis leves com PBT até 750 kg, o layout do chassi do reboque resultou na seguinte configuração: duas longarinas principais com 5 m de comprimento para comportar os dois veículos mini-baja, cada um por sobre um vão coberto de cerca de 2200 mm, e também conter um vão livre com 593 mm para os pneus do reboque, e espaçadas entre si com 1060 mm de centro a centro de forma a ancorar o eixo traseiro do Gol de primeira geração; cinco travessas ligando as longarinas entre si dispostas na transversal do chassi e igualmente espaçadas, sendo a primeira faceando a face frontal das longarinas e a última também faceando a face traseira das longarinas; prolongamentos laterais transversais para comportar os veículos, deixando o chassi com 1700 mm de largura, visto que o protótipo Cascavel P2 possuirá 1500 mm de bitola; cambão na direção longitudinal e centralizado transversalmente, partindo da travessa

central e trespassando as demais no sentido frontal, com um offset de 2000 mm da primeira travessa; barras do tipo duplo V realizando o travamento do cambão; e duas barras efetuando o travamento das barras duplo V; barras nas laterais, no sentido longitudinal, ligando os prolongamentos de forma a fechar a área que receberá o assoalho.

Com os resultados das iterações das simulações, foi observado a necessidade de se acrescentar duas longarinas secundárias ao quadro do chassi, ambas com o mesmo perfil estrutural das principais. Essas longarinas secundárias foram posicionadas na seção do quadro onde as longarinas principais apresentaram maior tensão de von Mises, reforçando assim a estrutura. Desta forma elas ficaram situadas entre a segunda e a quarta travessa, como é possível observar nas Figuras 3.4 e 3.5.

Para a fixação do eixo foram posicionadas duas chapas, uma sob cada longarina principal, contendo furos oblongos, distanciadas de cerca de 430 mm do centro do quadro do chassi, conforme os esboços das Figuras 3.1 e 3.2. Além disso, foram adicionadas no centro e sob o quadro do chassi, nas longarinas principais, mais duas chapas com corte circular para a ancoragem das molas helicoidais. Este posicionamento está explicitado na Figura 3.4.

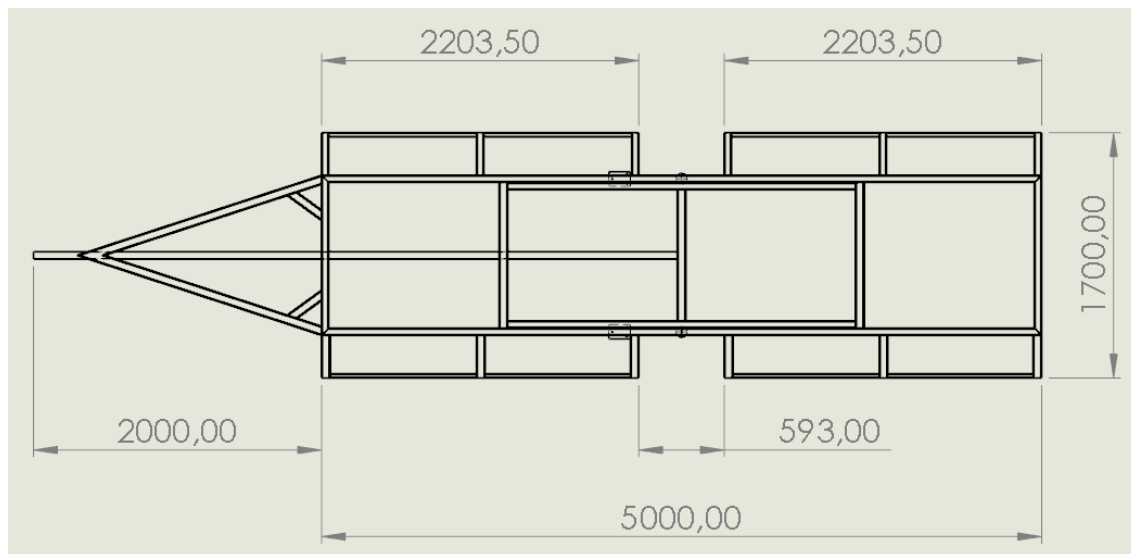
Figura 3.4 – Vista inferior do posicionamento da chapa de fixação do eixo.



Fonte: Próprio autor.

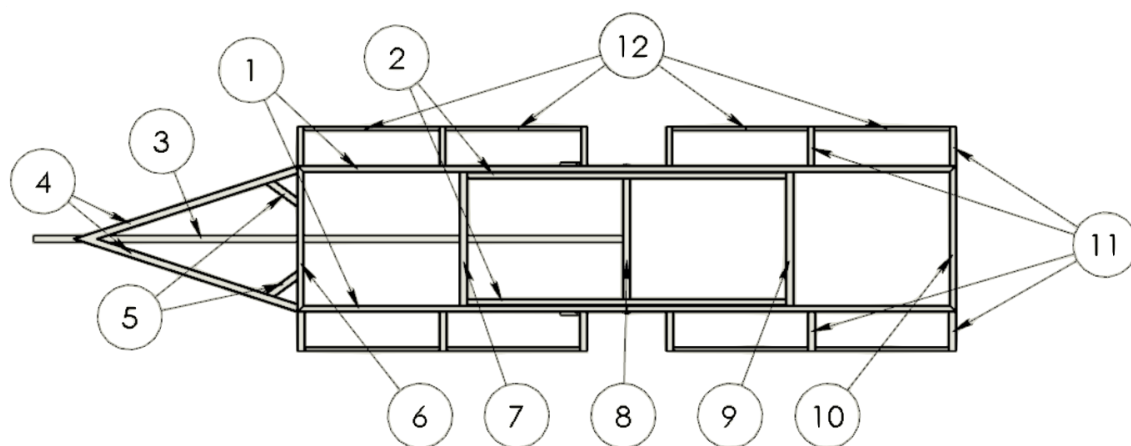
Todo este reforço do cambão com barras duplo V e travamentos do duplo V foi inserido objetivando a resistência à fadiga para que o reboque não se rompa devido aos esforços flutuantes nesta região, que será explorado mais a seguir com a simulação dos modos de vibração naturais da estrutura. As Figuras 3.5 e 3.6 exibem a vista superior do chassi, uma com as dimensões e outra com as indicações dos elementos.

Figura 3.5 – Vista superior do chassi do reboque com dimensões.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3.6 – Vista superior do chassi do reboque com as indicações dos elementos.



1. Longarinas Principais
2. Longarinas Secundárias
3. Cambão
4. Barras Duplo V
5. Travamentos do Duplo V
6. 1ª Travessa
7. 2ª Travessa
8. 3ª Travessa
9. 4ª Travessa
10. 5ª Travessa
11. Prolongadores Laterais
12. Barras Laterais

Fonte: Próprio autor.

3.4. Escolha dos Perfis Estruturais

Com base no catálogo de produtos de Perfinasa (2016) e no layout das Figuras 3.5 e 3.6, os perfis estruturais foram escolhidos de forma iterativa. Foram realizadas várias simulações e o critério para a escolha dos perfis foi que todos os pontos da estrutura malhada apresentassem um coeficiente de segurança maior que três para uma análise estática da estrutura submetida ao carregamento dos veículos mini-baja, visto que existe uma dificuldade em majorar o carregamento estático em virtude das cargas oscilantes que provocam a fadiga do chassi.

Para evitar o acúmulo de humidade, o que é comum em perfis de seção fechada, e sem abrir mão da resistência à flexão, foi dada preferência aos perfis U enrijecidos. O material considerado foi o aço ASTM A36 visto ser o aço com maior facilidade de ser encontrado comercialmente e menor valor agregado.

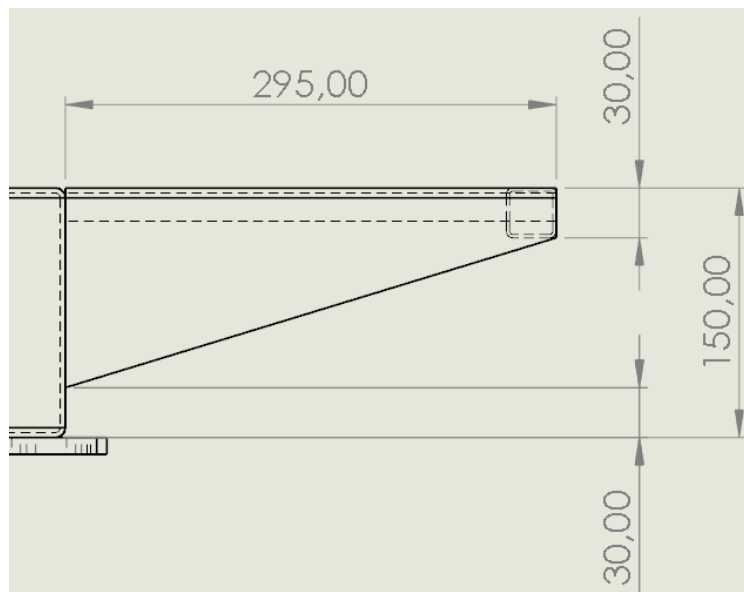
Com a iteração das simulações, o perfil que se mostrou mais adequado para as longarinas principais e secundárias, e primeira e última travessas foi o U enrijecido de 150x50x17 mm fabricado em chapa de 3 mm de espessura. Para as demais travessas, prolongamentos laterais, barras duplo V e travamentos do duplo V o perfil selecionado foi o U enrijecido de 150x60x20 mm em chapa de 3 mm. Para o cambão, como o diâmetro de fixação das munhecas comerciais (Figura 3.7) é padronizado em 2", foi escolhido um tubo redondo de 2" de diâmetro externo e parede de 3 mm. Já para as barras laterais, o perfil mais conveniente foi o tubo quadrado de 30x30 mm e 2 mm de parede, uma vez que o catálogo não apresentava perfis U enrijecidos com altura menor que 50 mm, posto que os prolongamentos serão cortados para melhor aproveitar o material, corte o qual será na diagonal (Figura 3.8) de forma que uma barra de 295 mm do perfil U enrijecido seja suficiente para fabricar dois prolongadores.

Figura 3.7 – Imagem ilustrativa de uma munheca comercial.



Fonte: Maxx Diamond, 2018.

Figura 3.8 – Vista frontal dos prolongadores cortados.



Fonte: Próprio autor.

O Apêndice A traz os desenhos técnicos das partes do chassi com vistas no 3º diedro, com detalhamento das seções transversais dos perfis escolhidos.

3.5. Simulação do Chassi

Como já dito no decorrer deste trabalho, a simulação realizada foi de caráter estático e também de análise de frequências naturais e modos de vibração, onde foram estabelecidas as propriedades do material, os apoios e as forças por sobre a estrutura do chassi, que serão detalhados no decorrer deste tópico.

3.5.1. Propriedades do Material

O material considerado para as simulações foi o aço ASTM A36, uma vez que é o aço mais comum encontrado no mercado de perfis estruturais e também, como citado previamente, a escolha dos perfis foi baseada no catálogo de produtos de Perfinasa (2016), empresa qual trabalha com perfis estruturais fabricados em aço A36. As propriedades do aço utilizado estão elucidadas na Tabela 3.1, de acordo com biblioteca do próprio software utilizado.

Tabela 3.1 – Propriedades do aço ASTM A36.

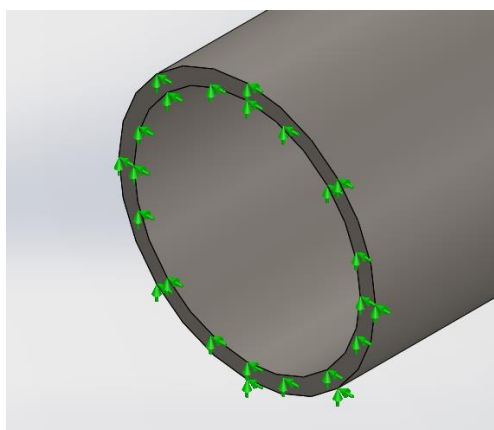
Propriedade	Valor	Unidade
Módulo elástico	200000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.26	Adimensional
Módulo de cisalhamento	79300	N/mm ²
Massa específica	7850	kg/m ³
Resistência de tração	400	N/mm ²
Limite de escoamento	250	N/mm ²

Fonte: SolidWorks, 2018.

3.5.2. Apoios da Estrutura

Na parte frontal do chassi, na face frontal do cambão, foram aplicadas as seguintes condições de contorno: translação restrita nas direções radiais e irrestrita na direção axial, simulando assim um apoio simples, rotulado, como é na ancoragem da munheca ao engate do veículo rebocador. A Figura 3.9 exibe uma vista isométrica da face do cambão com os vetores restritivos apresentados na própria interface do software.

Figura 3.9 – Apoio dianteiro do cambão.



Fonte: Próprio autor.

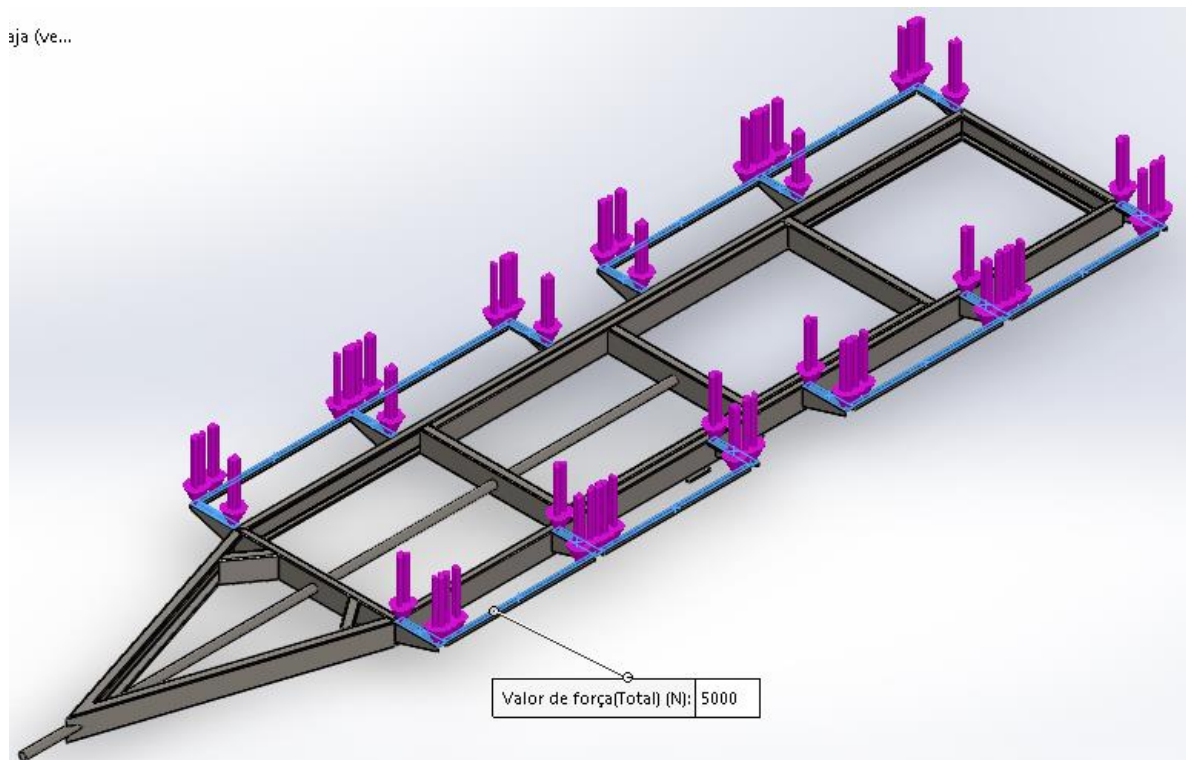
Nas faces inferiores das chapas de fixação do eixo e ancoragem das molas foram aplicadas as restrições de translação em todas as direções, tornando assim as faces em condição de engaste.

3.5.3. Forças Sobre a Estrutura

Com o intuito de representar o peso dos dois veículos mini-baja agindo sobre o chassi do reboque, na simulação de caráter estático foi aplicada uma força normal de 5000 N distribuída sobre as faces superiores dos prolongadores laterais e dos tubos quadrados laterais, estruturas que serão responsáveis por alicerçar o assoalho que apoiará as rodas dos veículos. O valor de 5000 N foi aplicado considerando que cada veículo tenha sua massa aproximada de 250 kg, assim um total de 500 kg. Arredondando a aceleração da gravidade para 10 m/s^2 , deste modo superestimando a força, temos os 5000 N distribuídos.

A Figura 3.10 traz uma vista isométrica da estrutura com os vetores da própria interface do software, vetores quais são representantes da força distribuída, e também destaca as faces sobre as quais a força age.

Figura 3.10 – Força peso dos veículos mini-baja agindo sobre a estrutura do chassi.



Fonte: Próprio autor.

3.5.4. A Malha Gerada

As Tabelas 3.2 e 3.3 trazem os dados das malhas geradas para as duas simulações, a primeira para a estática e a segunda para a de análise de frequência natural do chassi. As quantidades de elementos e de nós apresentadas em ambas as tabelas foram obtidas por meio do maior refinamento que o hardware permitia, o qual tem sua configuração apontada na Tabela 3.4.

As Figuras 3.11 e 3.12 mostram a malha criada para a simulação estática. Não será exibida uma figura com a malha da simulação de frequência natural por não apresentar diferença visível em relação à da análise estática.

Tabela 3.2 – Dados da malha da análise estática.

Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malhas usado	Malha mesclada com base em curvatura
Pontos Jacobianos	4 pontos
Tamanho máximo do elemento	226.819 mm
Tamanho mínimo do elemento	45.3638 mm
Total de nós	111308
Total de elementos	58435

Fonte: Próprio autor.

Tabela 3.3 – Dados da malha da análise de frequência natural.

Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malhas usado	Malha mesclada com base em curvatura
Pontos Jacobianos	4 pontos
Tamanho máximo do elemento	226.819 mm
Tamanho mínimo do elemento	45.3638 mm
Total de nós	108312
Total de elementos	56295

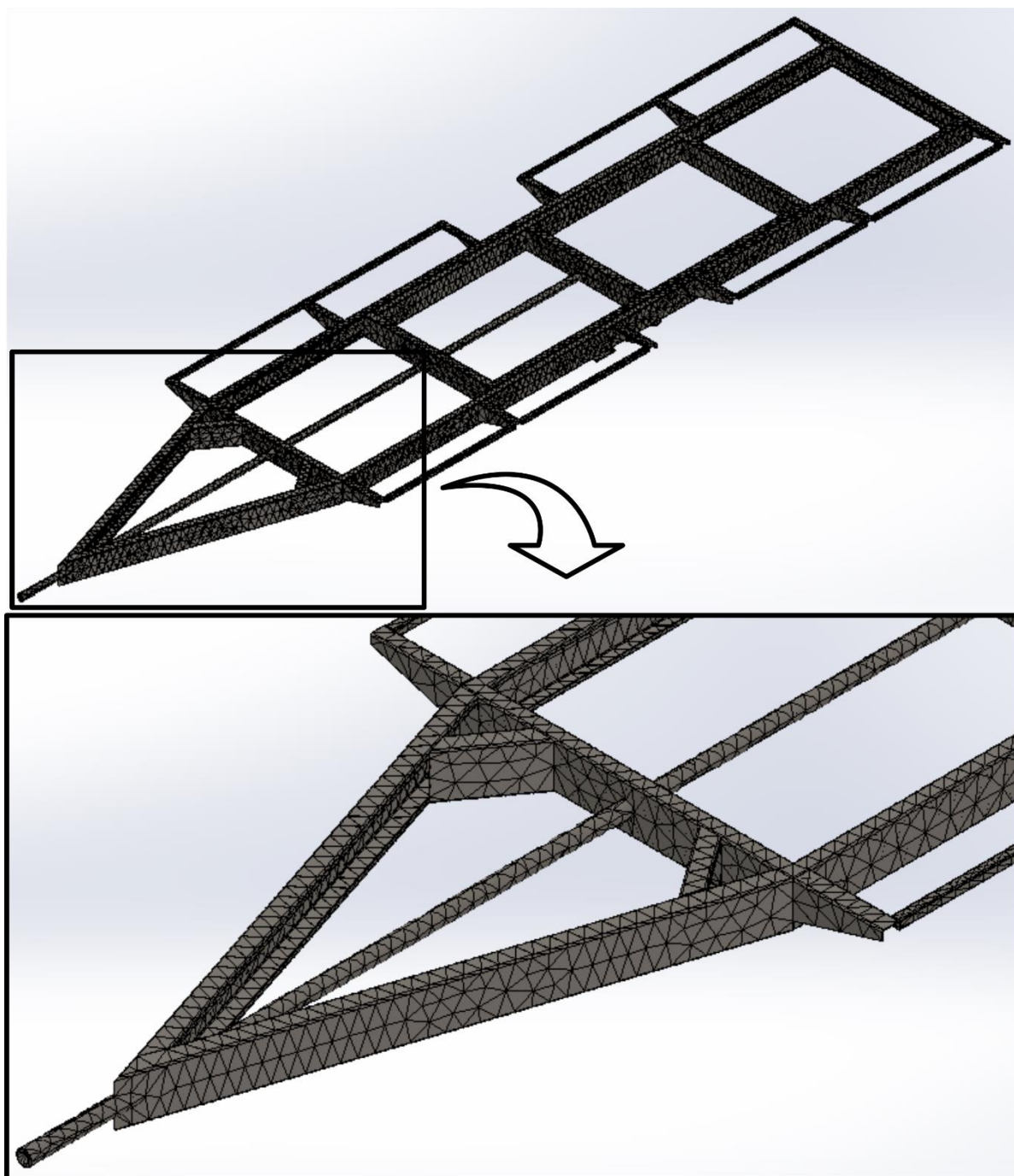
Fonte: Próprio autor.

Tabela 3.4 – Configuração do hardware utilizado.

Processador	Intel Core i7 2630QM, 2.0 GHz
Memória RAM	8 GB, 1333 MHz, DDR3
Sistema operacional	Windows 7 Ultimate
Placa de vídeo	Nvidia GEFORCE GT 550M, 1GB

Fonte: Próprio autor.

Figura 3.11 – Vista isométrica da malha criada para a análise estática com detalhe.



Fonte: Próprio autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

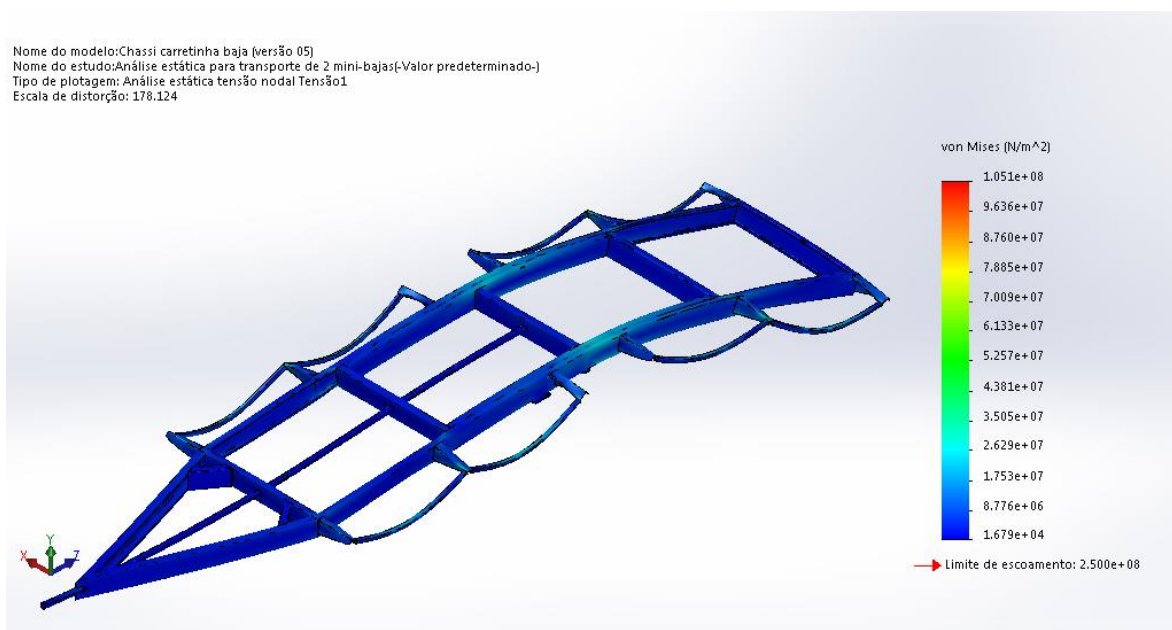
Com este layout apresentado e os perfis escolhidos, o software apontou uma massa de 196,43 kg para o chassi do reboque. Arredondando para 200 kg e superestimando a adição de cerca de 50 kg para os demais componentes que serão acrescentados ao chassi (eixo, rodas, munheca, sistema elétrico, entre outros), tem-se a tara de 250 kg.

Além disso, no decorrer deste tópico serão apresentados e discutidos os resultados das duas últimas simulações realizadas, sendo elas para a análise estática e para a análise de frequência natural. Os resultados explanados a seguir serão as tensões de von Mises, os deslocamentos verticais, os fatores de segurança e as frequências naturais para os diferentes modos de vibração.

4.1. Tensões

Como dito na seção 2.2, o critério de falha com o qual o software utilizado trabalha é o *critério de von Mises*, onde o software calcula de forma iterativa as tensões de von Mises na estrutura malhada e compara com o limite de escoamento do material. A plotagem das tensões de von Mises na estrutura está explicitada na Figura 4.1.

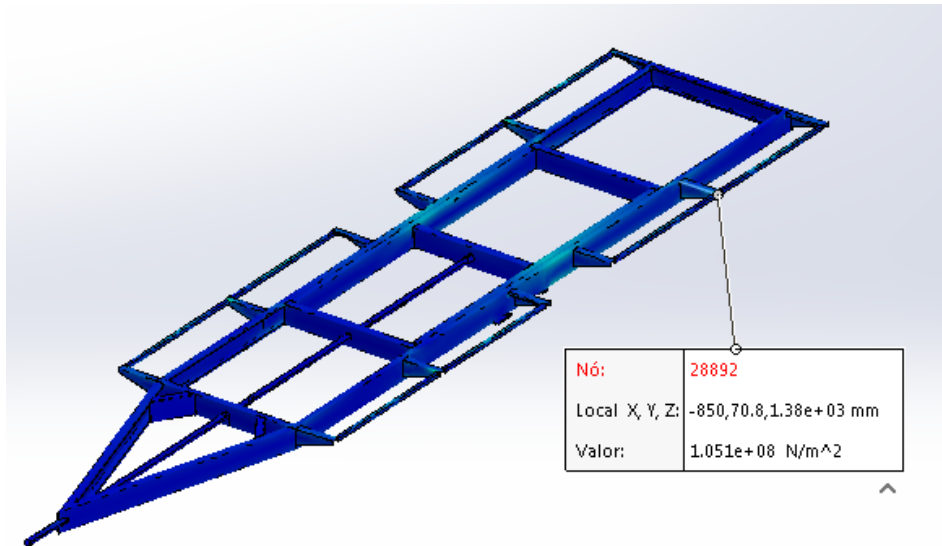
Figura 4.1 – Plotagem das tensões de von Mises na estrutura do chassi.



Fonte: Próprio autor.

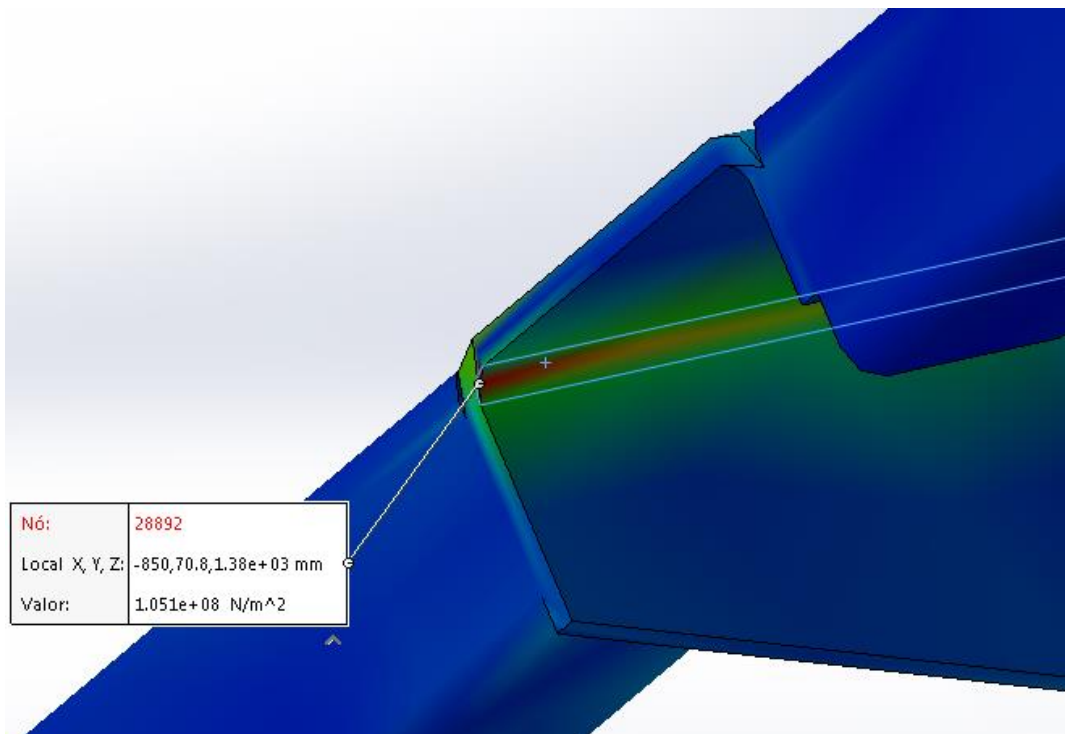
Nesta simulação, o nó que apresentou maior tensão foi um situado na face interna do prolongador lateral direito, o segundo tomando como referência a traseira do chassi, conforme mostram as Figuras 4.2 e 4.3. Este nó apresentou uma tensão de von Mises de $1,051 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$.

Figura 4.2 – Localização do nó com maior tensão de von Mises.



Fonte: Próprio autor.

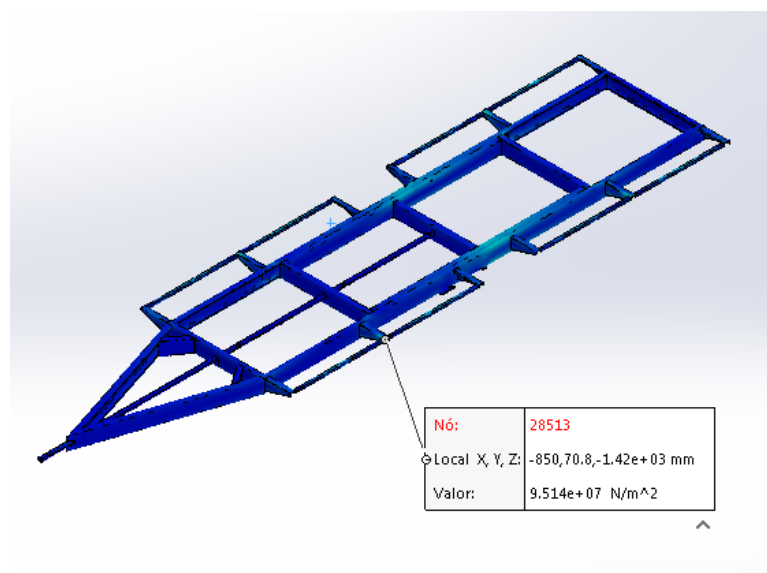
Figura 4.3 – Nó com maior tensão de von Mises.



Fonte: Próprio autor.

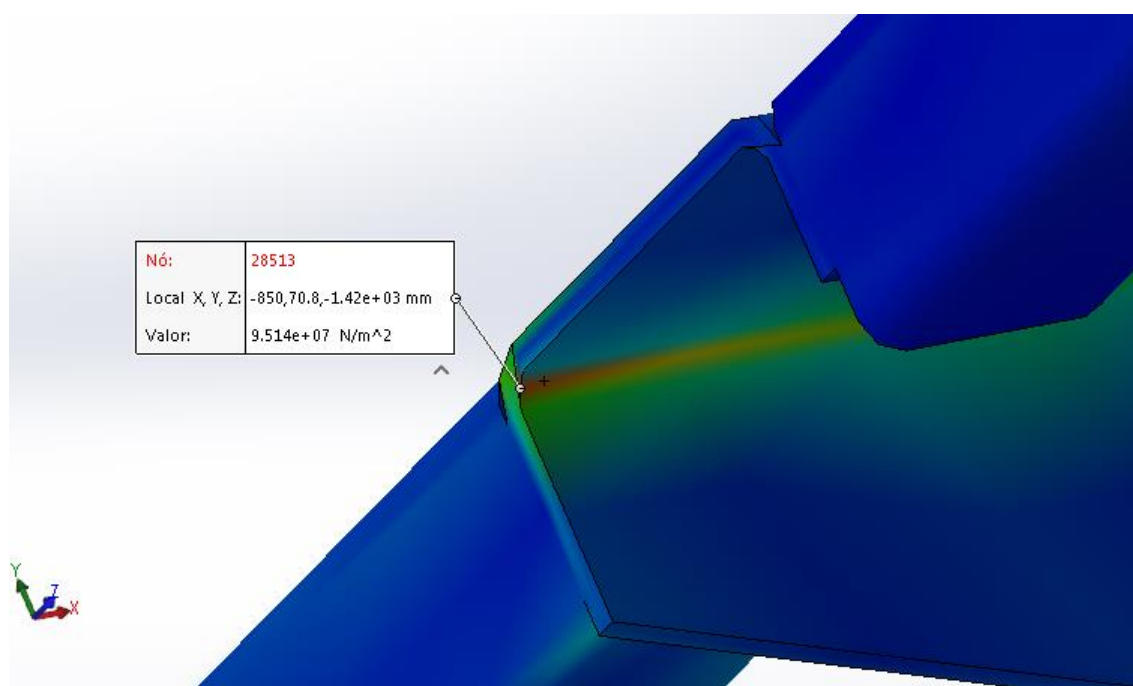
O nó que apresentou a segunda maior tensão foi um localizado também na face interna de um prolongador lateral direito, porém o segundo prolongador partindo da dianteira do reboque. Este nó apresentou tensão de von Mises de $9,514 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$, como expões as Figuras 4.4 e 4.5.

Figura 4.4 – Localização do segundo nó com maior tensão de von Mises.



Fonte: Próprio autor.

Figura 4.5 – Segundo nó com maior tensão de von Mises.



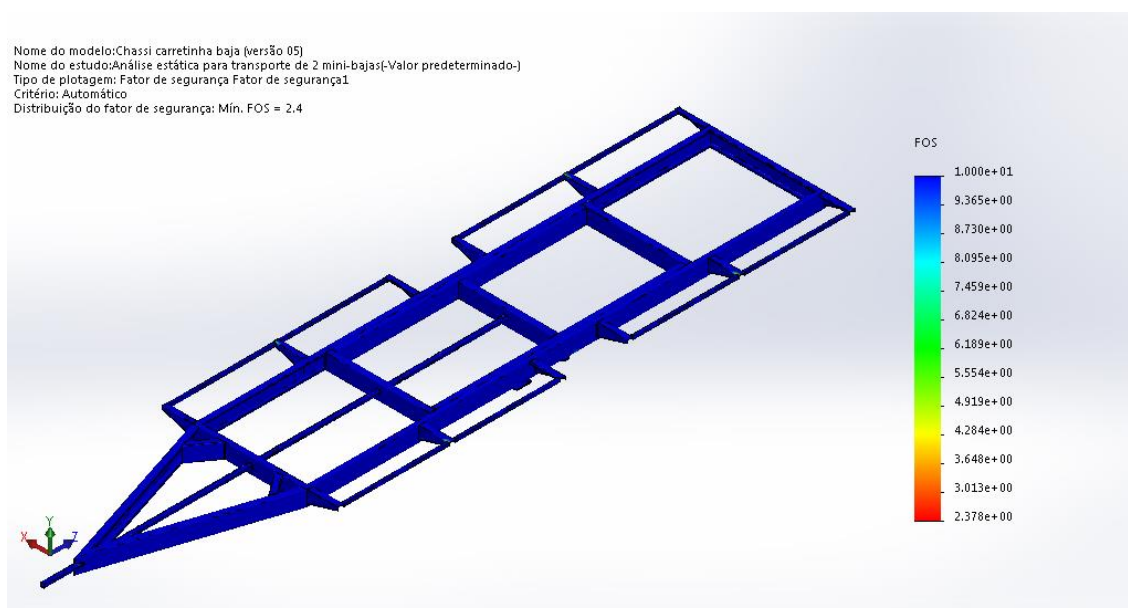
Fonte: Próprio autor.

Como é possível observar, ambos os nós apresentam tensão inferior ao limite de escoamento do material, que é de $2,5 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$. Sendo assim, para o *critério de von Mises*, a estrutura está robusta o suficiente para não se deformar plasticamente com o carregamento dos veículos mini-baja.

4.2. Fator de Segurança

Um dos critérios utilizados para analisar a estrutura foi de que o fator de segurança para todos os nós da estrutura fosse maior que três, como citado na seção 4.4, pela dificuldade em majorar as forças estáticas devido aos efeitos dinâmicos ocasionados pelas oscilações impostas à estrutura pela irregularidade do solo, pelas frenagens e acelerações do veículo rebocador, entre outros fatores. A Figura 4.6 ilustra a plotagem dos fatores de segurança ao longo do chassi projetado.

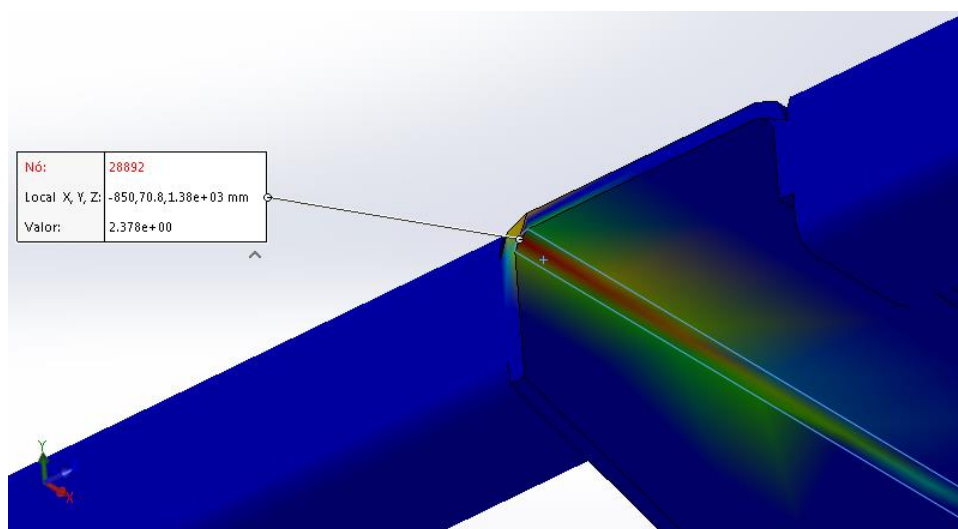
Figura 4.6 – Plotagem dos fatores de segurança.



Fonte: Próprio autor.

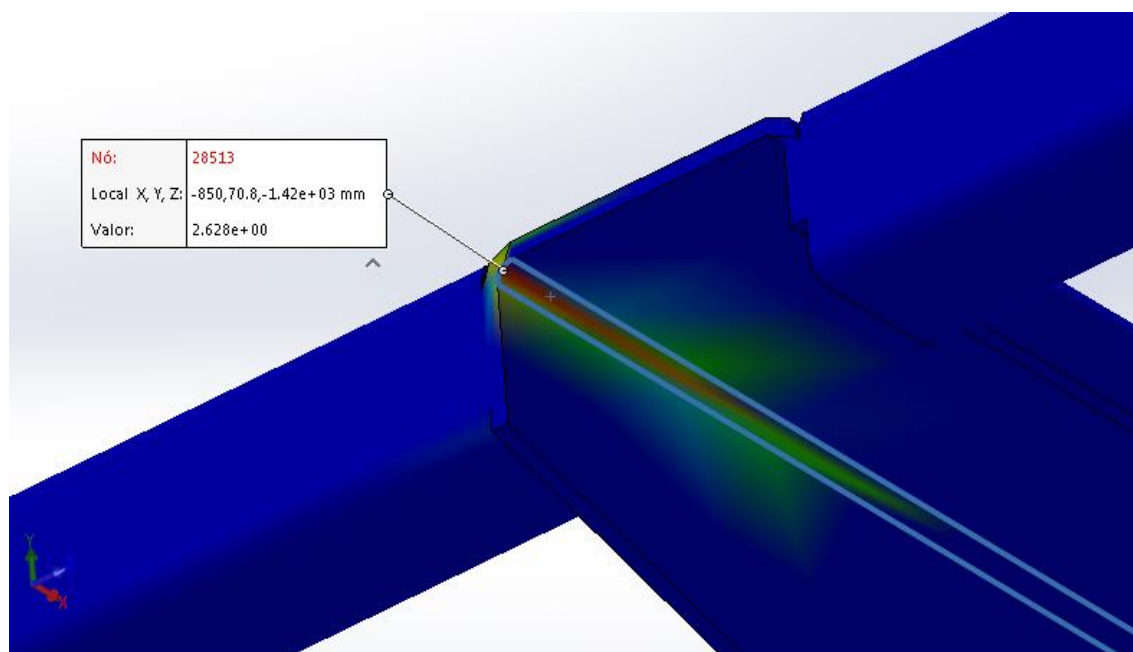
Houveram problemas em apenas dois nós, os mesmos apresentados na seção 5.1. Estes apresentaram coeficiente de segurança inferior a 3. O primeiro exibiu um coeficiente de 2,378, e o segundo um de 2,628, como aponta as Figuras 4.7 e 4.8. Os demais pontos apresentaram coeficiente de segurança acima de 3.

Figura 4.7 – Menor coeficiente de segurança apresentado pela simulação estática do chassi.



Fonte: Próprio autor.

Figura 4.8 – Segundo menor coeficiente de segurança apresentado pela simulação estática do chassi.



Fonte: Próprio autor.

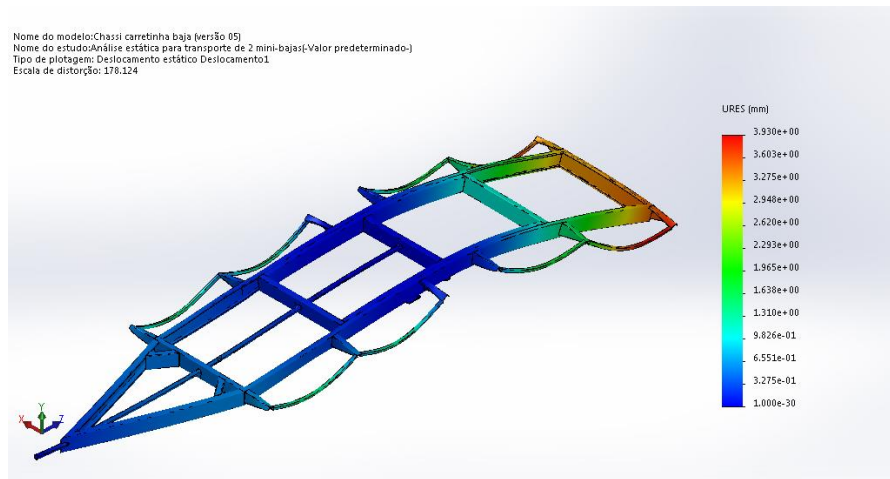
É válido ressaltar que ambos os nós estão localizados do mesmo lado da estrutura. Quer dizer, a estrutura simétrica com carregamento simétrico apresentou diferentes valores para as tensões em diferentes lados. A provável causa disso pode ter sido a criação de uma malha grosseira para a simulação do problema, melhor dizendo, o problema necessitava de uma malha mais refinada para sua simulação, com menores elementos e maior quantidade de nós. Infelizmente o hardware disponível não possibilitava um refinamento mais satisfatório.

Sendo assim, para escapar desta incerteza, a solução mais prática seria a adição de um reforço local na fase de fabricação do chassi.

4.3. Deslocamento

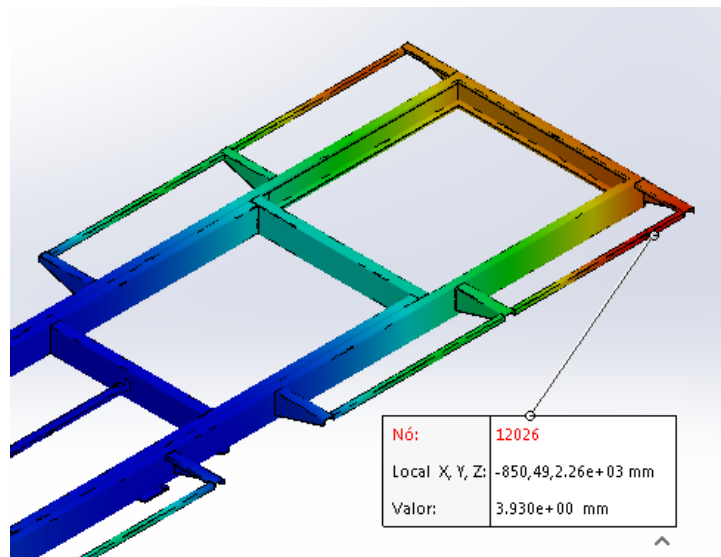
Para a simulação de carregamento estático, o maior deslocamento total apresentado na estrutura foi de 3,93 mm no último tubo quadrado lateral, ou seja, primeiro tubo da traseira, conforme Figuras 4.9 e 4.10. Como o deslocamento ainda está na casa dos milímetros, o projeto foi considerado aceitável para a carga dos dois veículos.

Figura 4.9 – Plotagem de deslocamento do chassi submetido à carga dos veículos mini-baja.



Fonte: Próprio autor.

Figura 4.10 - Ponto de maior deslocamento do chassi submetido à carga dos veículos mini-baja.



Fonte: Próprio autor.

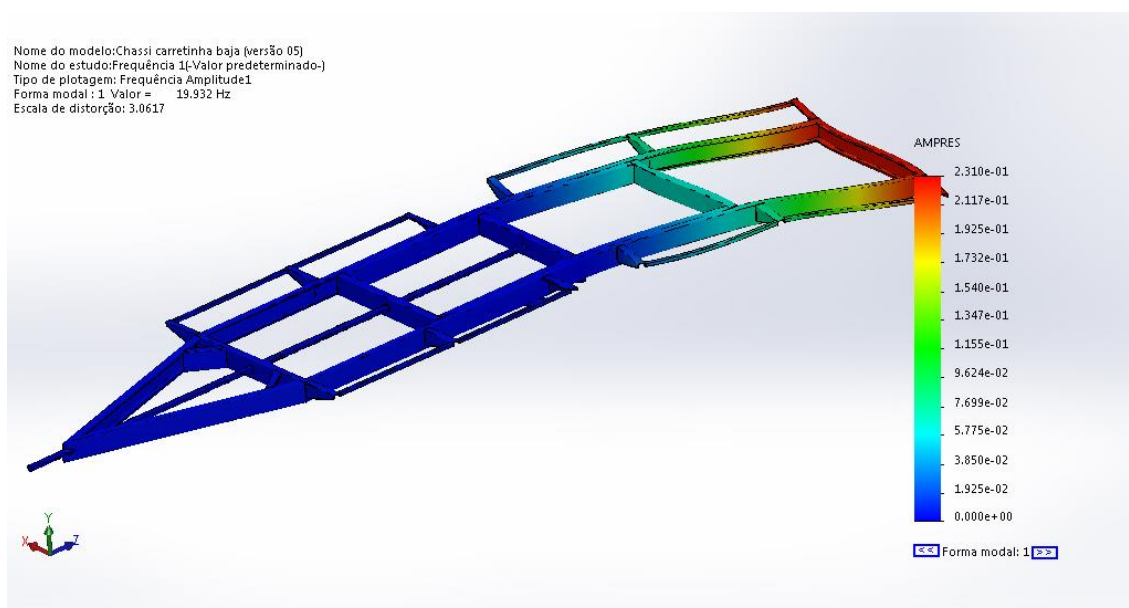
4.4. Modos de Vibração e Frequências Naturais

Como descrito na seção 2.1, com o intuito de resguardar o reboque de ressonâncias com as frequências de excitação da suspensão pelas irregularidades das vias de circulação, neste projeto buscou-se evitar o intervalo de 6 a 15 Hz para as frequências naturais de vibração da estrutura do chassi.

A simulação de análise de frequências naturais de vibração revelou os cinco modos de vibração de menor frequência da estrutura, e os resultados destes serão apresentados a seguir.

O primeiro modo de vibração revelado foi a oscilação lateral da traseira em balanço, ou seja, toda a estrutura atrás dos ancoramentos das molas helicoidais. Para este modo de vibração a estrutura apresentou uma frequência natural de 19,932 Hz, como mostra a Figura 4.11.

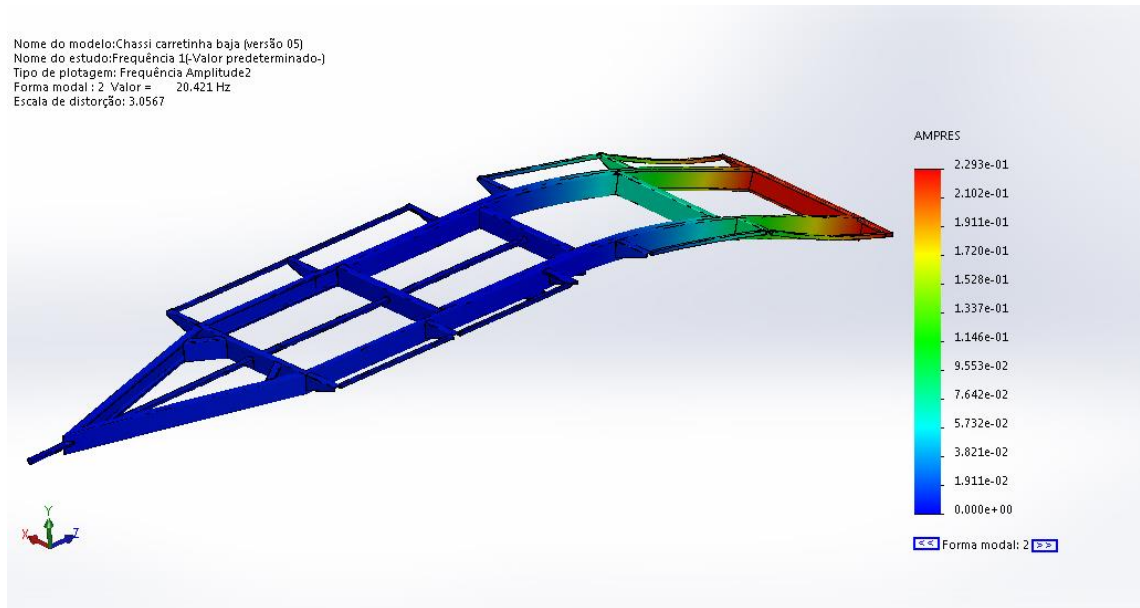
Figura 4.11 – Plotagem dos resultados do primeiro modo de vibração.



Fonte: Próprio autor.

O segundo modo de vibração foi a oscilação vertical da mesma porção da estrutura do reboque do primeiro modo, ou melhor, a traseira em balanço. Este modo apresentou uma frequência natural de vibração de 20,421 Hz, como ilustra a Figura 4.12.

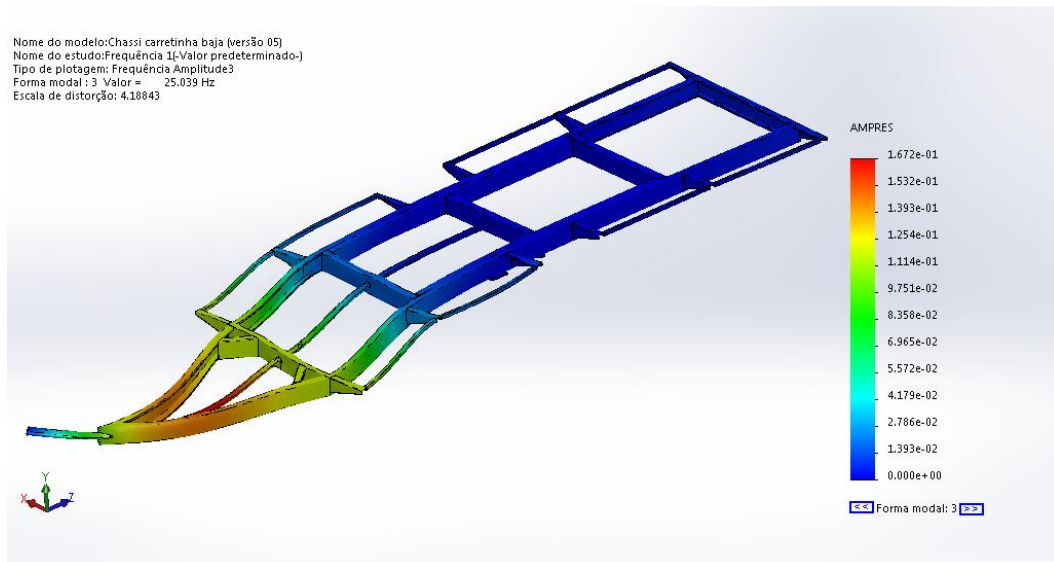
Figura 4.12 – Plotagem dos resultados do segundo modo de vibração.



Fonte: Próprio autor.

O terceiro modo de vibração identificado foi a oscilação lateral da porção dianteira do chassi, da fixação do eixo até a face frontal do cambão. O software revelou uma frequência de 25,039 Hz para este modo de vibração, como exhibe a Figura 4.13.

Figura 4.13 – Plotagem dos resultados do terceiro modo de vibração.

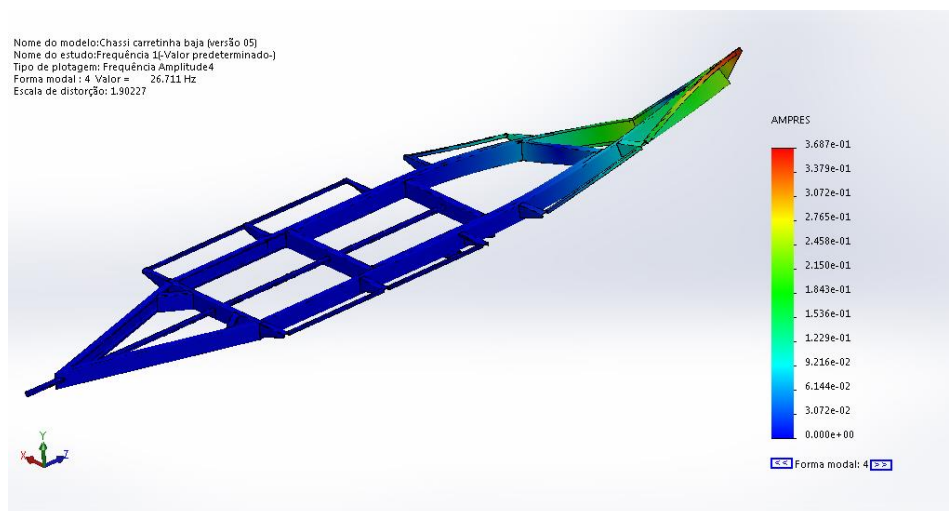


Fonte: Próprio autor.

Já o quarto modo de vibração identificado foi a oscilação do balanço traseiro em torno do eixo longitudinal do chassi. Para este modo o software apontou uma frequência

natural de vibração de 26,711 Hz. A Figura 4.14 apresenta a plotagem dos resultados do quarto modo natural de vibração.

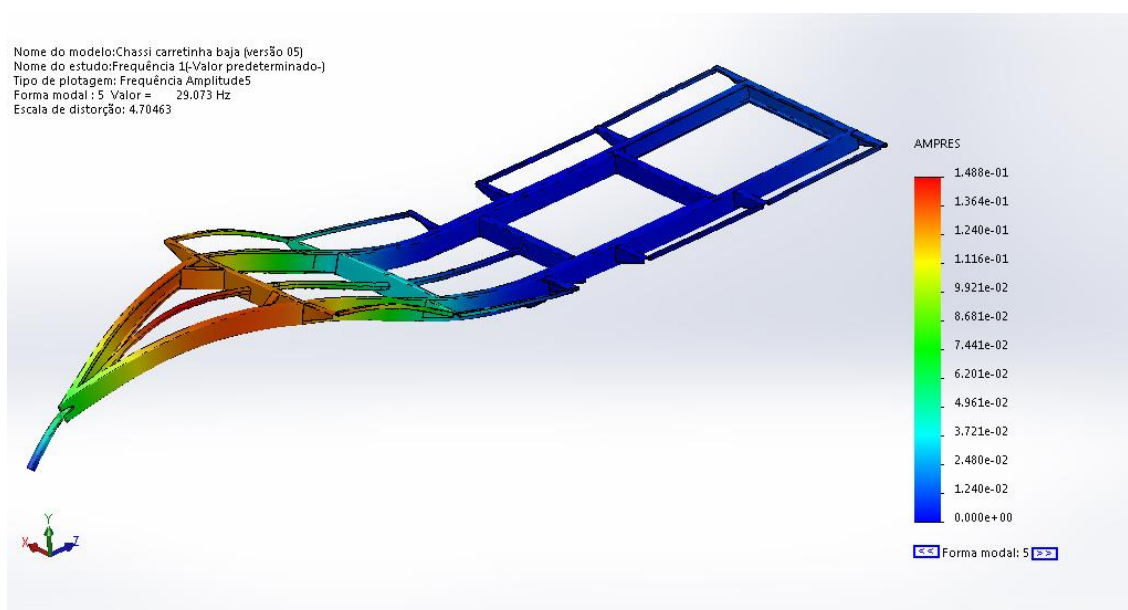
Figura 4.14 – Plotagem dos resultados do quarto modo de vibração.



Fonte: Próprio autor.

O quinto e último modo de vibração identificado foi a oscilação vertical da parte dianteira da estrutura, a mesma porção do terceiro modo de vibração. Neste modo a estrutura oscila com frequência natural de 29,073 Hz, como mostra a plotagem de resultados apresentada na Figura 4.15.

Figura 4.15 – Plotagem dos resultados do quinto modo de vibração.



Fonte: Próprio autor.

Partindo do critério apresentado na seção 1.4 e também no início desta seção, para todos os modos de vibração apresentados a estrutura foge das frequências de excitação pelo solo, assim não sofrendo de ressonância com a excitação da suspensão. Desta forma evita-se a fadiga prematura do chassi.

5. CONCLUSÃO

Desde o início da idealização do projeto deste chassi foi tomado como referência para fabricação o ferramental do Laboratório de Materiais e Processos de Fabricação, o LAMAF, laboratório da própria UFG, universidade da qual a equipe CarylCAR é integrante. Para a produção do chassi, os principais processos de fabricação envolvidos são corte e solda dos perfis estruturais. Estes processos podem ser realizados com corte dos perfis em serra fita, corte das duas primeiras travessas com serra copo para o trespasse do cambão, e soldagem dos perfis, uns aos outros, com maquinário de solda MIG/MAG, equipamentos quais estão todos presentes no laboratório, aumentando assim a viabilidade de execução do projeto.

Além disso, do ponto de vista estrutural, os resultados das simulações mostraram que o chassi ficou robusto o suficiente para resistir aos esforços atuantes e não sofrer de ressonância com a suspensão pela excitação imposta pelo solo, evitando assim falhas por fadiga.

Agora, olhando pelo lado da longevidade do reboque, um provável problema é a oxidação dos tubos quadrados das laterais do chassi. Para se evitar isto, uma solução pode ser a utilização de perfis de seção aberta. Contudo, para isso será necessário aquisição dos materiais com diferentes fornecedores, pois o consultado não oferece perfis de seção aberta para as medidas propostas.

5.1. Trabalhos Futuros

Levando-se em conta o PBT de 750 kg que é determinado por lei para reboques sem sistema de freio, e a tara de 250 kg estimada para o reboque do qual projetou-se o chassi, tem-se uma lotação (capacidade de carga) de 500 kg, o que é suficiente para o transporte dos veículos mini-baja. Entretanto, a lotação está com pouca margem para carga adicional, o que revela a necessidade de otimização do projeto do chassi. Para isso, uma opção é a despadronização dos perfis das longarinas, travessas e cabeçalho, substituindo os menos solicitados por perfis estruturais com menor massa por comprimento.

Feito isto, a próxima etapa consiste na fabricação do reboque. Esta produção se dará conforme exposto no início desta seção, no próprio laboratório da universidade, com seus recursos próprios.

Finalizada a manufatura do reboque, torna-se viável a validação das simulações realizadas no software. Para isto, experimentos com células de carga para análise de carregamento estático e acelerômetros para análise de frequências naturais e modos de vibração poderão ser uma boa opção.

6. REFERÊNCIAS

- INMETRO. **Portaria nº 69, de 08 de maio de 1996**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC000196.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2018.
- BRASIL. **Código de Trânsito Brasileiro**. 4. ed. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.imperiodalei.com.br/Imperio/legislacao/legisfederal/codigo-de-transito-brasileiro.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2018.
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010.
- BEER, F.; JOHNSTON, R.; DEWOLF, J. T.; MAZUREK, D. F. **Mecânica dos Materiais**. 5. Ed. São Paulo: AMGH, 2011.
- SAE BRASIL. **Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil**. 2018. Disponível em: <http://portal.saebrasil.org.br/Portals/0/Users/223/39/28639/RATBSB_emenda_02.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2018.
- PERFINASA. **Catálogo Técnico**. Goiânia, 2016. Disponível em: <http://perfinasa.com.br/public/uploads/CATALOGO_DE_PRODUTOS_PERFINASA_2016.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2018.
- GIACCHINI, Breno L. **Uma breve introdução ao Método dos Elementos Finitos**. Notas de Aula. Departamento de Matemática, Instituto de Ciências Exatas, UFMG. Belo Horizonte, jan. 2012. Disponível em: <http://www.mat.ufmg.br/~rodney/notas_de_aula/elementos_finitos.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2018.
- CALAZANS, F. M.; DUTRA, T. M.; BARBOSA, M. V.; MONTEIRO, A. S.; COUTINHO, R. E. T. **Gestão de Frota no Transporte Rodoviário de Carga**. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 11., 2014, Resende. Artigos. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos14/1620463.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2018.

SANTOS, F. S.; COSTA, L. S. **Estudo de Caso: Projeto de Engenharia de um Caminhão Plataforma para Campo de Petróleo (Oilfield Bed Truck)**. Projeto Final de Curso.

Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, UFES. Vitória, 2016.

Disponível em:

<http://www.engenhariamecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/7._franklin_souza_e_lucas_stauffer.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2018.

Portal SÃO FRANCISCO. **Chassi**. Disponível em:

<<https://www.portalsaofrancisco.com.br/mecanica/chassi>>. Acesso em: 07 nov. 2018.

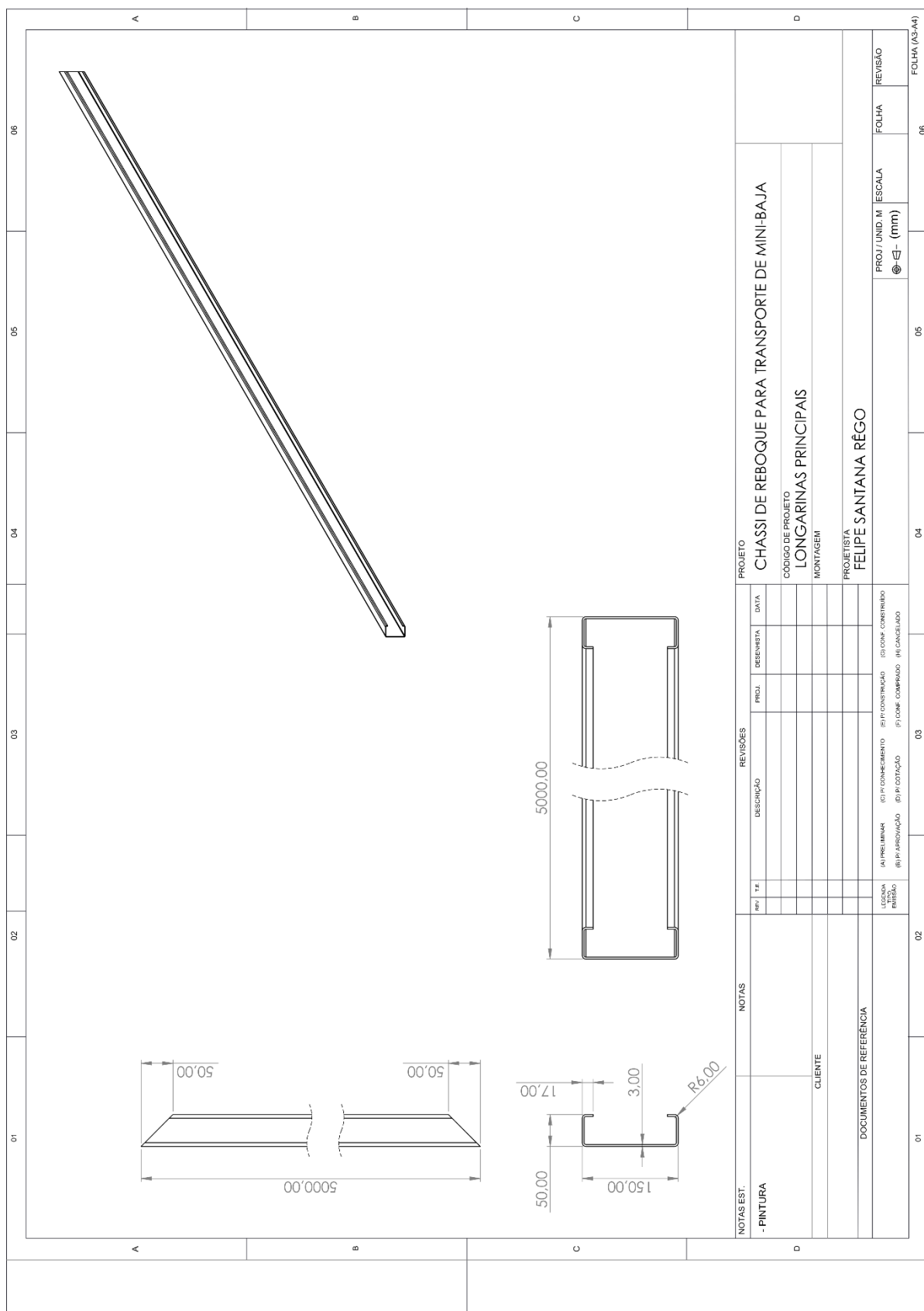
EQUIPE CARYOCAR BAJA UFG. Histórico e Galeria. Disponível em: <

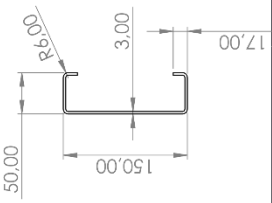
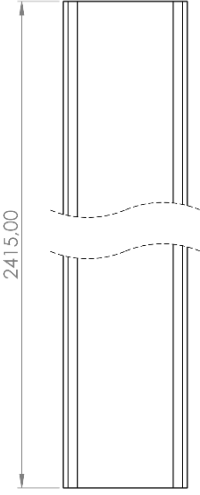
<https://caryocar.wixsite.com/bajaufg>>. Acesso em: 16 nov. 2018.

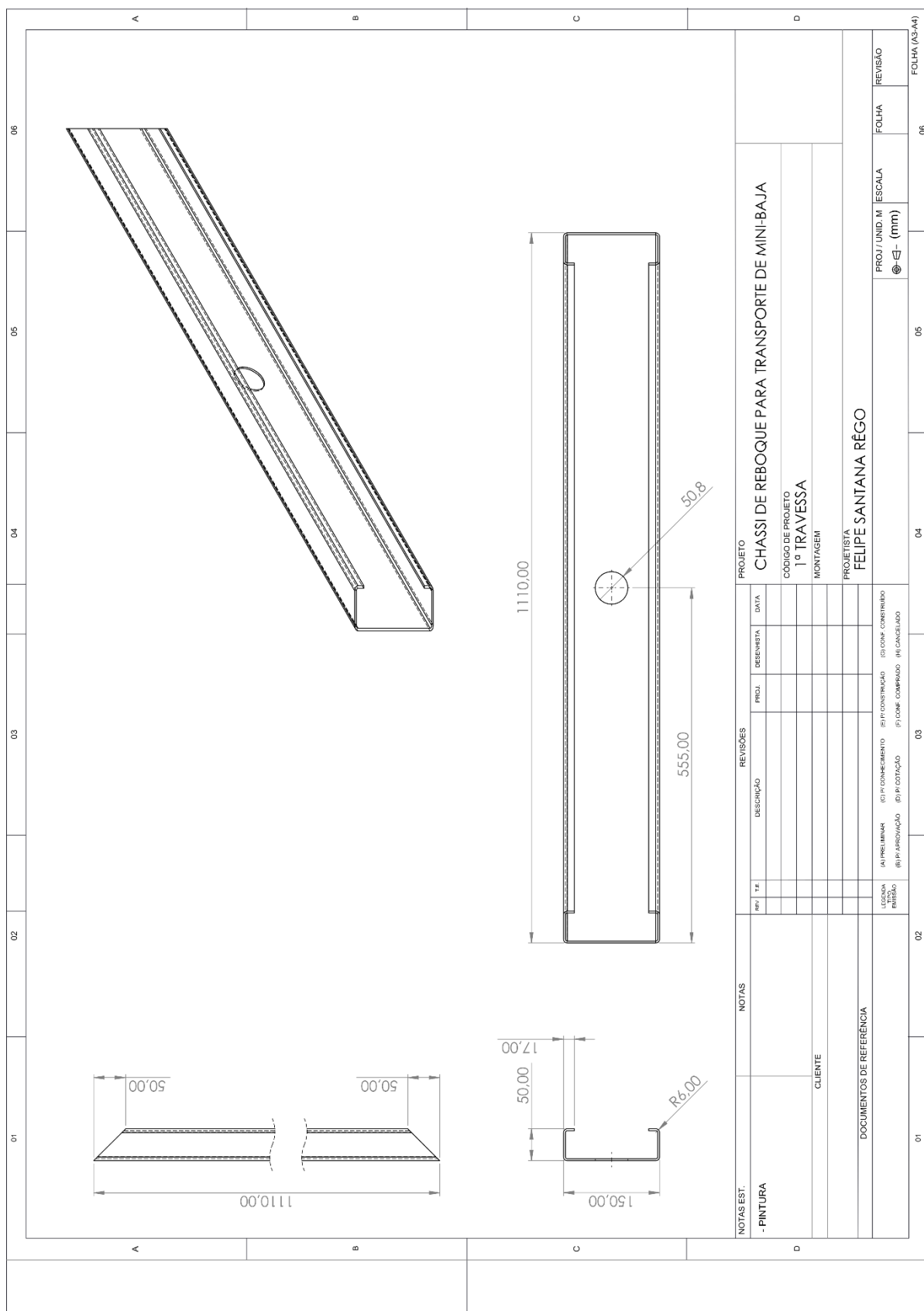
MAXX DIAMOND. Engate Munheca Acoplamento Automático Reboque Carreta 2.5Ton.

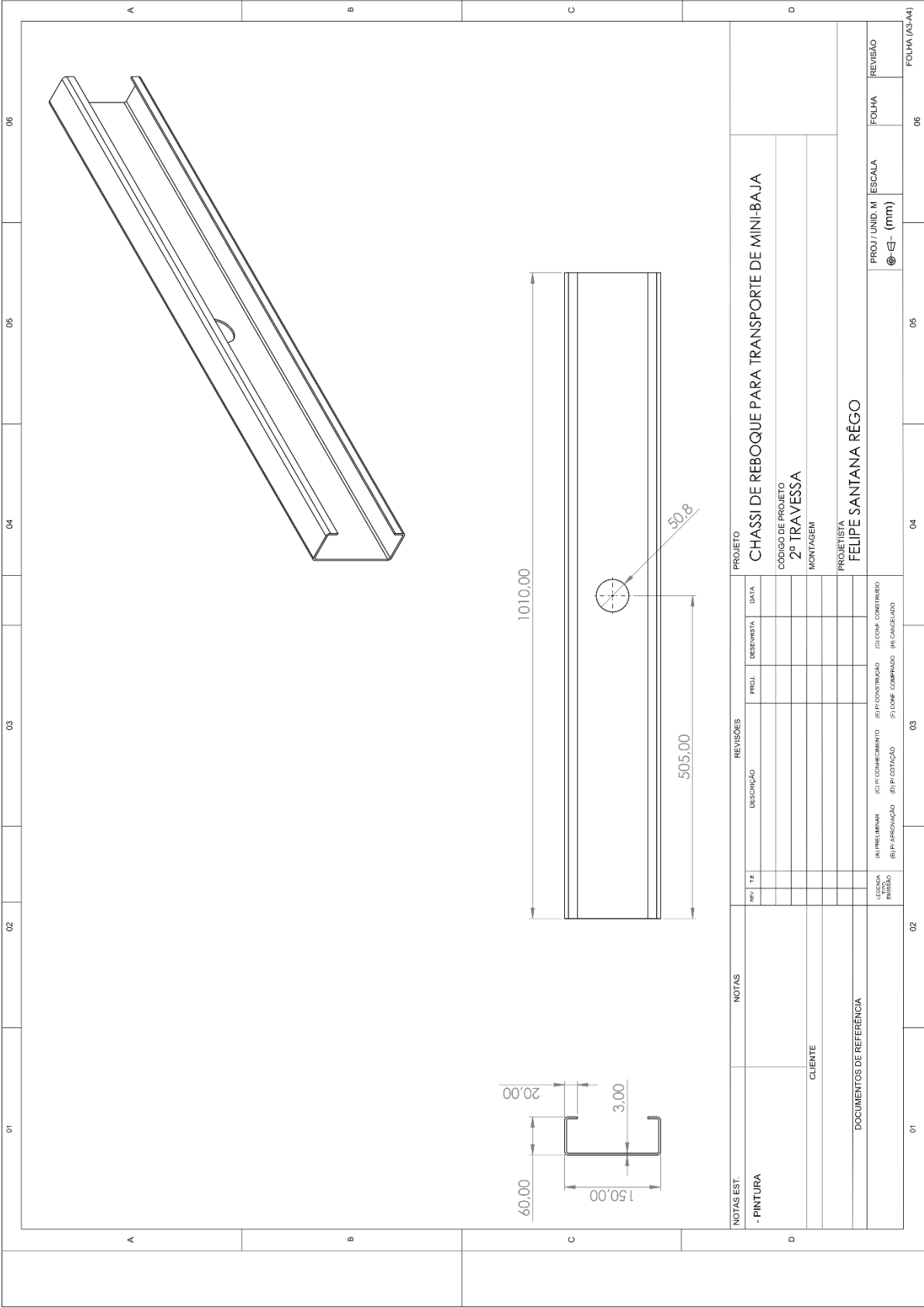
Disponível em: <<https://www.maxxdiamond.com.br/engate-munheca-acoplamento-automatico-reboque-carreta-25ton/p>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

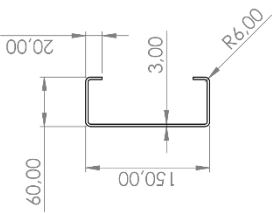
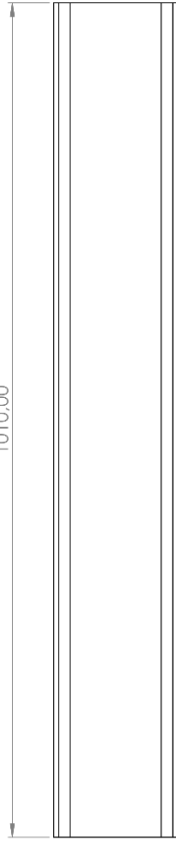
APÊNDICE A – Desenhos Técnicos

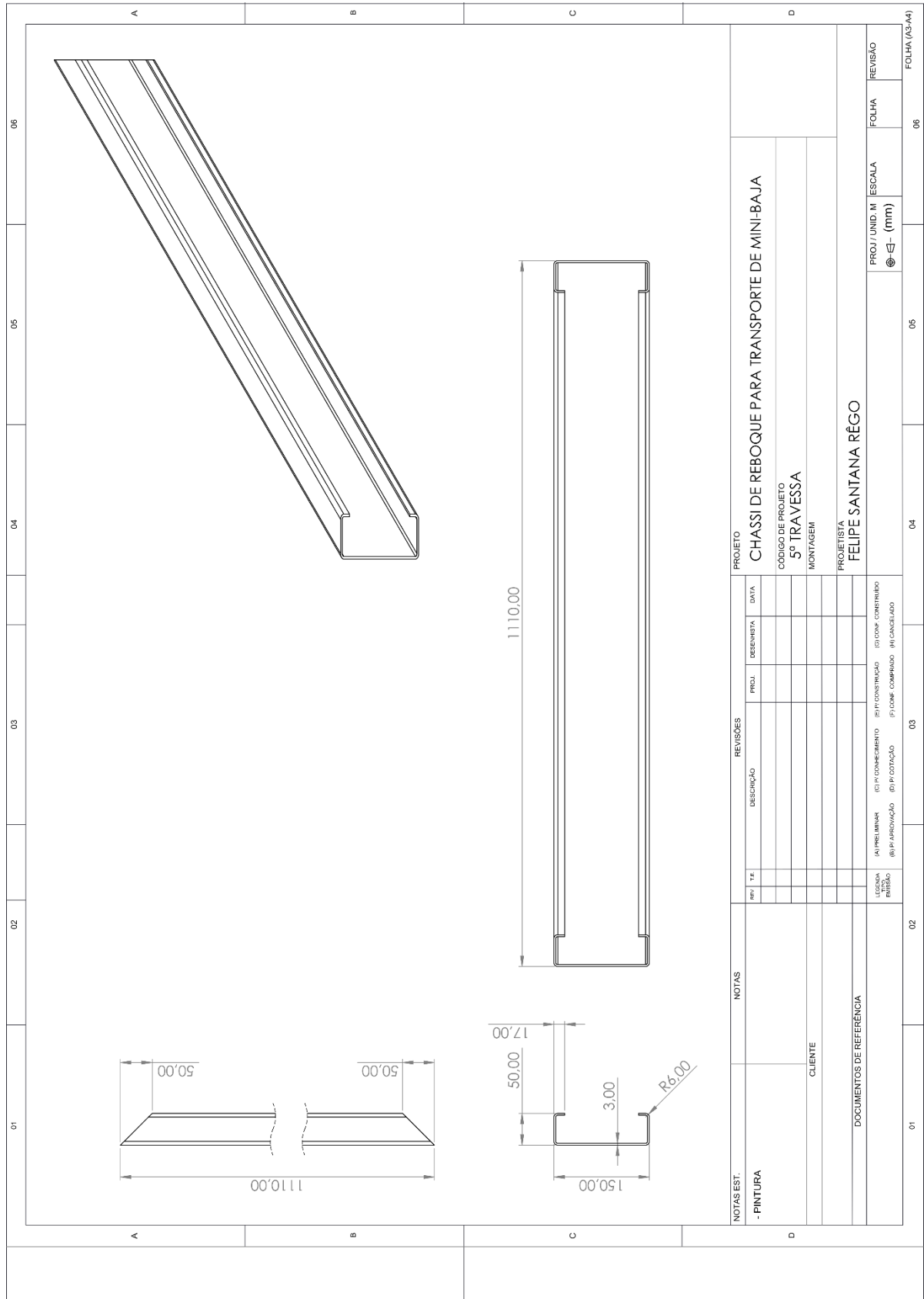


01		02		03		04		05		06	
A		B		C		D		A		B	
											
NOTAS EST.		NOTAS		REVISÕES		PROJETO					
- PINTURA				REF. T.E.		CHASSI DE REBOQUE PARA TRANSPORTE DE MINI-BAJA					
				PROJ. DESENHEIRO DATA		CÓDIGO DE PROJETO					
				DESCRIÇÃO		LONGARINAS SECUNDÁRIAS					
						MONTAGEM					
						PROJETISTA					
						FELIPE SANTANA RÉGO					
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA				LEGENDA							
				REVISÃO							
				(A) PRELIMINAR (C) P/ CONHECIMENTO (F) P/ CONSTRUÇÃO (G) CONF. CONSTRUIDO							
				(B) P/ APROVAÇÃO (D) P/ COTAÇÃO (E) P/ CONF. COMPROVADO (H) CANCELADO							
01		02		03		04		05		06	
FOLHA (A3-A4)											





01		02		03		04		05		06	
A		B		C		D					
											
NOTAS EST.		NOTAS		REVISÕES		PROJETO					
- PINTURA				REF. T.E. DESCRIÇÃO PROJ. DESENHISTA DATA		CHASSI DE REBOQUE PARA TRANSPORTE DE MINI-BAJA					
						CÓDIGO DE PROJETO					
						4º TRAVESSA					
						MONTAGEM					
						PROJETISTA					
						FELIPE SANTANA RÉGO					
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA											
LEGENDA		(A) PRELIMINAR (C) PR. COMEÇAMENTO (F) PR. CONSTRUÇÃO (I) PR. COM. CONSTRUIDO									
REVISÃO		(B) PR. APROVAÇÃO (D) PR. COTAÇÃO (F) PR. COM. COMPRADO (H) CANCELADO									
01		02		03		04		05		06	
FOLHA (A3-A4)		FOLHA (A3-A4)		FOLHA (A3-A4)		FOLHA (A3-A4)		FOLHA (A3-A4)		FOLHA (A3-A4)	



01		02		03		04		05		06	
A		B		C		D		A		B	
NOTAS EST. - PINTURA CLIENTE DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA		NOTAS		REVISÕES				PROJETO			
				REF. T.E.				CHASSI DE REBOQUE PARA TRANSPORTE DE MINI-BAJA			
				DESCRIÇÃO				CÓDIGO DE PROJETO			
				PROJ.				CAMBÃO			
				DESENHISTA				MONTAGEM			
LEGENDA		(A) PRELIMINAR		(C) PR. CONHECIMENTO		(E) PR. CONSTRUTIVO		PROJ. UNID. M		FOLHA	
REVISÃO		(B) PR. APROVAÇÃO		(D) PR. COTAÇÃO		(F) PR. COMPROVADO		ESCALA		REVISÃO	
01		02		03		04		05		06	
FOLHA (A3-A4)											

4470.07

50.8

3.00

[illegible]

[illegible]

[illegible]

