



## **PROJETO DE GRADUAÇÃO**

# **ANÁLISE ESTÁTICA DE UMA ESTRUTURA DE REBOQUE LEVE UTILIZANDO O MEF**

Por,  
**Diego Blini Azevedo**  
**Vitor Fonseca Farage**

**Brasília, 07 de Julho de 2011**

**UNIVERSIDADE DE BRASILIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA**

**UNIVERSIDADE DE BRASILIA**  
Faculdade de Tecnologia

## **Agradecimentos**

*Agradeço aos meus pais e minha irmã, os quais me deram força e apoio pra chegar até aqui, aos meus amigos e colegas de curso que me ajudaram nos momentos bons e ruins desse percurso e agradeço também aos professores do Departamento de Engenharia Mecânica e da Universidade de Brasília que transmitiram seus conhecimentos para que eu pudesse chegar onde cheguei.*

*Diego Blini Azevedo*

*Agradeço à minha família pelo suporte e aos professores por toda orientação que nos forneceram durante a graduação.*

*Vitor Fonseca Farage*

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**ANÁLISE ESTÁTICA DE UMA ESTRUTURA DE  
REBOQUE LEVE UTILIZANDO O MEF**

POR,

**Diego Blini Azevedo  
Vitor Fonseca Farage**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro Mecânico.

**Banca Examinadora**

Prof. Antônio Manoel Dias Henriques, UnB/ ENM  
(Orientador)

---

Profa. Dianne Magalhães Viana, UnB/ ENM

---

Prof. Éder Lima de Albuquerque, UnB/ ENM

---

Brasília, 07 de Julho de 2011

---

## RESUMO

O presente relatório trata da análise estática da estrutura de um reboque leve, usando o Método de Elementos Finitos (MEF). No conteúdo deste, estão presentes as normas que regulamentam o projeto de tal veículo, as quais foram tomadas como base para estabelecer requisitos de projeto. Apresentou-se uma breve revisão bibliográfica sobre MEF e o software escolhido para as simulações numéricas foi previamente validado de modo a aumentar a confiabilidade dos resultados aqui dispostos. Várias simulações numéricas foram realizadas para possibilitar uma análise mais precisa e, com isso, otimizar a estrutura, objetivo principal do trabalho, visando uma melhoria futura na frota nacional deste veículo.

---

## ABSTRACT

This report is related to a static analysis of a light trailer using the Finite Element Method (FEM). It is shown the structure of the Brazilian traffic regulation system, and the laws regarding trailers transportation and design. Also, it's exposed some review about the tools that were used in order to optimize the trailer (APDL and Workbench from the Ansys Software). The theory of the Finite Element Method is presented and several simulations took place in the optimization process. At the end of this report, it is shown an optimized structure for the analyzed light trailer, which was the main objective of this work.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS.....	1
1.2. MOTIVAÇÃO.....	1
1.3. DEFINIÇÃO DE REBOQUE LEVE.....	2
1.4. ESTRUTURA DO PROJETO DE GRADUAÇÃO 2.....	4
<b>2. REGULAMENTAÇÃO .....</b>	<b>6</b>
2.1. ÓRGÃOS REGULAMENTARES .....	6
2.2. RESOLUÇÃO 63/98 – CONTRAN.....	6
2.3. PORTARIA 30/2004 – INMETRO (RTQ 25).....	7
<b>3. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS .....</b>	<b>9</b>
3.1. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS - MEF .....	9
3.2. MÉTODO ANALÍTICO <i>VERSUS</i> MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS .....	10
3.2.1. <i>Método Analítico</i> .....	10
3.2.2. <i>Método dos Elementos Finitos</i> .....	12
3.3. ELEMENTOS DE VIGA E SUPERPOSIÇÕES DE COMPORTAMENTOS INDEPENDENTES.....	14
3.3.1. <i>Elementos de Viga – Rigidez Axial</i> .....	15
3.3.2. <i>Elementos de Viga – Rigidez à Flexão</i> .....	15
3.3.3. <i>Elementos de Viga – Rigidez à Torção</i> .....	17
3.3.4. <i>Elementos de Viga – Matriz de Rigidez Completa</i> .....	18
3.4. TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES.....	18
3.5. APLICAÇÃO EM UM SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS .....	19
3.6. VALIDAÇÃO DO SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS.....	20
<b>4. MODELO SOB ANÁLISE.....</b>	<b>22</b>
4.1. CASO ESTUDADO.....	22
4.2. DESENHOS TÉCNICOS.....	23
4.3. MATERIAL ESTRUTURAL.....	25
<b>5. MODELO NUMÉRICO DO PROJETO ORIGINAL .....</b>	<b>26</b>
5.1. ESTRATÉGIA DE SIMULAÇÃO .....	26
5.2. MODELO NUMÉRICO DO CHASSI.....	26
5.2.1. <i>Geometria</i> .....	26
5.2.2. <i>Elementos selecionados</i> .....	26
Elemento BEAM4.....	27
Elemento PIPE16 .....	27
5.2.3. <i>Constantes reais</i> .....	27
5.2.4. <i>Criação da malha</i> .....	27
5.2.5. <i>Restrições nos apoios</i> .....	28
5.2.6. <i>Carregamento</i> .....	29
5.3. MODELO NUMÉRICO DOS APOIOS DO FEIXE DE MOLAS .....	29
<b>6. SIMULAÇÃO DO MODELO ORIGINAL .....</b>	<b>31</b>
6.1. SIMULAÇÃO DO CHASSI.....	31
6.1.1. <i>Configurações de carregamento</i> .....	31
6.1.2. <i>Resultados obtidos</i> .....	31
6.2. SIMULAÇÃO DO APOIO DO FEIXE DE MOLAS.....	34
<b>7. PROPOSTAS PARA OTIMIZAÇÃO .....</b>	<b>35</b>
7.1. ALTERNATIVAS CONSIDERADAS.....	35
7.1.1. <i>Modelo RDN</i> .....	36
7.1.2. <i>Modelo 25.1</i> .....	36

7.1.3.	<i>Modelo 25.2</i> .....	36
7.1.4.	<i>Modelo 25.V</i> .....	36
7.1.5.	<i>Modelo 25.X</i> .....	36
7.1.6.	<i>Suporte para fixação do feixe de molas</i> .....	36
<b>8.</b>	<b>MODELO NUMÉRICO DAS CONFIGURAÇÕES PROPOSTAS</b> .....	<b>37</b>
8.1.	ESTRATÉGIA DE SIMULAÇÃO .....	37
8.2.	MODELO NUMÉRICO DOS CHASSIS .....	37
8.3.	MODELO NUMÉRICO DOS APOIOS DO FEIXE DE MOLAS .....	37
8.4.	MODELO NUMÉRICO DA PRIMEIRA VIGA TRANSVERSAL .....	38
<b>9.</b>	<b>SIMULAÇÃO DOS MODELOS PROPOSTOS</b> .....	<b>39</b>
9.1.	SIMULAÇÃO DOS CHASSIS .....	39
9.2.	SIMULAÇÃO DO APOIO DO FEIXE DE MOLAS.....	41
9.3.	SIMULAÇÃO DA PRIMEIRA VIGA TRANSVERSAL .....	41
<b>10.</b>	<b>OTIMIZAÇÃO DA PROPOSTA ESCOLHIDA</b> .....	<b>43</b>
10.1.	MODELO 25.1 .....	43
10.2.	DISPOSIÇÃO DOS APOIOS DO FEIXE DE MOLAS NA ESTRUTURA .....	43
10.3.	CÁLCULO DE UM FATOR DE SEGURANÇA APROPRIADO.....	46
10.4.	ANÁLISE DE SEÇÕES TRANSVERSAIS ALTERNATIVAS .....	48
10.5.	CÁLCULO DA NOVA CARGA ÚTIL E CERTIFICAÇÃO DA SEÇÃO ESCOLHIDA (MODELO 25.1.2.U2) .....	51
10.6.	ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO DO FEIXE DE MOLAS ALTERNATIVAS .....	54
<b>11.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>56</b>
11.1.	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	56
11.2.	SUGESTÕES DE CONTINUIDADE DO TRABALHO .....	57
<b>12.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>58</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>60</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Semi-reboque acoplado à unidade tratora.....	3
Figura 2. Reboque acoplado à unidade tratora.....	3
Figura 3. Reboque Leve – PBT máximo de 500 kgf.....	3
Figura 4. Força de reação no engate.....	8
Figura 5. Método analítico [9].....	11
Figura 6. Deslocamento de um elemento de mola .....	13
Figura 7. Graus de liberdade de uma viga com um nó em cada extremidade [10] .....	13
Figura 8. Plano de coordenadas para facilitar o cálculo da matriz de rigidez [10] .....	14
Figura 9. Graus de Liberdade para uma viga sujeita apenas à flexão [10] .....	15
Figura 10. Relações entre as forças cortantes/momentos fletores e os deslocamentos [10] ....	16
Figura 11. Torção de uma viga de seção circular.....	17
Figura 12. Critério de Von Mises em um plano $\sigma_1 \times \sigma_2$ .....	19
Figura 13. Problema proposto para validação do Ansys .....	20
Figura 14. Seções transversais simuladas para validação – cotas em mm.....	21
Figura 15. Elementos constituintes relevantes .....	22
Figura 16. Foto do modelo sob estudo (a); Vista Frontal (b), Lateral (c) e Traseira (d).....	23
Figura 17. Foto da estrutura do modelo sob estudo .....	23
Figura 18. Estrutura do modelo sob análise – cotas em mm.....	24
Figura 19. Seções transversais – cotas em mm .....	24
Figura 20. Dimensões do apoio do feixe de molas – cotas em mm .....	24
Figura 21. Estrutura do chassi do reboque sob análise modelada como elemento de viga.....	26
Figura 22. Refinamento da malha do chassi .....	28
Figura 23. Restrições nos apoios.....	28
Figura 24. Carregamento no chassi .....	29
Figura 25. Apoio do feixe de molas – cotas em mm.....	29
Figura 26. Carregamento do apoio do feixe de molas.....	30
Figura 27. Refinamento da malha dos apoios originais .....	30
Figura 28. Configurações de carregamento.....	31
Figura 29. Tensão equivalente de Von Mises para config. 1 (a); 2 (b) e 3 (c).....	33
Figura 30. Tensão equivalente de Von Mises para o apoio do feixe de molas. ....	34
Figura 31. Propostas de estruturas – cotas em mm .....	35

Figura 32. Furo da primeira viga transversal (a); vista em corte (b).....	37
Figura 33. Modelo numérico da primeira viga transversal .....	38
Figura 34. Gradientes de tensão da primeira viga transversal – Modelo 25.X .....	42
Figura 35. Alternativas propostas para os apoios do feixe de molas no Modelo 25.1 .....	43
Figura 36. Gráfico de forças e tensões na estrutura para cada alternativa .....	46
Figura 37. Seções transversais propostas para o Modelo 25.1.2.....	48
Figura 38. Seção proposta para o cambão .....	49
Figura 39. Tensão normal devido ao momento fletor .....	51
Figura 40. Gradiente de tensões na primeira viga transversal – Modelo 25.1.2.U2 .....	53
Figura 41. Solução para fixação dos apoios – Modelo 25.1.2.U2.....	54
Figura 42. Elemento de fixação dos apoios – Modelo 25.1.2.U2 .....	54
Figura 43. Modelo numérico do apoio do feixe de molas – Modelo 25.1.2.U2 .....	55
Figura 44. Gradiente de tensão para o apoio do feixe de molas – Modelo 25.1.2.U2 .....	55



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atos mais relevantes.....	6
Tabela 2. Validação do APDL – Primeira seção transversal .....	21
Tabela 3. Validação do APDL – Segunda seção transversal .....	21
Tabela 4. Aço AISI 1020, cold rolled [11].....	25
Tabela 5. Resultados consecutivos obtidos para a simulação do chassi original .....	27
Tabela 6. Resultados consecutivos obtidos para o apoio do feixe de molas original .....	30
Tabela 7. Resultados obtidos para o chassi original.....	31
Tabela 8. Resultados obtidos para os apoios do feixe de molas .....	34
Tabela 9. Resultados para cada chassi proposto – configuração 1.....	39
Tabela 10. Resultados para cada chassi proposto – configuração 2.....	39
Tabela 11. Resultados para cada chassi proposto – configuração 3.....	40
Tabela 12. Dados para simulação da primeira viga transversal .....	41
Tabela 13. Resultados para as vigas transversais .....	41
Tabela 14. Resultados para as novas localizações de apoio – configuração 1 .....	44
Tabela 15. Resultados para as novas localizações de apoio – configuração 2.....	44
Tabela 16. Resultados para as novas localizações de apoio – configuração 3.....	45
Tabela 17. Fatores para cálculo do fator de segurança .....	47
Tabela 18. Principais propriedades de cada seção proposta.....	48
Tabela 19. Resultados para as novas seções propostas – configuração 1 .....	49
Tabela 20. Resultados para as novas seções propostas – configuração 2 .....	49
Tabela 21. Resultados para as novas seções propostas – configuração 3 .....	50
Tabela 22. Cálculo de volume de cada chassi .....	51
Tabela 23. Cálculo de massa de cada chassi .....	52
Tabela 24. Resultados obtidos para o Modelo 25.1.2.U2 e 285,86 kgf .....	52
Tabela 25. Interação entre o cambão e a primeira viga transversal – Modelo 25.1.2.U2 .....	53
Tabela 26. Resultados obtidos para os apoios do feixe de molas – Modelo 25.1.2.U2 .....	55
Tabela 27. Comparação dos resultados obtidos para o chassi e para o feixe de molas.....	56
Tabela 28. Resoluções emitidas pelo CONTRAN. [1] .....	62
Tabela 29. Deliberações emitidas pelo CONTRAN. [1].....	64
Tabela 30. Portarias emitidas pelo DENATRAN. [14].....	66
Tabela 31. Portarias emitidas pelo INMETRO. [6] .....	68
Tabela 32. Resultados para os apoios.....	102

Tabela 33. Resultados para os apoios.....	104
Tabela 34. Resultados para os apoios.....	106
Tabela 35. Resultados obtidos para os apoios do feixe de molas .....	107
Tabela 36. Resultados para os apoios.....	109
Tabela 37. Resultados para os apoios.....	111
Tabela 38. Resultados para os apoios.....	113
Tabela 39. Interação entre o cambão e a primeira viga transversal .....	114
Tabela 40. Resultados obtidos para os apoios do feixe de molas .....	115

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos Latinos

$m_{carga\ util}$	Carga útil	[kg]
$m_{total\ carregado}$	Massa total do reboque carregado	[kg]
$\{f\}$	Força aplicada sobre os nós da malha	[N]
$[k]$	Matriz de rigidez	[N/m]
$\{u\}$	Deslocamentos dos nós	[m]
E	Módulo de elasticidade	[Pa]
A	Área da seção transversal	[m <sup>2</sup> ]
L	Comprimento	[m]
d	Variação de comprimento devido à deformação	[m]
$v$	Deslocamento vertical devido à flexão	[m]
$v'$	Deslocamento angular devido à flexão	[rad]
I	Momento de inércia	[kg.m <sup>2</sup> ]
$M_F$	Momento fletor	[N.m]
$M_T$	Momento torçor	[N.m]
G	Rigidez à torção	[Pa]

## Símbolos Gregos

$\sigma_{vm}$	Tensão equivalente de Von Mises	[Pa]
$\sigma$	Tensão normal	[Pa]
$\tau$	Tensão cisalhante	[Pa]
$\varepsilon$	Deformação	[-]
$\rho$	Resistividade	[ $\Omega$ .m]

## Siglas

CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
INPM	Instituto Nacional de Pesos e Medidas
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
CSV	Certificado de Segurança Veicular
JARI	Juntas Administrativas de Recursos de Infrações
CONMETRO	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
SINMETRO	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
MEF	Método dos Elementos Finitos
PDE	Equações diferenciais parciais (Partial Differential Equations)
OIC	Organismo de Inspeção Credenciado

# 1. INTRODUÇÃO

*Este capítulo apresenta os objetivos, a motivação, a definição do escopo do projeto e a estrutura deste relatório.*

## 1.1. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi analisar um projeto de reboque leve, de forma a aperfeiçoá-lo e, assim, disponibilizá-lo para usufruto da sociedade. A primeira etapa de otimização foi a análise do chassi e seus apoios, utilizando simulações numéricas. Posteriormente, uma análise por extensometria seria necessária para validação dos dados obtidos pelas simulações e, assim, aumentar a confiabilidade do modelo de chassi proposto. Este projeto se deteve às simulações numéricas e à proposição de uma configuração otimizada para o chassi de um reboque leve.

Tratando-se de um projeto de reboque de produção em série, que necessariamente apresenta maior preocupação com cálculos estruturais e otimização, se comparado aos projetos elaborados para produção artesanal, foram sugeridas e simuladas novas configurações de chassi.

O processo de otimização foi realizado por meio de análise e comparação dos resultados obtidos pelas simulações numéricas utilizando o Método dos Elementos Finitos – MEF, levando-se em consideração um coeficiente de segurança previamente calculado.

## 1.2. MOTIVAÇÃO

Segundo Resolução 63/98 do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito) [1], uma pessoa física pode fabricar até três reboques leves por ano. Neste caso, o interessado normalmente se utiliza dos serviços de um serralheiro que, em geral, fabrica o reboque sem o menor conhecimento das normas e técnicas que regem este tipo de veículo. Este processo resulta em um reboque superdimensionado em sua estrutura e que não atende às normas do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) e do DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito) e, pior ainda, frustra as expectativas do consumidor.

Outra forma de se obter um reboque é adquiri-lo junto às empresas fabricantes que, obrigatoriamente, se legalizadas forem, devem possuir licença do DENATRAN para o exercício dessa atividade. Neste caso, o projeto executado pela empresa é assinado por um engenheiro mecânico e o protótipo do reboque, avaliado por uma instituição acreditada pelo INMETRO.

Embora os órgãos nacionais que regulamentam a fabricação de reboques para tração tenham sido criados somente a partir de 1940 – a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em 1940; o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM), em 1963; e o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), em 1973 –, sabe-se que as primeiras fábricas surgiram há mais ou menos um século. No entanto, mesmo com a criação desses órgãos, os reboques

leves, por causarem menos impacto no trânsito, se comparados aos automóveis, semi reboques e reboques de grande porte, passaram um longo período sem a atenção devida. Apenas há aproximadamente 25 anos, iniciaram-se trabalhos a fim de se estabelecer normas visando a reduzir o risco de falhas dos reboques leves, por meio da adoção de padrões de inspeção para emissão dos certificados de segurança. [2]

Como citado anteriormente, até três reboques podem ser construídos artesanalmente e certificados por pessoa física anualmente [3], sendo necessário, para tanto, realizar-se uma inspeção, por um Organismo de Inspeção Credenciado (OIC), para a obtenção da certificação de segurança, que permitirá a regularização do reboque junto ao DENATRAN.

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) [4]:

“Art. 106. No caso de fabricação artesanal ou de modificação de veículo ou, ainda, quando ocorrer substituição de equipamento de segurança especificado pelo fabricante, será exigido, para licenciamento e registro, certificado de segurança expedido por instituição técnica credenciada por órgão ou entidade de metrologia legal, conforme norma elaborada pelo CONTRAN.” (CTB, LEI Nº 9.503; 1997, p. 34)

Segundo o INMETRO, há três OIC acreditados no Distrito Federal para emissão de certificados de segurança veicular [5]. Tais organismos são responsáveis pelas inspeções e emissões dos certificados de segurança para os reboques modificados, fabricados artesanalmente ou com substituição de equipamento de segurança. Grandes empresas fabricantes de reboques em série também enviam seus projetos ao OIC, antes de produzi-los, para que sejam avaliados, à luz dos Regulamentos Técnicos e de Qualidade do Inmetro, que regem a inspeção de segurança de reboques leves. Após aprovação, um protótipo é enviado a estes OIC, para realização dos testes e emissão do certificado de segurança, para que uma quantidade específica de reboques daquele exato modelo possa receber números de chassi.

A motivação deste projeto reside na possibilidade de, a partir da otimização de uma estrutura de reboque já existente, propor, em uma segunda etapa, um projeto de reboque mais eficiente, que poderá vir a ser disponibilizado para a sociedade.

### **1.3. DEFINIÇÃO DE REBOQUE LEVE**

Há vários modelos de veículos rebocáveis no mercado. Este projeto trata apenas de uma pequena parcela destes, chamados, de agora em diante, de Reboques Leves. Uma breve descrição sobre os tipos de rebocáveis se faz necessária para esclarecer o foco do projeto. O Código de Trânsito Brasileiro [4] classifica os veículos quanto à tração, espécie e categoria. Os reboques em questão são definidos, quanto à tração: reboque ou semi-reboque; quanto à espécie: de carga, reboque ou semi-reboque; e quanto à categoria: particular.

Há uma diferença entre reboque e semi-reboque, no que diz respeito ao acoplamento. O reboque, por definição, segundo o Código de Trânsito Brasileiro [4], é engatado atrás de um veículo automotor. O

semi-reboque, no entanto, segundo a mesma fonte, se apóia na sua unidade tratora ou é a ela ligado, por meio de articulação. As Figuras 1 e 2 ilustram a diferença entre tais conceitos.



Figura 1. Semi-reboque acoplado à unidade tratora



Figura 2. Reboque acoplado à unidade tratora

Dentre os reboques, há ainda subcategorias que precisam ser diferenciadas. A principal diz respeito ao Peso Bruto Total (PBT) do veículo rebocável. Define-se PBT como a soma do peso do reboque (tara) com a carga útil que este suporta.

$$PBT = 500 \text{ kgf} = \text{Tara} + \text{Carga Útil} \quad (1)$$

Reboques com Peso Bruto Total (PBT) inferior a 500 kgf são considerados reboques leves e se diferenciam daqueles com PBT superior, pela ausência de sistema de frenagem. Os reboques com PBT entre 500 kgf e 750 kgf precisam apresentar em seu projeto um sistema de freio que abranja o freio inercial e o freio de estacionamento. [6]

O alvo deste projeto foi aperfeiçoar um reboque leve (com PBT inferior a 500 kgf), visando a aumentar sua eficiência estrutural e diminuir o custo de fabricação. Para isso, utilizou-se o MEF (Método dos Elementos Finitos) e, a partir da análise dos resultados de simulações da estrutura de um reboque pré-existente, propuseram-se melhorias.

A Figura 3 ilustra um desenho simplificado do tipo de reboque em questão.

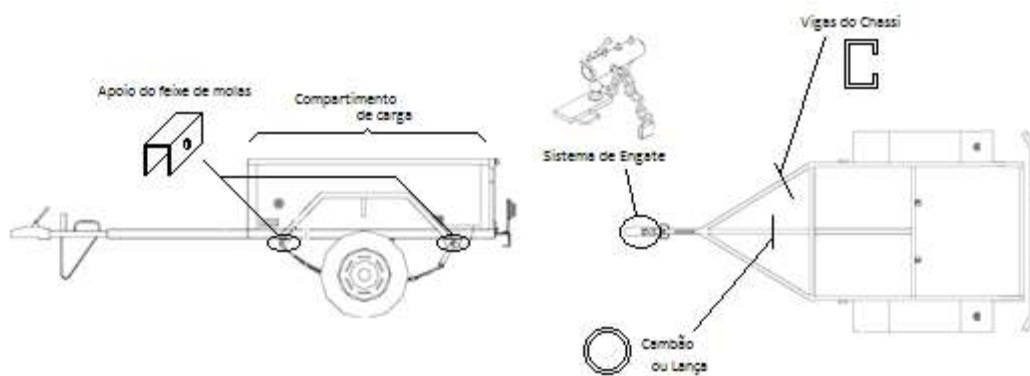


Figura 3. Reboque Leve – PBT máximo de 500 kgf

## **1.4. ESTRUTURA DO PROJETO DE GRADUAÇÃO 2**

A estrutura do presente relatório é apresentada por doze capítulos e quatro anexos.

Capítulo 1: Trata dos objetivos, da motivação, da definição do escopo do projeto e menciona as ferramentas utilizadas para alcançar os objetivos propostos.

Capítulo 2: Dispõe sobre as regulamentações existentes para reboques leves, focando no Regulamento Técnico da Qualidade 25 (que trata dos critérios de avaliação a serem considerados pelos OIC para emissão do certificado de segurança) e na Resolução 63/98 do CONTRAN (que permite à cada pessoa física fabricar até três reboques leves por ano).

Capítulo 3: Contém uma revisão bibliográfica sobre o Método de Elementos Finitos (MEF), explicando de forma sucinta os Elementos de Viga e a Tensão Equivalente de Von Mises, utilizados no software de elementos finitos.

Capítulo 4: Apresenta o modelo sob análise (fabricante, ano, modelo, tara e carga útil), suas dimensões, material estrutural e desenhos esquemáticos.

Capítulo 5: Trata do modelo numérico desenvolvido para analisar a estrutura do reboque descrito no capítulo anterior. Desenho CAD, elaboração da malha, definição dos apoios e cargas aplicadas.

Capítulo 6: Mostra os resultados obtidos pela simulação do modelo previamente definido para carga estática.

Capítulo 7: Trata de propostas de otimização da estrutura simulada no capítulo anterior.

Capítulo 8: Define o modelo numérico adotado para cada proposta descrita no capítulo anterior.

Capítulo 9: Expressa os resultados obtidos nas simulações de cada proposta.

Capítulo 10: Seleciona uma dentre as propostas anteriores para dar continuidade ao processo de otimização, analisando disposição dos apoios, fatores de segurança, seções transversais diferentes e novas configurações para os apoios do feixe de molas.

Capítulo 11: Conclui o trabalho apresentando uma comparação do modelo original e o otimizado.

Capítulo 12: Enumera a bibliografia utilizada para realização deste trabalho.

Anexo I: Órgãos regulamentadores.

Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal.

Anexo III: Desenho Esquemático da Estrutura Original.

Anexo IV: Desenho Esquemático da Estrutura Proposta.

Anexo V: Fotos e Resultados – Simulação RDN

Anexo VI: Fotos e Resultados – Simulação M25.1.2.U2



## 2. REGULAMENTAÇÃO

*Este capítulo apresenta os Atos mais relevantes na Regulamentação existente para o projeto de reboques leves (CONTRAN, INMETRO e ABNT).*

### 2.1. ÓRGÃOS REGULAMENTARES

O Sistema Nacional de Trânsito possui várias Resoluções, Deliberações e Portarias destinadas a tratar de reboques leves e/ou fabricação artesanal. Apresenta-se no Anexo I uma definição sobre cada órgão regulamentar e suas respectivas disposições sobre reboques leves.

Faz-se necessário, no entanto, citar e discorrer sobre dois Atos presentes na Tabela 1.

Tabela 1. Atos mais relevantes

Ato	Data	Publicação	Assunto	Situação
<b><u>CONTRAN</u></b> <b><u>63</u></b>	21.05.98	22.05.98	Disciplina o registro e licenciamento de veículos de fabricação artesanal.	Em vigor
<b><u>INMETRO</u></b> <b><u>30</u></b>	22.01.2004	27.01.2004	Estabelece que as inspeções de segurança veicular, executadas por entidades credenciadas pelo INMETRO, devem ser feitas de acordo com os requisitos estabelecidos nos Regulamentos Técnicos da Qualidade do Inmetro “Inspeção de veículos rodoviários automotores - modificação ou fabricação artesanal” (RTQ 24) e “Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N - modificação ou fabricação artesanal” (RTQ 25).	Em vigor

### 2.2. RESOLUÇÃO 63/98 – CONTRAN

Esta resolução foi emitida pelo Conselho Nacional de Trânsito e trata da fabricação artesanal de qualquer tipo de veículo. Consta nesta resolução [3] um dos pilares da motivação deste trabalho:

“Art. 3º Será permitido registro e licenciamento de no máximo 3 (três) veículos para cada fabricante, no período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de cada ano.” (CONTRAN; Resolução nº 63, 1998, p.1)

Para realizar os referidos registro e licenciamento o órgão de trânsito local exigirá do proprietário, o Certificado de Segurança Veicular (CSV), emitido por um OIC. Em se tratando de reboques de até 7500 N de Peso Bruto Total (PBT), a emissão se dará com base no Regulamento Técnico da Qualidade 25 do INMETRO, exposto no item 2.3.

### **2.3. PORTARIA 30/2004 – INMETRO (RTQ 25)**

Este Regulamento Técnico de Qualidade disciplina a realização de inspeções, pelos OIC, para a emissão do CSV, elencando os requisitos exigidos para o projeto, de modo a regularizar o reboque em questão, a saber:

- I. Equipamentos obrigatórios
- II. Sinalização
- III. Iluminação
- IV. Freios (item não constituinte de reboques com PBT inferior à 500 kgf)
- V. Direção
- VI. Eixos e suspensão
- VII. Pneus e rodas
- VIII. Sistemas e componentes complementares

Este, provavelmente, é o documento mais importante para guiar qualquer projeto deste tipo de veículo. Nele, verifica-se a síntese de toda legislação vigente relacionada ao desenvolvimento de reboques, expressa de forma rápida e fácil, para orientar os OIC em sua tarefa de inspeção e emissão do CSV.

O Regulamento Técnico de Qualidade 25 está disponível no Anexo II e, quando necessário, serão feitas referências ao que lá se expõe.

Resumidamente, este documento abrange os critérios de aprovação e reprovação dos reboques em análise pelos OIC. É importante notar, no entanto, que este regulamento não se aplica somente aos reboques leves (com PBT inferior à 500 kgf), possuindo itens específicos para reboques com PBT entre 500 kgf e 750 kgf (como por exemplo a inspeção do sistema de frenagem).

Assim como exposto anteriormente, os OIC realizam inspeções de segurança baseadas em uma lista de verificação própria para emissão dos certificados de segurança. Segundo consta no RTQ 25, os órgãos de inspeção podem possuir procedimentos próprios, desde que abranjam, no mínimo, os itens citados no regulamento. [6]

O único item de um reboque leve cujo projeto não está relacionado ao RTQ 25 é o mecanismo de engate. O engate de reboques leves deve ser fabricado de acordo com a norma ISO 1103:1996 da ABNT (antiga NBR 5545): [7]

“Esta Norma especifica as dimensões necessárias para compatibilidade do dispositivo de acoplamento mecânico entre reboques leves, reboques de moradia (trailers) e veículos de tração, quando o rebocado está ligado com esfera de acoplamento ao veículo tracionador. O espaço para folga ao redor da esfera de acoplamento é para permitir o acoplamento e desacoplamento a veículos de tração, e uma operação

segura durante o acoplamento e desacoplamento deste dispositivo mecânico.” (ABNT; NBR ISO 1103:2003)

Com relação ao engate, o RTQ 25 menciona, no entanto, que a força de reação não deve ultrapassar 700 N, em hipótese alguma (Figura 4). [6]

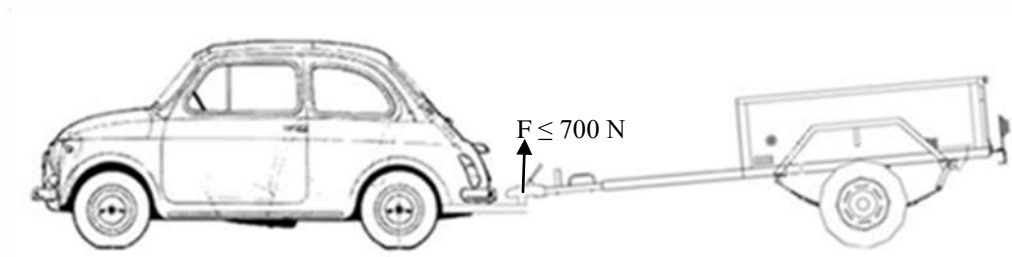


Figura 4. Força de reação no engate

### 3. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

*Este capítulo apresenta a ferramenta utilizada neste projeto, o Método dos Elementos Finitos (MEF).*

#### 3.1. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS - MEF

O Método dos Elementos Finitos (MEF) possui uma aplicabilidade muito importante para engenharia, desde suas origens, em meados do século XIX, até os dias atuais. O desenvolvimento dos softwares de elementos finitos que conhecemos hoje (Ansys, HyperWorks, SolidWorks Simulation, CFX, Fluent, entre outros) se deu em diversas fases de estudo que se complementaram ao longo dos anos, desde o fim do século XVIII.

Os primeiros passos para formulação de tal técnica foram relacionados à matemática teórica em sua essência e datam do fim do século XVIII e início do XIX. Lord Rayleigh (físico inglês) e Walther Ritz (físico teórico suíço) utilizaram funções de interpolação para aproximar resultados de equações diferenciais parciais (PDEs). Outro nome que se destacou nesta época foi Galerkin (matemático russo), que fez progressos nesta mesma área de aproximação de resultados de equações diferenciais (trial functions). [8]

Houve um intervalo de tempo até que os conceitos desenvolvidos por estes três fossem aplicados novamente em situações mais práticas. Somente nos anos 40, Richard Courant (matemático alemão) e Alexander Hrennikoff (engenheiro estrutural russo) deram continuação aos estudos desta área. Embora com abordagens bem diferentes, ambos compartilhavam um mesmo objetivo: discretização de um sistema contínuo em diversos subsistemas, hoje conhecidos como elementos. [8]

Até o fim da década de 40, o método utilizado para cálculos estruturais (principalmente na aviação) era o método da flexibilidade (*flexibility method*), no qual se desconhecem as forças, mas têm-se os deslocamentos. O MEF normalmente corresponde a um método de deslocamento (*displacement method*), no qual se conhecem as forças, mas não os deslocamentos consequentes. [8] Os cálculos matriciais demandavam muito esforço matemático que, em muitos casos, era realizado com muito pouco auxílio de computadores, já que, na época, não possuíam eles uma capacidade de processamento alta, além de não serem tão comuns.

O termo *finite element* foi utilizado pela primeira vez por Clough, em 1960, durante a análise de um carregamento em um plano. A partir da década de 60, o MEF se deparou com sua grande era de evolução. No âmbito da geometria dos elementos, as possibilidades iniciais eram elementos triangulares ou tetraédricos, seguidos pelo desenvolvimento dos elementos quadriláteros e hexaedros. Com relação à sua aplicação, primeiramente utilizado para carregamentos em estruturas planas, se expandiu para flexão de cascas e placas, vasos de pressão, até problemas mais gerais de estruturas tridimensionais e, mais adiante, englobou também os campos de transferência de calor e dinâmica de fluidos. No entanto, como a capacidade de processamento dos computadores é um fator de extrema

importância para os softwares de MEF, devido ao esforço computacional intenso dos cálculos matriciais, eles somente se tornaram populares e acessíveis à maioria dos projetistas com o desenvolvimento dos micro-computadores, por volta da década de 90. [8]

O primeiro software de elementos finitos, chamado NASTRAN, foi desenvolvido pelo programa de exploração espacial dos Estados Unidos da América, em meados da década de 60. Os cálculos matriciais exigiam muito esforço computacional se comparados à capacidade de processamento das máquinas da época e, para tal, eram utilizados computadores do tipo *mainframe*. Ainda assim, o NASTRAN se mostrou muito eficiente para uma primeira aplicação do método de deslocamento. Desde então, houve um amplo desenvolvimento nesta área com o surgimento de diversos outros softwares de elementos finitos, impulsionados pelo advento de novos, mais potentes, e mais populares computadores. [8]

## 3.2. MÉTODO ANALÍTICO *versus* MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

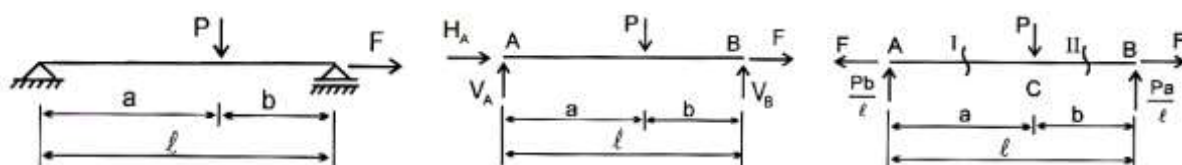
Como discutido no item 3.1, o MEF é um método de aproximação de soluções de PDE's (Partial Differential Equations – Equações Diferenciais Parciais). Para alguns casos complexos, a solução analítica se dá impossível e, para estes casos, uma aproximação com um erro controlado é a melhor solução. O MEF leva em consideração as teorias de Resistência de Materiais e os Teoremas de Mecânica Geral para o estudo da estática. Para melhor entender a diferença, uma descrição de cada um dos métodos se faz necessária.

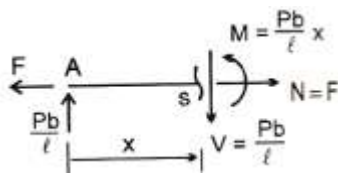
### 3.2.1. Método Analítico

Para o cálculo analítico de tensões e deslocamentos de uma estrutura, faz-se uma análise diferencial do material analisando as reações internas em relação às forças externas à estrutura. Realiza-se uma integração para toda a geometria de forma que serão conhecidas as tensões no material para cada ponto específico deste. O diagrama de esforços mostra exatamente isto, os esforços internos à estrutura como função do comprimento. Cada ponto da estrutura é definido com seus esforços calculados através das equações da estática, a saber:

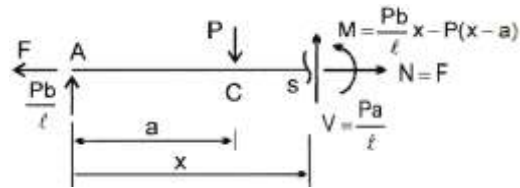
$$\begin{aligned} \sum F &= 0 \\ \sum M &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

A Figura 5 ilustra uma resolução de uma viga bi apoiada através do método analítico, ilustrando também os diagramas de esforços.

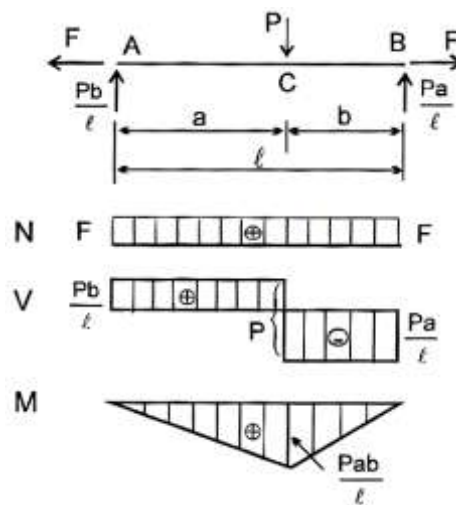




Esforços calculados – Corte 1



Esforços calculados – Corte 2



Diagramas de esforços

Figura 5. Método analítico [9]

Para estruturas simples e carregamentos bem comportados, tal solução é simples de ser obtida. Um diagrama de corpo livre isola o sistema sob análise das vizinhanças e representa suas interações com esta através de forças/carregamentos externos. O cálculo das forças internas depende dos apoios da estrutura e das solicitações externas. A partir deste ponto, calculam-se as tensões ao longo da estrutura com dados relacionados à área da seção transversal do ponto sob análise. Calculadas as tensões, obtêm-se os deslocamentos pontuais através da matriz de rigidez do material e das tensões aplicadas sobre ele.

Tal abordagem envolve a análise de elementos infinitesimais da estrutura. A integração da solução para cada elemento infinitesimal fornece a solução para toda a estrutura, fornecendo resultados exatos para deslocamentos, deformações e tensões em cada ponto da estrutura estudada. Para maioria das aplicações, no entanto, as estruturas são complexas e suas interações com a vizinhança não são bem comportadas, surgindo então a necessidade de se aproximar um resultado para análise; necessidade esta suprida pelo desenvolvimento do método dos elementos finitos.

### 3.2.2. Método dos Elementos Finitos

Este método difere muito do cálculo analítico, pois não considera porções infinitesimais do material. Em situações em que é impossível uma solução exata pela complexidade do sistema sob análise, emprega-se o método dos elementos finitos para análise do problema.

Consiste basicamente na divisão do meio contínuo em diversos elementos de massa finita. Para cada elemento, calcular-se-á as deformações, tensões e deslocamentos como se ele fosse um sistema isolado. As condições de contorno destes cálculos são estipuladas pelos elementos vizinhos, de forma que os deslocamentos calculados nos vértices dos elementos (nós) devem ser compatíveis (levando em consideração o erro máximo estipulado para as aproximações) àqueles do elemento vizinho que compartilha daquele vértice. O método dos elementos finitos consiste, então, em um método de iteração no qual se procura alcançar um resultado no qual as respostas de cada elemento do sistema sejam compatíveis àquelas dos elementos vizinhos.

Os erros devido à discretização do contínuo serão, portanto, inversamente proporcionais às dimensões dos elementos, de forma que ao tendermos esta dimensão para zero, teremos uma solução exatamente igual àquela fornecida pelos métodos analíticos.

Os elementos do espaço discretizado são denominados elementos finitos. Os vértices destes elementos são denominados nós. O cálculo deste método se dá basicamente sobre os nós. Ao simular um carregamento em uma estrutura por elementos finitos, primeiramente é necessário criar uma malha (conjunto de elementos finitos que abrange toda a estrutura sob análise). O carregamento informado ao software será então dividido em diversas forças atuantes sobre os nós e calcular-se-á os deslocamentos de cada nó da malha através da matriz de rigidez conforme a Eq. (3) de modo que se tenha um resultado final para toda a estrutura.

$$\begin{matrix} \{f\} \\ \text{força atuante nos nós} \end{matrix} = \begin{matrix} [k] \\ \text{matriz rigidez} \end{matrix} \cdot \begin{matrix} \{u\} \\ \text{deslocamentos dos nós} \end{matrix} \quad (3)$$

A matriz de rigidez é função do material e da geometria (no caso da teoria para elementos de viga, como será discutido adiante), e corresponde ao parâmetro mais importante para o cálculo por elementos finitos. Quanto mais graus de liberdade a estrutura sob análise apresentar, maior será a matriz, sendo esta sempre quadrada. Entende-se por graus de liberdade as diversas possibilidades de deslocamentos apresentadas para determinada estrutura. Se analisarmos uma mola, por exemplo, como um elemento apenas e com dois nós (um em cada extremidade da mola), cujas possibilidades de deslocamento se refletem apenas na distensão e compressão dela, temos dois graus de liberdade. A matriz de rigidez será, então, uma matriz quadrada  $2 \times 2$ .

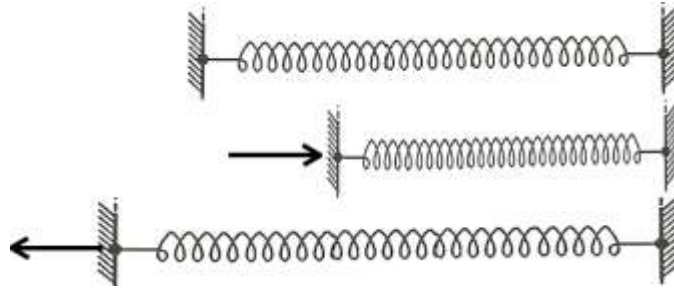


Figura 6. Deslocamento de um elemento de mola

A matriz de rigidez de um elemento de mola é representada pela Eq. (4):

$$[k] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K & -K \\ -K & K \end{bmatrix} \quad (4)$$

Sendo  $K$  a constante de rigidez da mola sob questão.

Interpretando a matriz de rigidez, o elemento  $k_{ij}$  representa a força necessária a ser aplicada no nó  $i$  da estrutura que irá gerar um deslocamento unitário no nó  $j$  da mesma, estando todos os outros nós da estrutura bloqueados (com deslocamento nulo). Desta forma, pela matriz de rigidez ilustrada na Eq. (4), observa-se que o elemento  $k_{11}$  corresponde à constante de rigidez da mola  $K$ , ou seja, quando aplicada uma força de intensidade  $K$  no nó 1 do elemento sob análise, este apresentará um deslocamento unitário se considerarmos todos os outros nós bloqueados, no caso, se considerarmos o nó 2 com deslocamento nulo. Tal resultado foi obtido através da lei de Hooke (Eq. (5)) para a mola, na qual a força é proporcional ao deslocamento por uma constante de proporcionalidade, neste caso representada por  $K$ , a constante de rigidez da mola.

$$f = K \cdot x \quad (5)$$

O número de linhas e colunas da matriz rigidez é igual ao número de graus de liberdade (possibilidades de deslocamento) que a estrutura sob análise apresentar. Para uma viga no espaço com um nó em cada extremidade, cada nó pode se deslocar no espaço de 6 formas diferentes (3 rotações e 3 translações). A matriz rigidez para tal estrutura será  $12 \times 12$ . A Figura 7 ilustra os 12 graus de liberdade.

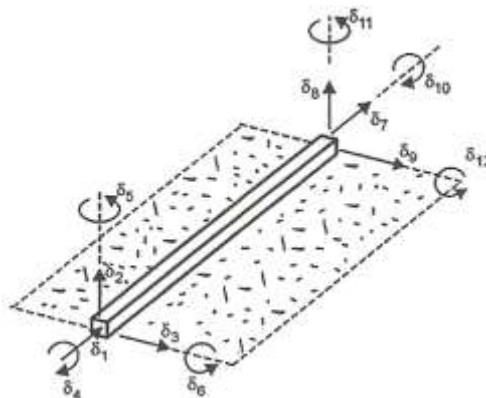


Figura 7. Graus de liberdade de uma viga com um nó em cada extremidade [10]



O conceito do método dos elementos finitos surgiu da idéia de que, entendendo-se as partes pode-se compreender o todo. Mas ao se dividir uma estrutura contínua em diversos elementos finitos, cria-se um sistema de equações de estática para cada elemento cujas condições de contorno são as resoluções destas mesmas equações para o elemento vizinho. Desta forma, gera-se um grande sistema de equações que justifica o esforço computacional intenso para resolução. A escolha da malha e do tipo de elemento são, então, muito importantes para obtenção de um bom resultado em análises por elementos finitos. A determinação destes parâmetros se trata de um balanço custo-benefício, de acordo com o quão acurado deseja-se obter os resultados e da capacidade de processamento de que se dispõe para obtê-los.

### 3.3. ELEMENTOS DE VIGA E SUPERPOSIÇÕES DE COMPORTAMENTOS INDEPENDENTES

Para simulação de uma estrutura de um reboque leve, a teoria a ser utilizada é a de elementos de viga, mais precisamente, de um pórtico espacial. Para entender um pouco melhor o que está por trás do software de simulação por elementos finitos, se faz necessário um estudo acerca da matriz de rigidez de tal configuração.

Partindo do estudo de uma viga isolada com um nó apenas em cada extremidade e com o auxílio dos conceitos provindos da teoria de resistência dos materiais, é possível deduzir os elementos da matriz de rigidez para elementos de viga.

De modo a facilitar este processo, a escolha do sistema de coordenadas é muito importante. O posicionamento dos eixos e dos planos na estrutura pode tornar os esforços independentes entre si ou não. Em outras palavras, deseja-se separar os efeitos das forças normais, daquelas fletoras e torçoras de modo a calculá-los independentemente para, então, encontrar o estado final pela superposição dos efeitos individuais. Para tal, é importante que o um dos eixos coincida com os centróides das seções transversais ao longo da viga, enquanto os outros dois coincidam com os eixos principais. A Figura 8 ilustra tal escolha do plano de coordenadas.

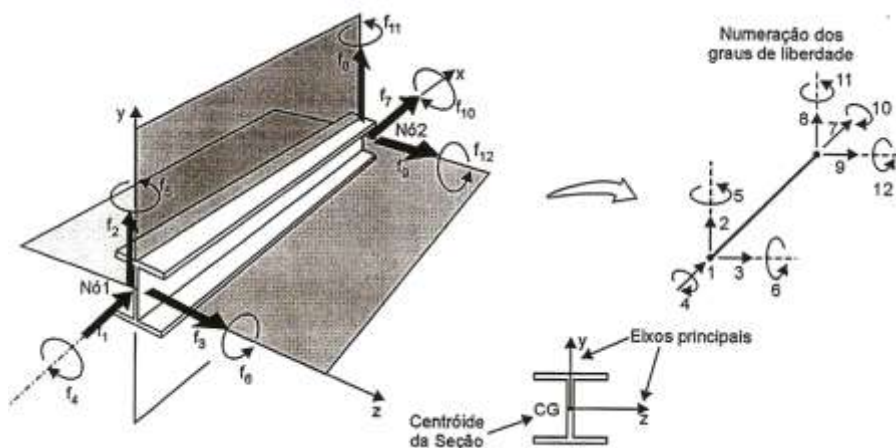


Figura 8. Plano de coordenadas para facilitar o cálculo da matriz de rigidez [10]

Desta forma, podemos definir quatro fenômenos independentes: rigidez axial, rigidez à flexão no plano  $xy$ , rigidez à flexão no plano  $xz$  e rigidez à torção. Segue então uma breve abordagem em cada um dos fenômenos independentes para que se apresente a forma final da matriz  $12 \times 12$ .

### 3.3.1. Elementos de Viga – Rigidez Axial

Assim como no elemento de mola, discutido anteriormente, os nós de uma viga sob solicitação axial só possuem duas possibilidades de deslocamento: distensão ou compressão. Desta forma, considerando a viga com um nó em cada extremidade, temos uma matriz de rigidez quadrada  $2 \times 2$ . A partir de manipulações algébricas das formulações de tensão axial e deformação linear, obtém-se a seguinte expressão relacionando força e deslocamento:

$$F_x = \frac{E \cdot A}{L} \cdot d \quad (6)$$

Na qual  $E$  representa o módulo de elasticidade do material;  $A$ , a área da seção transversal;  $L$ , o comprimento original e  $d$ , a variação do comprimento devido ao esforço axial. Partindo desta equação e do conceito do elemento da matriz de rigidez ( $k_{ij}$  representa a força aplicada no nó  $i$  que ocasionará um deslocamento unitário do nó  $j$ ), analogamente à matriz de rigidez da mola, deduz-se a matriz de rigidez para solicitações axiais.

$$k_{axial} = \begin{bmatrix} \frac{E \cdot A}{L} & -\frac{E \cdot A}{L} \\ -\frac{E \cdot A}{L} & \frac{E \cdot A}{L} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{Bmatrix} f_{x_1} \\ f_{x_2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E \cdot A}{L} & -\frac{E \cdot A}{L} \\ -\frac{E \cdot A}{L} & \frac{E \cdot A}{L} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{Bmatrix} \quad (8)$$

### 3.3.2. Elementos de Viga – Rigidez à Flexão

Uma flexão pode ser ocasionada pela existência de um momento fletor, ou de uma força cortante. A viga apresenta então 4 possibilidades de deslocamento (graus de liberdade), a saber: translação vertical ou rotação no plano de flexão em cada um dos nós. A Figura 9 ilustra tais situações.

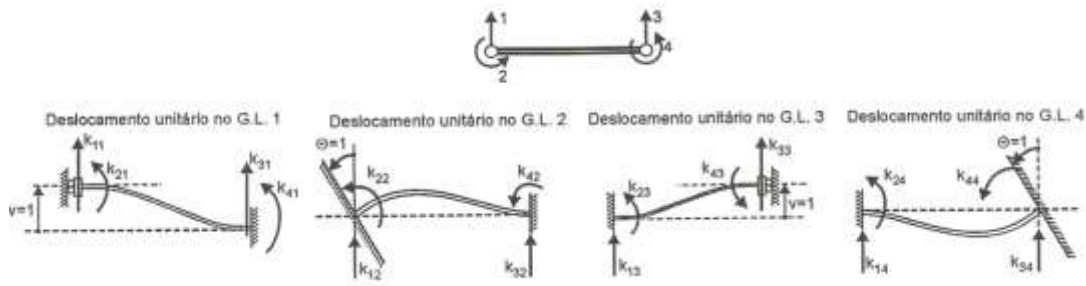


Figura 9. Graus de Liberdade para uma viga sujeita apenas à flexão [10]

Assim, por possuir 4 graus de liberdade, sabe-se que a matriz de rigidez será 4 x 4. De acordo com o que foi mostrado na Figura 9, as equações de equilíbrio serão:

$$\{f\}_{4 \times 1} = [k]_{4 \times 4} \cdot \{\delta\}_{4 \times 1}, \quad \begin{Bmatrix} f_{y_1} \\ M_{F_1} \\ f_{y_2} \\ M_{F_2} \end{Bmatrix} = [k]_{4 \times 4} \cdot \begin{Bmatrix} v_1 \\ v'_1 \\ v_2 \\ v'_2 \end{Bmatrix} \quad (9)$$

Em que  $v_i$  corresponde ao deslocamento vertical do nó  $i$ ; e  $v'_i$  corresponde ao ângulo de curvatura do nó  $i$  após a deformação da viga.

É necessário, então, encontrar uma formulação que relacione as forças cortantes e os momentos fletores com os deslocamentos para deduzir a matriz de rigidez. Tais relações são provenientes da resistência dos materiais e podem ser visualizadas na Figura 10.

$$M_{F_1} = M_{F_2} = \frac{6EI}{L^2} \cdot \Delta, \quad R = \frac{12EI}{L^3} \cdot \Delta \quad (10)$$

$$M_{F_1} = \frac{2EI}{L} \cdot \theta, \quad M_{F_2} = \frac{4EI}{L} \cdot \theta, \quad R = \frac{6EI}{L^2} \cdot \theta \quad (11)$$

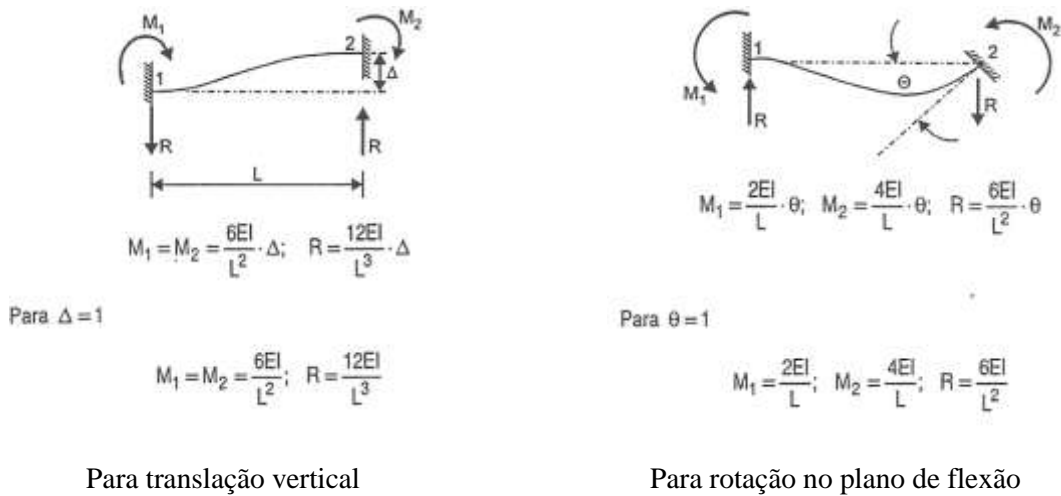


Figura 10. Relações entre as forças cortantes/momentos fletores e os deslocamentos [10]

A matriz de rigidez à flexão para o elemento de viga será então:

$$k_{flexão} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{Bmatrix} f_{y_1} \\ M_{F_1} \\ f_{y_2} \\ M_{F_2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_1' \\ v_2 \\ v_2' \end{Bmatrix} \quad (13)$$

### 3.3.3. Elementos de Viga – Rigidez à Torção

Analogamente aos dois casos previamente apresentados, para se obter a matriz de rigidez considerando somente a torção, é necessário voltar à teoria de resistência dos materiais e encontrar uma relação entre os momentos torçores e o deslocamento conseqüente.

$$M_T = \frac{G \cdot J}{L} \cdot \theta \quad (14)$$

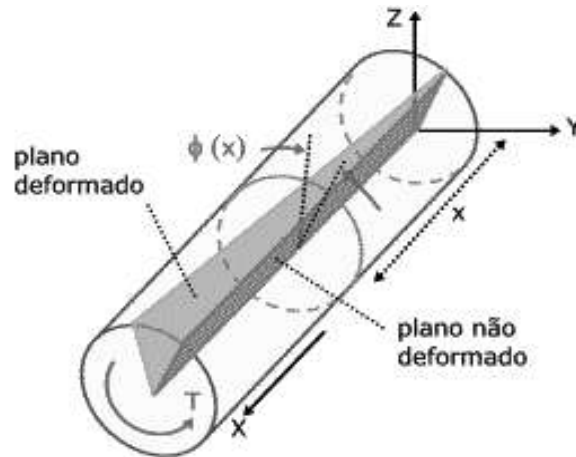


Figura 11. Torção de uma viga de seção circular

Por possuir apenas 2 graus de liberdade – em um sentido de rotação ou no outro (o que pode ser visualizado na Figura 11), a definição da matriz de rigidez para torção é bem simples. Assim como deduzido para o elemento de mola, a matriz de rigidez à torção pode ser expressa por:

$$k_{torção} = \begin{bmatrix} \frac{G \cdot J}{L} & -\frac{G \cdot J}{L} \\ -\frac{G \cdot J}{L} & \frac{G \cdot J}{L} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{Bmatrix} M_{T_1} \\ M_{T_2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{G \cdot J}{L} & -\frac{G \cdot J}{L} \\ -\frac{G \cdot J}{L} & \frac{G \cdot J}{L} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (16)$$

### 3.3.4. Elementos de Viga – Matriz de Rigidez Completa

Após a análise de cada um dos fenômenos separadamente, a matriz de rigidez final será a superposição de todas as outras e pode ser representada pela matriz simétrica apresentada na Eq. (17).

$$\begin{Bmatrix} f_{x_1} \\ f_{y_1} \\ f_{z_1} \\ M_{T_1} \\ M_{F_{xz_1}} \\ M_{F_{xy_1}} \\ f_{x_2} \\ f_{y_2} \\ f_{z_2} \\ M_{T_2} \\ M_{F_{xz_2}} \\ M_{F_{xy_2}} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E \cdot A}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{G \cdot J}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{E \cdot A}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{E \cdot A}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{G \cdot J}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} d_1 \\ v_{xz_1} \\ v_{xy_1} \\ \theta_1 \\ v'_{xz_1} \\ v'_{xy_1} \\ d_2 \\ v_{xz_2} \\ v_{xy_2} \\ \theta_2 \\ v'_{xz_2} \\ v'_{xy_2} \end{Bmatrix} \quad (17)$$

A simulação numérica da estrutura do reboque utilizará, então, este conjunto de equações para definir os deslocamentos decorrentes das forças/carregamentos externos.

### 3.4. TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES

No software de elementos finitos, utiliza-se a tensão equivalente de Von Mises no critério de escoamento para avaliar a sollicitação na estrutura. Faz-se necessário então uma introdução sobre os conceitos relativos à tal teoria.

Este método, utilizado para materiais dúcteis, nos quais  $|\sigma_c| \cong \sigma_t$ , consiste em calcular um valor escalar baseado no tensor de tensões do ponto sob análise. A partir das tensões principais da estrutura sob análise, calcula-se um valor escalar que, quando comparado à tensão de escoamento do material, fornecerá a conclusão desejada: se haverá ou não escoamento do material.

Esta metodologia tem suas raízes na análise da energia de deformação. Para elementos de viga, sua formulação é dada por: [9]

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)} \quad (18)$$

Genericamente, esta formulação é apresentada em função das tensões principais: [9]

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (19)$$

Mas, para uma viga, obtém-se as seguintes formulações para as tensões principais: [9]

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sqrt{\sigma_x^2 + 4(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)}}{2} \\ \sigma_2 = 0 \\ \sigma_3 = \frac{\sigma_x - \sqrt{\sigma_x^2 + 4(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)}}{2} \end{cases} \quad (20)$$

Utilizando as Eq. (20) e (19), encontra-se a formulação previamente apresentada na Eq. (18).

A região segura delimitada pelo critério de Von Mises pode ser visualizada na Figura 12.

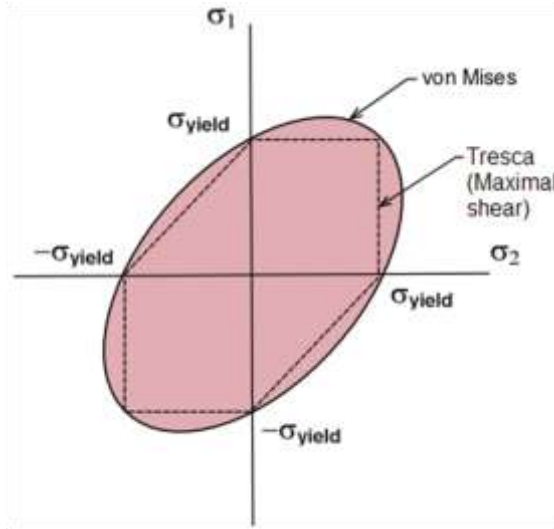


Figura 12. Critério de Von Mises em um plano  $\sigma_1 \times \sigma_2$

Qualquer ponto que estiver dentro da região pintada no plano  $\sigma_1 \times \sigma_2$  está segura quanto ao escoamento. Na Figura 12 observa-se também o critério de Tresca, também aplicável para materiais dúcteis, porém um pouco mais conservador em seus limites de segurança.

### 3.5. APLICAÇÃO EM UM SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS

Para simular uma estrutura em um software de elementos finitos, em alguns casos, primeiro é necessário desenhá-la em algum software de CAD e importar o desenho para o software no qual se deseja fazer análise por elementos finitos. Alguns softwares de CAD já possuem aplicativos para análise por MEF, como por exemplo o SolidWorks que possui o aplicativo Simulation para análise do estado de tensões, deslocamentos, coeficientes de segurança entre outros.

Para este projeto, foi utilizado o SolidWorks como software de CAD e o Ansys como software de simulação de elementos finitos. Como se utilizou o elemento de vigas para análise do chassi do reboque (no APDL), não houve necessidade de desenhá-lo no SolidWorks. Depois de calculadas as reações nos apoios do chassi, no entanto, foram simuladas as estruturas de apoio em separado como elementos sólidos (no Workbench); sendo necessário, portanto, o desenho destas estruturas em SolidWorks para importá-las para o Ansys e então simulá-las.

Escolheu-se o Ansys como software para análise de tensões no chassi do reboque por ser um dos softwares mais conhecidos no ramo de simulações por elementos finitos. Hoje o Ansys engloba todas as possibilidades de simulações que há por elementos finitos, desde análises estruturais até escoamentos compressíveis.

### 3.6. VALIDAÇÃO DO SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS

Para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos, foram realizadas simulações a fim de se validar o software em uso. Desta forma, uma situação cuja solução analítica é conhecida foi simulada no APDL de modo a verificar a consistência dos resultados obtidos.

Duas seções transversais diferentes foram utilizadas na validação. O problema submetido às simulações está ilustrado na Figura 13.

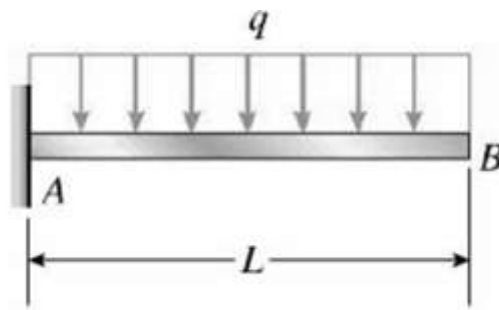


Figura 13. Problema proposto para validação do Ansys

A solução analítica pode ser obtida de acordo com o seguinte conjunto de equações:

$$R_{yA} = q \cdot L \quad (21)$$

$$M_A = \frac{q \cdot L^2}{2} \quad (22)$$

$$y_{max} = -\frac{q \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I} \quad (23)$$

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot c}{I} \quad (24)$$

Considerando:

$$q = 100 \text{ N/m} , \quad L = 2\text{m} , \quad E = 200 \text{ GPa} \quad (25)$$

E para as seguintes duas seções transversais (Figura 14):



Figura 14. Seções transversais simuladas para validação – cotas em mm

Os resultados obtidos estão dispostos nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Validação do APDL – Primeira seção transversal

	Analítico	APDL
Reação no engaste	200,00 N	200,00 N
Momento fletor no engaste	200,00 Nm	200,00 Nm
Deflexão máxima	0,0123 m	0,0124 m
Tensão normal máxima	86,31 MPa	86,31 MPa

Tabela 3. Validação do APDL – Segunda seção transversal

	Analítico	APDL
Reação no engaste	200,00 N	200,00 N
Momento fletor no engaste	200,00 Nm	200,00 Nm
Deflexão máxima	0,0085 m	0,0086 m
Tensão normal máxima	59,83 MPa	59,83 MPa

O APDL se provou, então, fiel às soluções analíticas. Uma vez validado o software em uso, prosseguiu-se então com o projeto.



## 4. MODELO SOB ANÁLISE

*Este capítulo apresenta o modelo de Reboque Leve analisado neste Projeto de Graduação.*

### 4.1. CASO ESTUDADO

A estrutura de um reboque pré-existente foi avaliada e algumas alterações foram propostas visando a sua otimização. O modelo utilizado para as análises está especificado a seguir:

Fabricante/Modelo: Rondon RD1 C

Ano de Fabricação: 2003

Tara: 230 kg

Carga útil: 270 kg

De modo a compreender o que será exposto no decorrer deste projeto, uma descrição dos elementos que constituem o reboque se faz necessária.

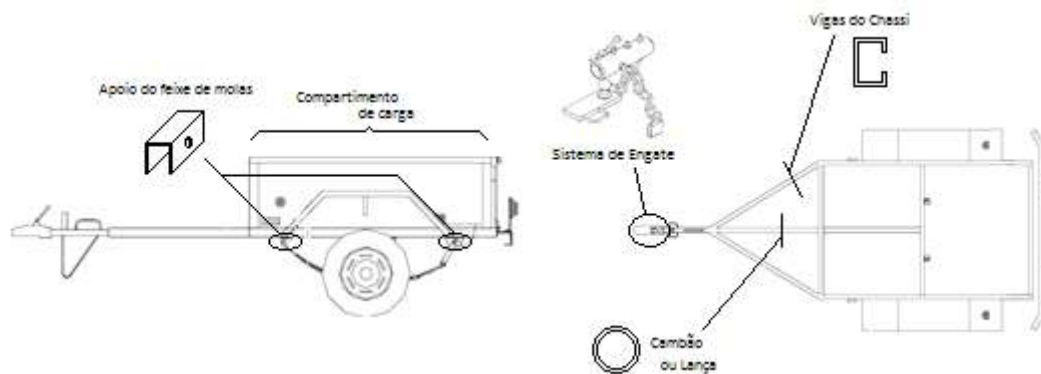


Figura 15. Elementos constituintes relevantes

O modelo sob análise já foi modificado pelo usuário de forma a aumentar o compartimento de carga. Os dados de tara e carga útil provenientes do documento do reboque provavelmente foram alterados de acordo com a limitação de PBT exposta na Eq. (1).

De qualquer forma, considerou-se sua configuração inicial para todos os cálculos consequentes. A razão pela qual isso foi possível consiste no fato do chassi não ter sido modificado. Assim, este está de acordo com as especificações de tara e carga útil contidas no documento do reboque.

Para que seja possível quantificar uma eficiência estrutural para cada estrutura a ser proposta e analisada, considerou-se a seguinte expressão:

$$\eta_{estr} = \frac{m_{carga\ util}}{m_{total\ carregado}} \quad (26)$$

Para o modelo original sob análise, a eficiência estrutural, definida na Eq. (26), foi:

$$\eta_{estr} = \frac{m_{carga\ util}}{PBT} = \frac{270\ kgf}{500\ kgf} = 0,54 \quad (27)$$

Otimizou-se o projeto para aumentar este coeficiente de eficiência estrutural mantendo-se os coeficientes de segurança próximos àqueles originais.

## 4.2. DESENHOS TÉCNICOS

Como não se dispõe dos desenhos técnicos do reboque sob estudo, o modelo numérico inserido no software de simulação por elementos finitos foi criado a partir de medições realizadas no modelo real. Erros associados às medições são desprezíveis dadas as dimensões do reboque em comparação com a resolução dos instrumentos de medição utilizados: uma trena com resolução de 1 mm para medidas como comprimento largura e altura; e um paquímetro com resolução de 0,05 mm para medições de espessura e outros detalhes menores.

As Figuras 16 e 17 representam o modelo sob estudo.



Figura 16. Foto do modelo sob estudo (a); Vista Frontal (b), Lateral (c) e Traseira (d)



Figura 17. Foto da estrutura do modelo sob estudo

De forma simplificada, a estrutura do modelo sob estudo pode ser expressa conforme a Figura 18.

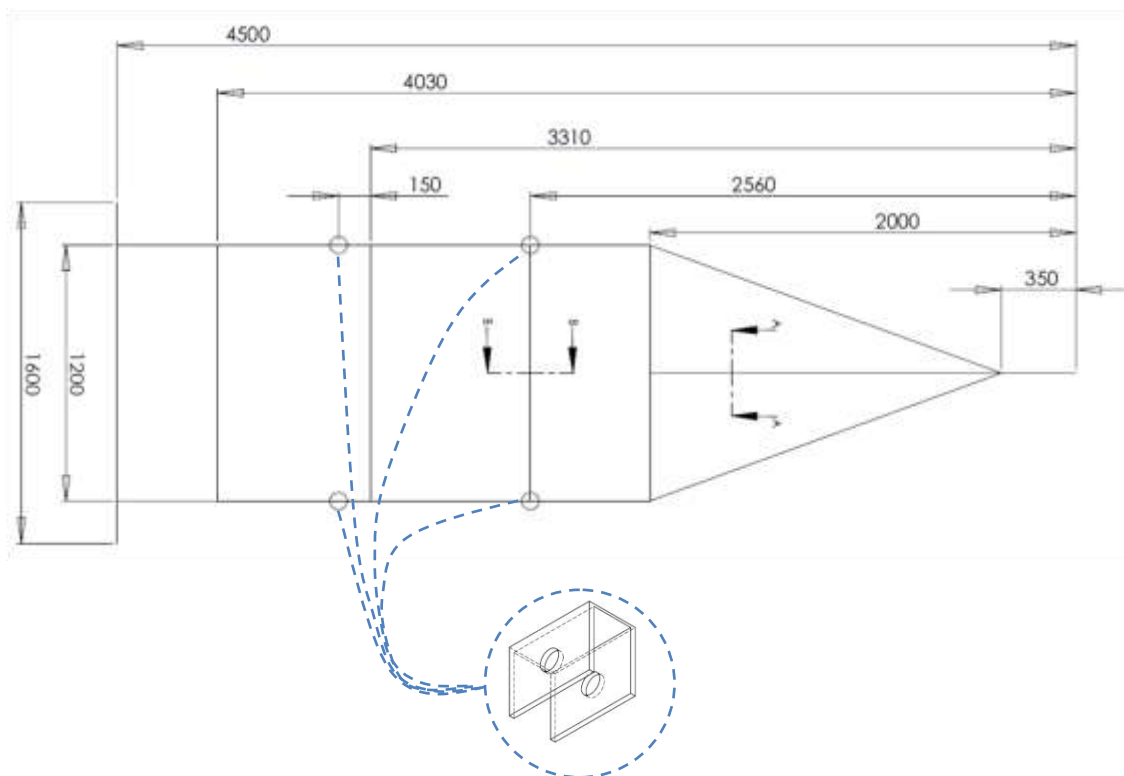


Figura 18. Estrutura do modelo sob análise – cotas em mm



Figura 19. Seções transversais – cotas em mm

Todas as vigas, com exceção do cambão, possuem a seção transversal idêntica àquela representada pelo detalhe B mostrado na Figura 19.

Os locais representados na Figura 18 correspondem aos locais onde estão soldados os apoios do feixe de molas. Estes apoios estão representados na Figura 20.

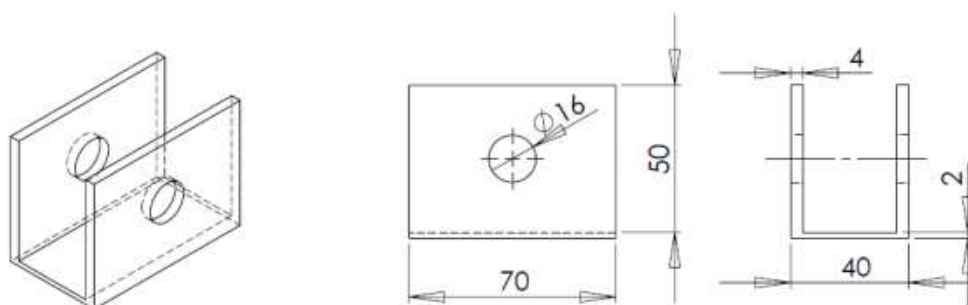


Figura 20. Dimensões do apoio do feixe de molas – cotas em mm

### 4.3. MATERIAL ESTRUTURAL

Segundo informações colhidas junto à empresa fabricante, o material utilizado no chassi do reboque sob análise foi o aço AISI 1020, laminado a frio, cujas propriedades principais estão dispostas na Tabela 4.

Tabela 4. Aço AISI 1020, cold rolled [11]

	AISI 1020 cold rolled
Densidade	7,87 g/ml
Resistência à tração	420 MPa
Resistência ao escoamento	350 MPa
Módulo de Elasticidade	205 GPa
Coefficiente de Poisson	0,29

## 5. MODELO NUMÉRICO DO PROJETO ORIGINAL

*Este capítulo apresenta o modelo numérico que foi utilizado nas simulações realizadas para o reboque original Rondon.*

### 5.1. ESTRATÉGIA DE SIMULAÇÃO

De modo a minimizar o esforço computacional a ser empregado para análise por elementos finitos, optou-se por realizar a simulação por elementos de viga (no APDL) para todo o chassi do reboque. A simulação dos elementos de apoio há de ser feita, no entanto, com elementos sólidos (no Workbench) e com os dados das reações nos apoios fornecidos pela primeira simulação do chassi como um todo. Tanto o Workbench como o APDL fazem parte do Ansys, constituindo duas ferramentas com aplicações bem distintas. Desta forma, há duas simulações bem diferentes a serem explicadas nos tópicos seguintes.

### 5.2. MODELO NUMÉRICO DO CHASSI

#### 5.2.1. Geometria

Alguns parâmetros de entrada devem ser fornecidos de modo a se simular a estrutura do chassi do reboque. A geometria é o primeiro parâmetro de entrada fornecido e está ilustrada na Figura 21.

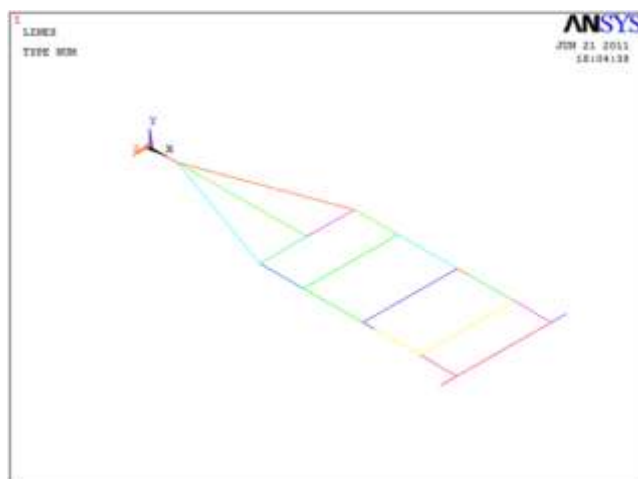


Figura 21. Estrutura do chassi do reboque sob análise modelada como elemento de viga

#### 5.2.2. Elementos selecionados

Após a inserção da geometria no software de simulação por elementos finitos, é necessário informar as características das seções transversais a serem utilizadas. Para o caso do chassi do reboque, há duas seções transversais diferentes. A seção transversal do cambão é circular, com 50 mm de diâmetro e 2 mm de espessura, enquanto o resto do chassi é fabricado com uma viga de seção C com 70 mm x 40 mm e 2 mm de espessura, como apresentado na Figura 19. Os elementos BEAM4 e PIPE16 foram

selecionados no software para realização das simulações. Uma breve explicação sobre os elementos se faz necessária.

#### **Elemento BEAM4**

Possui seis graus de liberdade, a saber: translação nodal e rotação nos três eixos. Corresponde a um elemento uniaxial passível de tensões de tração, compressão, torção e flexão.

Uma informação importante é que ele possibilita a simulação de qualquer tipo de viga, com qualquer seção transversal. Tal possibilidade foi explorada nas simulações, já que a biblioteca do APDL não possui a seção transversal das vigas do reboque sob análise (Figura 19).

Este elemento foi utilizado para todas as vigas do reboque, com exceção do cambão, que foi simulado através do Pipe16.

#### **Elemento PIPE16**

Assim como o Beam4, este é um elemento uniaxial que pode ser submetido a tensões de tração, compressão, torção e flexão. Possui igualmente seis graus de liberdade, mas corresponde a vigas de seções circulares; sendo aplicado, portanto, ao cambão do reboque.

### **5.2.3. Constantes reais**

Após informar a estrutura, escolher os tipos de elementos e as seções transversais é necessário definir as constantes do material. Desta forma, foram definidos os parâmetros ilustrados na Tabela 4 para o aço AISI 1020.

### **5.2.4. Criação da malha**

Para garantir um resultado confiável, foram realizadas algumas simulações aplicando-se refinamento da malha até que não fossem observadas diferenças significativas entre os resultados de duas simulações consecutivas. Desta forma, três simulações foram realizadas com elementos de tamanho 50, 20 e 10 mm respectivamente.

Os resultados obtidos por essa simulação estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados consecutivos obtidos para a simulação do chassi original

	Malha 1 (elemento de 50mm)	Malha 2 (elemento de 20mm)	Malha 3 (elemento de 10mm)
Máxima reação nos apoios	668,65 N	665,91 N	667,87 N

	Malha 1 (elemento de 50mm)	Malha 2 (elemento de 20mm)	Malha 3 (elemento de 10mm)
Localização da máxima reação	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro
Tensão Normal Máxima	67,16 MPa	66,57 MPa	66,49 MPa
Fator de Segurança Mínimo	5,21	5,26	5,26

O refinamento da malha está representado na Figura 22.

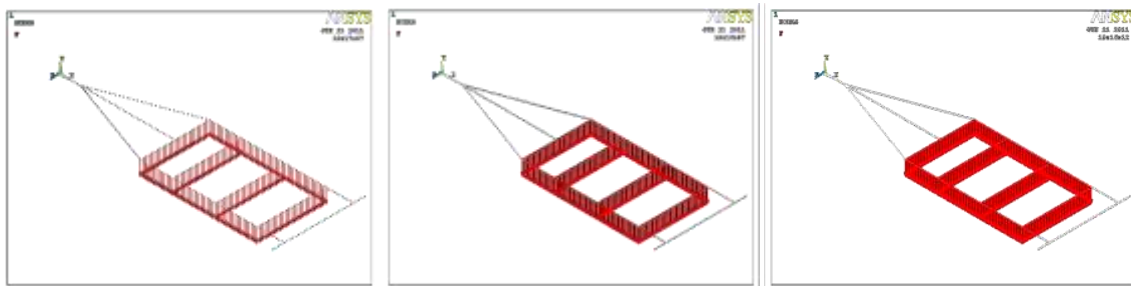


Figura 22. Refinamento da malha do chassi

Desta forma, todas as outras simulações serão realizadas com um elemento de tamanho de 10 mm, visto que este tamanho foi suficiente para obtenção de resultados satisfatórios.

### 5.2.5. Restrições nos apoios

Após a criação da malha, é necessário definir os apoios do chassi. A Figura 23 ilustra o chassi com as restrições em seus apoios.

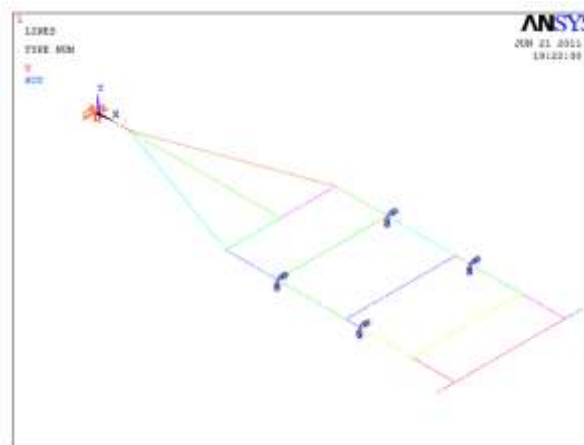


Figura 23. Restrições nos apoios

O apoio localizado ao fim do cambão, no engate, possui restrições de deslocamentos em X, Y e Z, mas é livre para rotacionar em torno dos três eixos. Já os apoios do feixe de molas limitam a estrutura nas direções X e Z, assim como nas três rotações possíveis.

### 5.2.6. Carregamento

Com as restrições definidas, informaram-se as forças atuantes na estrutura, as quais foram aplicadas em cada um dos nós constituintes do compartimento de carga do reboque leve. A carga total de 2700 N foi distribuída por todo o compartimento de carga, dividindo-se pelo número de nós constituintes do compartimento de carga, como ilustrado na Figura 24.

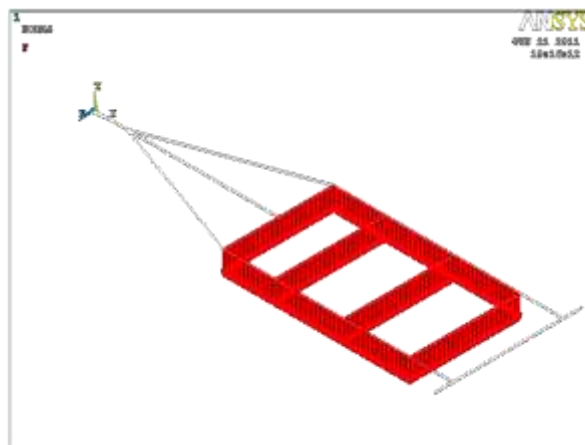


Figura 24. Carregamento no chassi

### 5.3. MODELO NUMÉRICO DOS APOIOS DO FEIXE DE MOLAS

A simulação destes suportes foi realizada por elementos sólidos, no Workbench do Ansys. Para tal, desenhou-se os mesmos no SolidWorks, importou-se o desenho tridimensional para o Workbench e realizou-se uma análise estática com os dados fornecidos pelas reações nos apoios calculadas pela primeira simulação.

O apoio do feixe de molas está ilustrado na Figura 25.

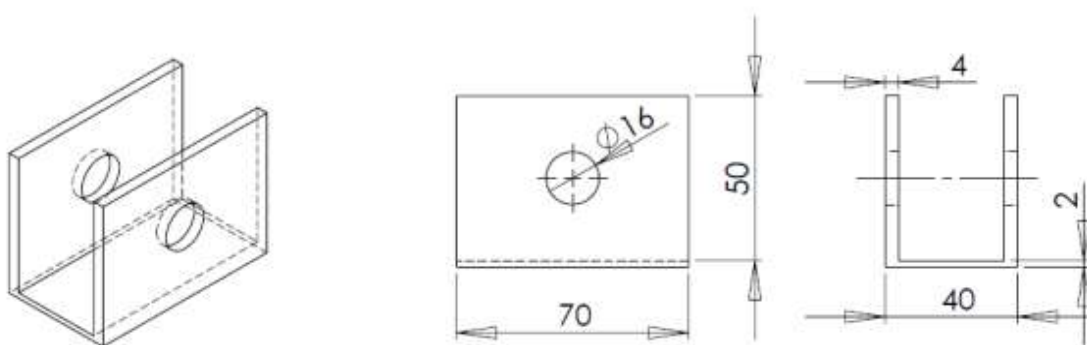


Figura 25. Apoio do feixe de molas – cotas em mm

Para simulá-lo no Workbench, os passos são parecidos. É necessário importar a geometria; inserir os dados acerca do material (Tabela 4 [11]); criar uma malha; refiná-la próximo ao furo para melhor visualizar os gradientes de tensão e deformação; definir as restrições e a carga. A restrição imposta encontra-se na superfície soldada ao chassi, em X, Y e Z e sem a possibilidade de rotacionar. A carga



(correspondente à máxima reação obtida pela primeira simulação) foi aplicada na no furo, distribuída em forma de pressão, como ilustrado na Figura 26.

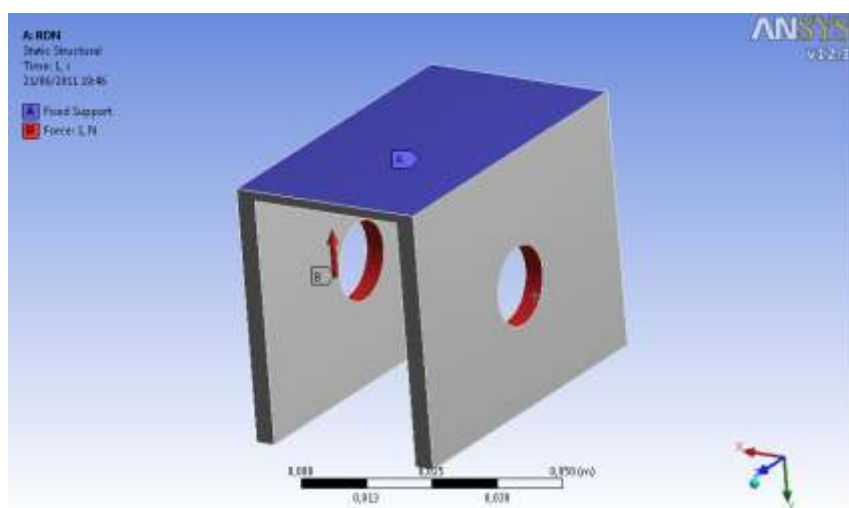


Figura 26. Carregamento do apoio do feixe de molas

Para esta simulação, por elementos sólidos, houve também respectivas simulações com refinamento da malha até que se definisse um tamanho de elemento satisfatório. A Figura 27 e a Tabela 6 mostram os resultados obtidos.

Tabela 6. Resultados consecutivos obtidos para o apoio do feixe de molas original

	Malha 1 (elemento de 10mm)	Malha 2 (elemento de 3mm)	Malha 3 (elemento de 2mm)
Tensão Equivalente de Von Mises Máxima	4,06 MPa	4,14 MPa	4,14 MPa
Deformação Máxima	1,98E-02 $\mu$ Strain	2,02E-02 $\mu$ Strain	2,02E-02 $\mu$ Strain
Fator de Segurança Mínimo	86,21	84,54	84,54

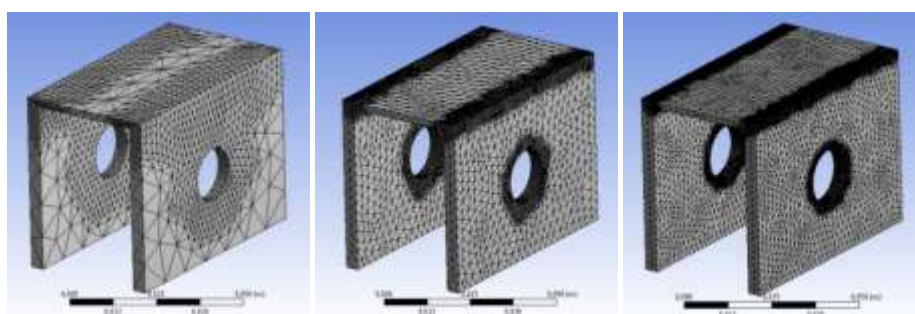


Figura 27. Refinamento da malha dos apoios originais

## 6. SIMULAÇÃO DO MODELO ORIGINAL

*Este capítulo apresenta os resultados obtidos pela simulação numérica do modelo original sob análise.*

### 6.1. SIMULAÇÃO DO CHASSI

#### 6.1.1. Configurações de carregamento

Como o RTQ 25 nada informa acerca a distribuição de carga no reboque, partindo do modelo numérico explicado no Capítulo 5, foram estipuladas três configurações de carregamento para o chassi:

- I. Carregamento distribuído em todo o compartimento de carga
- II. Carregamento concentrado na porção anterior do compartimento de carga
- III. Carregamento concentrado na porção posterior do compartimento de carga

A Figura 28 ilustra tais configurações.

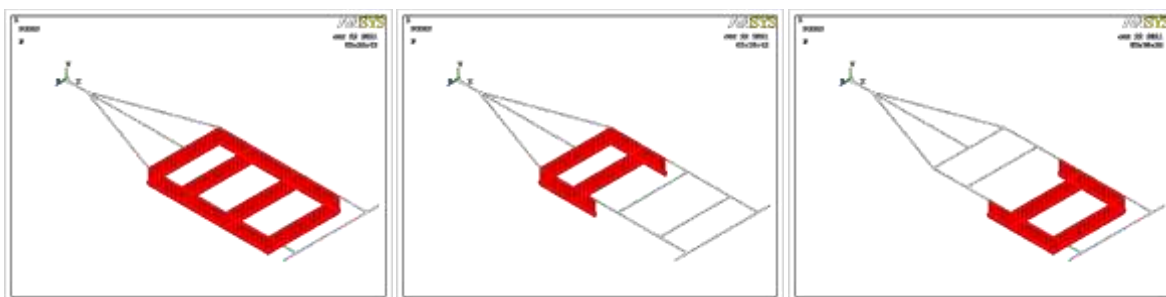


Figura 28. Configurações de carregamento

#### 6.1.2. Resultados obtidos

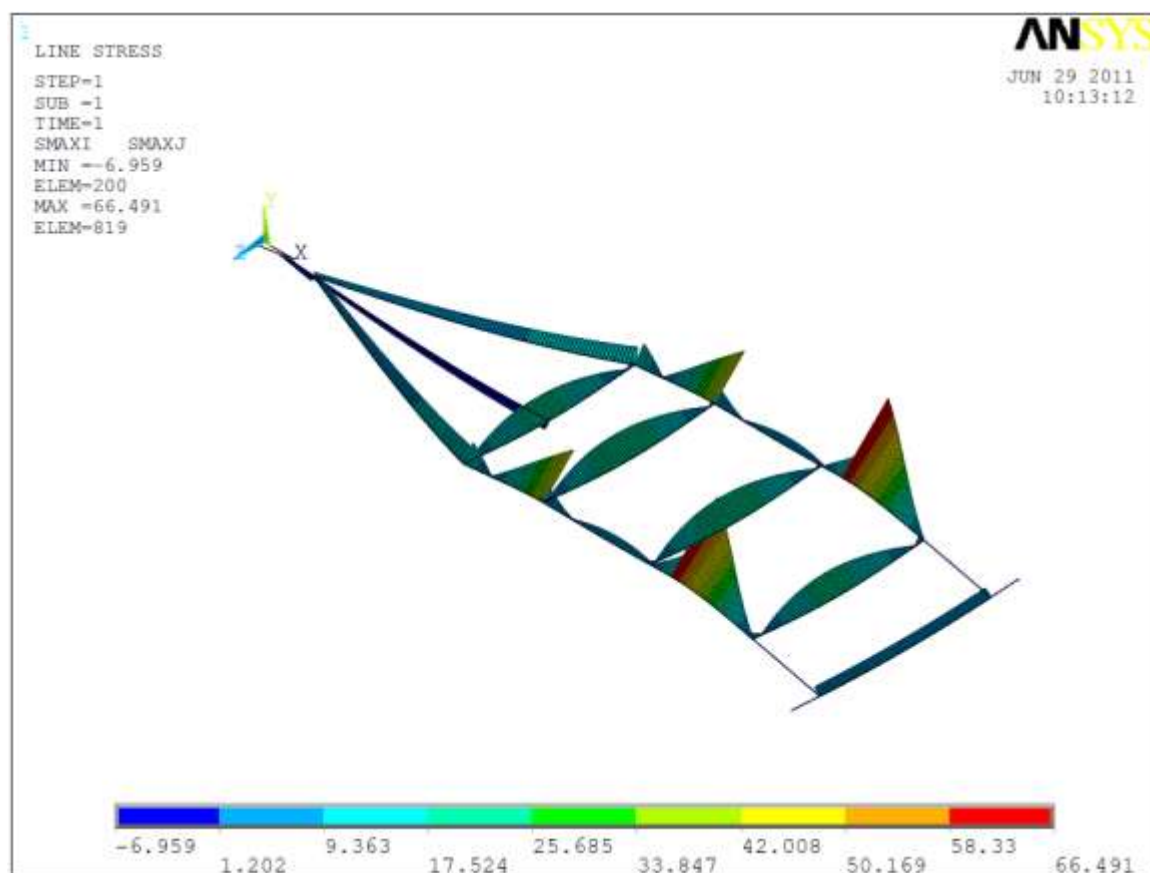
A Tabela 7 enumera os resultados obtidos para cada uma das três configurações de carregamento.

Tabela 7. Resultados obtidos para o chassi original

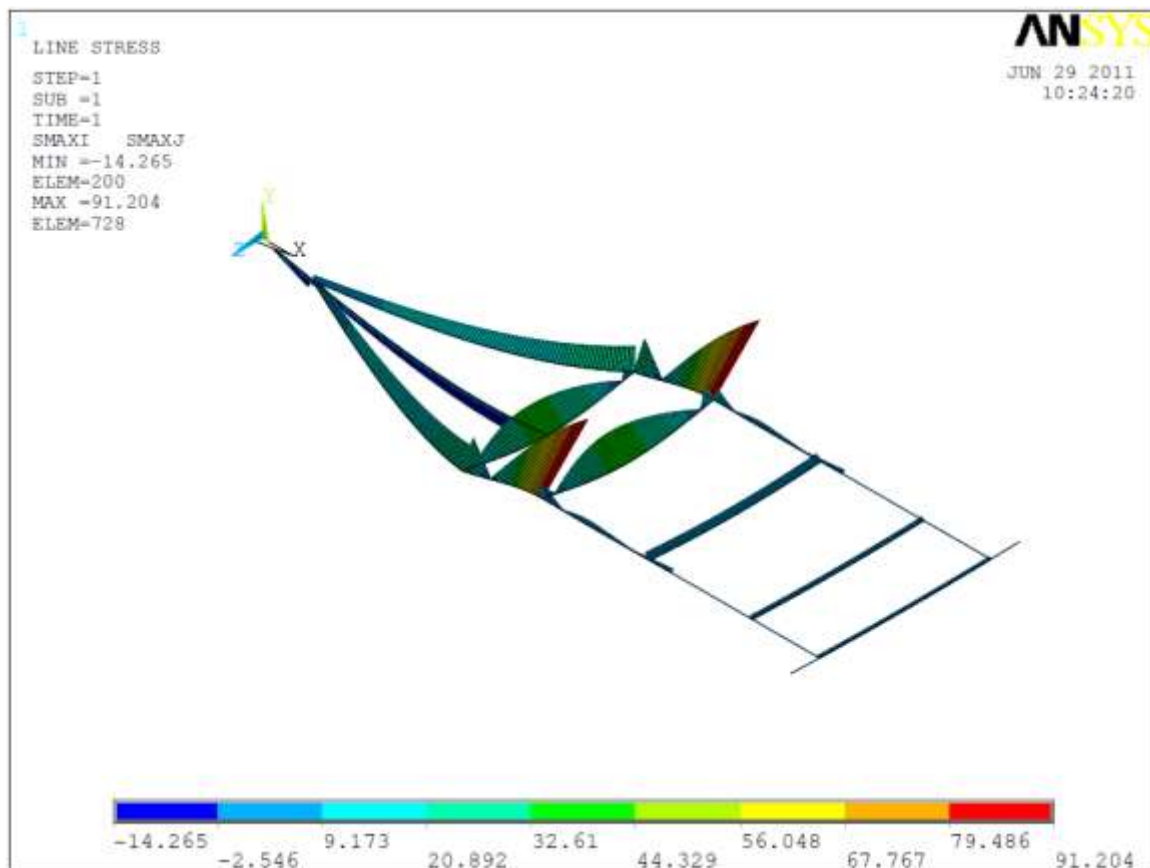
	Configuração 1 (carregamento distribuído)	Configuração 2 (carregamento frontal)	Configuração 3 (carregamento traseiro)
Reação no engate	38,14 N	78,74 N	0,32 N
Máxima reação nos apoios	667,87 N	1277,10 N	1249,40 N
Local	Apoio traseiro	Apoio dianteiro	Apoio traseiro

	Configuração 1 (carregamento distribuído)	Configuração 2 (carregamento frontal)	Configuração 3 (carregamento traseiro)
Máxima tensão	66,49 MPa	91,20 MPa	128,34 MPa
Fator de segurança mínimo	5,26	3,84	2,73
Local	Apoio traseiro	Apoio dianteiro	Apoio traseiro

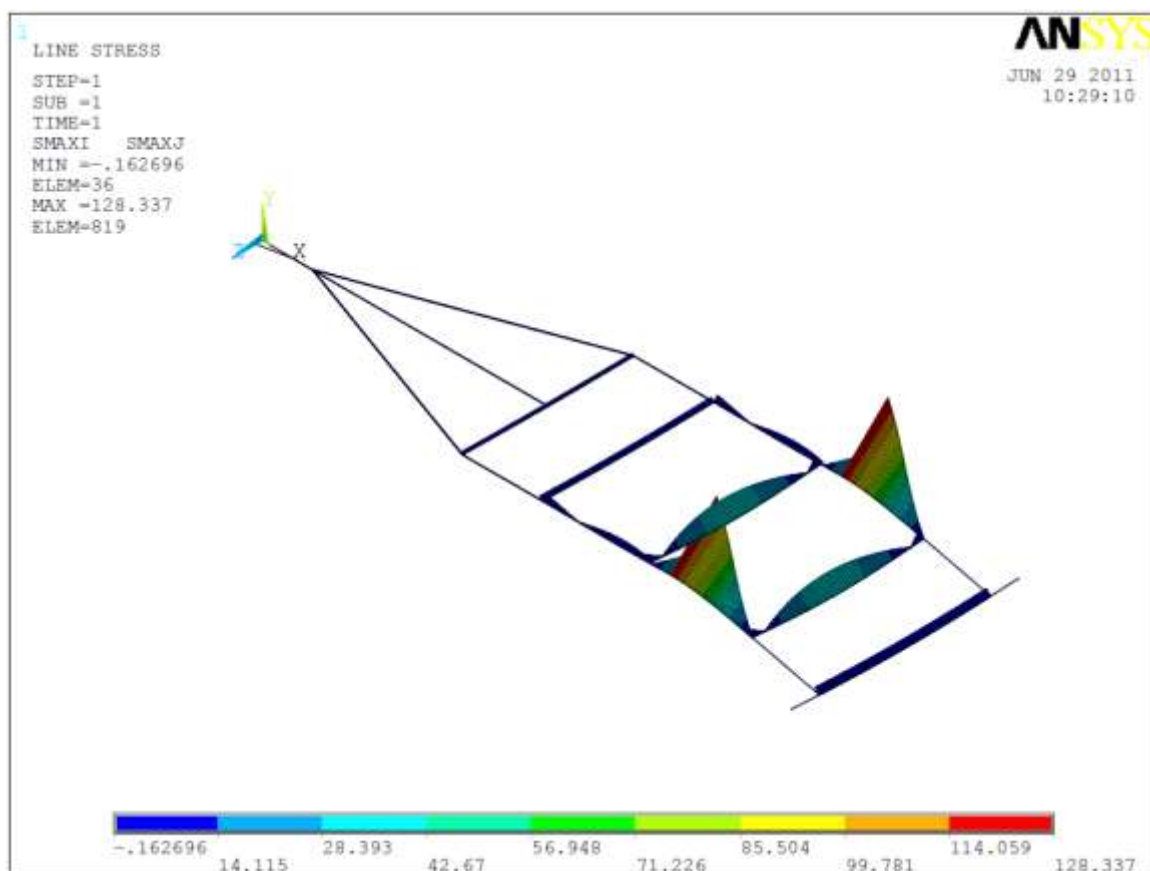
A Figura 29 ilustra os resultados de tensão obtidos para a estrutura em cada uma das configurações de carregamento.



(a)



(b)



(c)

Figura 29. Tensão equivalente de Von Mises para config. 1 (a); 2 (b) e 3 (c).

## 6.2. SIMULAÇÃO DO APOIO DO FEIXE DE MOLAS

De acordo com o exposto no capítulo anterior, o suporte do feixe de molas foi simulado no Workbench do Ansys por elementos sólidos a partir dos resultados obtidos para as reações nos apoios da simulação do chassi por elementos de viga. O tamanho de elemento simulado está de acordo com o exposto no Capítulo 5.

Para esta simulação, utilizou-se apenas a maior reação obtida nos resultados do item 6.1.2 expressos na Tabela 7.

Tabela 8. Resultados obtidos para os apoios do feixe de molas

	Força máxima (1277,10 N)
Tensão Equivalente de Von Mises Máxima	7,91 MPa
Deformação Máxima	3,86E-02 $\mu$ Strain
Fator de Segurança Mínimo	44,25

A Figura 30 ilustra o gradiente de tensões no suporte do feixe de molas.

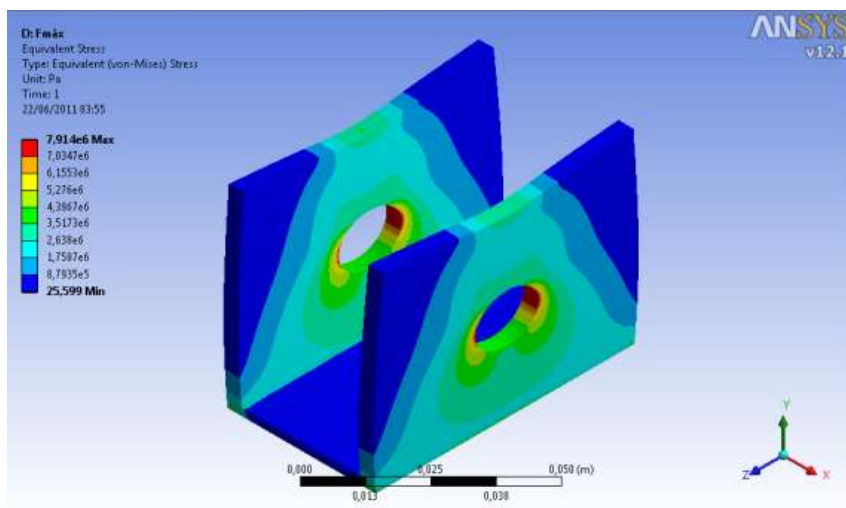


Figura 30. Tensão equivalente de Von Mises para o apoio do feixe de molas.

Pelo resultado exposto acima, observa-se que o apoio está superdimensionado em relação ao restante da estrutura. O menor coeficiente de segurança calculado para estrutura foi de 2,73 (Tabela 7), mais de 15 vezes menor do que aquele apresentado pelo apoio do feixe de molas.

## 7. PROPOSTAS PARA OTIMIZAÇÃO

*Este capítulo apresenta uma análise dos resultados obtidos no capítulo anterior, assim como uma proposta para otimização do reboque leve sob análise.*

### 7.1. ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

Pelas simulações realizadas, notou-se que os pontos mais solicitados no chassi situam-se onde os apoios são soldados. No carregamento distribuído e no carregamento na parte posterior, os pontos traseiros foram os mais exigidos, enquanto no carregamento na parte anterior, os pontos dianteiros que se tornaram críticos.

É interessante, em um projeto, que toda a estrutura esteja em um estado de tensões semelhante. Não há porque manter porções extremamente solicitadas e outras praticamente inalteradas. A situação de tensões na estrutura, no entanto, varia muito de acordo com a distribuição da carga no compartimento.

Propôs-se então, algumas alternativas para tentar se minimizar e/ou equalizar o estado de tensões na estrutura. Tais chassis propostos estão dispostos na Figura 31.

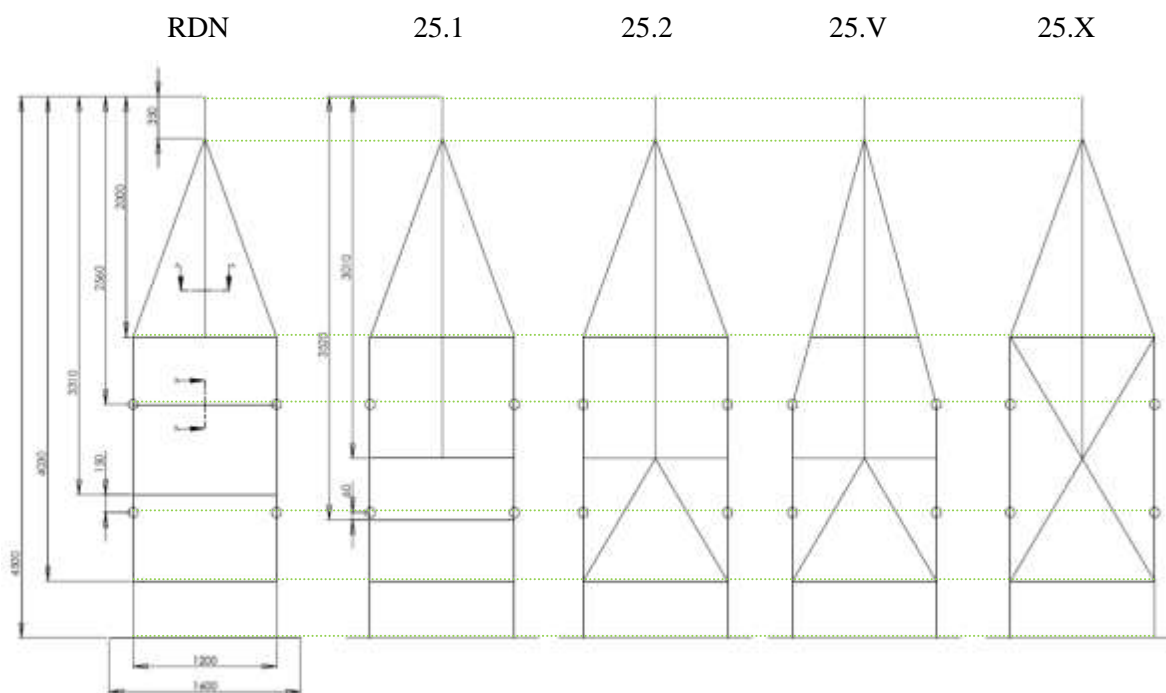


Figura 31. Propostas de estruturas – cotas em mm

De modo a poder comparar as estruturas propostas com àquela original, foram utilizadas as mesmas dimensões para comprimento, largura, formato e espessura das vigas. Desta forma, para a mesma solicitação, desejou-se verificar qual das estruturas apresentará melhor comportamento. Uma breve descrição de cada alternativa proposta se faz, então, necessária.

### **7.1.1. Modelo RDN**

Esta estrutura está representada na Figura 31 na extrema direita apenas como parâmetro de comparação. A partir dela, nota-se que todas as outras possuem as mesmas dimensões de comprimento e largura, assim como disposição dos apoios do feixe de molas.

### **7.1.2. Modelo 25.1**

Este modelo foi criado seguindo basicamente as recomendações do RTQ 25. O cambão atravessa a primeira viga transversal sem interferência, soldado apenas à viga central. Procurando uma melhor distribuição da carga, adicionou-se uma viga equidistante entre a central e a última.

### **7.1.3. Modelo 25.2**

Sabe-se que estruturas triangulares oferecem maior rigidez à estrutura. Desta forma, propôs-se este modelo, cuja diferença para o 25.1 encontra-se apenas na porção posterior do compartimento de carga.

### **7.1.4. Modelo 25.V**

Procurando minimizar o momento nos apoios dianteiros do feixe de molas, propôs-se este modelo. Nessa configuração as vigas que partem do cambão à 350 mm do engate seguem até os apoios dianteiros do feixe de molas. A parte traseira da estrutura se manteve idêntica ao 25.2.

### **7.1.5. Modelo 25.X**

Almejando sair do convencional, propôs-se este modelo não muito utilizado para projeto de chassis. No modelo em questão, todas as vigas intermediárias foram retiradas e em seu lugar colocou-se duas vigas formando um “X”, em cujo centro está soldado o cambão.

### **7.1.6. Suporte para fixação do feixe de molas**

Como, nesta etapa, o objetivo é apenas verificar a melhor configuração para o chassi, os apoios do feixe de molas se mantiveram inalterados. Posteriormente, uma análise deste elemento da estrutura foi realizada.

## 8. MODELO NUMÉRICO DAS CONFIGURAÇÕES PROPOSTAS

*Este capítulo apresenta o modelo numérico utilizado nas simulações dos chassis propostos no capítulo anterior.*

### 8.1. ESTRATÉGIA DE SIMULAÇÃO

A estratégia de simulação seguida foi a mesma daquela utilizada previamente para o modelo original do reboque sob análise, com uma exceção. Novamente, duas simulações para cada modelo foram realizadas. A primeira no APDL por elementos de viga para verificar os esforços nos novos chassis. Em seguida, a partir dos resultados, foram realizadas novas simulações no Workbench por elementos sólidos para o apoio do feixe de molas e para a primeira viga transversal que, agora, possui um furo pelo qual passa o cambão.

### 8.2. MODELO NUMÉRICO DOS CHASSIS

As estruturas propostas foram simuladas no APDL por elementos de viga. De modo a verificar a colaboração do furo na primeira viga transversal para o estado de tensões da estrutura, é necessário verificar a força nele exercida pelo cambão. Com este objetivo, adicionou-se um apoio para o cambão, no local da interseção entre ele e a primeira viga transversal. A Figura 32 ilustra tal apoio.



Figura 32. Furo da primeira viga transversal (a); vista em corte (b)

O restante do modelo numérico é semelhante àquele explicado anteriormente para as simulações do reboque Rondon previamente sob análise (item 5.2).

### 8.3. MODELO NUMÉRICO DOS APOIOS DO FEIXE DE MOLAS

Os apoios foram simulados por elementos sólidos no Workbench a partir dos resultados obtidos para as reações nos apoios em cada modelo simulado. Apenas o pior caso foi considerado para a realização desta simulação, não havendo necessidade de simular a mesma peça sob solicitações menores.



As restrições e a carga aplicada sobre o apoio do feixe de molas seguem o mesmo procedimento adotado para o primeiro modelo numérico (item 5.3).

#### 8.4. MODELO NUMÉRICO DA PRIMEIRA VIGA TRANSVERSAL

A primeira viga transversal foi simulada no Workbench por elementos sólidos para verificação da influência do furo (e da força nele exercida) nesta viga. Suas restrições foram situadas nas extremidades a translações e rotações nos três eixos e a força, aplicada na superfície do furo. A Figura 33 ilustra tal configuração.

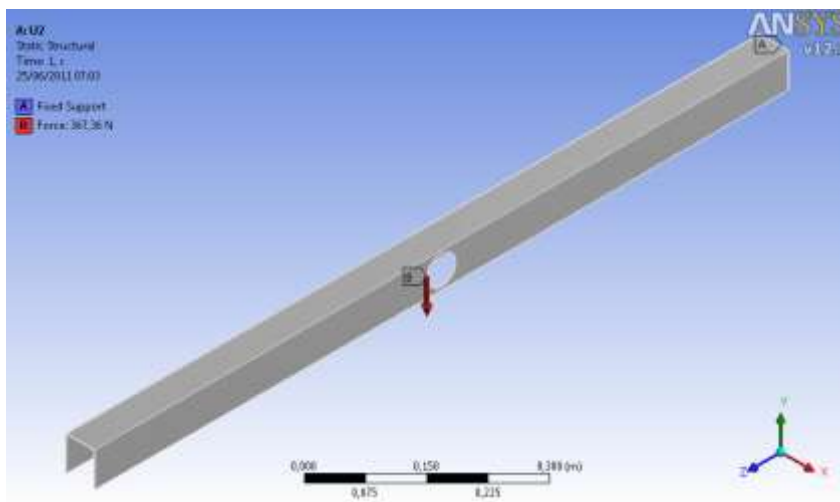


Figura 33. Modelo numérico da primeira viga transversal

A malha foi refinada a cada simulação até que os gradientes de tensão resultantes estivessem satisfatórios.

## 9. SIMULAÇÃO DOS MODELOS PROPOSTOS

*Este capítulo apresenta os resultados obtidos pela simulação numérica do modelo proposto.*

### 9.1. SIMULAÇÃO DOS CHASSIS

Novamente, três configurações de carga foram aplicadas às estruturas, exatamente como explicado no item 6.1.1.

Os resultados das simulações estão dispostos nas Tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 9. Resultados para cada chassi proposto – configuração 1

	Configuração 1 – Carregamento Distribuído				
	RDN	25.1	25.2	25.V	25.X
<b>Máxima Reação nos Apoios</b>	667,87 N	714,52 N	758,82 N	777,23 N	643,94 N
<b>Reação no Engate</b>	38,14 N	16,67 N	13,83 N	10,72 N	-12,28 N
<b>Reação no Cambão</b>	-	201,49 N	175,99 N	177,41 N	292,26 N
<b>Máxima Tensão</b>	66,49 MPa	63,90 MPa	71,03 MPa	72,73 MPa	71,25 MPa
<b>Fator de segurança mínimo</b>	5,26	5,48	4,93	4,81	4,91
<b>Local</b>	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro

Tabela 10. Resultados para cada chassi proposto – configuração 2

	Configuração 2 – Carregamento Frontal				
	RDN	25.1	25.2	25.V	25.X
<b>Máxima Reação nos Apoios</b>	1277,10 N	914,40 N	909,51 N	898,93 N	955,11 N
<b>Reação no Engate</b>	78,74 N	30,49 N	30,17 N	24,54 N	1,32 N

	<b>Configuração 2 – Carregamento Frontal</b>				
	<b>RDN</b>	<b>25.1</b>	<b>25.2</b>	<b>25.V</b>	<b>25.X</b>
<b>Reação no Cambão</b>	-	364,58 N	372,86 N	385,63 N	490,13 N
<b>Máxima Tensão</b>	91,20 MPa	69,98 MPa	69,70 MPa	64,59 MPa	98,21 MPa
<b>Fator de segurança mínimo</b>	3,84	5,00	5,02	5,42	3,56
<b>Local</b>	Apoio dianteiro	Apoio dianteiro	Apoio dianteiro	Apoio dianteiro	Apoio dianteiro

Tabela 11. Resultados para cada chassi proposto – configuração 3

	<b>Configuração 3 – Carregamento Traseiro</b>				
	<b>RDN</b>	<b>25.1</b>	<b>25.2</b>	<b>25.V</b>	<b>25.X</b>
<b>Máxima Reação nos Apoios</b>	1249,40 N	1170,70 N	1164,80 N	1166,30 N	1206,90 N
<b>Reação no Engate</b>	0,32 N	-4,44 N	-5,45 N	-5,45 N	-27,90 N
<b>Reação no Cambão</b>	-	29,35 N	18,12 N	18,13 N	68,62 N
<b>Máxima Tensão</b>	128,34 MPa	111,79 MPa	115,95 MPa	116,29 MPa	145,89 MPa
<b>Fator de segurança mínimo</b>	2,73	3,13	3,02	3,01	2,40
<b>Local</b>	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro

A partir dos resultados dispostos, concluiu-se que a alternativa 25.1 é a melhor dentre aquelas inicialmente propostas. Apenas na configuração 2 (carregamento concentrado na porção frontal do compartimento de carga), a máxima tensão neste modelo não foi a menor dentre todas as alternativas. Conforme esperado, o modelo 25.V realmente poupou a estrutura na região dianteira do compartimento de carga.

## 9.2. SIMULAÇÃO DO APOIO DO FEIXE DE MOLAS

Conforme exposto no modelo numérico (item 5.3), simulou-se o apoio do feixe de molas original para a pior solicitação prevista pelas simulações dos chassis.

Como, no entanto, a maior força aplicada sobre esta estrutura corresponde novamente aos 1277,10 N provindos da simulação do projeto original (RDN) para configuração 2 de carregamento, os resultados são exatamente idênticos àqueles presentes no item 6.2. Não é necessário, então, refazer a simulação.

## 9.3. SIMULAÇÃO DA PRIMEIRA VIGA TRANSVERSAL

Para realização desta simulação, considerou-se o pior caso para cada estrutura proposta. Conforme esperado, a reação no cambão foi maior para a configuração 2 de carregamento. Desta forma, para analisar as tensões na primeira viga transversal pela qual passa o cambão, realizaram-se simulações no Workbench com os dados provindos das simulações dos chassis (resumidos na Tabela 12) e de acordo com o modelo numérico explicado no item 8.4.

Tabela 12. Dados para simulação da primeira viga transversal

	Modelo 25.1	Modelo 25.2	Modelo 25.V	Modelo 25.X
Força aplicada	364,58 N	372,86 N	385,63 N	490,13 N

Vale notar que a primeira viga transversal é igual para todos os modelos, exceto para o 25.V, devido ao ângulo de corte de suas extremidades a serem soldadas no restante da estrutura.

Os resultados obtidos para estas simulações estão dispostos na Tabela 13.

Tabela 13. Resultados para as vigas transversais

	Modelo 25.1	Modelo 25.2	Modelo 25.V	Modelo 25.X
Tensão Equivalente de Von Mises Máxima	63,23 MPa	64,67 MPa	54,67 MPa	85,01 MPa
Deformação Máxima	0,31 $\mu$ Strain	0,32 $\mu$ Strain	0,27 $\mu$ Strain	0,41 $\mu$ Strain
Fator de Segurança Mínimo	5,54	5,41	6,40	4,12

A Figura 34 ilustra o resultado obtido para os gradientes de tensão do Modelo 25.X, que corresponde ao pior caso. Observa-se, no entanto, que o fator de segurança mínimo para este caso não difere muito daqueles observados nas simulações da estrutura.

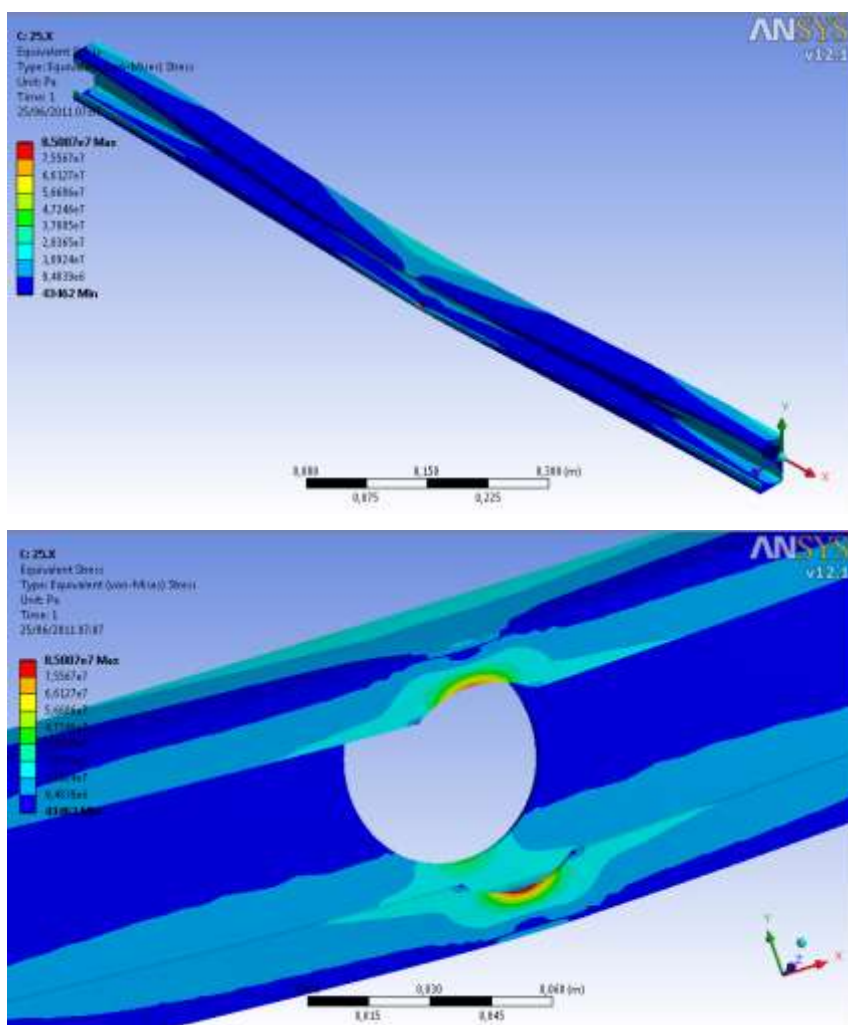


Figura 34. Gradientes de tensão da primeira viga transversal – Modelo 25.X

## 10. OTIMIZAÇÃO DA PROPOSTA ESCOLHIDA

*A partir do modelo escolhido no capítulo anterior, deu-se continuidade ao processo de otimização neste capítulo, considerando fatores como a disposição dos apoios, as seções transversais e fatores de segurança.*

### 10.1. MODELO 25.1

Considerando os resultados apresentados no Capítulo 9, optou-se pelo Modelo 25.1 para dar continuidade ao processo de otimização da estrutura. Tal processo se deu em algumas etapas:

- I. Disposição dos apoios do feixe de molas na estrutura
- II. Cálculo de um fator de segurança apropriado
- III. Análise de seções transversais alternativas
- IV. Cálculo da nova carga útil e certificação da seção proposta anteriormente
- V. Análise de estruturas de fixação do feixe de molas alternativas

### 10.2. DISPOSIÇÃO DOS APOIOS DO FEIXE DE MOLAS NA ESTRUTURA

Durante as simulações realizadas, notou-se que, para a configuração 1 de carregamento (carga distribuída em todo compartimento), o ponto de fixação do feixe de molas traseiro correspondia à porção mais solicitada da estrutura. De modo a tentar minimizar ou, pelo menos, equalizar a carga entre os apoios dianteiros e traseiros, novas localizações foram propostas para os suportes do feixe de molas. Vale notar que, em todas as alternativas, manteve-se constante a distância entre os apoios dianteiros e traseiros, de modo que o mesmo feixe de molas pudesse ser utilizado.

A Figura 35 ilustra as alternativas simuladas.

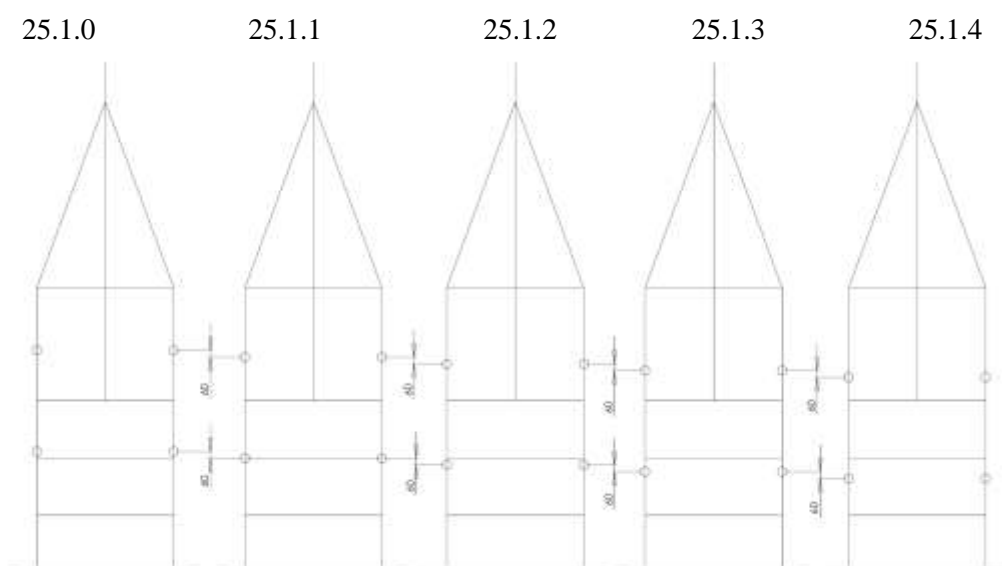


Figura 35. Alternativas propostas para os apoios do feixe de molas no Modelo 25.1

Como se pode notar na Figura 35, o conjunto de apoios do feixe de molas foi apenas transladado 60 mm para trás em cada uma das alternativas propostas. Para cada novo modelo, foram realizadas três simulações correspondentes àquelas configurações de carregamento explicadas no item 6.1.1. Os resultados estão dispostos nas Tabelas 14, 15 e 16.

Tabela 14. Resultados para as novas localizações de apoio – configuração 1

	<b>Configuração 1 – Carregamento Distribuído</b>				
	<b>25.1.0</b>	<b>25.1.1</b>	<b>25.1.2</b>	<b>25.1.3</b>	<b>25.1.4</b>
<b>Máxima Reação nos Apoios</b>	714,52 N	674,83 N	632,83 N	636,03 N	673,48 N
<b>Reação no Engate</b>	16,67 N	21,40 N	26,25 N	31,37 N	36,62 N
<b>Reação no Cambão</b>	201,49 N	203,93 N	206,64 N	210,17 N	214,76 N
<b>Máxima Tensão</b>	63,90 MPa	51,58 MPa	47,29 MPa	51,74 MPa	56,23 MPa
<b>Fator de segurança mínimo</b>	5,48	6,79	7,40	6,76	6,22
<b>Local</b>	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio dianteiro	Apoio dianteiro

Tabela 15. Resultados para as novas localizações de apoio – configuração 2

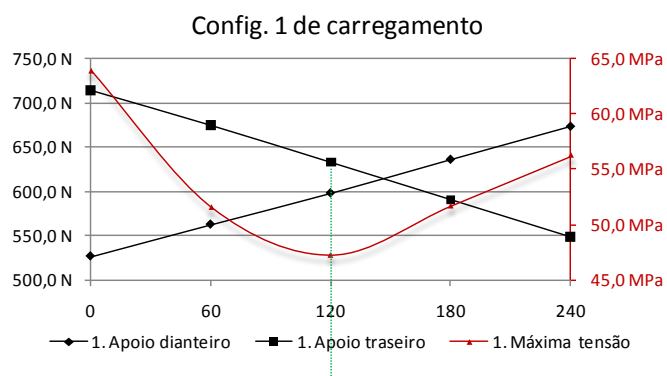
	<b>Configuração 2 – Carregamento Frontal</b>				
	<b>25.1.0</b>	<b>25.1.1</b>	<b>25.1.2</b>	<b>25.1.3</b>	<b>25.1.4</b>
<b>Máxima Reação nos Apoios</b>	914,40 N	962,67 N	1005,30 N	1040,20 N	1065,70 N
<b>Reação no Engate</b>	30,49 N	39,02 N	47,98 N	57,22 N	66,60 N
<b>Reação no Cambão</b>	364,58 N	370,09 N	376,55 N	384,85 N	395,56 N
<b>Máxima Tensão</b>	69,98 MPa	77,95 MPa	85,98 MPa	94,07 MPa	102,20 MPa

	Configuração 2 – Carregamento Frontal				
	25.1.0	25.1.1	25.1.2	25.1.3	25.1.4
<b>Fator de segurança mínimo</b>	5,00	4,49	4,07	3,72	3,42
<b>Local</b>	Apoio dianteiro	Apoio dianteiro	Apoio dianteiro	Apoio dianteiro	Apoio dianteiro

Tabela 16. Resultados para as novas localizações de apoio – configuração 3

	Configuração 3 – Carregamento Traseiro				
	25.1.0	25.1.1	25.1.2	25.1.3	25.1.4
<b>Máxima Reação nos Apoios</b>	1170,70 N	1125,50 N	1070,60 N	1012,10 N	949,02 N
<b>Reação no Engate</b>	-4,44 N	-4,26 N	-4,05 N	-3,68 N	-3,21 N
<b>Reação no Cambão</b>	29,35 N	25,59 N	21,63 N	16,91 N	12,41 N
<b>Máxima Tensão</b>	111,79 MPa	90,25 MPa	76,56 MPa	63,94 MPa	52,06 MPa
<b>Fator de segurança mínimo</b>	3,13	3,88	4,57	5,47	6,72
<b>Local</b>	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro

A Figura 36 ilustra os dados dispostos nas tabelas acima de forma mais clara.





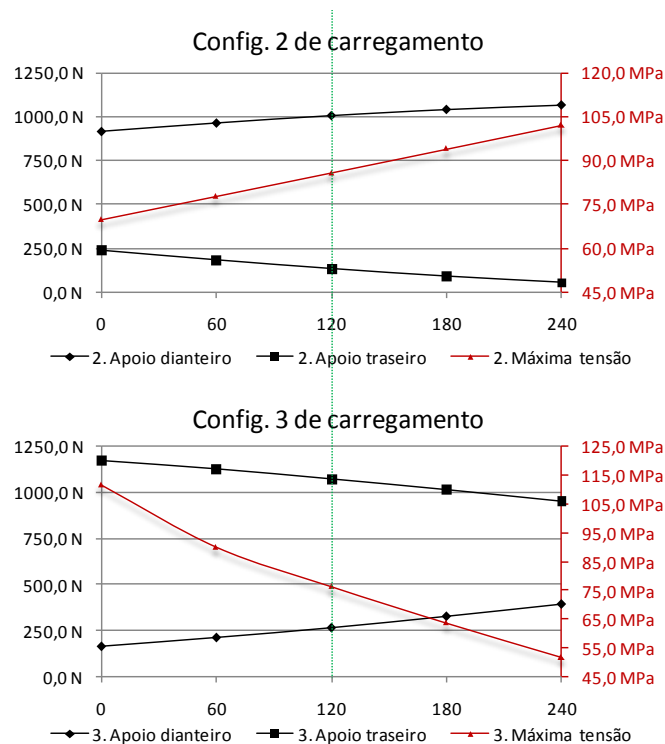


Figura 36. Gráfico de forças e tensões na estrutura para cada alternativa

Analisando a Figura 36, nota-se que, à medida que os apoios são transladados para trás (para primeira configuração de carregamento), a carga fica mais bem distribuída nos apoios até o ponto em que se observa o apoio dianteiro mais solicitado do que o traseiro. O ponto em que as duas retas do primeiro gráfico se encontram seria o ponto ótimo, no qual as reações em cada um dos quatro apoios do feixe de molas são iguais e mínimas.

A partir dos resultados obtidos, optou-se pelo Modelo 25.1.2 para dar continuidade ao processo de otimização.

### 10.3. CÁLCULO DE UM FATOR DE SEGURANÇA APROPRIADO

Para calcular um valor para o fator de segurança deste projeto, foi utilizada a abordagem contida no livro Projeto Mecânico de Elementos de máquinas, de Jack A. Collins [12], que assume valores entre - 4 a 4, para avaliar os oito itens subsequentes:

- I. A precisão com que podem ser determinadas as cargas, forças e deflexões ou outros agentes indutores de falha;
- II. A precisão com que as tensões ou outros fatores de severidade de carregamento podem ser determinados a partir das forças ou de outros indutores de falhas;
- III. A precisão com que as resistências à falha ou outras medidas de falha podem ser determinadas para o material selecionado segundo o modo de falha adequado;
- IV. A necessidade de se restringir material, peso, espaço ou custo;

- V. A gravidade das consequências da falha em termos de vidas humanas e/ou danos a propriedade;
- VI. A qualidade da mão de obra na fabricação;
- VII. As condições de operação;
- VIII. A qualidade da inspeção e da manutenção disponível ou possível durante a operação.

Os valores de -4 a 4 tem o seguinte significado:

- 1: mudança levemente necessária do fator de segurança;
- 2: mudança moderadamente necessária do fator de segurança;
- 3: mudança fortemente necessária do fator de segurança;
- 4: mudança extremamente necessária do fator de segurança.

Os sinais de “-“ e “+” significam a necessidade de se reduzir e se elevar, respectivamente, o fator de segurança.

Após o julgamento dos itens, foi feita a soma algébrica dos resultados, e a soma obtida é usada na Eq. (28) ou (29) para se obter o fator de segurança.

$$n_d = 1 + \frac{(10 + t)^2}{100} \quad \text{para } t \geq -6 \quad (28)$$

$$n_d = 1,15 \quad \text{para } t < -6 \quad (29)$$

Nas quais  $t$  é o valor da soma algébrica.

Usando esses conhecimentos, foi feita a Tabela 17.

Tabela 17. Fatores para cálculo do fator de segurança

Fator de penalização	Número de Penalização
1. Conhecimento preciso do carregamento	0
2. Cálculo preciso das tensões	0
3. Conhecimento preciso da resistência	1
4. Necessidade de conservação	-2
5. Gravidade das consequências de falha	2
6. Qualidade da fabricação	1
7. Condições de operação	-2
8. Qualidade da inspeção/manutenção	-1

Com essa tabela, chegou a um valor de  $t$  igual a -1. A partir da Eq. (28) obteve-se um  $n_d$  igual a 1,81.

## 10.4. ANÁLISE DE SEÇÕES TRANSVERSAIS ALTERNATIVAS

O esforço que mais contribui para as tensões na estrutura é o fletor. Desta forma, foram propostas algumas seções transversais diferentes procurando aumentar o momento de inércia, levando em consideração uma área transversal mínima possível e o fator de segurança proposto no item 10.3. Tais escolhas, no entanto, se basearam superficialmente também no custo de tais vigas, excluindo perfis em I das alternativas, por exemplo, por possuírem custo de fabricação muito mais elevado do que as demais geralmente fabricadas por dobramento de chapas.

A Figura 37 ilustra os perfis propostos para simulação.

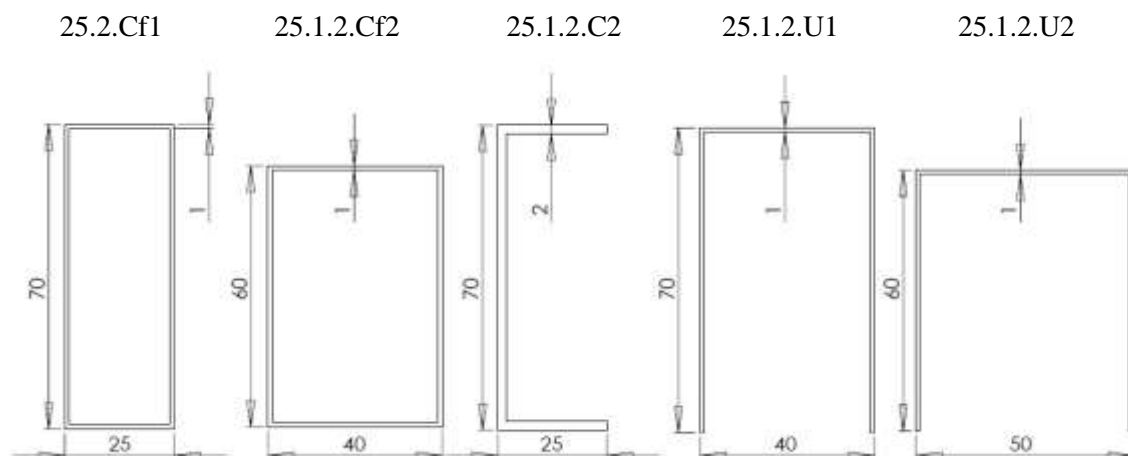


Figura 37. Seções transversais propostas para o Modelo 25.1.2

A Tabela 18 ilustra as principais propriedades de cada perfil.

Tabela 18. Principais propriedades de cada seção proposta

	25.1.2.Cf1	25.1.2.Cf2	25.1.2.C2	25.1.2.U1	25.1.2.U2
<b>Área</b>	186,00 mm <sup>2</sup>	196,00 mm <sup>2</sup>	232,00 mm <sup>2</sup>	178,00 mm <sup>2</sup>	168,00 mm <sup>2</sup>
<b>Momento de inércia (xx)</b>	111922,00 mm <sup>4</sup>	102145,33 mm <sup>4</sup>	163549,33 mm <sup>4</sup>	92743,60 mm <sup>4</sup>	65841,14 mm <sup>4</sup>
<b>Momento de inércia (yy)</b>	22159,50 mm <sup>4</sup>	54785,33 mm <sup>4</sup>	12776,90 mm <sup>4</sup>	57819,33 mm <sup>4</sup>	81256,00 mm <sup>4</sup>

De acordo com a tabela, espera-se que as seções U2, U1 e Cf2 promovam os melhores resultados por possuírem maior momento de inércia em relação ao eixo y. É necessário, no entanto, que a seção também seja capaz de suportar os esforços causados pelo cambão no furo da primeira viga transversal.

Em todas as simulações, foi utilizada a seção mostrada na Figura 38 para o cambão. O cambão de reboques leves é, geralmente, de seção circular por questão de este perfil resistir melhor às tensões torcionais que surgem durante a utilização e apareceriam em uma análise dinâmica. Para manter tal propriedade, manteve-se a seção do cambão circular, porém sua espessura foi diminuída.

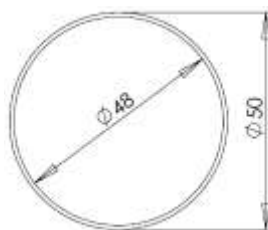


Figura 38. Seção proposta para o cambão

Os resultados apresentados pelas simulações de cada modelo proposto estão dispostos nas Tabelas 19, 20 e 21.

Tabela 19. Resultados para as novas seções propostas – configuração 1

	Configuração 1 – Carregamento Distribuído				
	25.1.2.Cf1	25.1.2.Cf2	25.1.2.C2	25.1.2.U1	25.1.2.U2
<b>Máxima Reação nos Apoios</b>	636,29 N	634,18 N	637,16 N	634,21 N	633,73 N
<b>Reação no Engate</b>	22,65 N	26,87 N	20,68 N	27,00 N	28,13 N
<b>Reação no Cambão</b>	232,83 N	201,75 N	247,89 N	200,63 N	191,20 N
<b>Máxima Tensão</b>	168,00 MPa	60,80 MPa	284,43 MPa	67,37 MPa	41,72 MPa
<b>Fator de segurança mínimo</b>	2,08	5,76	1,23	5,195	8,39
<b>Local</b>	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro

Tabela 20. Resultados para as novas seções propostas – configuração 2

	Configuração 2 – Carregamento Frontal				
	25.1.2.Cf1	25.1.2.Cf2	25.1.2.C2	25.1.2.U1	25.1.2.U2
<b>Máxima Reação nos Apoios</b>	980,03 N	1010,20 N	963,40 N	1011,20 N	1020,00 N
<b>Reação no Engate</b>	41,59 N	48,99 N	38,21 N	49,22 N	51,23 N
<b>Reação no Cambão</b>	423,85 N	366,34 N	453,54 N	364,19 N	346,81 N
<b>Máxima Tensão</b>	304,90 MPa	110,34 MPa	516,17 MPa	122,26 MPa	75,70 MPa

	<b>Configuração 2 – Carregamento Frontal</b>				
	<b>25.1.2.Cf1</b>	<b>25.1.2.Cf2</b>	<b>25.1.2.C2</b>	<b>25.1.2.U1</b>	<b>25.1.2.U2</b>
<b>Fator de segurança mínimo</b>	1,15	3,17	0,68	2,86	4,62
<b>Local</b>	Apoio dianteiro	Apoio dianteiro	Apoio dianteiro	Apoio dianteiro	Apoio dianteiro

Tabela 21. Resultados para as novas seções propostas – configuração 3

	<b>Configuração 3 – Carregamento Traseiro</b>				
	<b>25.1.2.Cf1</b>	<b>25.1.2.Cf2</b>	<b>25.1.2.C2</b>	<b>25.1.2.U1</b>	<b>25.1.2.U2</b>
<b>Máxima Reação nos Apoios</b>	1074,80 N	1074,20 N	1074,80 N	1074,20 N	1073,90 N
<b>Reação no Engate</b>	-6,65 N	-3,66 N	-9,39 N	-3,58 N	-2,94 N
<b>Reação no Cambão</b>	31,83 N	20,14 N	41,14 N	19,81 N	16,92 N
<b>Máxima Tensão</b>	281,21 MPa	97,49 MPa	487,71 MPa	107,78 MPa	65,73 MPa
<b>Fator de segurança mínimo</b>	1,24	3,59	0,72	3,25	5,32
<b>Local</b>	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro	Apoio traseiro

Conforme esperado, a seção U2 apresentou melhor comportamento. Tal fato se deve não somente ao momento de inércia vantajoso, mas também à altura do perfil. A tensão normal decorrente de esforços fletores é proporcional à distância entre o centróide do perfil e sua superfície, de acordo com a Eq. (30), explicada pela Figura 39.

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (30)$$

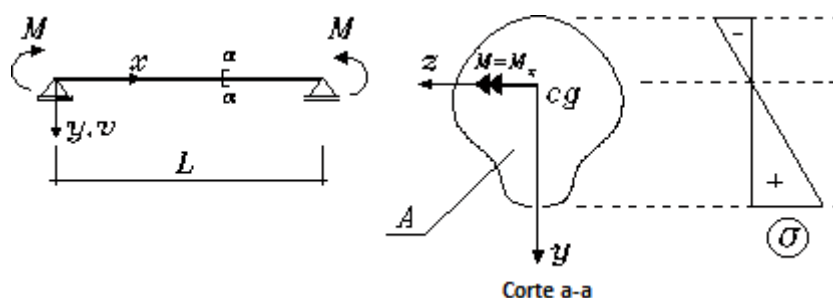


Figura 39. Tensão normal devido ao momento fletor

A partir do Modelo 25.1.2.U2, que melhor se comportou às solicitações, é necessário calcular a nova carga útil, simulá-lo novamente e verificar se sua seção é capaz de suportar a força e o concentrador de tensões gerado na interseção entre o cambão e a primeira viga transversal.

### 10.5. CÁLCULO DA NOVA CARGA ÚTIL E CERTIFICAÇÃO DA SEÇÃO ESCOLHIDA (MODELO 25.1.2.U2)

Para calcular a nova carga útil, primeiro é necessário verificar quanto foi economizado de material entre o modelo original Rondon e o modelo proposto até então. Desta forma, as Tabelas 22 e 23 ilustram o cálculo da massa dos dois chassis.

Tabela 22. Cálculo de volume de cada chassi

	RDN			25.1.2.U2		
	Área	Tamanho	Volume	Área	Tamanho	Volume
<b>Cambão</b>	301,59 mm <sup>2</sup>	2000,0 mm	603,19 cm <sup>3</sup>	153,94 mm <sup>2</sup>	3010,0 mm	463,35 cm <sup>3</sup>
<b>Vigas laterais</b>	344,00 mm <sup>2</sup>	2500,0 mm	860,00 cm <sup>3</sup>	168,00 mm <sup>2</sup>	2500,0 mm	420,00 cm <sup>3</sup>
<b>Vigas do cambão até a primeira viga transversal</b>	344,00 mm <sup>2</sup>	1755,7 mm	604,0 cm <sup>3</sup>	168,00 mm <sup>2</sup>	1755,7 mm	294,96 cm <sup>3</sup>
<b>Primeira viga transversal</b>	344,00 mm <sup>2</sup>	1200,0 mm	412,80 cm <sup>3</sup>	168,00 mm <sup>2</sup>	1200,0 mm	201,60 cm <sup>3</sup>
<b>Segunda viga transversal</b>	344,00 mm <sup>2</sup>	1200,0 mm	412,80 cm <sup>3</sup>	168,00 mm <sup>2</sup>	1200,0 mm	201,60 cm <sup>3</sup>
<b>Terceira viga transversal</b>	344,00 mm <sup>2</sup>	1200,0 mm	412,80 cm <sup>3</sup>	168,00 mm <sup>2</sup>	1200,0 mm	201,60 cm <sup>3</sup>
<b>Quarta viga transversal</b>	344,00 mm <sup>2</sup>	1200,0 mm	412,80 cm <sup>3</sup>	168,00 mm <sup>2</sup>	1200,0 mm	201,60 cm <sup>3</sup>
<b>Pára-choque traseiro</b>	344,00 mm <sup>2</sup>	1600,0 mm	550,40 cm <sup>3</sup>	168,00 mm <sup>2</sup>	1600,0 mm	268,80 cm <sup>3</sup>
<b>Total</b>	4268,75 cm <sup>3</sup>			2253,51 cm <sup>3</sup>		

A partir da densidade do Aço AISI 1020 Cold Rolled (7,87g/cm³) [11], obtém-se a massa das duas estruturas.

Tabela 23. Cálculo de massa de cada chassi

	<b>RDN</b>	<b>25.1.2.U2</b>
<b>Volume</b>	4268,75 cm³	2253,51 cm³
<b>Massa</b>	33595,05 g	17735,14 g

Desta forma, foram economizados 15,86 kg (52,79%) por meio da otimização proposta até então. De acordo com a Eq. (30) que rege os reboques leves:

$$PBT = 500 \text{ kgf} = Tara + Carga \text{ Útil} \quad (31)$$

Deve-se, então, adicionar 15,86 kg à carga útil, tornando-se necessário re-simular a estrutura, desta vez para 285,86 kgf de carga. Os resultados, para este novo carregamento, obtidos para o Modelo 25.1.2.U2 estão dispostos na Tabela 24.

Tabela 24. Resultados obtidos para o Modelo 25.1.2.U2 e 285,86 kgf

	<b>Configuração 1 (distribuído)</b>	<b>Configuração 2 (frontal)</b>	<b>Configuração 3 (traseiro)</b>
<b>Máxima Reação nos Apoios</b>	671,29 N	1080,40 N	1137,50 N
<b>Reação no Engate</b>	29,80 N	54,27 N	-3,11 N
<b>Reação no Cambão</b>	202,53 N	367,36 N	17,93 N
<b>Máxima Tensão</b>	44,19 MPa	80,18 MPa	69,63 MPa
<b>Fator de segurança mínimo</b>	7,92	4,37	5,03
<b>Local</b>	Apoio traseiro	Apoio dianteiro	Apoio traseiro

Os fatores de segurança se mostraram bem conservadores, se comparado àqueles obtidos para o modelo Rondon original. É necessário, porém, simular a interação entre o cambão e a primeira viga transversal para verificar se é ou não possível utilizar o Modelo 25.1.2.U2.

Desta forma, foi realizada uma simulação no Workbench por elementos sólidos para a pior condição de carregamento possível, configuração 2 que forneceu uma força de 367,36 N neste local. A Tabela 25 ilustra os resultados obtidos e a Figura 40, o gradiente de tensões.

Tabela 25. Interação entre o cambão e a primeira viga transversal – Modelo 25.1.2.U2

	Força máxima (367,36 N)
Tensão Equivalente de Von Mises Máxima	141,53 MPa
Deformação Máxima	0,69 $\mu$ Strain
Fator de Segurança Mínimo	2,47

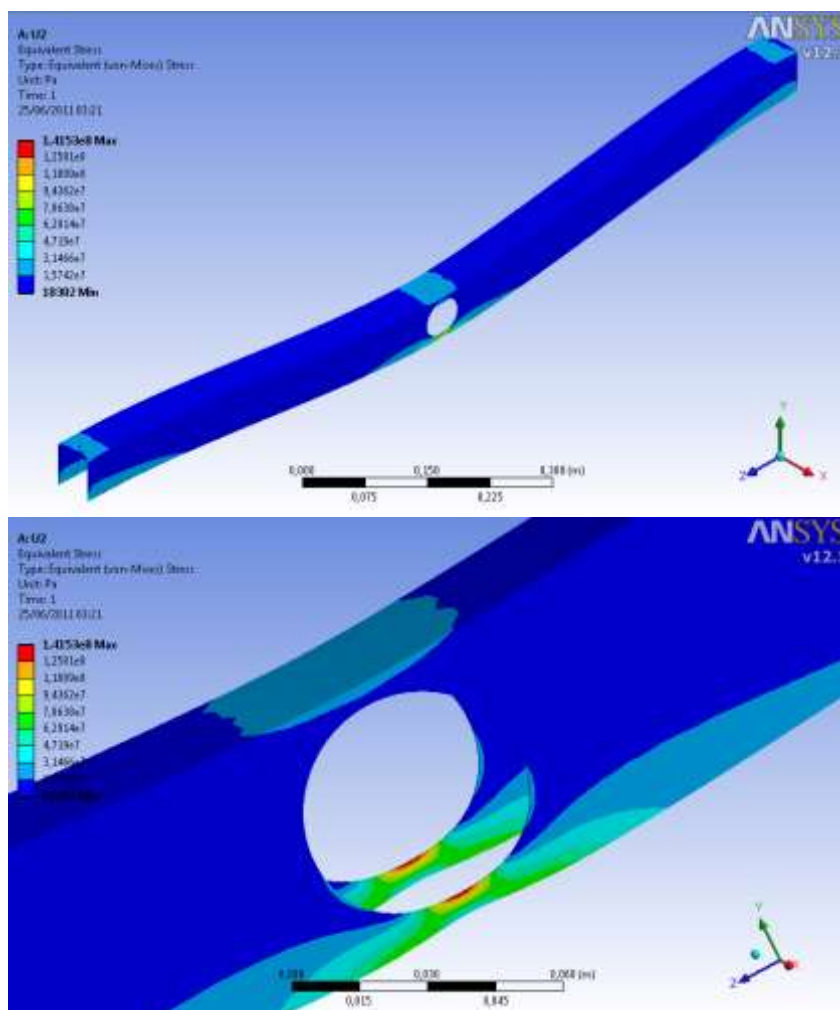


Figura 40. Gradiente de tensões na primeira viga transversal – Modelo 25.1.2.U2

O fator de segurança obtido para este local foi de 2,47. É necessário lembrar, no entanto, que esta simulação se baseou na força obtida como resultado daquela do chassi e, nela, considera-se a primeira



viga transversal como rígida para calcular a força que seria exercida nela pelo cambão. Na realidade, sabe-se que ambas vigas irão fletir e esta força, fornecida pela primeira simulação, de 367,36 N será significativamente menor.

Ainda assim, tal fator de segurança ainda supera aquele calculado para o projeto otimizado.

## 10.6. ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO DO FEIXE DE MOLAS ALTERNATIVAS

A seção transversal proposta possui um ponto negativo no que diz respeito à fixação do apoio do feixe de molas. Como solução, propôs-se a configuração disposta na Figura 41.

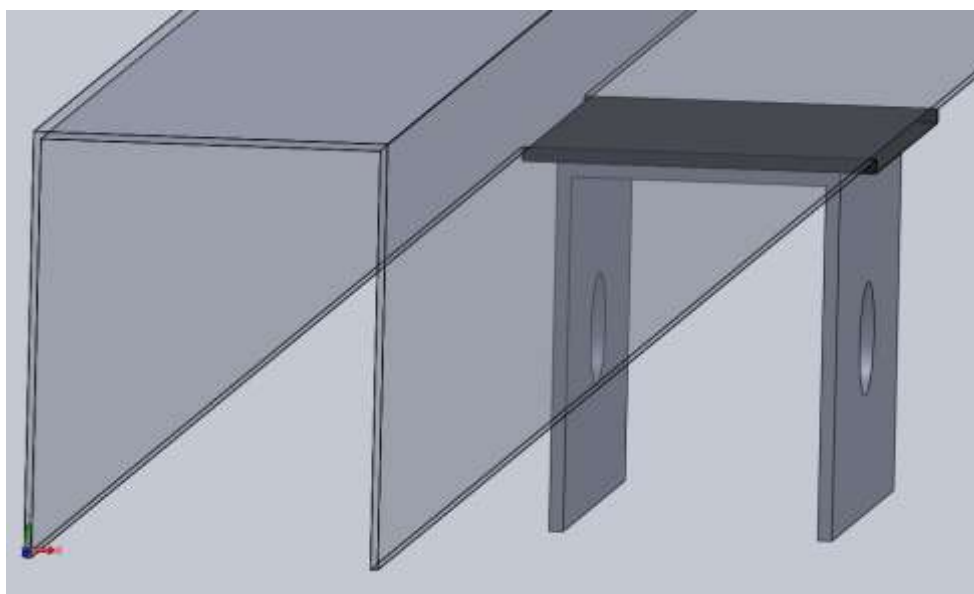


Figura 41. Solução para fixação dos apoios – Modelo 25.1.2.U2

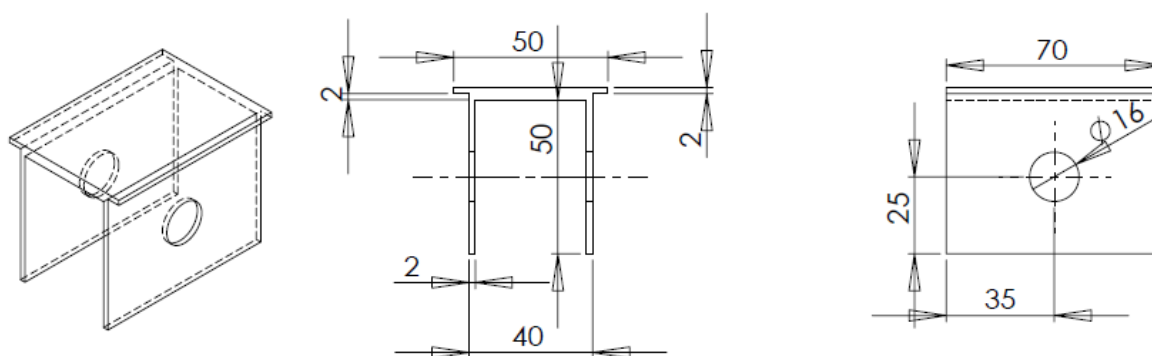


Figura 42. Elemento de fixação dos apoios – Modelo 25.1.2.U2

Abaixo do perfil, uma placa de 2 mm será soldada garantindo maior rigidez e melhor distribuição da carga para o suporte do feixe de molas que, por sua vez, será soldado à placa. Desta forma, a Figura 43 ilustra as restrições e cargas da simulação que foi realizada.

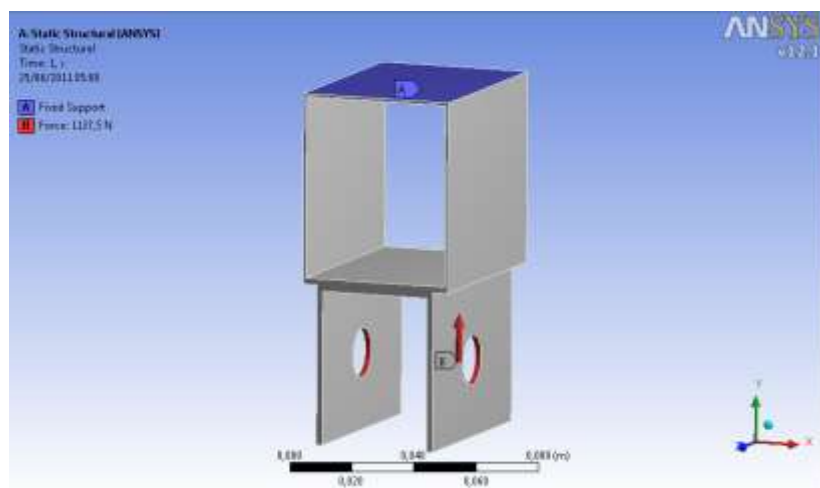


Figura 43. Modelo numérico do apoio do feixe de molas – Modelo 25.1.2.U2

Os resultados da simulação realizada estão dispostos na Tabela 26 e a Figura 44 ilustra os gradientes de tensão observados.

Tabela 26. Resultados obtidos para os apoios do feixe de molas – Modelo 25.1.2.U2

	Força máxima (1137,50 N)
Tensão Equivalente de Von Mises Máxima	52,39 MPa
Deformação Máxima	0,26 $\mu$ Strain
Fator de Segurança Mínimo	6,68

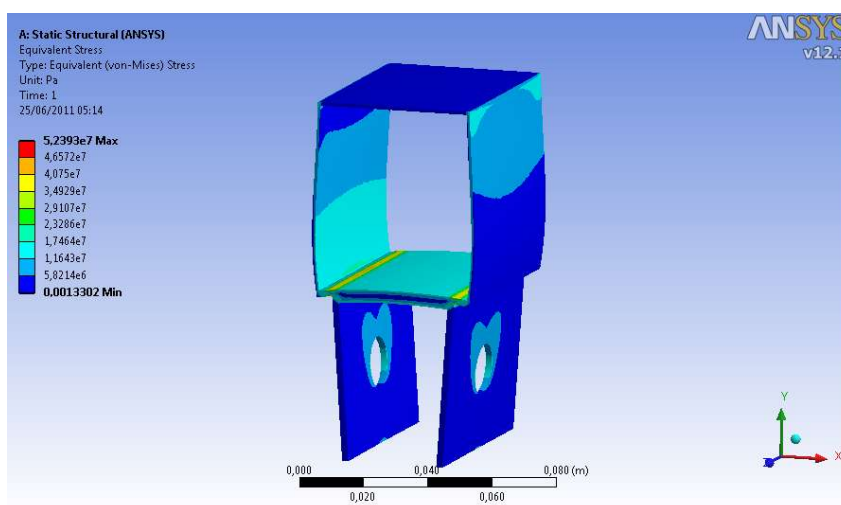


Figura 44. Gradiente de tensão para o apoio do feixe de molas – Modelo 25.1.2.U2

# 11. CONCLUSÕES

*Este capítulo apresenta uma os resultados obtidos neste Projeto de Graduação, as conclusões finais e as sugestões para trabalhos futuros.*

## 11.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 27 compara os resultados do modelo original Rondon e da proposta otimizada (25.1.2.U2).

Tabela 27. Comparação dos resultados obtidos para o chassi e para o feixe de molas

		RDN	25.1.2.U2
Chassi	Máxima tensão equivalente de Von Mises	128,34 MPa	141,53 MPa
	Fator de segurança mínimo	2,73	2,47
	Local	Apoio traseiro do feixe de molas	Furo pelo qual passa o cambão
Apoio do feixe de molas	Máxima tensão equivalente de Von Mises	7,91 MPa	52,39 MPa
	Fator de segurança mínimo	44,25	6,68

Com exceção do ponto de interseção entre o cambão e a primeira viga transversal, o Modelo 25.1.2.U2 possui fatores de segurança maiores em comparação àqueles do projeto original: 1,50, 1,13 e 1,84 vezes para as configurações 1, 2 e 3 de carga, respectivamente. Além disso, os fatores de segurança do Modelo 25.1.2.U2 estão acima daquele calculado para projetos de estruturas de reboques (item 10.3)

Se considerarmos a carga distribuída no compartimento, configuração 1 de carregamento, o fator de segurança da interseção entre o cambão e a primeira viga transversal sobe de 2,47 para 4,49, ficando próximo daqueles apresentados pelo restante do chassi (7,92; 4,37 e 5,03) e pelo apoio do feixe de molas (6,68). Além disso, o índice de eficiência estrutural aumentou de 0,540 para 0,572.

$$\eta_{estr} = \frac{m_{carga\ util}}{PBT} = \frac{285,86\ kgf}{500\ kgf} = 0,572 \quad (32)$$

Foi economizado aproximadamente 53% de massa na estrutura do reboque, valor este que pode ser repassado diretamente para o preço final do veículo. A fabricação do modelo Rondon exigia chapas (e tubos) de aço AISI 1020 Cold Rolled de 2 mm, máquinas de solda, de dobramento de chapas e de perfuração. O chassi do Modelo 25.1.2.U2 será fabricado com chapas do mesmo material, porém com

1 mm de espessura (o mesmo vale para o tubo); sendo os seus apoios do feixe de molas fabricados com chapas do mesmo material com 2 mm de espessura.

O centro do compartimento de carga da estrutura otimizada está situado 120 mm à frente do local onde se encontra o eixo do reboque. Desta forma, quando carregado, o reboque tenderá a ficar em sua posição de equilíbrio, com o engate encostado no chão. A força para elevá-lo e engatá-lo ao carro, no entanto, será um pouco maior do que àquela necessária para fazer o mesmo no modelo Rondon original.

## **11.2. SUGESTÕES DE CONTINUIDADE DO TRABALHO**

Como sugestões de continuidade deste trabalho, foram enumeradas as seguintes:

- I. Análise por extensometria para validação dos resultados apresentados nas simulações
- II. Análise dinâmica da estrutura proposta e dimensionamento do sistema de suspensão, eixo e mancais.
- III. Disponibilizar um projeto completo de um reboque leve para a sociedade através do Departamento de Engenharia Mecânica (ENM) da Universidade de Brasília (UnB)

## 12. BIBLIOGRAFIA

- [1] CONTRAN, **Resoluções e Deliberações**. Disponível em:  
< <http://www.denatran.gov.br/contran.htm>>. Acesso em: 17 jan. 2011.
- [2] Grison, V. **Ferramentas para análise dinâmica e estrutural de um reboque de linha leve**. Tese de mestrado, UFRS. Junho 2005. Disponível em:  
<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5858/000521362.pdf?sequence=1>>.  
Acesso em: 17 jan. 2011
- [3] CONTRAN, **Resolução Nº 63**. Disponível em:  
<[http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/resolucao063\\_98.doc](http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/resolucao063_98.doc)>.  
Acesso em: 11 fev. 2011
- [4] LEI Nº 9.503, **Código de Trânsito Brasileiro**. 1997. Disponível em:  
<<http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L9503.htm>>. Acesso em 17 jan. 2011.
- [5] INMETRO, **Organismos de Inspeção Credenciados**. Disponível em:  
<[http://www.inmetro.gov.br/organismos/resultado\\_consulta.asp?sel\\_tipo\\_relacionamento=13](http://www.inmetro.gov.br/organismos/resultado_consulta.asp?sel_tipo_relacionamento=13)>  
Acesso em: 17 jan. 2011.
- [6] INMETRO, **RTQ 25 - INSPEÇÃO DE VEÍCULOS RODOVIÁRIOS REBOCADOS COM PBT ATÉ 7.500 N - MODIFICAÇÃO OU FABRICAÇÃO ARTESANAL**. 2004. Disponível em:  
< <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC000880.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2011.
- [7] ABNT, **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Disponível em:  
<<http://www.abnt.org.br/>>. Acesso em 11 fev. 2011.
- [8] Hutton, D. V. **Fundamentals of Finite Element Analysis**. 1ª Edição, 2004
- [9] Komatsu, J. S. **Resistência dos materiais**. Volume 1, Edufscar, 2001.
- [10] Filho, A. A. **Elementos Finitos – A base da tecnologia CAE**. Ed. Érica
- [11] MatWeb, **Material Property Data**. Disponível em: <<http://www.matweb.com/>>. Acesso em: 17 jan. 2011.
- [12] Collins, J. A. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas**. 1ª Edição, LTC, 2006.
- [13] Azevedo, A. F. M. **Método dos Elementos Finitos**. Portugal, 1ª Edição, 2003
- [14] DENATRAM, **Portarias**. Disponível em:  
< <http://www.denatran.gov.br/portarias.htm>>. Acesso em: 17 jan. 2011.

- [15] INMETRO, **Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inmetro/>>. Acesso em: 17 jan. 2011.
- [16] Komatsu, J. S. **Resistência dos materiais**. Volume 2, Edufscar, 2001.
- [17] Shigley, J. E., Mischke C. R., Budynas R. G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7ª Edição, Bookman, 2005.

# ANEXOS

		Pág.
<b>Anexo I</b>	<b>Órgãos regulamentadores</b>	<b>61</b>
<b>Anexo II</b>	<b>RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal</b>	<b>69</b>
<b>Anexo III</b>	<b>Desenho Esquemático da Estrutura Original</b>	<b>99</b>
<b>Anexo IV</b>	<b>Desenho Esquemático da Estrutura Proposta (Modelo 25.1.2.U2)</b>	<b>100</b>
<b>Anexo V</b>	<b>Fotos e Resultados – Simulação RDN</b>	<b>101</b>
<b>Anexo VI</b>	<b>Fotos e Resultados – Simulação M25.1.2.U2</b>	<b>108</b>

## **ANEXO I: Órgãos regulamentadores**

---

### **1. SISTEMA NACIONAL DE TRÂNSITO**

O projeto precisa se basear nas legislações impostas pelos órgãos de regulamentação nacionais, tais como CONTRAN, DENATRAN e INMETRO.

O Sistema Nacional de Trânsito é composto pelos seguintes órgãos e entidades: [4]

- I. O Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN, coordenador do Sistema e órgão máximo normativo e consultivo;
- II. Os Conselhos Estaduais de Trânsito - CETRAN e o Conselho de Trânsito do Distrito Federal - CONTRANDIFE, órgãos normativos, consultivos e coordenadores;
- III. Os órgãos e entidades executivos de trânsito da União (DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito), dos Estados (DETRAN – Departamentos de Trânsito Estaduais), do Distrito Federal (DETRAN/DF) e dos Municípios;
- IV. Os órgãos e entidades executivos rodoviários da União (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT), dos Estados (DER – Departamento de Estradas de Rodagem dos estados), do Distrito Federal (DER/DF) e dos Municípios;
- V. A Polícia Rodoviária Federal;
- VI. As Polícias Militares dos Estados e do Distrito Federal; e
- VII. As Juntas Administrativas de Recursos de Infrações - JARI.

Para o desenvolvimento de um projeto que esteja de acordo com as condições de contorno previstas no Código de Trânsito Brasileiro (CTB) e nas Regulamentações Técnicas de Qualidade (RTQ's), fez-se uma lista de todas as regulamentações a respeito de reboques presentes em cada órgão nacional. Abaixo, consta uma breve descrição das responsabilidades de cada órgão, assim como as regulamentações emitidas.

#### **1.1. CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito**

O CONTRAN, por definição, é o coordenador do Sistema Nacional de Trânsito e órgão máximo normativo e consultivo. Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), compete ao CONTRAN (Art. 12): [4]

- I. Estabelecer as normas regulamentares referidas neste Código e as diretrizes da Política Nacional de Trânsito;
- II. Coordenar os órgãos do Sistema Nacional de Trânsito, objetivando a integração de suas atividades;
- III. (VETADO)
- IV. Criar Câmaras Temáticas;



## Anexo I: Órgãos regulamentadores

- V. Estabelecer seu regimento interno e as diretrizes para o funcionamento dos CETRAN (Conselhos Estaduais de Trânsito) e CONTRANDIFE (Conselho de Trânsito do Distrito Federal);
- VI. Estabelecer as diretrizes do regimento das JARI (Juntas Administrativas de Recursos de Infrações);
- VII. Zelar pela uniformidade e cumprimento das normas contidas neste Código e nas resoluções complementares;
- VIII. Estabelecer e normatizar os procedimentos para a imposição, a arrecadação e a compensação das multas por infrações cometidas em unidade da Federação diferente da do licenciamento do veículo;
- IX. Responder às consultas que lhe forem formuladas, relativas à aplicação da legislação de trânsito;
- X. Normatizar os procedimentos sobre a aprendizagem, habilitação, expedição de documentos de condutores, e registro e licenciamento de veículos;
- XI. Aprovar, complementar ou alterar os dispositivos de sinalização e os dispositivos e equipamentos de trânsito;
- XII. Apreçar os recursos interpostos contra as decisões das instâncias inferiores, na forma deste Código;
- XIII. Avocar, para análise e soluções, processos sobre conflitos de competência ou circunscrição, ou, quando necessário, unificar as decisões administrativas; e
- XIV. Dirimir conflitos sobre circunscrição e competência de trânsito no âmbito da União, dos Estados e do Distrito Federal.

Dentre as resoluções e deliberações emitidas pelo CONTRAN, aquelas que tratam de reboques, veículos rebocados ou fabricação artesanal de veículos estão disponíveis nas Tabelas 28 e 29:

Tabela 28. Resoluções emitidas pelo CONTRAN. [1]

Resolução	Data	Publicação	Assunto	Situação
<u>25</u>	21.05.98	22.05.98	Dispõe sobre modificações de veículos e dá outras providências	Revogada pela Resolução Contran 362/10
<u>47</u>	revogada	22.05.98	Define as características e estabelece critérios para o reboque de carretas por motocicleta.	Revogada pela Resolução 69/98.
<u>63</u>	21.05.98	22.05.98	Disciplina o registro e licenciamento de veículos de fabricação artesanal.	Em vigor

# Anexo I: Órgãos regulamentadores

Resolução	Data	Publicação	Assunto	Situação
<u>69</u>	23.09.98	25.09.98	Revoga a Resolução no 47, de 21 de maio de 1998, que define as características e estabelece critérios para o reboque de carretas por motocicletas.	Em vigor
<u>132</u>	02.04.02	12.04.02	Estabelece a obrigatoriedade de utilização de película refletiva para prover melhores condições de visibilidade diurna e noturna em veículos de transporte de carga em circulação.	Em vigor
<u>146</u>	27.08.03	02.09.03	Dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para a fiscalização da velocidade de veículos automotores, reboques e semi-reboques, conforme o Código de Trânsito Brasileiro.	Em vigor.
<u>157</u>	22.04.04	07.05.04	Fixa especificações para os extintores de incêndio, equipamento de uso obrigatório nos veículos automotores, elétricos, reboque e semi-reboque, de acordo com o Artigo 105 do Código de Trânsito Brasileiro.	Em vigor
<u>197</u>	---	---	Retificação.	---
<u>197</u>	25.07.06	31.07.06	Regulamenta o dispositivo de acoplamento mecânico para reboque (engate) utilizado em veículos com PBT de até 3.500kg e dá outras providências.	Em vigor
<u>273</u>	04.04.08	29.04.08	Regulamenta a utilização de semi-reboques por motocicletas e motonetas, define características, estabelece critérios e dá outras providências.	Em vigor com efeitos a partir de 90 dias após publicação.
<u>284</u>	01.07.08	03.07.08	Acresce § 3º ao art. 9º da Resolução nº 210/2006, do CONTRAN, para liberar da exigência de eixo auto-direcional os semi-reboques com apenas dois eixos distanciados.	Em vigor
<u>333</u>	06.11.09	11.11.09	Restabelece a vigência da Resolução n.º 157, de 22 de abril de 2004, dando nova redação ao artigo 8º, que fixa especificações para os extintores de incêndio sendo equipamentos de uso obrigatório nos veículos automotores, elétricos, reboque e semi-reboque, de acordo com o artigo 105 do Código de Trânsito Brasileiro e dá outras providências.	Em vigor
<u>362</u>	15.10.10	08.11.10	Estabelece a classificação de danos em veículos decorrentes de acidentes e os procedimentos para a regularização ou baixa dos veículos envolvidos e dá outras providências.	Em vigor

## Anexo I: Órgãos regulamentadores

Tabela 29. Deliberações emitidas pelo CONTRAN. [1]

Deliberação	Data	Assunto	Situação
<u>38</u>	11.07.2003	Dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para a fiscalização da velocidade, de avanço de sinal vermelho e da parada sobre a faixa de pedestres de veículos automotores, reboques e semi-reboques, conforme o Código de Trânsito Brasileiro.	<u>Referendada pela Resolução nº. 146/03.</u>
<u>29</u>	19.12.2001	Dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para fiscalização da velocidade de veículos automotores, elétricos, reboques e semi-reboques, conforme o Código de Trânsito Brasileiro.	<u>Referendada pela Resolução nº. 131/02.</u>

### 1.2. DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

O DENATRAN, por definição, é o órgão máximo executivo de trânsito da União. Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), compete ao DENATRAN (Art. 19): [4]

- I. Cumprir e fazer cumprir a legislação de trânsito e a execução das normas e diretrizes estabelecidas pelo CONTRAN, no âmbito de suas atribuições;
- II. Proceder à supervisão, à coordenação, à correição dos órgãos delegados, ao controle e à fiscalização da execução da Política Nacional de Trânsito e do Programa Nacional de Trânsito;
- III. Articular-se com os órgãos dos Sistemas Nacionais de Trânsito, de Transporte e de Segurança Pública, objetivando o combate à violência no trânsito, promovendo, coordenando e executando o controle de ações para a preservação do ordenamento e da segurança do trânsito;
- IV. Apurar, prevenir e reprimir a prática de atos de improbidade contra a fé pública, o patrimônio, ou a administração pública ou privada, referentes à segurança do trânsito;
- V. Supervisionar a implantação de projetos e programas relacionados com a engenharia, educação, administração, policiamento e fiscalização do trânsito e outros, visando à uniformidade de procedimento;
- VI. Estabelecer procedimentos sobre a aprendizagem e habilitação de condutores de veículos, a expedição de documentos de condutores, de registro e licenciamento de veículos;
- VII. Expedir a Permissão para Dirigir, a Carteira Nacional de Habilitação, os Certificados de Registro e o de Licenciamento Anual mediante delegação aos órgãos executivos dos Estados e do Distrito Federal;
- VIII. Organizar e manter o Registro Nacional de Carteiras de Habilitação - RENACH;
- IX. Organizar e manter o Registro Nacional de Veículos Automotores - RENAVAM;
- X. Organizar a estatística geral de trânsito no território nacional, definindo os dados a serem fornecidos pelos demais órgãos e promover sua divulgação;

## Anexo I: Órgãos regulamentadores

- XI. Estabelecer modelo padrão de coleta de informações sobre as ocorrências de acidentes de trânsito e as estatísticas do trânsito;
- XII. Administrar fundo de âmbito nacional destinado à segurança e à educação de trânsito;
- XIII. Coordenar a administração da arrecadação de multas por infrações ocorridas em localidade diferente daquela da habilitação do condutor infrator e em unidade da Federação diferente daquela do licenciamento do veículo;
- XIV. Fornecer aos órgãos e entidades do Sistema Nacional de Trânsito informações sobre registros de veículos e de condutores, mantendo o fluxo permanente de informações com os demais órgãos do Sistema;
- XV. Promover, em conjunto com os órgãos competentes do Ministério da Educação e do Desporto, de acordo com as diretrizes do CONTRAN, a elaboração e a implementação de programas de educação de trânsito nos estabelecimentos de ensino;
- XVI. Elaborar e distribuir conteúdos programáticos para a educação de trânsito;
- XVII. Promover a divulgação de trabalhos técnicos sobre o trânsito;
- XVIII. Elaborar, juntamente com os demais órgãos e entidades do Sistema Nacional de Trânsito, e submeter à aprovação do CONTRAN, a complementação ou alteração da sinalização e dos dispositivos e equipamentos de trânsito;
- XIX. Organizar, elaborar, complementar e alterar os manuais e normas de projetos de implementação da sinalização, dos dispositivos e equipamentos de trânsito aprovados pelo CONTRAN;
- XX. Expedir a permissão internacional para conduzir veículo e o certificado de passagem nas alfândegas, mediante delegação aos órgãos executivos dos Estados e do Distrito Federal;
- XXI. Promover a realização periódica de reuniões regionais e congressos nacionais de trânsito, bem como propor a representação do Brasil em congressos ou reuniões internacionais;
- XXII. Propor acordos de cooperação com organismos internacionais, com vistas ao aperfeiçoamento das ações inerentes à segurança e educação de trânsito;
- XXIII. Elaborar projetos e programas de formação, treinamento e especialização do pessoal encarregado da execução das atividades de engenharia, educação, policiamento ostensivo, fiscalização, operação e administração de trânsito, propondo medidas que estimulem a pesquisa científica e o ensino técnico-profissional de interesse do trânsito, e promovendo a sua realização;
- XXIV. Opinar sobre assuntos relacionados ao trânsito interestadual e internacional;
- XXV. Elaborar e submeter à aprovação do CONTRAN as normas e requisitos de segurança veicular para fabricação e montagem de veículos, consoante sua destinação;

## Anexo I: Órgãos regulamentadores

- XXVI. Estabelecer procedimentos para a concessão do código marcamodelo dos veículos para efeito de registro, emplacamento e licenciamento;
- XXVII. Instruir os recursos interpostos das decisões do CONTRAN, ao ministro ou dirigente coordenador máximo do Sistema Nacional de Trânsito;
- XXVIII. Estudar os casos omissos na legislação de trânsito e submetê-los, com proposta de solução, ao Ministério ou órgão coordenador máximo do Sistema Nacional de Trânsito;
- XXIX. Prestar suporte técnico, jurídico, administrativo e financeiro ao CONTRAN.

Dentre as portarias emitidas pelo DENATRAN, aquelas que tratam de reboques, veículos rebocados ou fabricação artesanal de veículos estão disponíveis na Tabela 30:

Tabela 30. Portarias emitidas pelo DENATRAN. [14]

Portaria	Publicação	Assunto	Observação
<u>628</u>	06.09.10	Consolidar as especificações técnicas para o funcionamento e operação do dispositivo antifurto obrigatório nos caminhões tratores, caminhões, reboques e semirreboques	---
<u>29</u>	20.02.09	Isentar da aplicação do pára-choque traseiro, previsto na Resolução CONTRAN nº 152/2003, o veículo SEMI-REBOQUE BASCULANTE...	---
<u>28</u>	20.02.09	Isentar da aplicação do pára-choque traseiro, previsto na Resolução CONTRAN nº 152/2003, o veículo REBOQUE DOLLY...	---
<u>27</u>	20.02.09	Isentar da aplicação do pára-choque traseiro, previsto na Resolução CONTRAN nº 152/2003, o veículo SEMI-REBOQUE CAR.ABERTA...	---
<u>26</u>	20.02.09	Isentar da aplicação do pára-choque traseiro, previsto na Resolução CONTRAN nº 152/2003, o veículo REBOQUE CAR.ABERTA...	---
<u>25</u>	20.02.09	Isentar da aplicação do pára-choque traseiro, previsto na Resolução CONTRAN nº 152/2003, o veículo SEMI-REBOQUE BASCULANTE...	---
<u>34</u>	15.07.05	Fica autorizada a circulação de caminhões, caminhões-tratores, ônibus e microônibus, plataformas de ônibus, chassis de ônibus, de microônibus e de caminhões, reboques e semi-reboques, novos, destinados a exportação, entre o fabricante, transformador ou encarregador e a fronteira nacional ou local de embarque.	---

### **1.3. INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial**

O INMETRO atua como secretaria executiva do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – CONMETRO, que por sua vez é o órgão normativo do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO).

Dentre seus objetivos, estão: [15]

- I. Fortalecer as empresas nacionais, aumentando sua produtividade por meio da adoção de mecanismos destinados à melhoria da qualidade de produtos e serviços;
- II. Prover confiança à sociedade brasileira nas medições e nos produtos, através da metrologia e da avaliação da conformidade, promovendo a harmonização das relações de consumo, a inovação e a competitividade do País.

Dentre as competências e atribuições do INMETRO destacam-se: [15]

- I. Executar as políticas nacionais de metrologia e da qualidade;
- II. Verificar a observância das normas técnicas e legais, no que se refere às unidades de medida, métodos de medição, medidas materializadas, instrumentos de medição e produtos pré-medidos;
- III. Manter e conservar os padrões das unidades de medida, assim como implantar e manter a cadeia de rastreabilidade dos padrões das unidades de medida no País, de forma a torná-las harmônicas internamente e compatíveis no plano internacional, visando, em nível primário, à sua aceitação universal e, em nível secundário, à sua utilização como suporte ao setor produtivo, com vistas à qualidade de bens e serviços;
- IV. Fortalecer a participação do País nas atividades internacionais relacionadas com metrologia e qualidade, além de promover o intercâmbio com entidades e organismos estrangeiros e internacionais;
- V. Prestar suporte técnico e administrativo ao Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - CONMETRO, bem assim aos seus comitês de assessoramento, atuando como sua Secretaria-Executiva;
- VI. Fomentar a utilização da técnica de gestão da qualidade nas empresas brasileiras;
- VII. Planejar e executar as atividades de acreditação de laboratórios de calibração e de ensaios, de provedores de ensaios de proficiência, de organismos de certificação, de inspeção, de treinamento e de outros, necessários ao desenvolvimento da infra-estrutura de serviços tecnológicos no País; e
- VIII. Desenvolvimento, no âmbito do SINMETRO, de programas de avaliação da conformidade, nas áreas de produtos, processos, serviços e pessoal, compulsórios ou voluntários, que envolvem a aprovação de regulamentos.

## Anexo I: Órgãos regulamentadores

Dentre as portarias emitidas pelo INMETRO, aquelas que tratam de reboques, veículos rebocados ou fabricação artesanal de veículos estão disponíveis na Tabela 31:

Tabela 31. Portarias emitidas pelo INMETRO. [6]

Portaria	Data	Publicação	Assunto	Situação
<u>30</u>	22.01.2004	27.01.2004	Estabelecer que as inspeções de segurança veicular, executadas por entidades credenciadas pelo INMETRO, devem ser feitas de acordo com os requisitos estabelecidos nos Regulamentos Técnicos da Qualidade do Inmetro “Inspeção de veículos rodoviários automotores - modificação ou fabricação artesanal” (RTQ 24) e “Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N - modificação ou fabricação artesanal” (RTQ 25).	Em vigor

**ANEXO II: RTQ 25 – Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até  
7.500N – modificação ou fabricação artesanal**

---

**RTQ 25 - INSPEÇÃO DE VEÍCULOS RODVIÁRIOS REBOCADOS COM PBT ATÉ 7.500 N -  
MODIFICAÇÃO OU FABRICAÇÃO ARTESANAL**

**SUMÁRIO**

1. Objetivo
2. Responsabilidade
3. Documentos Complementares
4. Siglas
5. Definições
6. Condições Gerais
7. Condições Específicas
8. Resultado da Inspeção

Anexo - Lista de Inspeção de Veículos Rebocados Modificados ou Fabricados Artesanalmente  
(PBT até 7.500 N)

**1. OBJETIVO**

Este Regulamento Técnico estabelece os critérios a serem seguidos por Organismos de Inspeção Credenciados pelo Inmetro para inspeção de veículos rodoviários rebocados modificados ou fabricados artesanalmente, com PBT até 7.500 N (750 kgf).

**2. RESPONSABILIDADE**

A responsabilidade pela revisão deste Regulamento Técnico é do Inmetro.

**3. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES**

CTB - Lei 9.503/97

Resolução Contran nº 25/1998

NIE-DQUAL-025 do Inmetro

NIT-DICOR-002 do Inmetro

Portaria Conjunta Denatran e Inmetro nº 01/2002

NBR 10966: Desempenho de sistemas de freio para veículos rodoviários

NBR 14040: Inspeção de segurança veicular - Veículos leves e pesados

- Parte 1 Diretrizes básicas
- Parte 2 Identificação
- Parte 3 Equipamentos obrigatórios e proibidos
- Parte 4 Sinalização
- Parte 5 Iluminação



## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

- Parte 6 Freios
- Parte 7 Direção
- Parte 8 Eixos e suspensão
- Parte 9 Pneus e rodas
- Parte 10 Sistemas e componentes complementares
- Parte 11 Estação de inspeção de segurança veicular

### 4. SIGLAS

Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
Dqual	Diretoria de Qualidade
Contran	Conselho Nacional de Trânsito
Denatran	Departamento Nacional de Trânsito
SBAC	Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade
RBC	Rede Brasileira de Calibração
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
RTQ	Regulamento Técnico da Qualidade
CSV	Certificado de Segurança Veicular
OIC	Organismo de Inspeção Credenciado
CRLV	Certificado de Registro e Licenciamento de Veículo
CRV	Certificado de Registro de Veículo
NBR	Norma Brasileira Registrada
PBT	Peso Bruto Total

### 5. DEFINIÇÕES

Para efeito de utilização deste Regulamento Técnico, são adotadas as definições constantes na NBR 14040 (Partes 6 e 8), na NIT-DICOR-002 do Inmetro, Portaria Conjunta Denatran e Inmetro nº 01/2002, e as seguintes:

#### 5.1 Alteração das características originais do veículo

Toda e qualquer modificação realizada no veículo, referente à sua parte estrutural e aos componentes originais de fábrica.

#### 5.2 Veículo modificado

Veículo que sofreu alteração de suas características originais de fábrica.

#### 5.3 Veículo fabricado artesanalmente

## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

Veículo projetado e fabricado sob responsabilidade de pessoa física ou jurídica, atendendo a todos os preceitos de construção veicular, de modo que o nome do primeiro proprietário sempre coincida com o nome do fabricante.

### 5.4 Inspeção visual

Avaliação realizada através da observação visual, auditiva e sensorial do funcionamento dos comandos e componentes do veículo.

### 5.5 Inspeção mecanizada

Avaliação realizada com o auxílio de equipamentos específicos, que determina, através de medida, a condição de desempenho de componentes e/ou sistemas do veículo.

### 5.6 Categoria O

Veículos rodoviários rebocados.

### 5.7 Categoria O1

Veículo rodoviário rebocado com um eixo, que não seja semi-reboque, com PBT até 7.500 N (750 kgf).

## 6. CONDIÇÕES GERAIS

### 6.1 Documentação a ser apresentada

Para a execução da inspeção de segurança veicular, para fins de caracterização do veículo rodoviário, o OIC deve solicitar a apresentação dos seguintes documentos:

#### 6.1.1 Veículos modificados

- d) CRLV ou CRV ou documentos fiscais de aquisição do veículo.
- e) Documento de identificação do proprietário ou condutor do veículo.
- f) Documentos fiscais de aquisição dos principais componentes/conjuntos utilizados na modificação do veículo.

#### 6.1.2 Veículos fabricados artesanalmente

- f) Documento de identificação do proprietário ou condutor do veículo.
- g) Desenhos técnicos com as dimensões e especificações técnicas do veículo.
- h) Anotação de responsabilidade técnica (ART) do engenheiro responsável pelo projeto e fabricação do veículo.
- i) Documentos fiscais de aquisição dos principais componentes/conjuntos utilizados na fabricação do veículo.
- j) Declaração do proprietário e do engenheiro responsável de que o veículo atende integralmente aos requisitos de segurança veicular pertinentes à legislação vigente, conforme projeto de engenharia e memorial descritivo arquivados sob sua responsabilidade.

## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

### 6.2 Documentação para arquivo

Para fins de arquivo o OIC deve reter os seguintes documentos (fotocópias):

#### 6.2.1 Veículos modificados

- c) CRLV ou CRV ou documentos fiscais de aquisição do veículo.
- d) Documento de identificação do proprietário ou condutor do veículo.

#### 6.2.2 Veículos fabricados artesanalmente

- a) Documento de identificação do proprietário ou condutor do veículo.
- b) Desenhos técnicos com as dimensões e especificações técnicas do veículo.
- c) Anotação de responsabilidade técnica (ART) do engenheiro responsável pelo projeto e fabricação do veículo.
- d) Declaração do proprietário e do engenheiro responsável de que o veículo atende integralmente aos requisitos de segurança veicular pertinentes à legislação vigente, conforme projeto de engenharia e memorial descritivo arquivados sob sua responsabilidade.

## 7. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

### 7.1 Procedimentos para realização da inspeção de segurança veicular

7.1.1 O OIC deve realizar as inspeções segundo os seus procedimentos técnicos de inspeção documentados.

7.1.2 O OIC deve possuir lista de inspeção que preveja, no mínimo, os itens constantes no Anexo.

7.1.3 O OIC deve realizar o registro fotográfico colorido e digitalizado dos veículos rodoviários rebocados, de forma que permita quando posicionados na linha de inspeção mecanizada, durante a inspeção, a visualização completa da dianteira/lateral direita e traseira/lateral esquerda dos mesmos, ou visualização completa da dianteira/lateral esquerda e traseira/lateral direita, evidenciando claramente a sua placa, a identificação da data (dia/mês/ano), o horário (hora:minuto) da realização da inspeção, o nome do OIC, e o seu número de credenciamento.

7.1.3.1 O registro fotográfico da visualização traseira/lateral esquerda ou lateral direita, deverá ser impresso no verso das 1ª e 2ª vias do CSV, de acordo com a NIE-DQUAL-025 do Inmetro.

7.1.4 O OIC deve realizar a impressão de 02 (dois) decalques do número do chassi dos veículos rodoviários (quando aplicável).

7.1.4.1 No caso da aprovação técnica da inspeção, os decalques devem ser colados nas 1ª e 2ª vias do CSV, de acordo com a NIE-DQUAL-025 do Inmetro.

7.1.5 O OIC deve calibrar a pressão dos pneus conforme especificação do fabricante do veículo.

7.1.6 O OIC deve realizar as inspeções conforme os seguintes requisitos:



## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

7.1.6.1 Os rebocados acima de 5.000 N (500 kgf) de PBT, além do freio de estacionamento, devem ter freio de serviço.

7.1.6.2 O rebocado de uso misto pode ser aceito, desde que o seu projeto original o especifique.

7.1.6.3 Os rebocados de fabricação seriada devem ser fabricados, obrigatoriamente, com todos os componentes novos.

7.1.6.4 Os rebocados com PBT até 5.000 N (500 kgf), de fabricação individual, devem ser fabricados, obrigatoriamente, com pelo menos os seguintes componentes novos:

- a) Rodas.
- b) Rolamentos.
- c) Amortecedores (quando existentes).
- d) Instalação elétrica e de iluminação.

7.1.6.5 Os rebocados com PBT entre 5.000 N (500 kgf) e 7.500 N (750 kgf), de fabricação individual, devem ser fabricados, obrigatoriamente, com pelo menos os seguintes componentes novos:

- a) Pontas de eixo.
- b) Cubo de rodas.
- c) Rolamentos.
- d) Amortecedores.
- e) Sistema completo de freio.
- f) Instalação elétrica e de iluminação.
- g) Sistema de engate normalizado.
- h) Pneus.

7.1.7 As inspeções dos veículos rodoviários devem ser feitas levando-se em consideração o seu peso em ordem de marcha, exceto para aqueles ensaios específicos que necessitam de aplicação de massas.

### 7.2 Critérios para realização da inspeção

7.2.1 O OIC deve realizar as inspeções segundo os critérios estabelecidos neste RTQ.

7.2.2 O OIC deve verificar e anotar as seguintes características do veículo:

- o) Quantidade de eixos e rodas.
- p) Distância entre eixos (mm) (quando aplicável).
- q) Comprimento externo (mm).

Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N –  
modificação ou fabricação artesanal

- r) Largura externa (mm).
- s) Altura do veículo com peso em ordem de marcha (mm).
- t) Balanço traseiro (mm).
- u) Altura livre do solo (mm).
- v) Peso do veículo em ordem de marcha (N).
- w) Distribuição de peso, por eixo, em ordem de marcha (N).
- x) Peso admissível por eixo (N).
- y) Capacidade de carga declarada pelo fabricante (N).
- z) PBT (N).

7.3 Sistemas e componentes a serem inspecionados:

- a) Equipamentos obrigatórios e proibidos.
- b) Sinalização.
- c) Iluminação.
- d) Freios.
- e) Direção.
- f) Eixos e suspensão.
- g) Pneus e rodas.
- h) Sistemas e componentes complementares.

7.3.1 Equipamentos obrigatórios e proibidos

7.3.1.1 Pára-choques

Verificar o estado geral, dimensões, fixação, corrosão, deformações e saliências cortantes.

O pára-choque deve ser de material com resistência adequada e compatível com a massa do rebocado (NBR 9182), atendendo à legislação de trânsito vigente.

Deve ser fixado à estrutura do rebocado e posicionado transversalmente atrás do mesmo, podendo fazer parte integrante da estrutura. A largura máxima do pára-choque não deve ser maior que a largura total do rebocado, e a mínima não pode ser inferior a 100 mm de cada lado com relação à largura total do rebocado.

Deve estar conforme com os seguintes parâmetros:

- a) A linha de centro do pára-choque deve estar a uma altura do solo entre 280 mm e 600 mm.
- b) A pintura deve ser feita de listras intercaladas, nas cores amarela/preta, com inclinação de 45°.

Não devem existir apêndices tais como, ganchos, guinchos, estepes ou reservatório e saliências perigosas que possam causar acidentes.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Dimensões/posição não regulamentares ou não existência.
- Fixação deficiente.
- Excessivamente deformados ou apresentando saliências cortantes.

## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

- Pintura não regulamentar.

### 7.3.1.2 Farol traseiro

Verificar existência.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Existência de farol traseiro.

### 7.3.2 Sistema de sinalização

#### 7.3.2.1 Lanternas indicadoras de direção

Verificar estado geral, posicionamento, funcionamento e cor da luz emitida.

Devem atender à legislação de trânsito vigente e aos seguintes parâmetros (Figuras 1 a 3):

- a) Cor da luz emitida: amarela.
- b) Quantidade/localização: Duas na traseira, independentes ou agrupadas com outras lanternas. O circuito deve ser separado dos outros, salvo os das LIA.
- c) Posicionamento:  
A = 600 mm para largura do veículo até 2100 mm.  
A = 2100 mm para largura do veículo acima de 2100 mm.  
B = 350 mm.  
C = 600 mm (admissível até 400 mm quando a largura do veículo for inferior a 1300 mm).  
D = 400 mm (quando a distância vertical entre LP e LID for menor ou igual a 300 mm).
- d) Visibilidade:  $X_d = X_e = 80^\circ$ ,  $Z_d = Z_e = 45^\circ$  e  $Y_c = Y_b = 15^\circ$ .

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Lanternas de um lado ou ambos não funcionam.
- Comutação deficiente.
- Frequência irregular.
- Visualização deficiente.
- Conservação deficiente.
- Cor não regulamentada.
- Fixação deficiente.
- Posicionamento não regulamentado.

#### 7.3.2.2 Lanternas de posição

Verificar estado geral, posicionamento, funcionamento e cor da luz emitida.

Devem atender à legislação de trânsito vigente e aos seguintes parâmetros (Figuras 1 a 3):

- a) Cor da luz emitida: vermelha na traseira e branca na dianteira são facultativas.

Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N –  
modificação ou fabricação artesanal

- b) Quantidade/localização: Duas na traseira (veículo com largura inferior a 760 mm pode ter apenas uma), independentes ou agrupadas com outras lanternas. Podem ser combinadas com LIPT ou incorporadas com as LF.
- c) Posicionamento:
- A = 1600 mm (admissível até 2100 mm).
- B = 350 mm.
- C = 600 mm (400 mm quando largura do veículo for menor que 1300 mm).
- D = 400 mm.
- D = 50 mm (quando a distância vertical entre LP e LID for menor ou igual a 300 mm).
- d) Visibilidade:  $X_d = X_e = 80^\circ$ ,  $Z_d = Z_e = 45^\circ$  e  $Y_c = Y_b = 15^\circ$  ( $Y_b = 5^\circ$  se estiver a menos de 750 mm do solo).

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Lanternas de um lado ou ambos não funcionam.
- Interruptor com atuação deficiente.
- Visualização deficiente.
- Conservação deficiente.
- Cor não regulamentada.
- Fixação deficiente.
- Posicionamento não regulamentado.

#### 7.3.2.3 Lanternas de freio

Verificar estado geral, posicionamento, funcionamento e cor da luz emitida.

Devem atender à legislação de trânsito vigente e aos seguintes parâmetros (Figuras 1 a 3):

- a) Cor da luz emitida: vermelha.
- b) Quantidade/localização: Duas na traseira (veículo com largura inferior a 760 mm pode ter apenas uma no centro vertical do mesmo), independentes ou agrupadas com outras lanternas.
- c) Posicionamento:
- A máx. = 1600 mm (admissível até 2100 mm).
- B mín. = 350 mm.
- C mín. = 600 mm (admissível até 400 mm quando a largura do rebocado for inferior a 1300 mm).
- d) Visibilidade:  $X_d = X_e = Z_d = Z_e = 45^\circ$  e  $Y_c = Y_b = 15^\circ$  ( $Y_b$  até  $5^\circ$  se a lanterna tiver B = 750 mm).

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Uma ou as duas não funcionam.
- Visualização deficiente.
- Conservação deficiente.

Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N –  
modificação ou fabricação artesanal

- Cor não regulamentada.
- Fixação deficiente.
- Posicionamento não regulamentado.
- Falta de eficiência.

7.3.2.4 Lanternas de marcha-à-ré (quando obrigatórias)

Verificar estado geral, posicionamento, funcionamento e cor da luz emitida.

Devem atender à legislação de trânsito vigente e aos seguintes parâmetros (Figuras 1 a 3):

- a) Cor da luz emitida: branca.
- b) Quantidade/localização: Duas na traseira, independentes ou agrupadas com outras lanternas
- c) Posicionamento:

A máx. = 1200 mm.

B mín. = 250 mm.

- d) Visibilidade:  $X_d = X_e = 45^\circ$  e  $Z_d = Z_e = 30^\circ$ .

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Funcionamento deficiente.
- Cor não regulamentada.
- Conservação deficiente.
- Fixação deficiente.
- Posicionamento não regulamentado.

7.3.2.5 Lanternas delimitadoras e lanternas laterais

Verificar estado geral, posicionamento, funcionamento e cor da luz emitida.

Devem atender à legislação de trânsito vigente e aos seguintes parâmetros (Figuras 1 a 3):

- o Cor da luz emitida: amarela (na lateral traseira pode ser também vermelha).
- o Quantidade/localização: Duas na lateral dianteira, duas na lateral intermediária, duas na lateral traseira. Podem ser agrupadas com outras lanternas.
- o Posicionamento:

G = 350 mm.

H = 1600 mm (admissível até 2100 mm).

- o Visibilidade  $W = 45^\circ$ .

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Inexistentes, quando obrigatórias.
- Lanternas de um lado ou ambos não funcionam.



Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N –  
modificação ou fabricação artesanal

- Conservação deficiente.
- Cor não regulamentada.
- Fixação deficiente.
- Posicionamento não regulamentado.

7.3.2.6 Luzes intermitentes de advertência

Verificar o funcionamento.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Funcionamento deficiente.

7.3.2.7 Retrorefletores

Verificar o estado geral, posicionamento e cor.

Devem atender à legislação de trânsito vigente e aos seguintes parâmetros (Figuras 1 a 3):

- o Cor da luz refletida: vermelha na traseira, amarela na lateral dianteira, amarela na lateral intermediária e vermelha ou amarela na lateral traseira.
- o Quantidade/localização: Dois na traseira (veículo com largura inferior a 760 mm pode ter apenas um no centro vertical do mesmo), dois na lateral dianteira, dois na lateral intermediária e dois na lateral traseira.
- o Posicionamento:

A máx. = 1600 mm.

B mín. = 350 mm.

C mín. = 600 mm (admissível até 400 mm quanto à largura do veículo for inferior a 1300 mm).

D = 400 mm.

- o Visibilidade:  $X_e = Z_e = T = 30^\circ$  e  $X_d = Z_d = V = 30^\circ$  e  $W = 45^\circ$  (para os laterais).

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Inexistentes, quando obrigatórios.
- Conservação/fixação deficiente.

7.3.2.8 Faixas refletivas

Verificar o estado geral, posicionamento, cor e eficiência.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Inexistentes, quando obrigatórias.
- Conservação/fixação deficiente.

Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N –  
modificação ou fabricação artesanal

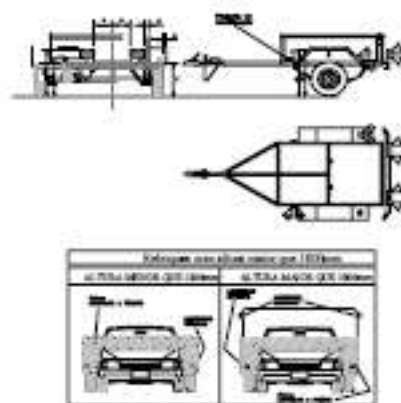


Figura 1 - Localização e visibilidade.

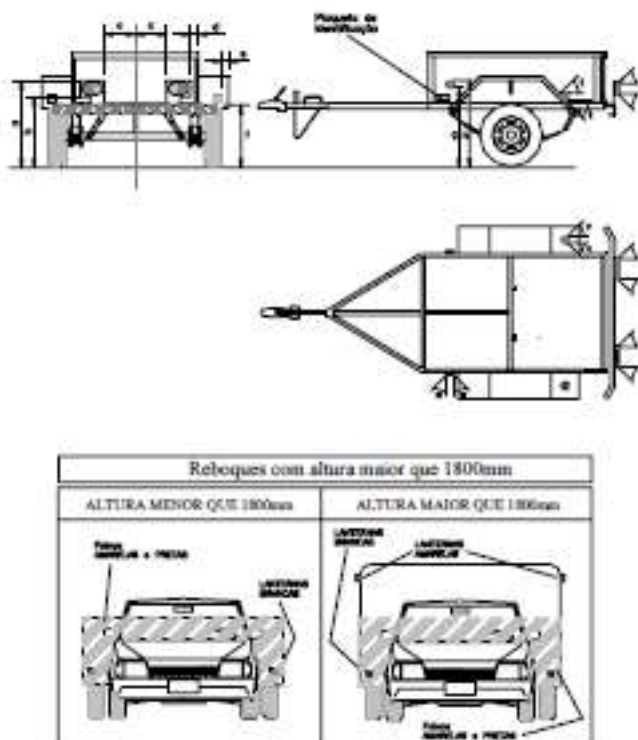


Figura 2 - LD para rebocados com largura acima de 2100 mm.

Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N –  
modificação ou fabricação artesanal

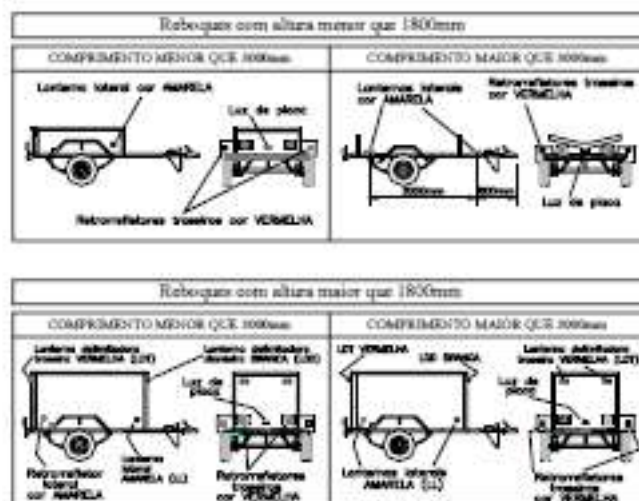


Figura 3 - Localizações complementares.

### 7.3.3 Sistema de iluminação

#### 7.3.3.1 Lanterna de iluminação da placa traseira

Verificar estado geral, fixação, posicionamento, funcionamento e cor da luz emitida.

Esta lanterna deve acender simultaneamente às lanternas indicadoras de posição.

Deve atender à legislação de trânsito vigente e aos seguintes parâmetros:

- Cor da luz emitida: branca.
- Quantidade/localização: Pelo menos uma na traseira, independente ou agrupada a outra lanterna.
- Posicionamento: Nas proximidades da placa desde que atenda à iluminação da placa.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Funcionamento deficiente.
- Conservação deficiente.
- Cor não regulamentada.
- Localização/fixação não conforme.

## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

### 7.3.4 Sistema de freios

O sistema de freio de serviço é obrigatório para rebocados com PBT de 5.010 N (501 kgf) a 7.500 N (750 kgf).

O freio deve ter o seu acionamento independente do sistema de freio do veículo rebocador.

#### 7.3.4.1 Inspeção mecanizada do freio de estacionamento

Com o veículo carregado (PBT) e com as rodas do eixo onde atua o freio de estacionamento posicionadas sobre os rolos do frenômetro, deve ser acionado lentamente e gradualmente o freio de estacionamento, até ocorrer o deslizamento dos pneus sobre os rolos ou atingir a força máxima. Com os valores obtidos, o frenômetro automaticamente calcula e fornece a eficiência total de frenagem do freio de estacionamento.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Eficiência menor que 18%.

#### 7.3.4.2 Inspeção visual

##### 7.3.4.2.1 Comandos

Verificar o comando do freio de estacionamento e sua trava.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Estanqueidade deficiente.
- Fixação inadequada do comando.

##### 7.3.4.2.2 Circuito de freio (tubulações, conexões e válvulas)

Verificar o estado geral, fixação, estanqueidade e funcionamento das válvulas.

As tubulações devem ser verificadas quanto a corrosão, amassamentos, dobras e a correta fixação em seus suportes. Os flexíveis não podem apresentar rachaduras nem ressecamentos. Deve-se verificar os possíveis vazamentos em todo o circuito. Deve-se verificar a fixação da válvula principal de acionamento do sistema.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Conservação/fixação deficiente.
- Falta de estanqueidade.
- Válvula(s) danificada(s).

##### 7.3.4.2.3 Discos, freio a disco, tambores, freio a tambor e outros componentes, quando visíveis e/ou acessíveis

Verificar o estado geral e estanqueidade.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Conservação/fixação deficiente.



## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

- Falta de estanqueidade.

### 7.3.5 Eixos e sistema de suspensão

#### 7.3.5.1 Inspeção do funcionamento da suspensão

Com o veículo posicionado em pavimento plano, verificar a suspensão quanto ao seu funcionamento, através do seguinte procedimento:

- a) Medir o curso da suspensão com o rebocado sem carga.
- b) Colocar a carga útil (PBT menos a tara).
- c) Medir o curso restante.

O curso restante deve ser, no mínimo, de 2/3 do curso total medido sem carga.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Curso insuficiente.

#### 7.3.5.2 Geometria da suspensão

Com o veículo posicionado em pavimento plano, verificar a suspensão quanto à sua geometria. As rodas de um mesmo eixo (de uma lateral do rebocado) devem estar num plano paralelo às rodas do lado oposto.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Ângulos da suspensão não conformes.

#### 7.3.5.3 Eixos

Com o veículo posicionado no fosso ou no elevador, acionar o equipamento para verificação de folgas e verificar o estado geral, corrosão, fixação na suspensão e nas pontas de eixo, empenamento, trincas e folgas.

Verificar as pontas de eixo quanto ao estado geral, corrosão, empenamento e fixação no eixo.

O plano transversal do eixo deve estar perpendicular ao plano longitudinal que contém o engate (esfera, pino rei ou acoplamento). Verifica-se esta perpendicularidade medindo os pontos chaves entre a suspensão e o engate.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Conservação/fixação deficiente/empenamento.
- Folgas excessivas.
- Uso de solda para recuperação/reparação.

#### 7.3.5.4 Elementos elásticos (molas)

Com o veículo posicionado no fosso ou no elevador, acionar o equipamento para verificação de folgas e verificar o estado geral, fixação e folgas das molas e feixes.

Deve-se verificar a existência de trincas, corrosão e a ancoragem nas molas helicoidais. Para veículos que possuam feixe de molas, inspecionar a mola mestra quanto à ancoragem e verificar

## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

se não há molas auxiliares partidas. Verificar o estado geral da superfície (corrosão e pontos de concentração de tensão), o empenamento e a abertura entre as lâminas (máximo de 2 mm, exceto no parafuso mestre, sendo que as lâminas de feixes parabólicos não devem se tocar na área de funcionamento). Verificar se as lâminas, na região de atrito, estão lubrificadas ou têm um meio de separação com efeitos similares. Verificar o parafuso mestre e as abraçadeiras quanto ao estado geral, alinhamento e fixação.

Deve-se verificar a barra de torção (quando aplicável) quanto ao seu estado geral e se suas buchas estão ressecadas e/ou cortadas.

No caso de suspensão elastomérica, inspecionar o elastômero quanto à deterioração por solventes (óleo, graxa, combustível, etc.). Verificar o estado da superfície (deterioração), a ancoragem e o estado dos batentes de limitação do curso da suspensão e dos batentes axiais.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Conservação deficiente.
- Ancoragem/fixação deficiente.
- Deformações permanentes.
- Folgas excessivas.

### 7.3.5.5 Elementos absorvedores de energia (amortecedores) (quando aplicável)

Com o veículo posicionado no fosso ou no elevador, acionar o equipamento para verificação de folgas e verificar o estado geral, fixação e vazamento de fluido hidráulico.

A haste do pistão não deve ter riscos profundos, oxidação ou incrustações. (quando visível) e a superfície externa não deve apresentar corrosão ou moissas.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Conservação/fixação deficiente.
- Vazamento de fluido hidráulico.

### 7.3.5.6 Elementos estruturais (braços, suportes e tensores)

Com o veículo posicionado no fosso ou no elevador, acionar o equipamento para verificação de folgas e verificar o estado geral, fixação e folgas.

No quadro geral ou travessa, verificar a existência de trincas, amassados profundos, emendas preenchidas com materiais plásticos e oxidação.

Nos braços da suspensão (quando existentes), verificar a existência de soldas, corrosão, empenamentos, emendas e amassados profundos. Verificar também, a fixação dos braços na travessa ou quadro central.

No caso de suporte do balancim, verificar o travamento transversal.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Presença de trincas ou deformações significativas.
- Conservação/fixação deficiente.
- Folgas excessivas.

## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

### 7.3.5.7 Elementos de articulação

Com o veículo posicionado no fosso ou no elevador, acionar o equipamento para verificação de folgas e verificar o estado geral, fixação e folgas.

Nas buchas dos braços da suspensão, quando metálicas, verificar a existência de corrosão, folgas e lubrificação. Quando de elastômero, devem possuir pouca folga, não devendo estar ressecadas e nem possuir cortes.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Conservação/fixação deficiente.
- Folga excessiva.

### 7.3.5.8 Elementos de regulagem (excêntricos, calços, parafusos reguladores)

Com o veículo posicionado no fosso ou no elevador, acionar o equipamento para verificação de folgas e verificar o estado geral, fixação e folgas.

Verificar se há capacidade de regulagem dentro dos limites requeridos pela suspensão. Não deve haver dificuldade de ajuste. Após ajustado deve ter mecanismo de travamento irreversível.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Conservação/fixação deficiente.
- Folga excessiva.

### 7.3.5.9 Elementos limitadores (batentes)

Com o veículo posicionado no fosso ou no elevador, verificar o estado geral e fixação.

Verificar quanto ao envelhecimento e solventes. Deve haver boa ancoragem ao chassi e boa coesão com as suas terminações metálicas. Verificar se trabalha apenas à compressão. As partes metálicas não devem estar corroidas.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Inexistente(s).
- Conservação/fixação deficiente.

### 7.3.5.10 Elementos de fixação (grampos, parafusos, rebites)

Com o veículo posicionado no fosso ou no elevador, acionar o equipamento para verificação de folgas e verificar o estado geral e fixação.

Verificar os grampos quanto à corrosão e deformações. Verificar o aperto das porcas e seu travamento. Verificar a disposição em que estão, juntamente com as cobrejuntas ou orelhas de fixação, observando se está adequada estruturalmente a junção do feixe de molas ao eixo.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Conservação/fixação deficiente.
- Posicionamento inadequado.

## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

### 7.3.5.11 Elementos complementares (estabilizadores) (quando existentes)

Com o veículo posicionado no fosso ou no elevador, acionar o equipamento para verificação de folgas e verificar o estado geral e fixação.

Verificar a cinemática do conjunto barra estabilizadora/suspensão para ver se o conjunto não trabalha forçado.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Inexistente quando obrigatório.
- Conservação/fixação deficiente.
- Folgas excessivas.
- Funcionamento forçado.

### 7.3.5.12 Suspensão pneumática (quando aplicável)

Com o veículo posicionado no fosso ou no elevador, verificar o estado geral, fixação e estanqueidade do sistema.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Conservação/fixação deficiente.
- Falta de estanqueidade.

### 7.3.5.13 Verificação do funcionamento da suspensão

Realizar ensaio de pista conforme o item 7.4 deste RTQ.

## 7.3.6 Pneus e rodas

### 7.3.6.1 Desgaste da banda de rodagem

Através de inspeção visual dos indicadores de desgastes e, quando necessário, com o auxílio do verificador de profundidade, verificar o desgaste da banda de rodagem.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Um ou mais pneus com profundidade de sulco menor que 1,6 mm em qualquer parte do pneu.

### 7.3.6.2 Tamanho e tipo dos pneus

Verificar o tamanho e tipo dos pneus, os quais devem estar de acordo com a especificação do fabricante do veículo.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Em desacordo com as especificações do fabricante.

### 7.3.6.3 Simetria dos pneus e rodas



## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

Verificar a simetria dos pneus e rodas no mesmo eixo, ou seja, que o tipo de construção da carcaça, o tipo de construção da roda, as dimensões e capacidade de carga dos pneus e a montagem sejam idênticos em ambos os lados do eixo.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Pneus e/ou rodas diferentes no mesmo eixo.
- Montagem simples e dupla no mesmo eixo.

### 7.3.6.4 Estado geral dos pneus

Verificar o estado geral dos pneus.

Pneus com reparos de emergência, com a colocação de manchões, cortes profundos nas bandas mostrando descontinuidade do reforço do tecido, bolhas ou ainda, cortes nos ombros ou indícios de ressurcagem devem ser reprovados.

Pneumáticos reformados devem ter a gravação do nome da empresa reformadora e respectivo número de seu CNPJ.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Existência de bolhas.
- Existência de cortes ou quebras com exposição dos cordões.
- Existência de separação da banda de rodagem.

### 7.3.6.5 Estado geral das rodas ou aros desmontáveis

Verificar o estado geral das rodas ou aros desmontáveis e elementos de fixação.

Verificar existência de rodas que se sobressaiam à carroçaria.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Falta de um ou mais elementos de fixação por roda
- Amassamentos que comprometam a fixação da roda e/ou ocasionem perda de ar.
- Existência de trincas.
- Empenamento acentuado.
- Corrosão acentuada.
- Existência de uma ou mais rodas que se sobressaiam à carroçaria.

### 7.3.7 Sistemas e componentes complementares

#### 7.3.7.1 Portas e tampas (quando aplicável)

Verificar o estado geral de seus componentes, condições de abertura e fechamento.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Porta(s) e/ou tampa(s) com componentes corroídos ou deteriorados.
- Tampa(s) com deficiências de abertura e/ou fechamento.

## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

- Porta(s) com deficiências de abertura e/ou fechamento.
- Porta(s) e/ou tampa(s) com folgas excessivas.

### 7.3.7.2 Vidros e janelas (quando aplicável)

Verificar a existência dos vidros e janelas, conservação, folgas, fixação, visibilidade e o funcionamento do sistema de acionamento.

Os vidros, assim como películas aplicadas por sobre os vidros, devem atender à legislação de trânsito vigente.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Ausência de vidro(s).
- Vidro(s) com integridade deficiente.
- Vidro(s) ou película(s) não regulamentado(s).
- Sistema de acionamento dos vidros deficiente.

### 7.3.7.3 Bancos (quando aplicável)

Verificar a estrutura, travas e fixação, as folgas e o estado de conservação dos bancos, que não devem apresentar rasgos, falhas de costura, molas soltas, saliências ou falhas no seu enchimento, que comprometam a segurança.

Os encostos não devem possuir folgas excessivas, quando em posição travada.

As travas de segurança do trilho de regulagem de altura e do encosto devem estar em perfeito funcionamento.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Estrutura comprometida do banco.
- Fixação deficiente do banco.
- Funcionamento deficiente das travas do assento e/ou encosto do banco do condutor.

### 7.3.7.4 Sistema de engate entre o veículo trator e o rebocado

Verificar o estado geral e fixação do sistema.

O sistema de acoplamento ao veículo trator deve ser adequado para o pino esférico, e conforme a NBR 5545. Deve existir um mecanismo de travamento do sistema. O acoplamento deve ser dimensionado para resistir a um esforço longitudinal de tração e compressão igual a 4 vezes o PBT do rebocado.

**Nota:** O ensaio de carga do engate é realizado independentemente das inspeções do rebocado. Deve ser apresentado laudo de ensaio do engate por instituto reconhecido ou engenheiro responsável pelo projeto.

A corrente de segurança, fixada conforme a Figura 4, deve ter uma resistência à tração igual a 5 vezes o PBT do rebocado (Tabela 1). A corrente deve ser fixada na lança de forma que não possa ser removida.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N –  
modificação ou fabricação artesanal

- Conservação/fixação deficiente.

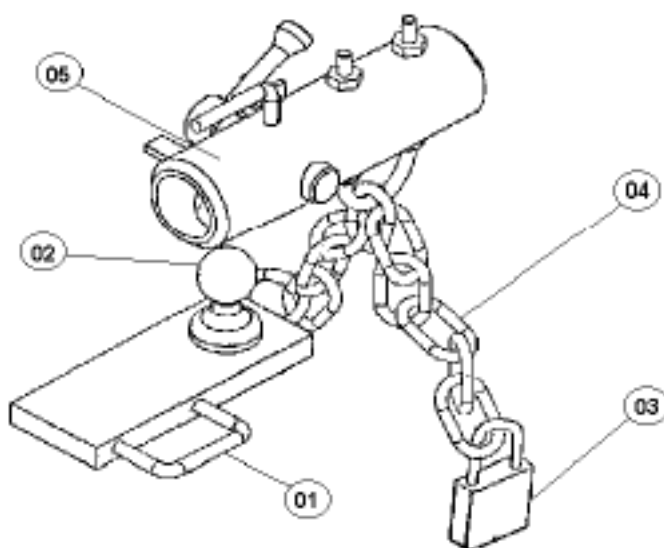


Figura 4 - Exemplo de engate.

Nº	Descrição
01	alça de aço carbono
02	pino esférico 50 x 25 mm
03	cadeado*
04	corrente de segurança de aço zincado**
05	engate normalizado

\* Sempre utilizar cadeado de diâmetro maior que o do elo da corrente utilizada.

\*\* A corrente de segurança deve ser preferencialmente fixada ao engate, não devendo estar soldada ao engate.

Diâmetro do elo (mm)	Resistência à tração (N)	PBT (N)
5,0	10000	2500
6,0	14000	3500
7,0	18000	4500
8,0	25000	6250
9,0	32000	8000
9,5	34000	8500
10,0	40000	10000
13,0	64000	16000
16,0	100000	25000
18,0	128000	31500
20,0	160000	40000

Tabela 1 - Valores estimados de resistência à tração de correntes.

#### 7.3.7.5 Carroçaria

##### 7.3.7.5.1 Componentes gerais

## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

Verificar o estado de conservação da carroçaria e seus elementos, quanto à corrosão, trincas, deformações e a presença de saliências cortantes.

Deve-se verificar a existência de pontos de corrosão que possam comprometer os elementos estruturais, ou qualquer outra parte que coloque em risco o seu perfeito funcionamento, inclusive quanto à segurança dos usuários e transeuntes.

Deve-se verificar o estado geral do assoalho, quanto à existência de corrosão acentuada, de soldas expostas sem proteção, de buracos não vedados e de fendas na chapa.

A carroçaria deve ser confeccionada com material compatível com a finalidade de uso ou da carga e ter resistência mecânica adequada. Admitem-se portas nas guardas da carroçaria. O fechamento superior por tampas (removíveis ou articuladas) é opcional.

Em carroçarias removíveis (para transporte de jet-skis, etc.), o sistema de presilhas (da carroçaria ou do novo agregado) deve possuir dispositivo de segurança contra o afrouxamento por trepidação durante o uso.

No caso de transporte de cargas altas, deve haver gradil em todos os lados, com altura compatível. As colunas, neste caso, devem ter resistência e fixação à base adequadas. O teto, se existir, deve ser bem ancorado às colunas.

No caso de rebocados tipo baú, a carroçaria deve possuir estrutura adequada, inclusive no teto.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Corrosão acentuada ou trincas que comprometam a integridade.
- Deformações com saliências cortantes.
- Inadequações estruturais.
- Soldas inadequadas.

### 7.3.7.5.2 Pára-lamas

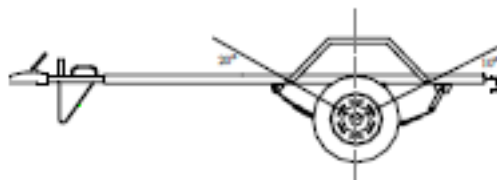
Verificar o estado geral dos pára-lamas, quanto ao seu dimensionamento, posicionamento, estado de conservação e fixação.

Devem ser rígidos, fixados firmemente à estrutura, ou ser parte da carroçaria, sem apresentar pontos contundentes ou cortantes.

Os limites inferiores das abas podem ficar até 10° na aba traseira e 20° na aba dianteira, acima da linha de centro da roda (Figura 5), e o limite externo da sua largura deve, no mínimo, coincidir com os limites externos do pneu. Caso os limites das abas sejam superiores aos especificados, podem ser utilizados pára-barros.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Corrosão ou trincas que comprometam a integridade.
- Saliências cortantes.
- Dimensionamento/posicionamento inadequados.
- Fixação deficiente.



Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N –  
modificação ou fabricação artesanal

Figura 5 - Pára-lamas.

7.3.7.5.3 Dimensões

Verificar e registrar as dimensões do rebocado indicadas na Figura 6.

As dimensões do rebocado devem atender ao previsto na legislação de trânsito, que estabelece a largura máxima de 2600 mm e altura máxima de 4400 mm. O comprimento máximo compreendido entre o veículo trator e o rebocado é de 19800 mm. O balanço traseiro máximo é de 3500 mm.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Dimensão em desacordo com a legislação de trânsito.
- Dimensão inadequada à finalidade do rebocado.

a = Altura solo/fundo do rebocado.

b = Altura livre do solo.

c = Altura máxima.

d = Balanço traseiro.

e + g = Balanço dianteiro.

f = Comprimento total.

g = Comprimento da lança.

h = Comprimento útil.

i = Largura total.

j = Largura útil.

l = Altura útil da carroçaria.



Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N –  
modificação ou fabricação artesanal

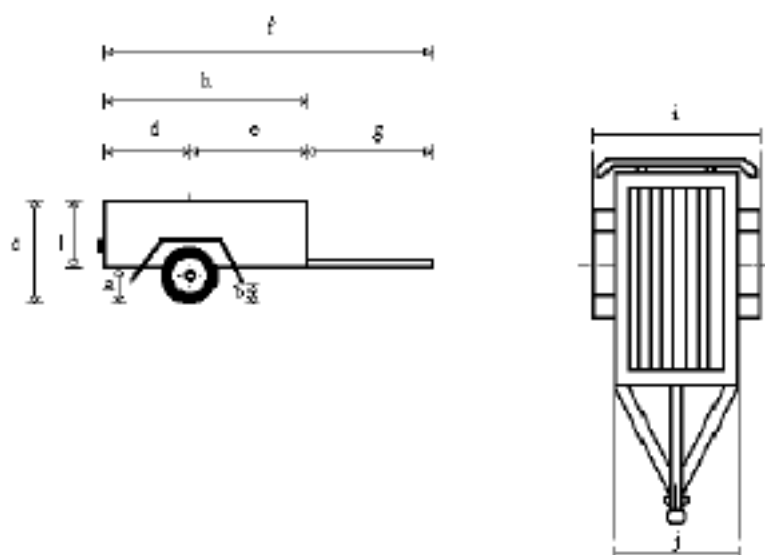


Figura 6 - Dimensões.

#### 7.3.7.6 Instalação elétrica

Verificar fixação, estado geral, isolamento e conexões entre o veículo trator e o rebocado.

Verificar fixação, estado geral, isolamento e conexões da fiação interna do rebocado, que não deve apresentar emendas desprotegidas ou mal fixadas.

O sistema elétrico do rebocado deve atender a NBR 7332 (Tabela 2 e Figura 7).

Todas as conexões devem ser do tipo automotiva, isoladas contra curto-circuito.

Os cabos devem estar protegidos por eletroduto ou chicote.

A conexão elétrica entre o rebocado e o veículo trator deve estar em conformidade com a NBR 9187.

O sistema elétrico, em rebocado para transporte de barco, deve ser removível, em razão da necessidade de imersão do mesmo na água para descarregamento do barco.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Conservação ou posicionamento inadequado.
- Isolamento/fixação deficiente da fiação e conexões.
- Conexões elétricas entre o veículo trator e o rebocado deficientes.

Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

Condutor n°	Cor	Símbolo	Lanternas e circuitos elétrico
1	Amarela		Lanterna indicadora de direção traseira esquerda
2	Azul	⏏	Circuito auxiliar, lanternas opcionais, etc.
3	Branco	⏏	Terminal massa, retorno para a unidade de tração
4	Verde	⏏	Lanterna indicadora de direção traseira direita
5	Marrom	⏏	Lanternas delimitadoras laterais e dianteiras, lanternas traseira e lanterna de iluminação da placa traseira
6	Vermelho	⏏	Lanterna de freio
7	Preto	⏏	Lanternas delimitadoras laterais dianteiras e traseiras superiores e lanterna traseira.

Tabela 2 - Indicação numérica, de cores e símbolos de circuitos elétricos para as lanternas de rebocador

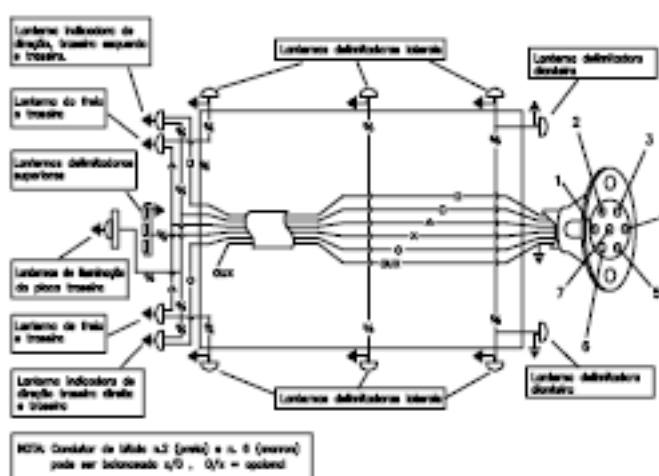


Figura 7 -

### 7.3.7.7 Chassi/estrutura

#### 7.3.7.7.1 Inspeção visual

Com o veículo posicionado no fosso ou no elevador, verificar se o chassi/estrutura do veículo, ao longo de toda sua extensão, apresenta uma estrutura básica apta a suportar, com condições de resistência mecânica adequadas, o sistema de suspensão, pela parte inferior, e a carga, pela parte superior.

A lança (cambão), 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-se em travessa central ou próxima. No ponto de máximo momento de flexão (Figura 8), na parte externa do quadro, preferencialmente, não deve haver solda, para diminuir as possibilidades de quebra por fadiga (usar grampo, bucha, etc.).

A lança deve ser sempre reforçada com barras tipo mão francesa (contraventamento), ou deve ser duplo (em V). Como peça única, será admitida somente com memorial de cálculo que comprove sua resistência.

## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Presença de fissuras, corrosão, deformações, soldas irregulares.
- Dimensionamento inadequado.

\* ponto de maior momento fletor da lança

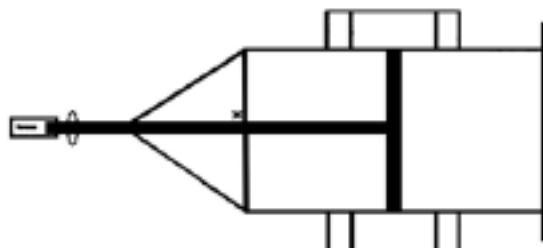


Figura 8 - Esquema do chassi.

### 7.3.7.7.2 Verificação da resistência estrutural

Com o veículo posicionado em pavimento plano, verificar a resistência do chassi/estrutura através do seguinte procedimento:

- a) Estabelecer quatro pontos de referência na estrutura.
- b) Medir as distâncias entre os pontos de referência diagonalmente opostos e de cada um até o solo.
- c) Colocar carga equivalente a 3 vezes a capacidade de carga útil, uniformemente distribuída na carroçaria do rebocado.
- d) Manter o veículo nessa condição por 30 minutos.
- e) Retirar a carga e medir novamente as distâncias entre os pontos de referência diagonalmente opostos e de cada um até o solo.

Após o ensaio não deve haver diferença significativa entre as medições realizadas antes e depois do ensaio.

Critério(s) de reprovação: É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Resistência inadequada.

### 7.3.7.7.3 Verificação da distribuição de carga no engate

Com o veículo posicionado em pavimento plano, verificar a distribuição de carga através do seguinte procedimento:

- a) Colocar carga equivalente à capacidade de carga útil, uniformemente distribuída na carroçaria do rebocado.
- b) Através de balança ou dinamômetro ou outro dispositivo equivalente medir a carga incidente no engate.

A carga no engate deve se situar entre 100 N (10 kgf) e 750 N (75 kgf).



## Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Incidência da carga no engate inadequada.

### 7.3.7.8 Plaqueta de identificação

Verificar a existência, localização, gravação, conservação e fixação da plaqueta indicativa das capacidades técnicas do veículo.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Inexistente.
- Localização inadequada.
- Altura dos tipos inadequada.
- Superfície oxidada.
- Falta gravação da tara, lotação, PBT e/ou número VIN.

## 7.4 Inspeção em pista

A inspeção em pista deve ser realizada como uma avaliação complementar à inspeção mecanizada, e deve ser executada em velocidade compatível com as condições do local, não excedendo 80 km/h, utilizando-se um veículo trator, devendo ser verificadas as tendências e as oscilações transversais (guinada e roll).

### 7.4.1 Inspeção do comportamento dinâmico

Com a carga máxima (PBT), rodar em pisos lisos e irregulares e verificar a existência de ruídos ou folgas no sistema de suspensão, atentando para manutenção do alinhamento do veículo quando em movimento. O veículo não deve apresentar inclinações para os lados. A suspensão não deve permitir que o veículo sofra grandes trepidações e nem a perda de estabilidade em alta velocidade. Sobre pista irregular, o veículo não deve emitir ruídos oriundos do sistema de suspensão.

Não deve ser observada qualquer deformação permanente após o ensaio.

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Estabilidade deficiente.
- Resistência insuficiente.

### 7.4.2 Verificação da capacidade de frenagem (quando aplicável)

Com o rebocado sem carga, circular a uma velocidade compatível (de 40 km/h a 60 km/h, respectivamente), e acionar o freio do veículo trator, de maneira que haja o travamento das rodas. As rodas do rebocado também devem arrastar (travar). Repetir o teste com o rebocado carregado (PBT).

**Critério(s) de reprovação:** É motivo de reprovação a constatação da(s) seguinte(s) ocorrência(s), dentre outras previstas em regulamentação específica:

- Frenagem insuficiente.

Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N –  
modificação ou fabricação artesanal

**8. RESULTADO DA INSPEÇÃO**

8.1 Concluída a inspeção do veículo rodoviário, o OIC deve registrar e manter registrado todos os resultados encontrados.

8.2 No caso da aprovação técnica na inspeção, deve ser emitido o CSV, cujo preenchimento deve ser realizado de acordo com a NIE-DQUAL-025 do Inmetro.

8.3 Uma das vias do documento fiscal emitido pelo OIC, referente ao serviço de inspeção, deve ser anexada à 1ª via do CSV.

Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N –  
modificação ou fabricação artesanal

Anexo - Lista de Inspeção de Veículos Rebocados Modificados ou Fabricados Artesanalmente  
(PBT até 7.500 N)

1.0	Dados gerais
1.1	Marca/modelo:
1.2	Nº do chassi ou placa do veículo:

2.0	Documentação do veículo	A	R	OBS
2.1	Veículos modificados			
2.1.1	CRLV ou CRV ou documento fiscal de aquisição do veículo			
2.1.2	Documento do proprietário ou condutor do veículo			
2.1.3	Decalques do nº do chassi (02)			
2.2	Veículos fabricados artesanalmente			
2.2.1	Documento de identificação do proprietário ou condutor do veículo			
2.2.2	Desenhos técnicos com as dimensões e especificações técnicas do veículo			
2.2.3	Anotação de responsabilidade técnica (ART) do engenheiro responsável pelo projeto e fabricação do veículo			
2.2.4	Declaração do proprietário e do engenheiro responsável de que o veículo atende integralmente aos requisitos de segurança veicular pertinentes à legislação vigente, conforme projeto de engenharia e memorial descritivo arquivados sob sua responsabilidade			

3.0	Pesos e dimensões	A	R	OBS
3.1	Quantidade de eixos e rodas			
3.2	Distância entre eixos (mm) (quando aplicável)			
3.3	Comprimento externo (mm)			
3.4	Largura externa (mm)			
3.5	Altura do veículo com peso em ordem de marcha (mm)			
3.6	Balanço Traseiro (mm)			
3.7	Altura livre do solo (mm)			
3.8	Peso do veículo em ordem de marcha (N)			
3.9	Distribuição de peso, por eixo, em ordem de marcha (N)			
3.10	Peso admissível por eixo (N)			
3.11	Capacidade de carga declarada pelo fabricante (N)			
3.12	PBT (N)			

Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N –  
modificação ou fabricação artesanal

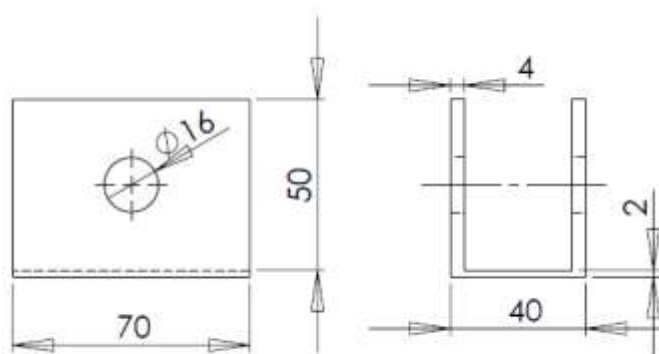
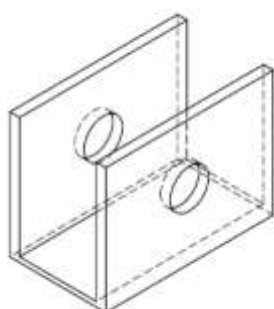
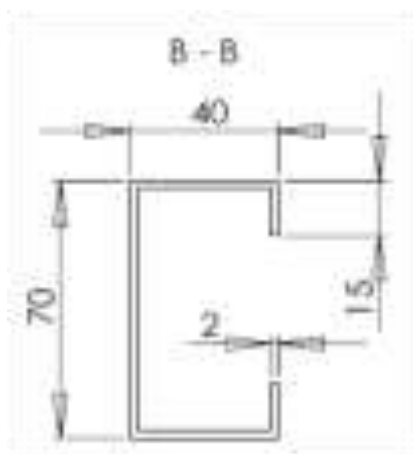
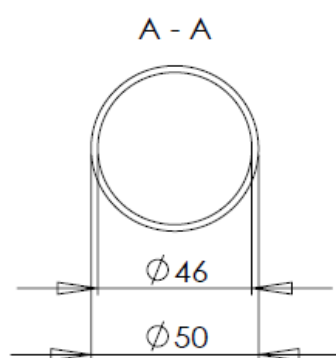
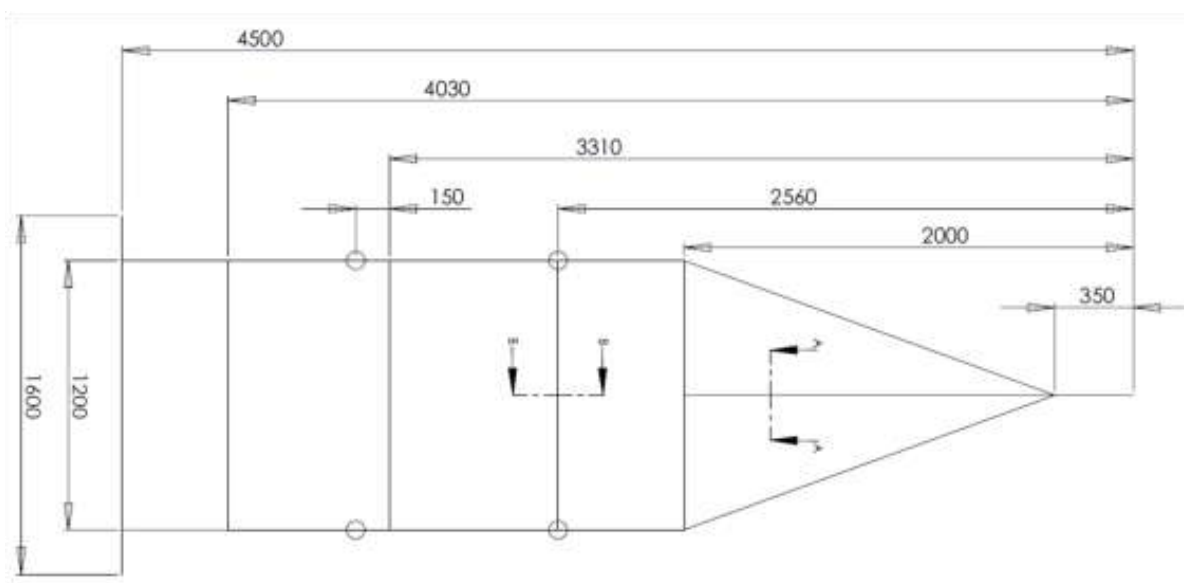
Item	Descrição	A	R	OBS
7.3.1	Equipamentos obrigatórios e proibidos			
7.3.1.1	Pára-choques			
7.3.1.2	Farol traseiro			
7.3.2	Sistema de sinalização			
7.3.2.1	Lanternas indicadoras de direção			
7.3.2.2	Lanternas de posição			
7.3.2.3	Lanternas de freio			
7.3.2.4	Lanternas de marcha-a-ré (quando obrigatórias)			
7.3.2.5	Lanternas delimitadoras e lanternas laterais			
7.3.2.6	Luzes intermitentes de advertência			
7.3.2.7	Retrorefletores			
7.3.2.8	Faixas refletivas			
3.3	Sistema de iluminação			
7.3.3.1	Lanterna de iluminação da placa traseira			
7.3.4	Sistema de freios			
7.3.4.1	Inspeção mecanizada do freio de estacionamento			
7.3.4.2	Inspeção visual			
7.3.4.2.1	Comandos			
7.3.4.2.2	Circuito de freio (tubulações, conexões e válvulas)			
7.3.4.2.3	Discos, freio a disco, tambores, freio a tambor e outros componentes, quando visíveis e/ou acessíveis.			
7.3.5	Eixos e sistema de suspensão			
7.3.5.1	Inspeção do funcionamento da suspensão			
7.3.5.2	Geometria da suspensão			
7.3.5.3	Eixos			
7.3.5.4	Elementos elásticos (molas)			
7.3.5.5	Elementos absorvedores de energia (amortecedores) (quando aplicável)			
7.3.5.6	Elementos estruturais (braços, suportes e tensores)			
7.3.5.7	Elementos de articulação			
7.3.5.8	Elementos de regulação (exoêntricos, calços, parafusos reguladores)			
7.3.5.9	Elementos limitadores (batentes)			
7.3.5.10	Elementos de fixação (grampos, parafusos, rebites)			
7.3.5.11	Elementos complementares (estabilizadores) (quando existentes)			
7.3.5.12	Suspensão pneumática. (quando aplicável)			
7.3.5.13	Verificação do funcionamento da suspensão			
7.3.6	Pneus e rodas			
7.3.6.1	Desgaste da banda de rodagem			

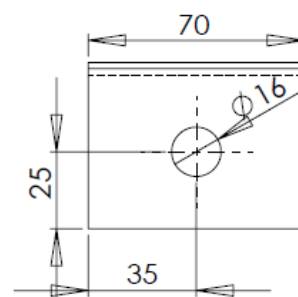
Anexo II: RTQ 25 - Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N –  
modificação ou fabricação artesanal

7.3.6.2	Tamanho e tipo dos pneus			
7.3.6.3	Simetria dos pneus e rodas			
7.3.6.4	Estado geral dos pneus			
7.3.6.5	Estado geral das rodas ou aros desmontáveis			
7.3.7	Sistemas e componentes complementares			
7.3.7.1	Portas e tampas (quando aplicável)			
7.3.7.2	Vidros e janelas (quando aplicável)			
7.3.7.3	Bancos (quando aplicável)			
7.3.7.4	Sistema de engate entre o veículo trator e o rebocado			
7.3.7.5	Carroçaria			
7.3.7.5.1	Componentes gerais			
7.3.7.5.2	Pára-lamas			
7.3.7.5.3	Dimensões			
7.3.7.6	Instalação elétrica			
7.3.7.7	Chassi/estrutura			
7.3.7.7.1	Inspeção visual			
7.3.7.7.2	Verificação da resistência estrutural			
7.3.7.7.3	Verificação da distribuição de carga no engate			
7.3.7.8	Plaqueta de identificação			
7.4	Inspeção em pista			
7.4.1	Inspeção do comportamento dinâmico			
7.4.2	Verificação da capacidade de frenagem (quando aplicável)			

Legenda	A - Aprovado R – Reprovado OBS - Observação
---------	--

# ANEXO III: Desenhos Esquemáticos da Estrutura Original

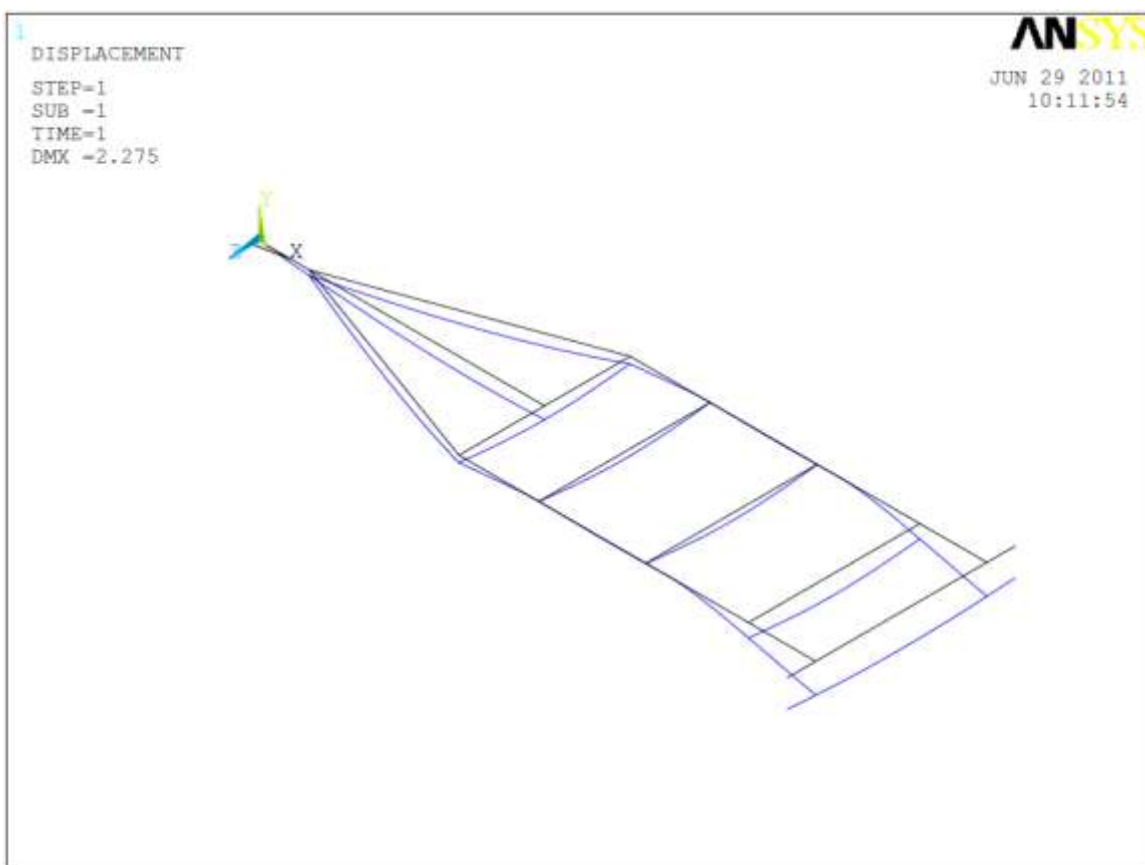
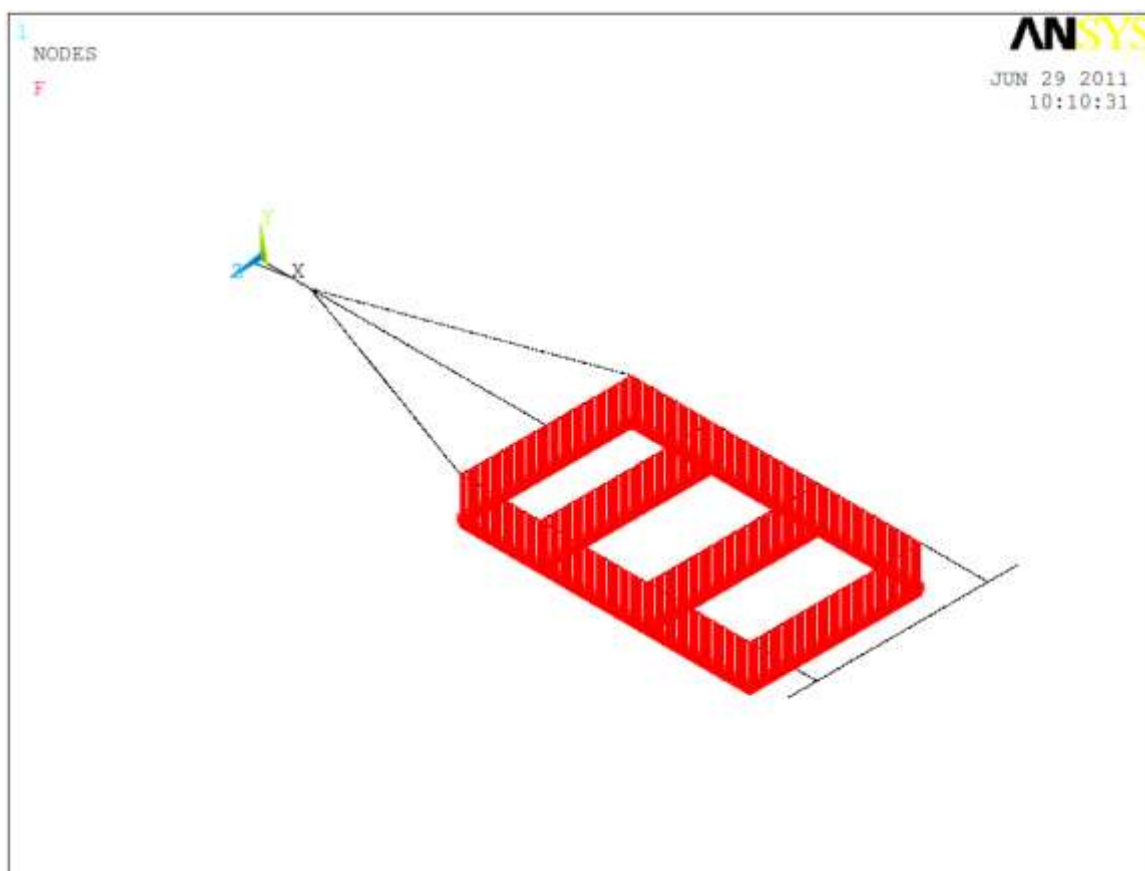






## ANEXO V: Fotos e Resultados – Simulação RDN

### RDN.1. Chassi - Configuração 1 de carregamento





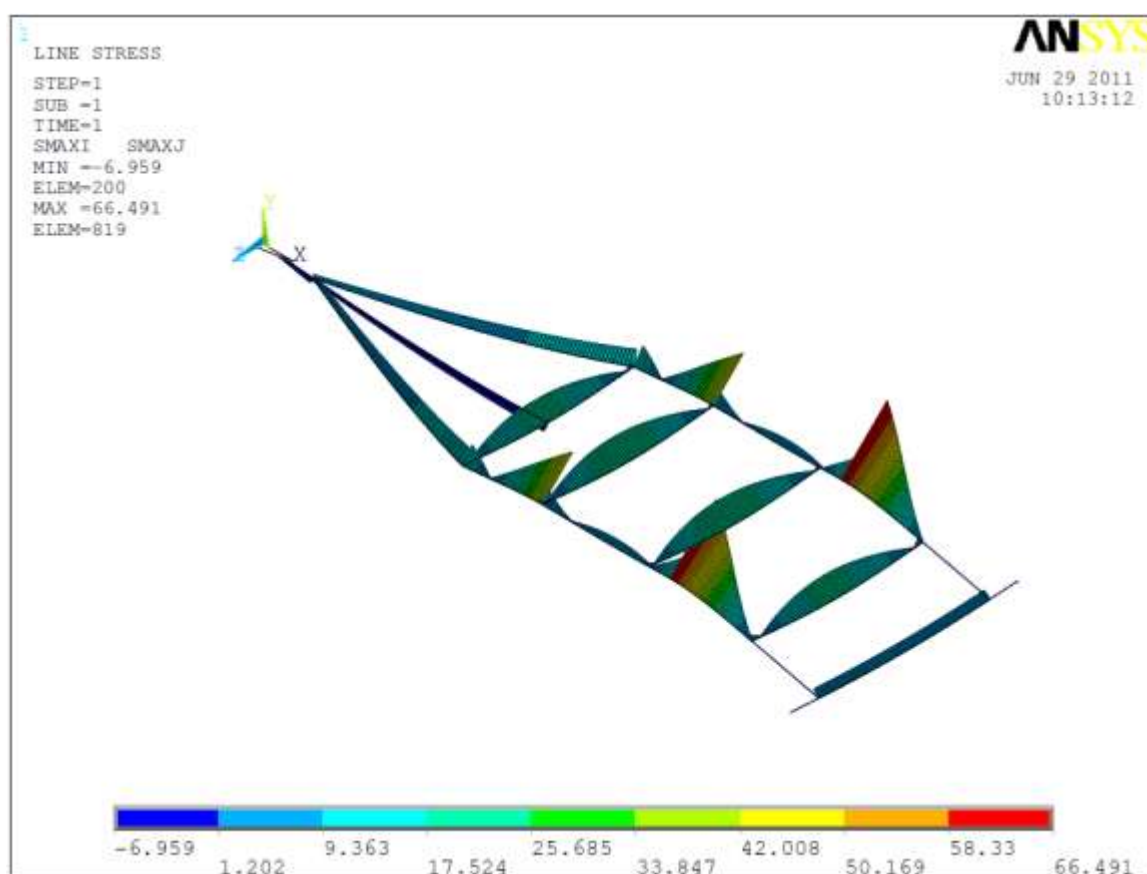
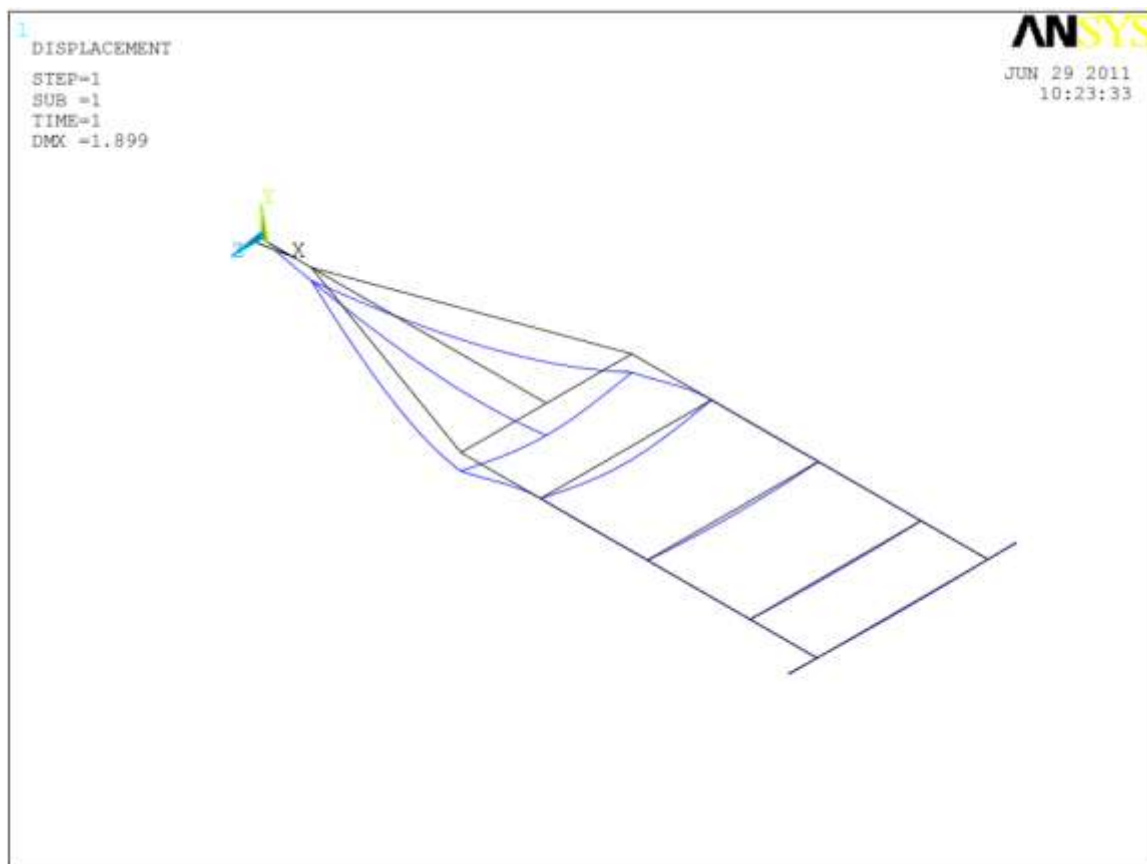
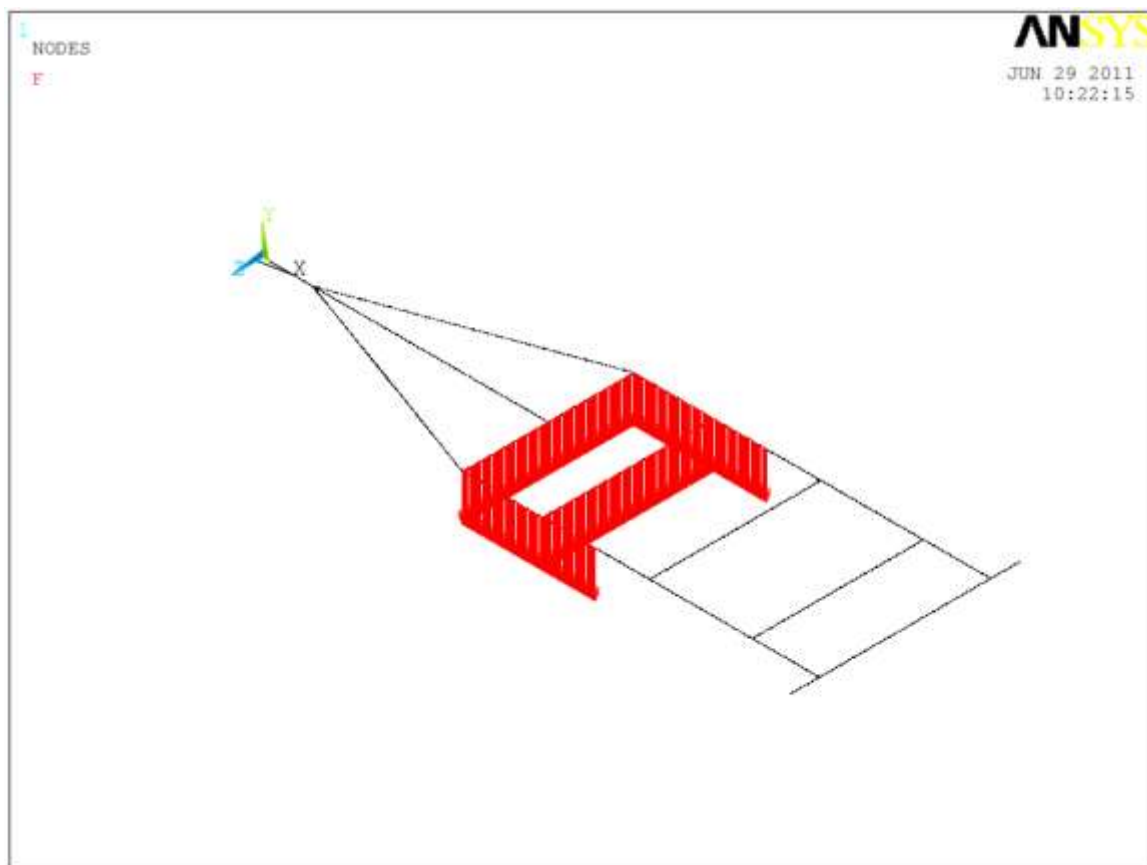


Tabela 32. Resultados para os apoios

	Força de Reação
Engate	38,135 N
Apoio dianteiro	667,87 N
Apoio traseiro	663,07 N

**RDN.2. Chassi - Configuração 2 de carregamento**



## Anexo V: Fotos e Resultados – Simulação RDN

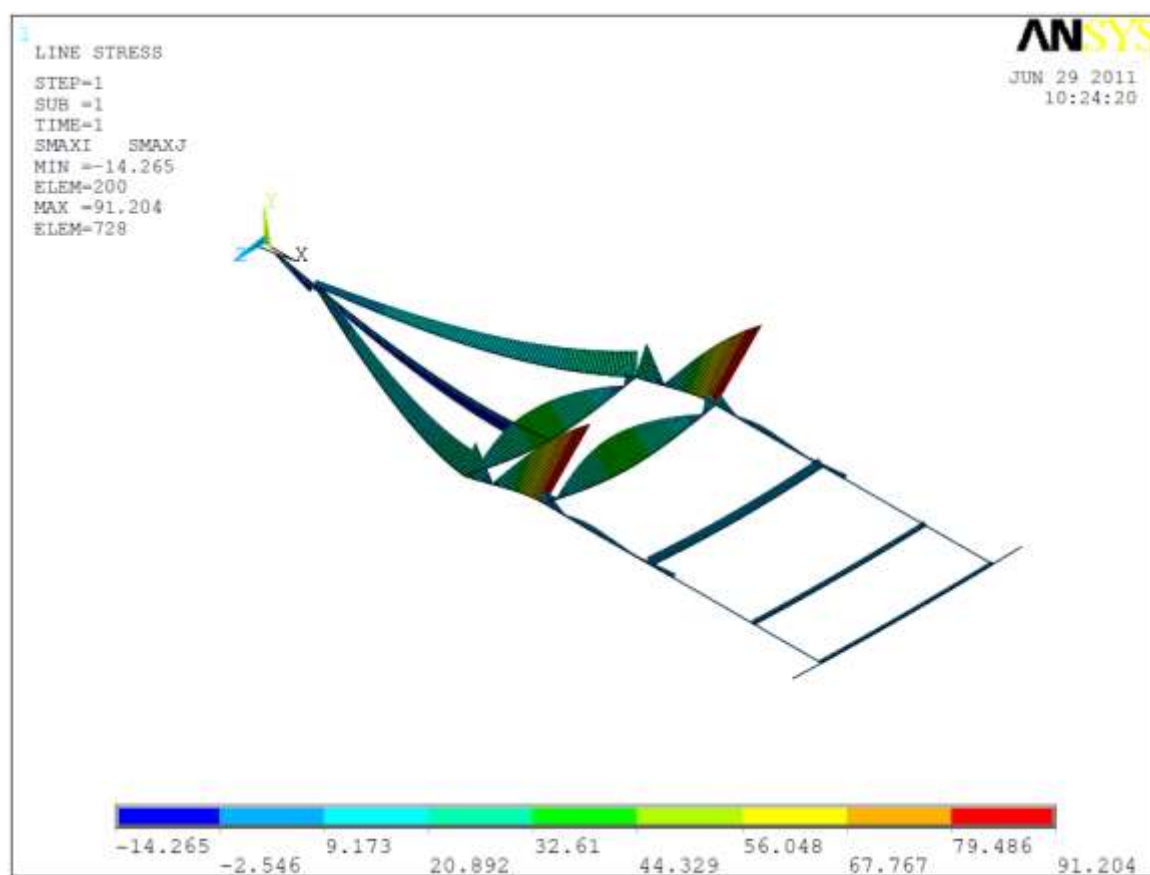
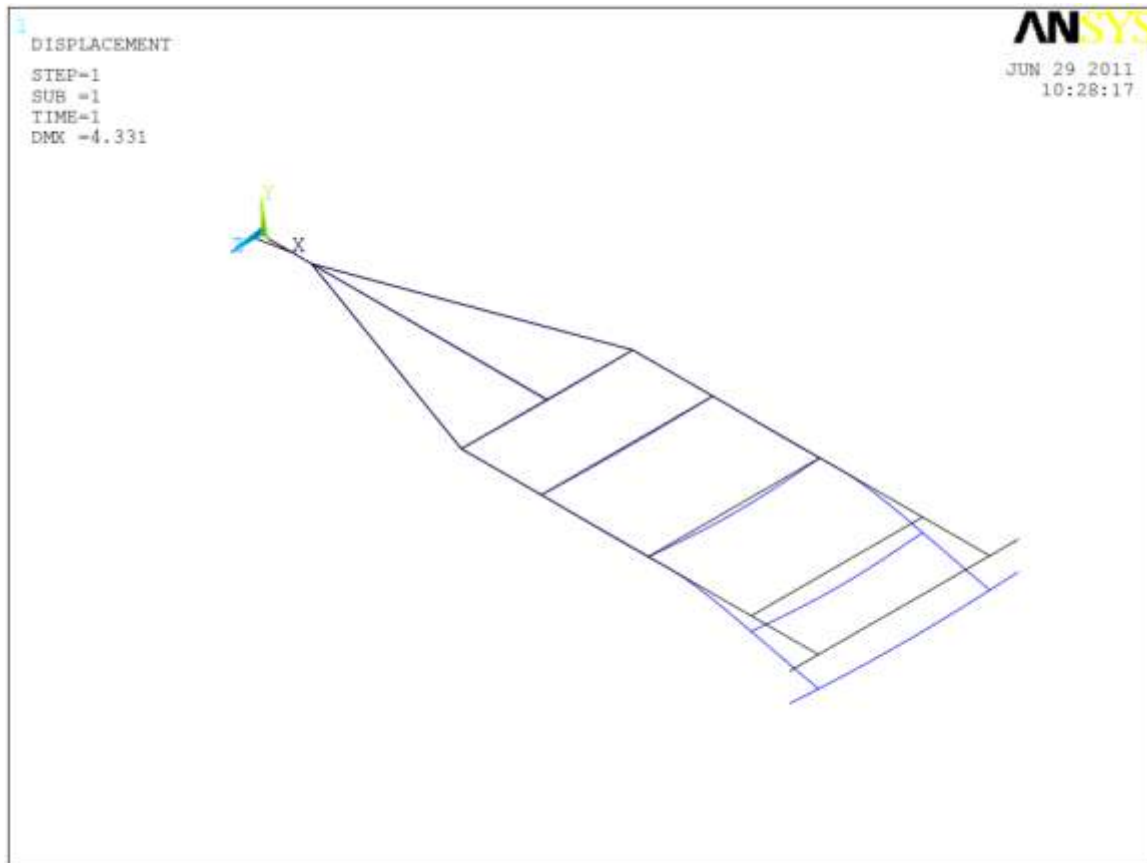
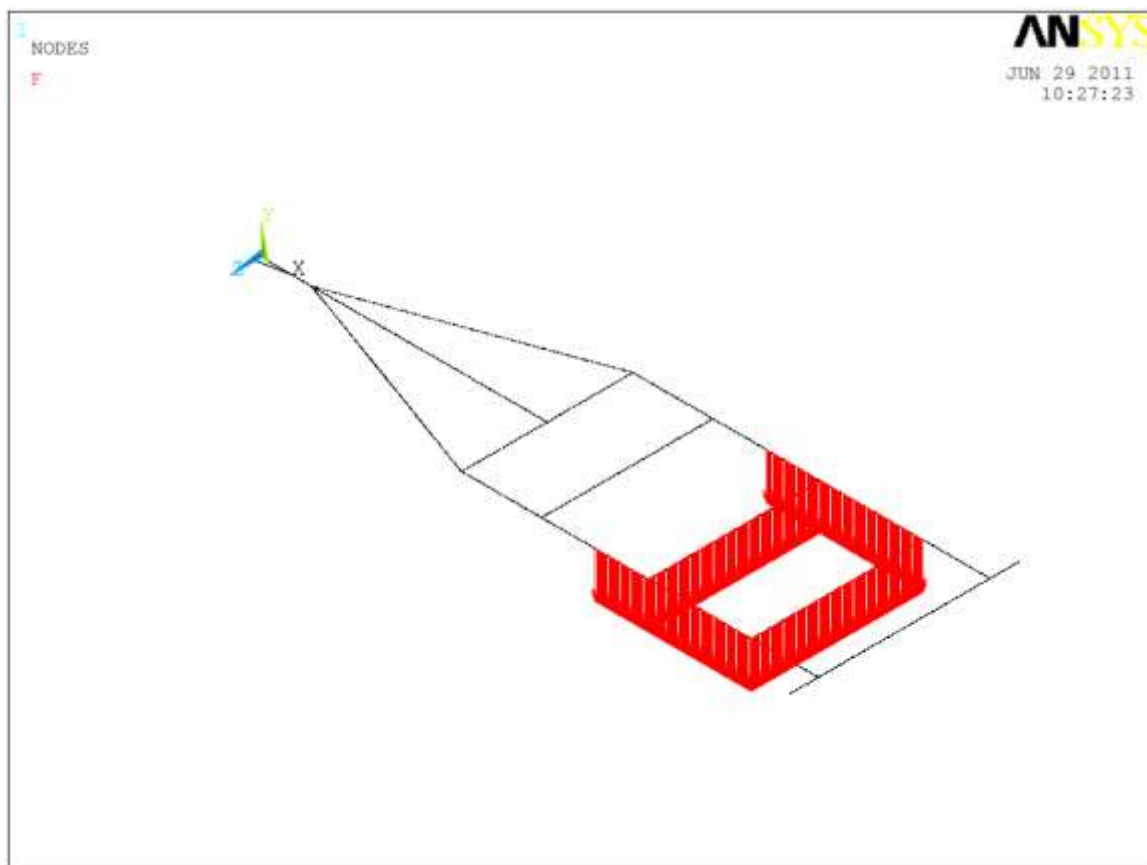


Tabela 33. Resultados para os apoios

	Força de Reação
Engate	78,742 N
Apoio dianteiro	1277,10 N
Apoio traseiro	32,641 N

**RDN.3. Chassi - Configuração 3 de carregamento**



## Anexo V: Fotos e Resultados – Simulação RDN

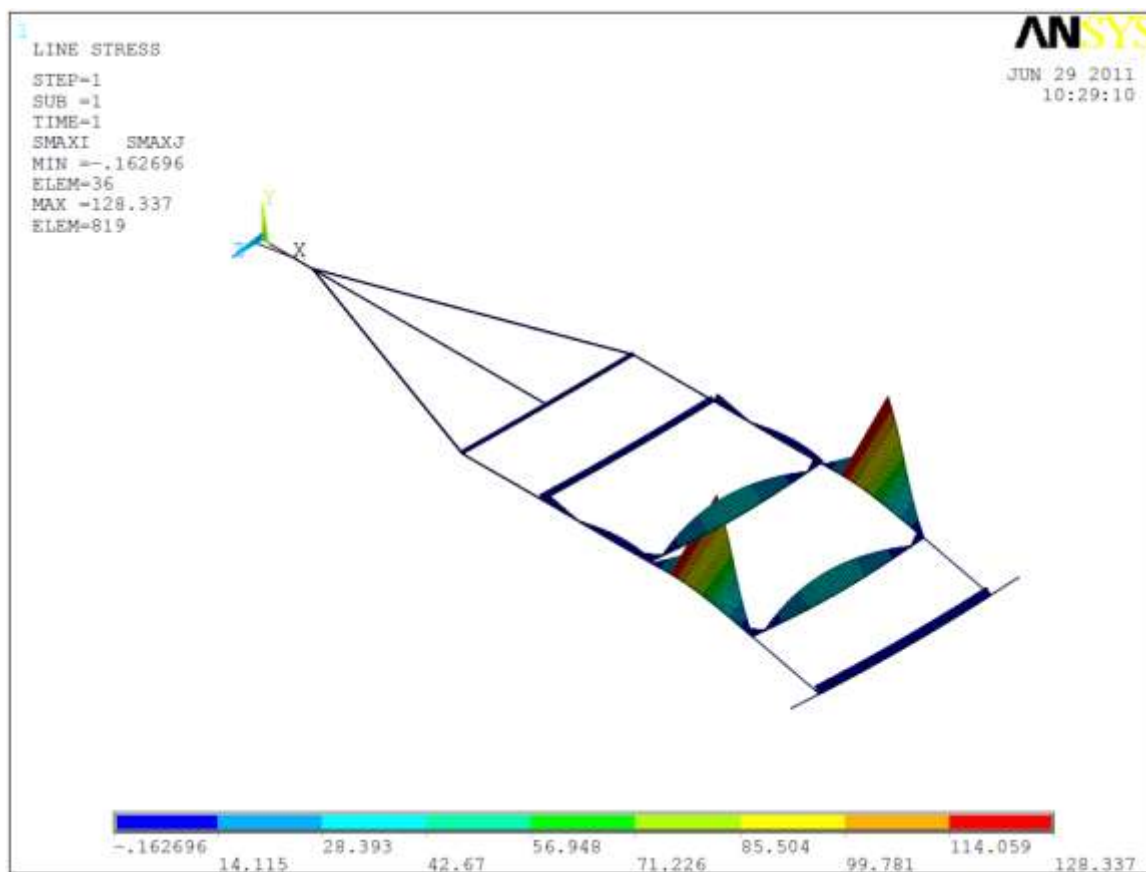


Tabela 34. Resultados para os apoios

	Força de Reação
Engate	0,317 N
Apoio dianteiro	100,42 N
Apoio traseiro	1249,40 N

**RDN.4. Apoio do Feixe de Molas - força máxima obtida**

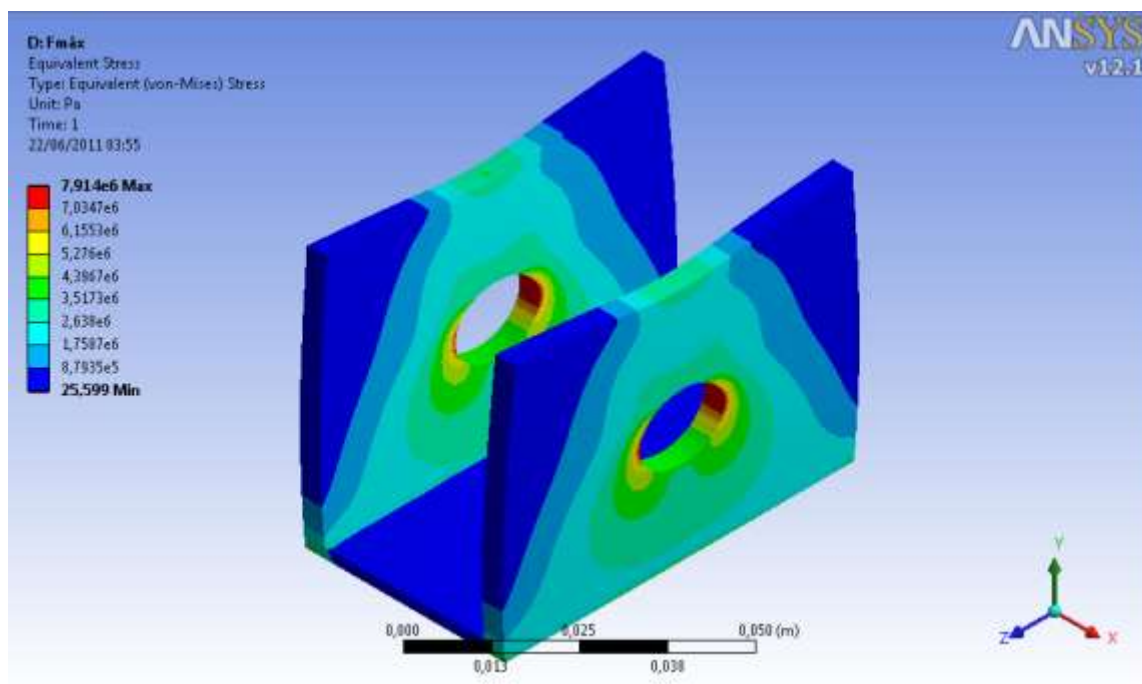
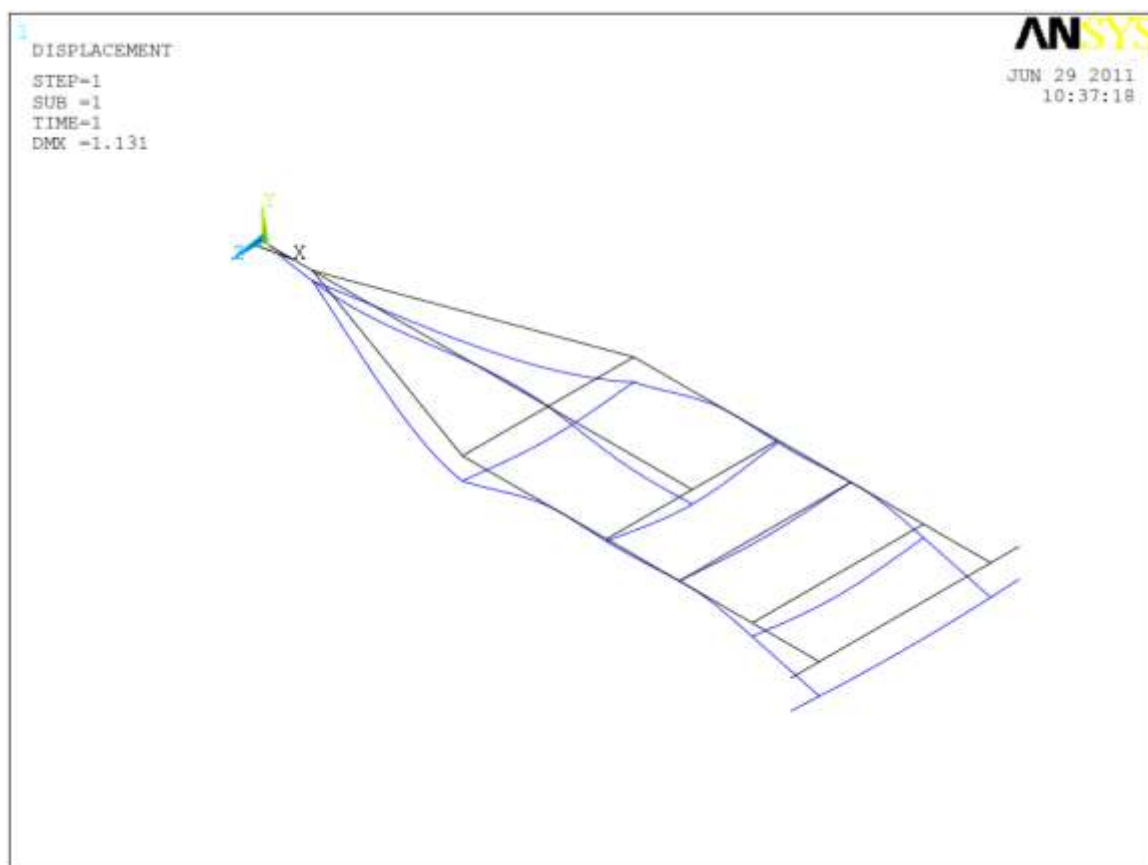
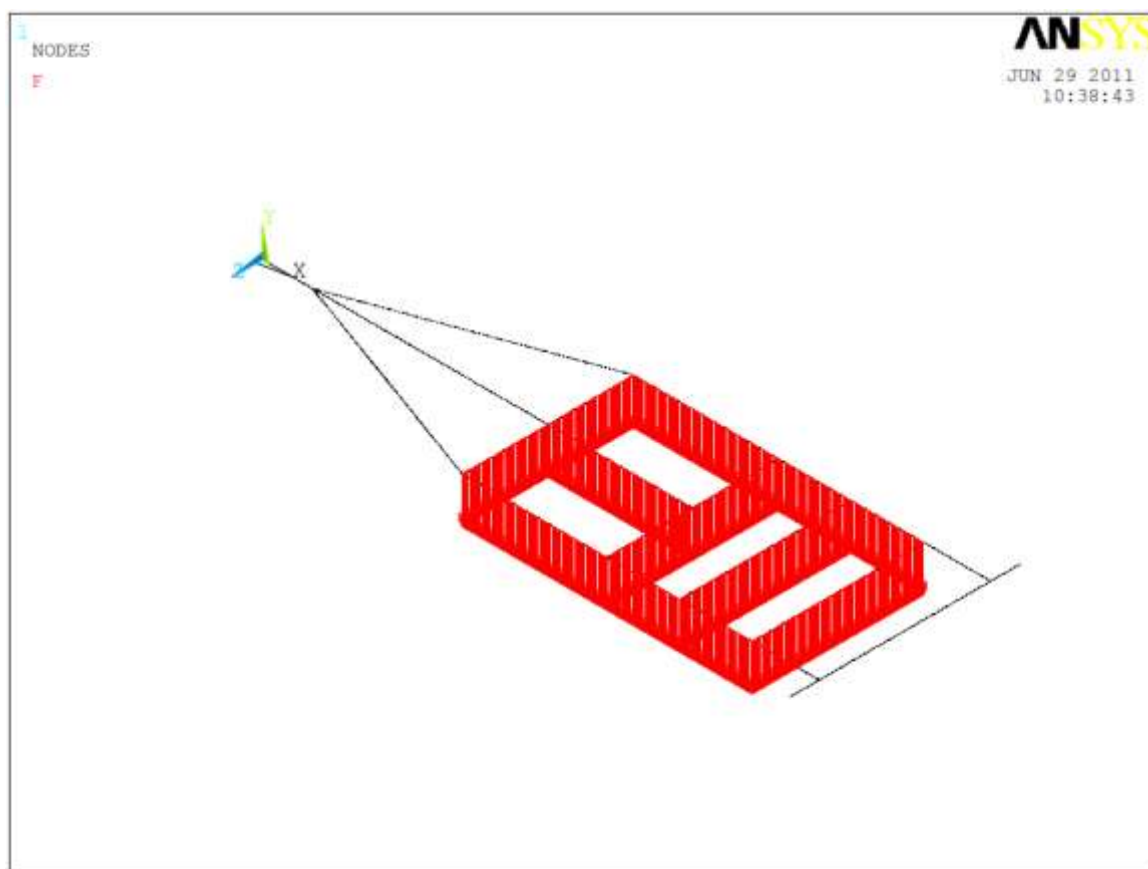


Tabela 35. Resultados obtidos para os apoios do feixe de molas

	Força máxima (1277,10 N)
Tensão Equivalente de Von Mises Máxima	7,91 MPa
Deformação Máxima	3,86E-02 $\mu$ Strain
Fator de Segurança Mínimo	44,25

## ANEXO VI: Fotos e Resultados – Simulação M25.1.2.U2

### M25.1.2.U2.1. Chassi - Configuração 1 de carregamento



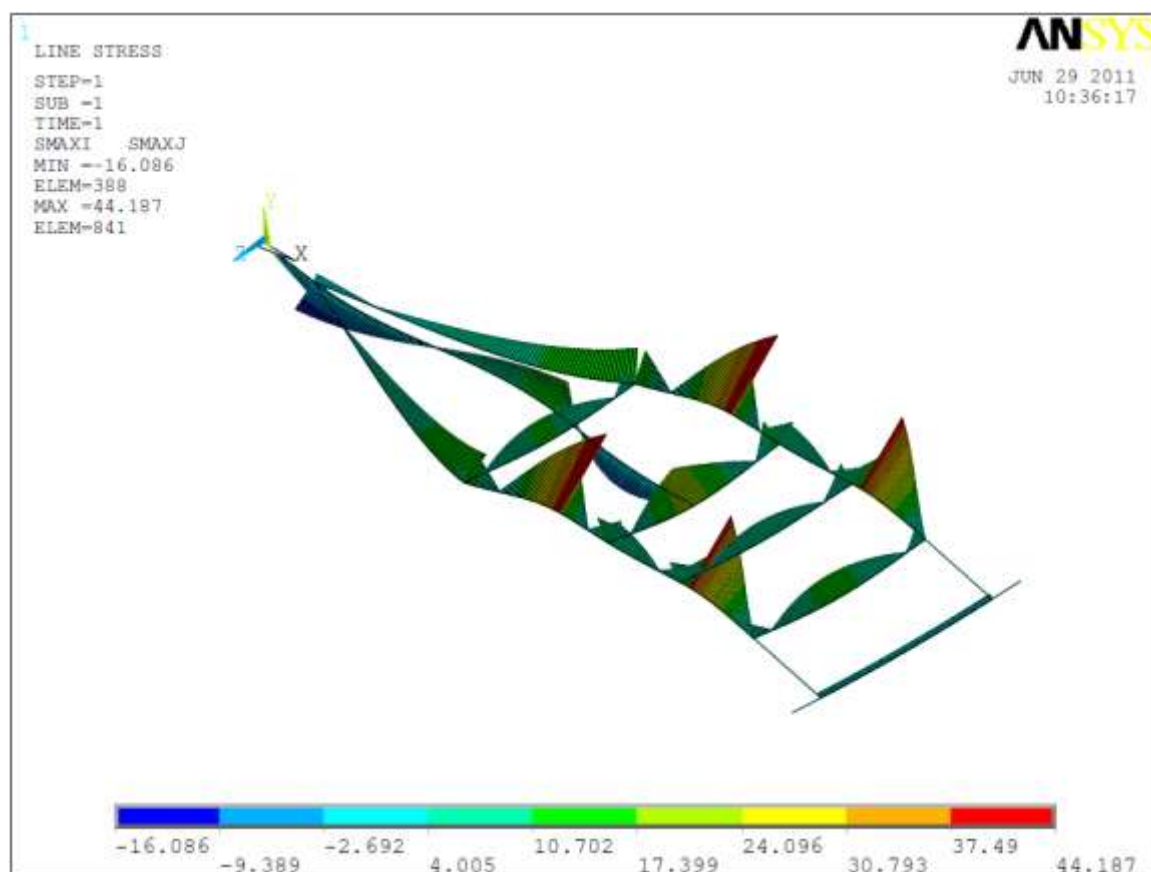
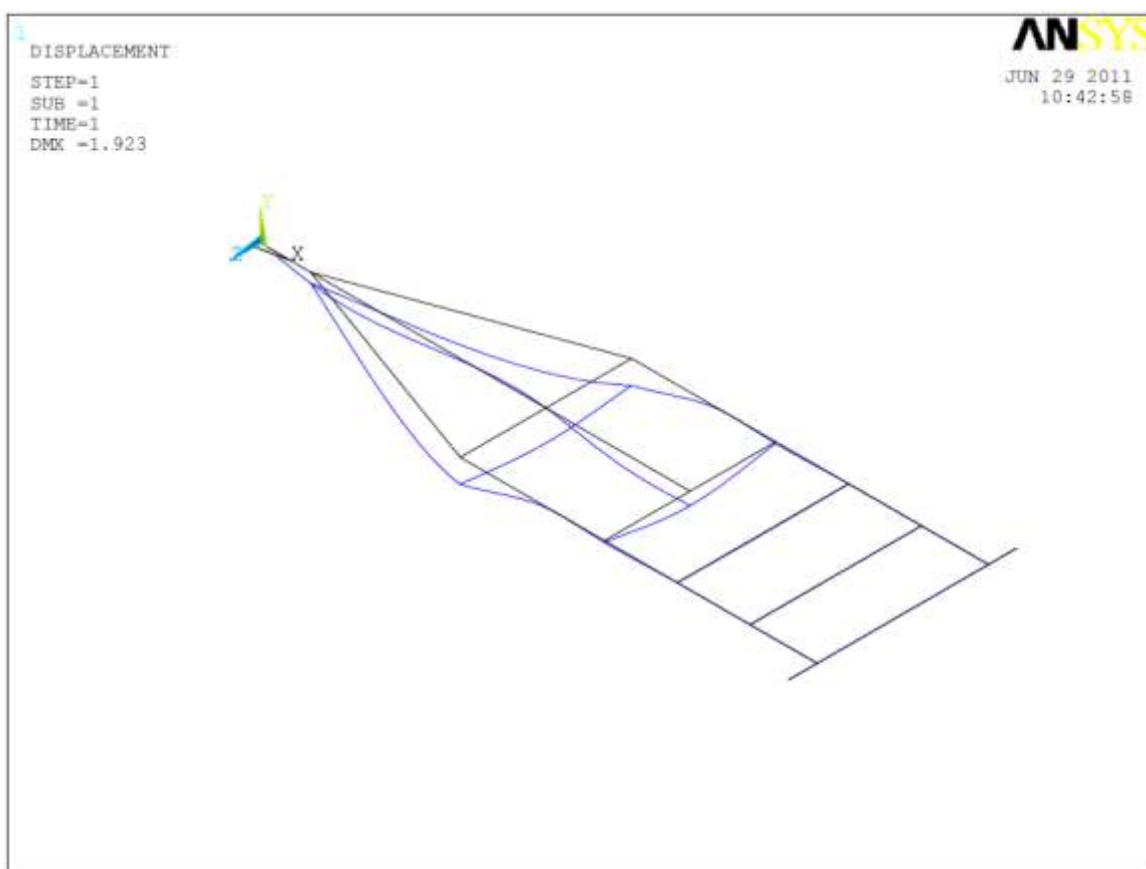
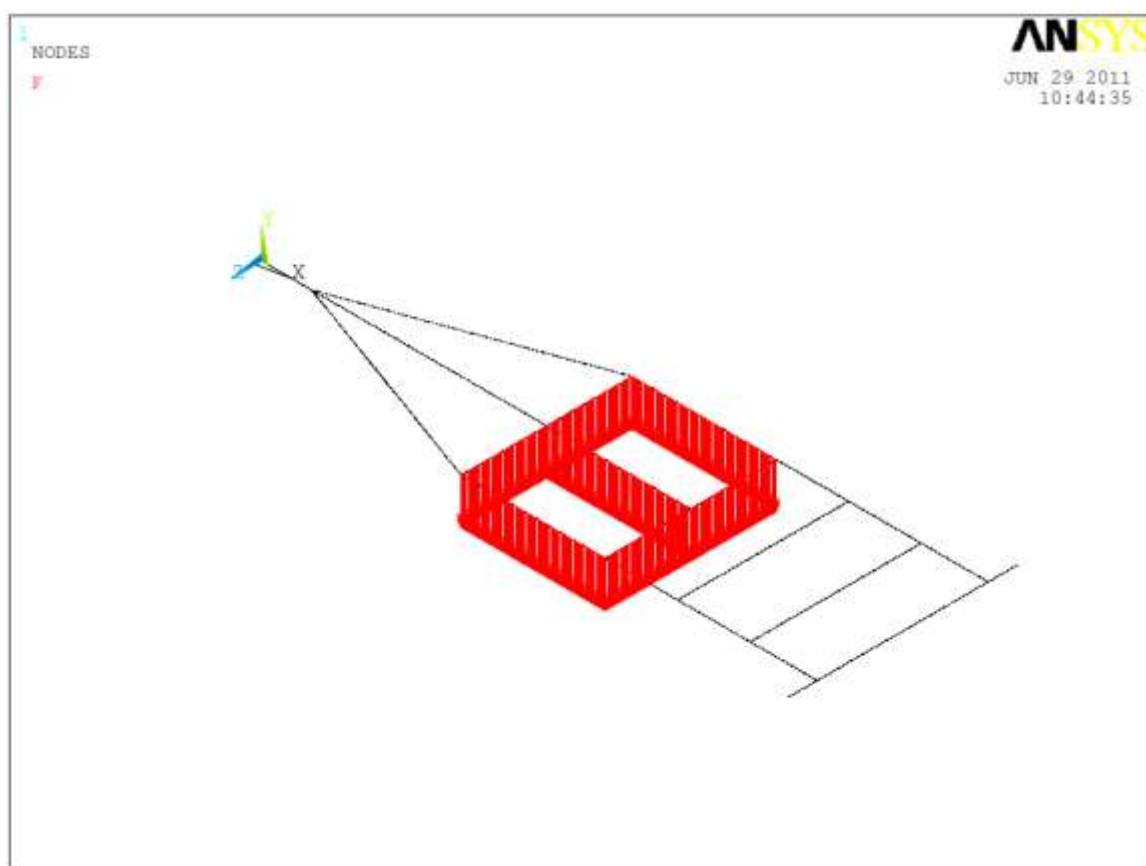


Tabela 36. Resultados para os apoios

	Força de Reação
Engate	29,796 N
Interseção entre o cambão e a primeira viga transversal	202,53 N
Apoio dianteiro	642,55 N
Apoio traseiro	671,29 N



**M25.1.2.U2.2. Chassi - Configuração 2 de carregamento**



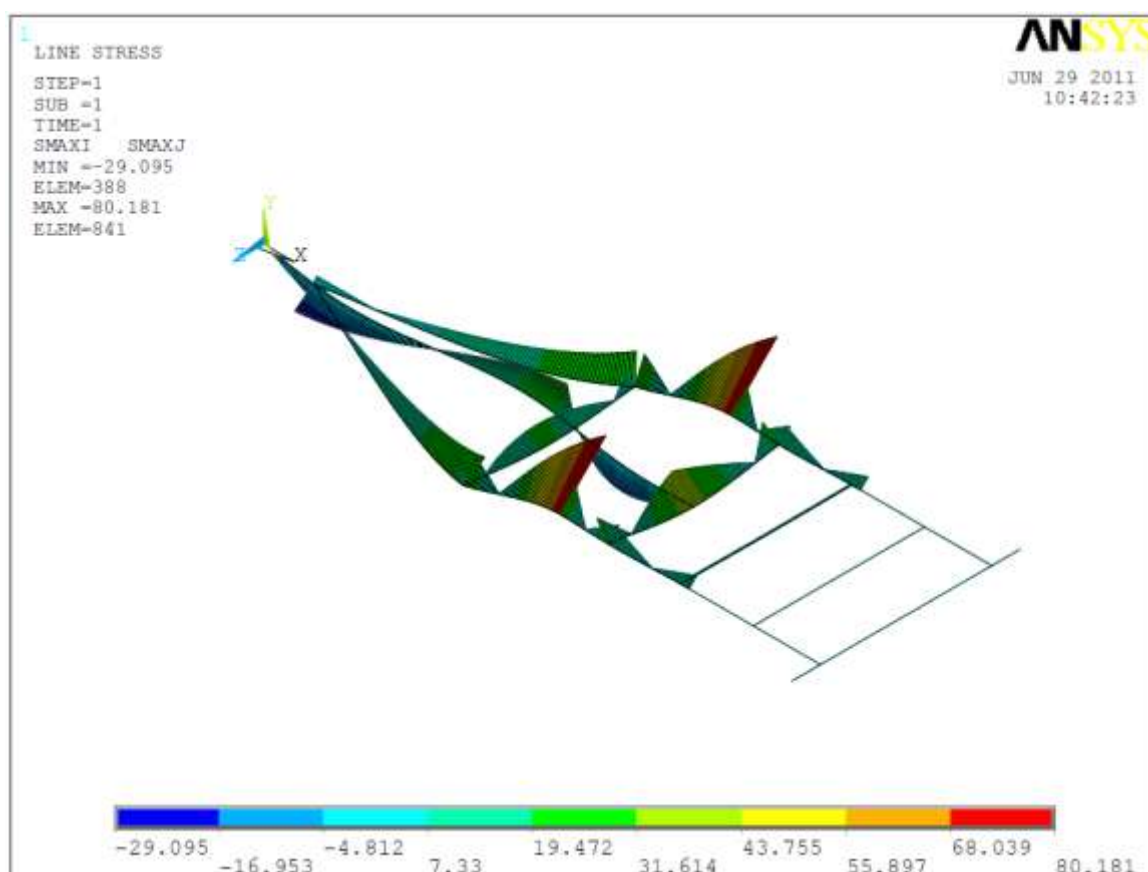
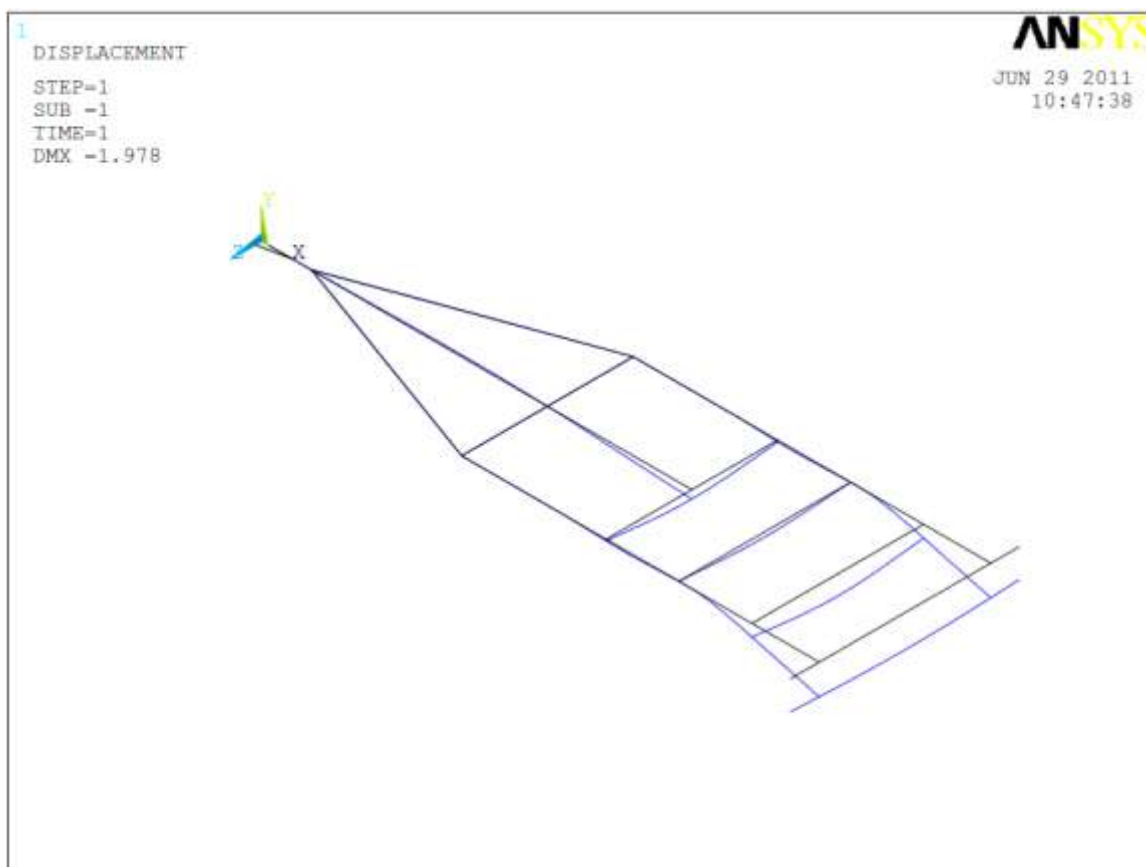
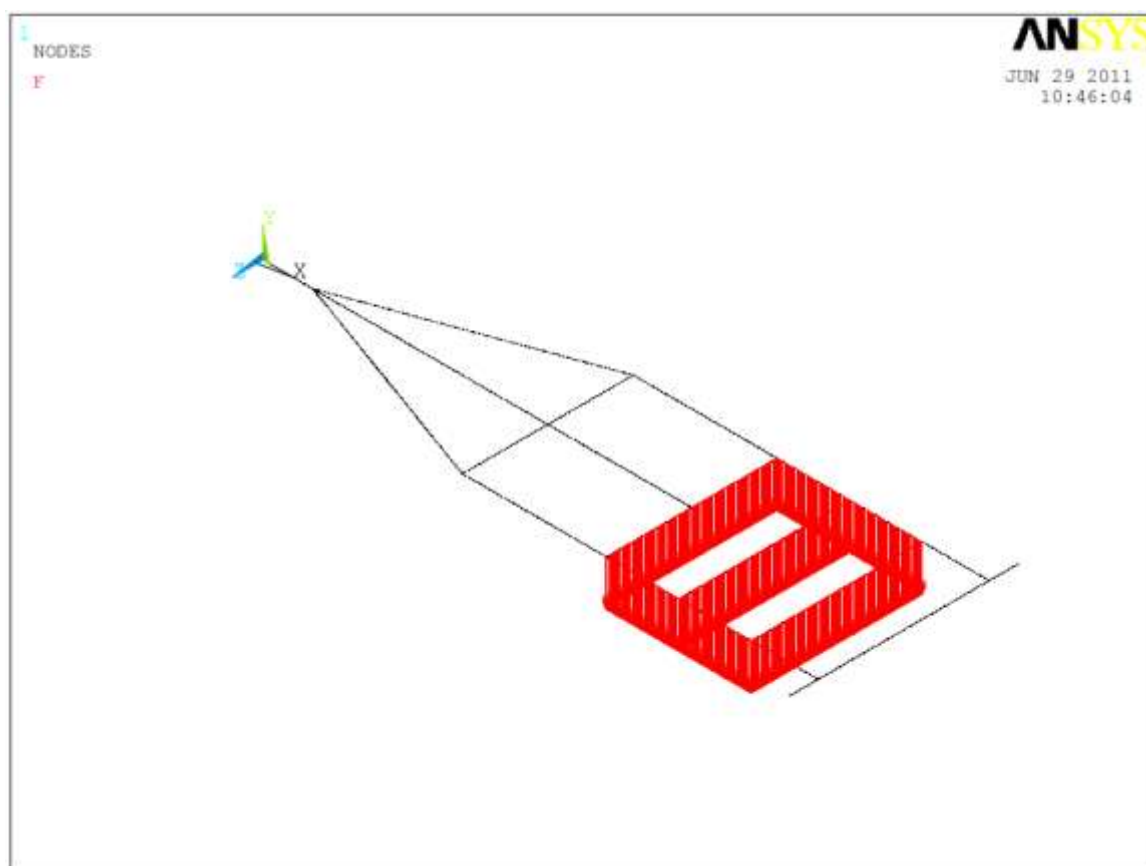


Tabela 37. Resultados para os apoios

	Força de Reação
Engate	54,268 N
Interseção entre o cambão e a primeira viga transversal	367,36 N
Apoio dianteiro	1080,40 N
Apoio traseiro	138,74 N

**M25.1.2.U2.3. Chassi - Configuração 3 de carregamento**



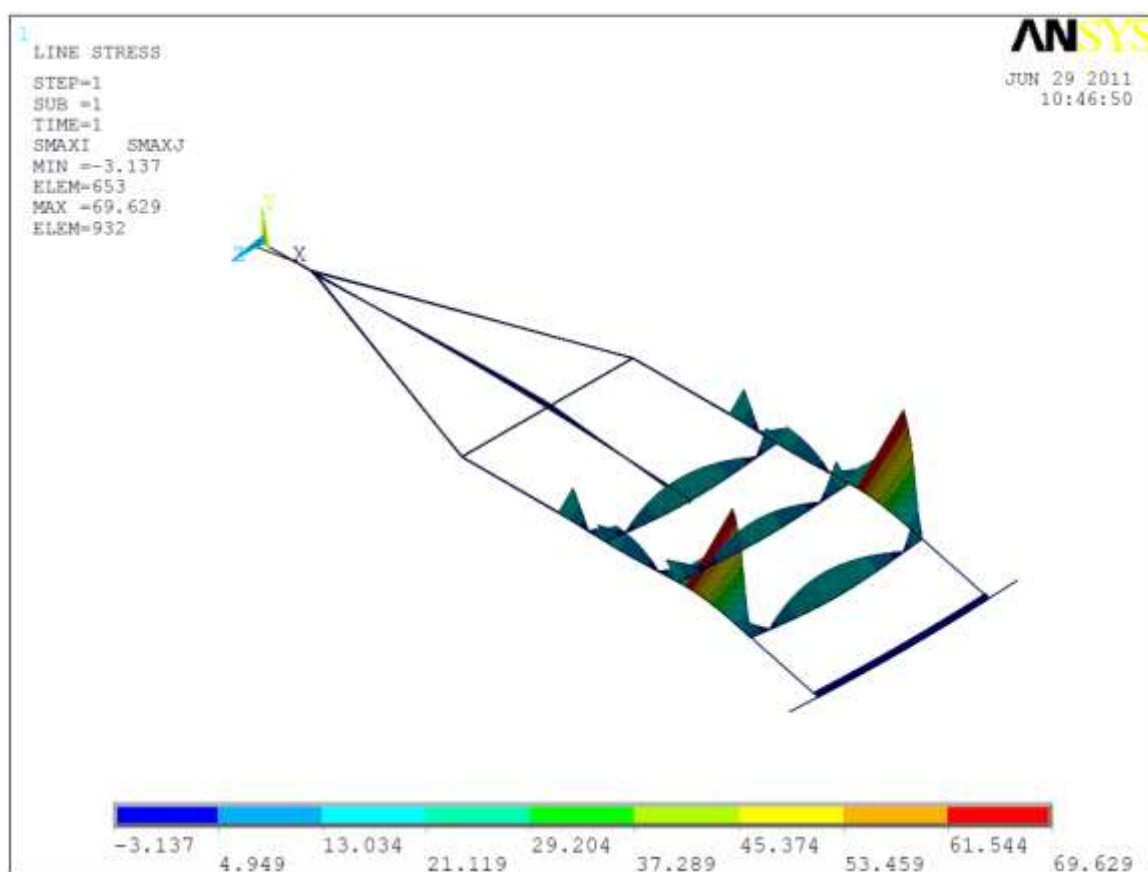


Tabela 38. Resultados para os apoios

	Força de Reação
Engate	-3,1134 N
Interseção entre o cambão e a primeira viga transversal	17,927 N
Apoio dianteiro	285,05 N
Apoio traseiro	1137,5 N

**M25.1.2.U2.4. Interseção entre o cambão e a primeira viga transversal**

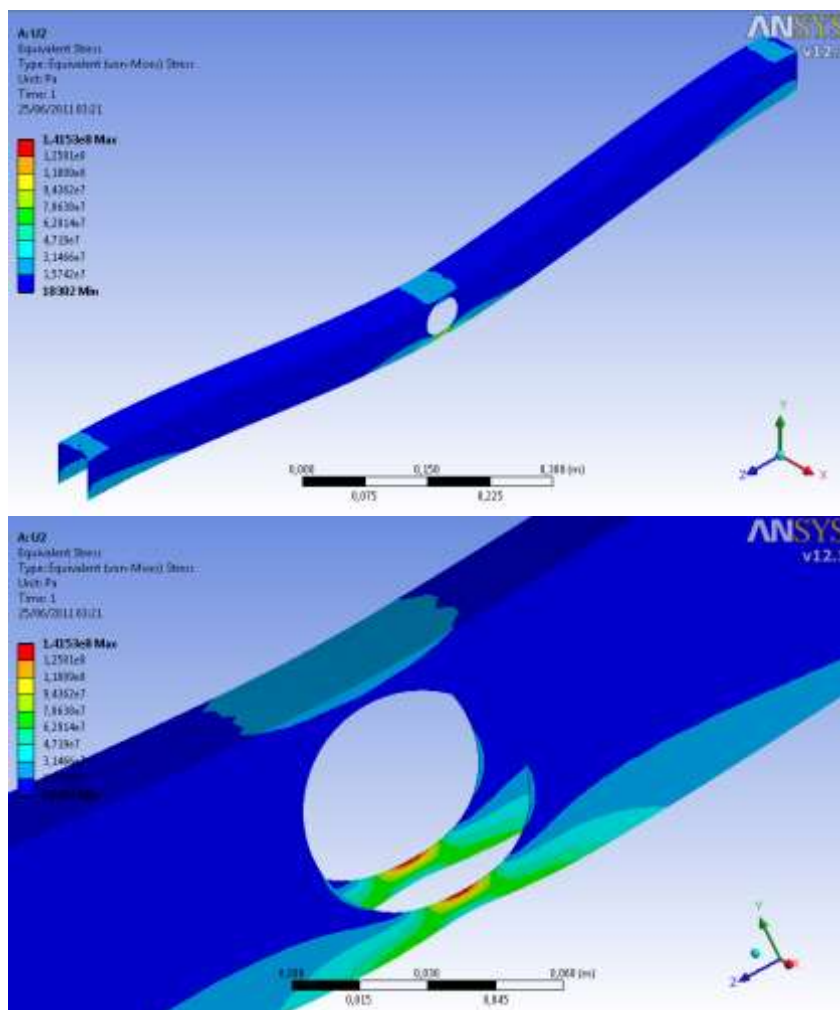


Tabela 39. Interação entre o cambão e a primeira viga transversal

	Força máxima (367,36 N)
Tensão Equivalente de Von Mises Máxima	141,53 MPa
Deformação Máxima	0,69 $\mu$ Strain
Fator de Segurança Mínimo	2,47

### M25.1.2.U2.5. Apoio do Feixe de Molas - força máxima obtida

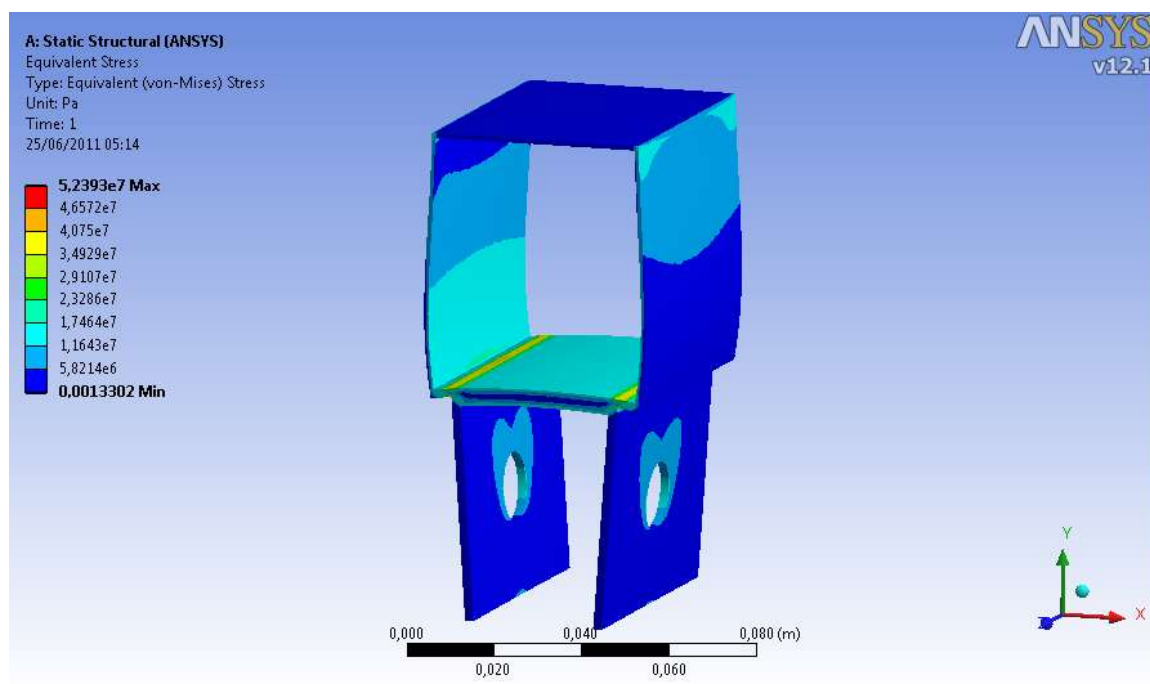


Tabela 40. Resultados obtidos para os apoios do feixe de molas

	Força máxima (1137,50 N)
Tensão Equivalente de Von Mises Máxima	52,39 MPa
Deformação Máxima	0,26 $\mu$ Strain
Fator de Segurança Mínimo	6,68