

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá
DEPARTAMENTO DE MECÂNICA

***ANÁLISE E REDUÇÃO DE CUSTOS E PESO EM VEÍCULO
RODOVIÁRIO DE CARGA REBOQUE LINHA DE EIXOS***

FÁBIO MARCACCINI CALDEIRA BRANT

Guaratinguetá - SP
2011

FÁBIO MARCACCINI CALDEIRA BRANT

ANÁLISE E REDUÇÃO DE CUSTOS E PESO EM VEÍCULO RODOVIÁRIO
DE CARGA REBOQUE LINHA DE EIXOS

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientadores: Prof. Antonio Wagner Forti

Guaratinguetá
2011

B821a Brant, Fábio Marcaccini Caldeira
Análise e redução de custos e peso em veículo rodoviário de carga reboque linha de eixos / Fábio Marcaccini Caldeira Brant – Guaratinguetá : [s.n], 2011.
67 f : il.
Bibliografia: f. 66-67

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.
Orientador: Prof. Dr. Antonio Wagner Forti

1. Transporte rodoviário de carga – Controle de custo I. Título

CDU 621.86.017

**ANÁLISE E REDUÇÃO DE CUSTOS E PESO EM VEÍCULO RODOVIÁRIO
DE CARGA REBOQUE LINHA DE EIXOS**

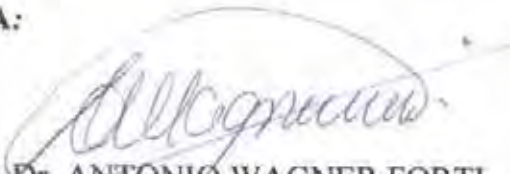
FÁBIO MARCACCINI CALDEIRA BRANT

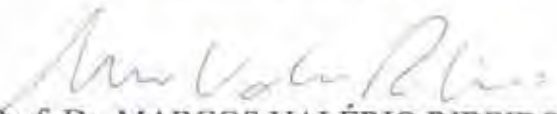
**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

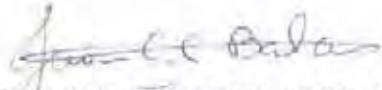
**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Prof. Dr. MAURO HUGO MATHIAS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. MARCOS VALÉRIO RIBEIRO
UNESP-FEG


Me. JUAN GALVÁRINO CERDA BALCAZAR
UNESP-FEG



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

**ANÁLISE E REDUÇÃO DE CUSTOS E PESO EM VEÍCULO RODOVIÁRIO DE
CARGA REBOQUE LINHA DE EIXOS**

FÁBIO MARCACCINI CALDEIRA BRANT

DADOS CURRICULARES

FÁBIO MARCACCINI CALDEIRA BRANT

NASCIMENTO	26.01.1982 – GUARATINGUETÁ / SP
FILIAÇÃO	Fernando Luiz Pinto Caldeira Brant Maria Aparecida Marcaccini Caldeira Brant
2001/2011	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Fernando e Maria Aparecida que sempre me apoiaram mesmo à distância.

Agradeço à minha avó Izabel, que por tanto tempo dedicou-se a cuidar de mim para que eu pudesse cuidar de meus estudos.

Aos amigos, que comigo caminharam juntos.

Agradeço ao professor Antonio Wagner Forti por me ajudar a concluir esse trabalho saudosamente.

À minha companheira Rafaela Rosa, que sempre esteve ao meu lado me motivando nessa jornada de aprendizagem e conhecimento.

Brant, F. M. C. **Análise e redução de custos e preço em veículo auxiliar de carga reboque linha de eixos** 2011. 66 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

O transporte de cargas no território brasileiro é dificultado por uma malha rodoviária deficiente, resultado de pouca manutenção e falta de supervisão governamental. O problema se agrava quando consideramos o transporte de cargas indivisíveis, principalmente porque as rodovias brasileiras não estão preparadas para tanto, e poucas empresas de logística no Brasil possuem equipamentos adequados para esse tipo de transporte. Será apresentada nesse trabalho a análise de um equipamento específico para transporte de cargas indivisíveis superpesadas, chamado reboque hidráulico linha de eixos. A partir de um projeto existente (RB.04LE-01), construído e homologado no Brasil, estudou-se o funcionamento dos componentes desse reboque para que fosse elaborado um modelo novo (RB.04LE-02), com dois objetivos principais: (1) a redução de custos e peso e, (2) aumento na carga útil para transporte rodoviário. A análise dos componentes do reboque foi feita utilizando a teoria de resistência à fadiga dos materiais e método dos elementos finitos com critério de von Mises para uma maior segurança nos cálculos realizados.

PALAVRAS-CHAVE: Cargas Indivisíveis. Reboques hidráulicos linha de eixos. Otimização.

Brant, F. M. C. **Analysis, costs and weight reduction in auxiliary load transportation vehicle hydraulic trailer** 2011. 66 f. Graduation Dissertation (Mechanical Engineering Graduation) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

Load transportation in Brazilian territory is made difficult by a deficient highway network, result of low maintenance and lack of government supervision. The problem aggravates when we consider the transportation of indivisible loads, mainly because the Brazilian highways are not prepared for such task and few companies in Brazil have the necessary equipment suited for this kind of transport. In this dissertation it will be shown the analysis of a specific equipment to transport overweight indivisible loads, called hydraulic modular multi axle trailer. From an existing project (RB.04LE-01), manufactured and homologated in Brazil, it has been studied how the components in this trailer work so it could have been possible to elaborate a new model (RB.04LE-02), with two main objectives: reduction of costs and weight with subsequent increase in the liquid load for roadway transportation. The trailer's components analyses were made utilizing the theory of fatigue strength of materials and finite element method with the von Mises criteria for a more safety when realizing the calculations.

KEYWORDS: Indivisible oversize overmass load. Hydraulic multi axle trailer. Optimization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Reboque Linha de Eixos transportando transformador na BR-101	15
FIGURA 2 – Transporte de Transformador de 400 toneladas na BR-060.....	15
FIGURA 3 – Tombamento carreta ao realizar curva na rodovia Fernão Dias	16
FIGURA 4 – Carreta excede altura máxima de viaduto e é necessária a passagem da carga sobre o mesmo	17
FIGURA 5 – Conjunto Caminhão e Veículo transportador realizando curva	17
FIGURA 6 – Resumo Resolução DER Portaria 22-10	18
FIGURA 7 – Semi-Reboque Articulado Plataforma Rebaixada tipo “Lagartixa”	19
FIGURA 8 – Semi-Reboque Articulado Extensível.....	20
FIGURA 9 – Carregamento de Pá de Turbina Eólica em semi-reboque	20
FIGURA 10 – Reboque Modular hidráulica “linha de eixos”	21
FIGURA 11 – Fabricantes principais linhas de eixo utilizadas no Brasil	22
FIGURA 12 – Ajustes na Viga Principal	26
FIGURA 13 – Suporte Lateral em produção	26
FIGURA 14 – Estrutura principal do reboque com os principais esforços sendo aplicados	27
FIGURA 15 – Conjunto Suspensão Hidráulica RB.04LE-01 com os componentes: a) Corpo da suspensão, b) Braços articulados, c) Pistão Hidráulico e d) Eixo Aro 15” com freio a disco	27
FIGURA 16 – Teste de carga da RB/LE-001 com 120 toneladas	28
FIGURA 17 – Carga sustentada por viga apoiada sobre pistões hidráulicos sob mesma pressão	30
FIGURA 18 – Espaçamentos nos tubos de passagem dos tirantes da direção	31
FIGURA 19 – Tabela com valores para o coeficiente de superfície.....	33
FIGURA 20 – Valores de coeficientes de confiabilidade	34
FIGURA 21 – Principais diferenças entre os conjuntos da suspensão dos modelos RB.04LE-01 e RB.04LE-02.....	36
FIGURA 22 – (I) Conjunto da Suspensão com os pontos de aplicação das forças (II) modelo matemático para cálculo dos esforços	37
FIGURA 23 – Diagrama de corpo livre para o braço da articulação	38

FIGURA 24 – Corte na seção do braço articulado com as principais medidas.....	39
FIGURA 25 – Gradiente de tensões primeiro modelo braço da suspensão.....	41
FIGURA 26 – Tensão máxima de Von Misses para modelo redesenhado do braço da articulação.....	42
FIGURA 27 – Alterações no componente corpo da suspensão	43
FIGURA 28 – Ponto de aplicação de esforços no conjunto da suspensão	44
FIGURA 29 – Gradiente de Tensões para conjunto da suspensão completo	44
FIGURA 30 – Medidas e Esforços aplicados à Base do Eixo.....	45
FIGURA 31 – Divisão estrutura principal: 1) Suportes Laterais 2) Bases do Eixo e 3) Viga Principal.....	46
FIGURA 32 – Modelo matemático para dimensionamento base do eixo	47
FIGURA 33 – Medidas Construtivas Bases do Eixo.....	50
FIGURA 34 – Esforços no Suporte Lateral e modelo matemático	51
FIGURA 35 – Detalhes construtivos do suporte lateral	52
FIGURA 36 – Esforços na ponteira do reboque e modelo matemático	54
FIGURA 37 – Modelo matemático viga principal	56
FIGURA 39 - A) Reboque completo com todos os componentes B) Estrutura principal do reboque com esforços aplicados	59
FIGURA 38 – Simplificação modelo matemático viga principal.....	56
FIGURA 39 - A) Reboque completo com todos os componentes B) Estrutura principal do reboque com esforços aplicados	59
FIGURA 40 - Tensão Máxima e Mínima Von Misses para a estrutura principal	59
FIGURA 41 – Deformações Máxima e Mínima para a estrutura principal.....	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Dimensionamento braço da articulação para chapas de ASTM A36	39
TABELA 2 – Dimensionamento braço da articulação para chapas SAC-50	40
TABELA 3 – Dimensionamento Base do Eixo para chapas SAC-50 de 1/8” (3,175 mm) a 5/8” (15,875 mm)	50
TABELA 4 – Dimensionamento Base do Eixo para chapas SAC-50 de 3/4” (19,05 mm) a 1.1/4” (31,75 mm)	51
TABELA 5 – Dimensionamento Suporte Lateral para chapas de variadas espessuras SAC-50	53
TABELA 6 – Dimensionamento Ponteira do Reboque para chapas SAC-50	55
TABELA 7 – Dimensionamento Viga Principal para aços SAC-50.....	58
TABELA 8 – Comparação de custos entre os projetos RB.04LE-01 e RB.04LE-02.....	61
TABELA 9 – Comparação de pesos entre os projetos RB.04LE-01 e RB.04LE-02.....	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Dificuldades no transporte de cargas indivisíveis	14
1.1.1 Largura da carga transportada	14
1.1.2 Altura da carga transportada	16
1.1.3 Comprimento da carga transportada.....	16
1.1.4 Concentração de peso bruto total da carga transportada	18
2 PRINCIPAIS TIPOS DE REBOQUES E SEMI-REBOQUES	18
2.1 Reboques de cargas indivisíveis de grandes geometrias	19
2.2 Reboques de cargas indivisíveis superpesadas	20
3 REBOQUES MODULARES COM QUATRO LINHAS DE EIXO.....	23
3.1 Introdução.....	23
3.2 Reboque RB.04LE-01 – Projeto.....	23
3.2.1 Reboque RB.04LE-01 – Intenção de projeto.....	24
3.2.2 Reboque RB.04LE-01 – Elaboração desenhos de construção	24
3.2.3 Reboque RB.04LE-01 – Produção	25
3.2.4 Reboque RB.04LE-01 – Conclusão Projeto	28
3.3 Reboque RB.04LE-02	29
3.3.1 Limites de resistência à fadiga.....	32
3.3.2 Dimensionamento do conjunto da suspensão hidráulica.....	35
3.3.3 Dimensionamento da estrutura principal.....	45
3.3.4 Dimensionamento da base do eixo	45
3.3.5 Dimensionamento do Suporte Lateral	51
3.3.6 Dimensionamento Ponteiros Estrutura Principal.....	54
3.3.7 Dimensionamento da Viga Principal	55
4 RESULTADOS.....	61
5 CONCLUSÕES.....	63

LISTA DE SÍMBOLOS

$S'_{e_{A572}}$	Resistência à fadiga de um corpo de prova em aço ASTM-A572
S_{ut}	Limite de resistência à tração do aço especificado
$S'_{e_{A36}}$	Resistência à fadiga de um corpo de prova em aço ASTM-A36
S_e	Limite de resistência à fadiga corrigido
k_a	Fator de modificação de condição de superfície
k_b	Fator de modificação de tamanho
k_c	Fator de carregamento
k_d	Fator de temperatura
k_e	Fator de confiabilidade
k_f	Fator de efeitos diversos
nf	Fator de segurança critério ASME elíptico
$F_{suspensão_{min}}$	Força mínima no conjunto da suspensão para cálculo
Deq.	Diâmetro equivalente a um corpo de prova
Sy	Limite de escoamento do material
A95	Área equivalente a um corpo de prova
MI	Momento de Inércia
R_{yA}	Reação no pino da suspensão correspondente à carga no reboque
R_{pont}	Esforço resultante da carga na estrutura da ponteira

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, um país com uma malha ferroviária de pequeno porte se colocar em perspectiva a sua extensão, grande parte do transporte de cargas é realizado por meio de caminhões e veículos auxiliares de carga. Existe uma grande variedade de produtos transportados pelas empresas brasileiras, porém os que mais envolvem custos de logística são os de transporte de cargas indivisíveis.

A carga indivisível é aquela que uma vez tendo sua construção completa, não possui nenhum tipo de parte desmontável ou emenda que possa permitir seu transporte dentro das limitações de carga dos reboques e semi-reboques comuns. Transformadores de hidrelétricas que têm um núcleo indivisível e pás de turbinas eólicas que ao longo de seu comprimento não podem ter emendas são exemplos de cargas que só podem ser transportadas com veículos especiais.

Nas Figuras 1 e 2 temos os dois tipos de cargas características de obras de grande porte e construções pesadas. Esse mercado vem adquirindo certa importância principalmente com a definição da sede da copa de 2014 e olimpíadas em 2016 no Brasil. Segundo a revista Grandes Construções, estão previstos R\$ 247 bilhões de investimentos só na área de energia para o período de 2010 a 2013.

1.1 Dificuldades no transporte de cargas indivisíveis

Por possuir grandes dimensões e/ou concentração de peso, as cargas indivisíveis impõem alguns obstáculos no transporte de seu local de origem. As principais características de uma carga indivisível e suas respectivas dificuldades no transporte da mesma são:

1.1.1 Largura da carga transportada

Além das complicações geométricas, impostas pela largura útil da via por onde a carga será transportada, o excedente lateral de uma carga indivisível aumenta a instabilidade do conjunto transportador e dificulta a amarração da mesma. Cargas com excedente lateral também muitas vezes devem ser transportadas com escolta, especialmente em vias de mão dupla, encarecendo o transporte.



FIGURA 1 - Reboque Linha de Eixos transportando transformador na BR-101.
(Fonte: CLICRBS, 31/08/2010)



FIGURA 2 – Transporte de Transformador de 400 toneladas na BR-060. (Fonte: PORTAL 730, 16/06/2010)

1.1.2 Altura da carga transportada

A altura da carga indivisível dificulta ou às vezes inviabiliza uma rota por exceder o tamanho do viaduto, situação demonstrada na Figura 4. Outro problema também é o aumento do momento de tombamento por elevação do centro de gravidade do conjunto que pode provocar acidente, por isso uma das características mais procuradas nesses tipos veículos é o rebaixamento da plataforma de carga. Na Figura 3 temos um acidente devido a tombamento de carga.

1.1.3 Comprimento da carga transportada

As empresas de logística estão cada vez mais investindo em reboques e semi-reboques de plataformas extensíveis, que além de pás de turbinas eólicas, carregam outras estruturas de grande extensão. O maior problema é o arraste durante a realização da curva do conjunto Caminhão e Reboque que conforme podemos verificar na Figura 5, pode impossibilitar o tráfego em rotas com curvas de raio muito acentuado.



FIGURA 3 – Tombamento carreta ao realizar curva na rodovia Fernão Dias (Fonte: FolhaUol, 29/10/2011)

Além da dificuldade de dimensão da via, o arraste do último eixo provoca desgaste nos pneus. Alguns desses reboques de plataforma extensível possuem o último eixo direcional para acompanhar o raio de curvatura do eixo dianteiro a fim de evitar esse tipo de desgaste e facilitar as manobras.



FIGURA 4 – Carreta excede altura máxima de viaduto e é necessária a passagem da carga sobre o mesmo
(Fonte: RAC, 30/03/2011)

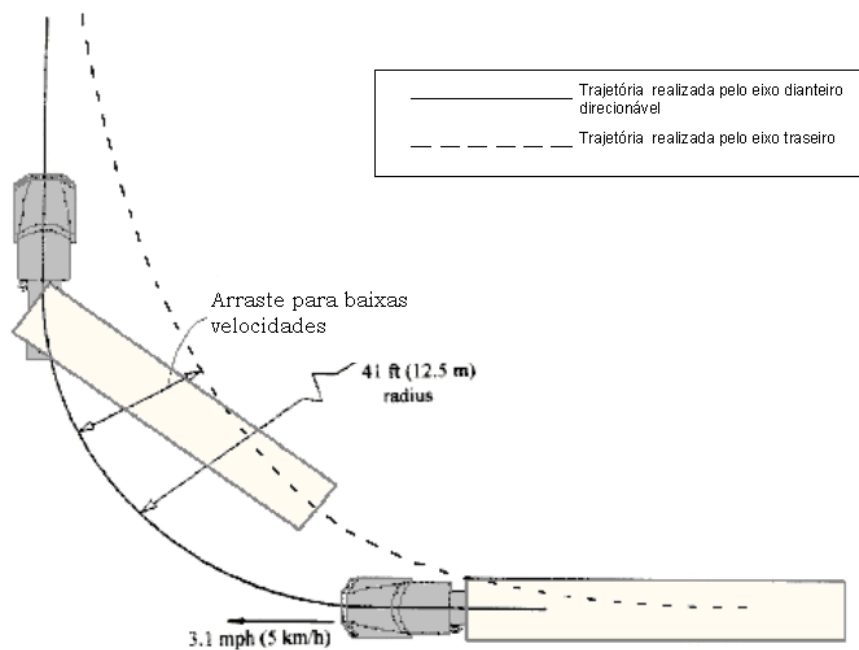


FIGURA 5 – Conjunto Caminhão e Veículo transportador realizando curva (Fonte:U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration, 11/09/2011)

1.1.4 Concentração de peso bruto total da carga transportada

O peso total da carga indivisível torna-se um problema a partir do momento que a força transmitida aos pneus exceda o limite de pressão no asfalto da rodovia e também o limite de carga nos viadutos em qualquer um dos eixos. Esse limite é estudado e estabelecido por lei, baseado em vários fatores tais como distância entre eixos e número de pneus por eixo.

Cada estado brasileiro possui sua portaria e normas vigentes de pesos e dimensões de veículos transportadores, compatíveis com as rodovias de cada estado. A Figura 6 mostra uma relação de dimensões e pesos por eixo da portaria 22/10 do DER/SP, vigente atualmente.

Os principais tipos de eixos que permitem cargas pesadas são os eixos em tandem¹ e conjunto de linhas de eixo.

Tipo de Eixo	Distância entre eixos em (m)	Peso/Eixo(ton.)		
		2 rodas	4 rodas	8 rodas
<u>Eixos Simples</u>	-	<u>7,5</u>	<u>12,0</u>	<u>15,0</u>
<u>Conjunto de 2 eixos em Tandem</u>	maior que 1,20m e menor ou igual a 1,50		<u>22,0</u>	<u>24,0</u>
	maior que 1,50 m e menor ou iguais a 2,40 m		<u>22,0</u>	<u>24,0</u>
<u>Conjunto de 3 eixos em Tandem</u>	maior que 1,20m e menor ou igual a 1,50		<u>28,0</u>	<u>32,0</u>
	maior que 1,50m e inferior ou iguais a 2,40m		<u>32,0</u>	<u>36,0</u>
<u>Conjunto de 4 ou mais eixos em tandem ou linhas-de-eixo dotadas de suspensão hidro-pneumática interligada</u>	maior que 1,20m e menor ou igual a 1,50		<u>9,5</u>	<u>11,5</u>
	maior que 1,50m e menor ou igual a 2,40		<u>10,0</u>	<u>12,0</u>
<u>Eixos Separados</u>	<u>Superior a 2,40</u>	<u>7,5</u>	<u>12,0</u>	<u>15,0</u>

FIGURA 6 – Resumo Resolução DER Portaria 22-10 (Fonte: Guia do TRC, 01/09/2011)

2. PRINCIPAIS TIPOS DE REBOQUES E SEMI-REBOQUES

Existe uma grande variedade de veículos disponíveis no mercado especialmente designados para esse tipo de carga, porém iremos tratar mais especificamente de dois tipos que transportam as cargas mais críticas: reboques de cargas indivisíveis superdimensionadas e superpesadas.

2.1 Reboques de cargas indivisíveis de grandes geometrias

¹ Eixos em tandem têm a função de distribuir cargas em um conjunto de pneus e também de eliminar quaisquer torções na viga onde estão fixos

Os veículos apresentados a seguir são especificamente construídos para carregar equipamentos/partes com geometrias que excedam as dimensões de quaisquer outros veículos de cargas mais comuns.

O reboque lagartixa (também chamado de “*carrega-tudo*”) esquematizado na Figura 7 serve para o transporte de grandes equipamentos e partes, sendo as mais comuns máquinas de serviço pesado que possuam baixa velocidade de circulação em vias públicas tais como guindastes e escavadeiras.

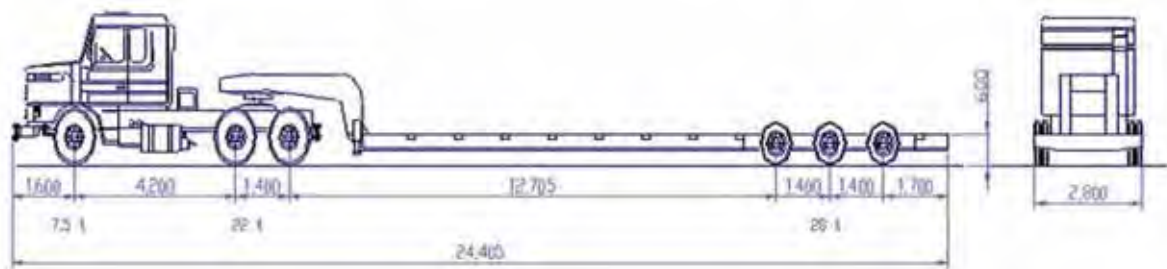


FIGURA 7 - Semi-Reboque Articulado Plataforma Rebaixada tipo “Lagartixa”
(Fonte: Guia do TRC, 01/09/2011)

O rebaixamento da plataforma de carga permite não apenas uma viabilidade maior na altura de carga a ser transportada, assim como uma maior estabilidade do conjunto transportador.

O semi-reboque articulado extensível tipo viga extensível mostrado na Figura 8 é utilizado em transportes onde há cargas com dimensões de comprimento muito elevadas. Uma das vantagens desse tipo de reboque é a variação da longarina de ligação com os eixos traseiros de acordo com o comprimento da carga transportada. Para o transporte das cargas nesse tipo de reboque são normalmente utilizadas estruturas especiais que distribuem o peso nos eixos. Na Figura 9 é mostrada a carga típica desse reboque: pás de turbinas eólicas.

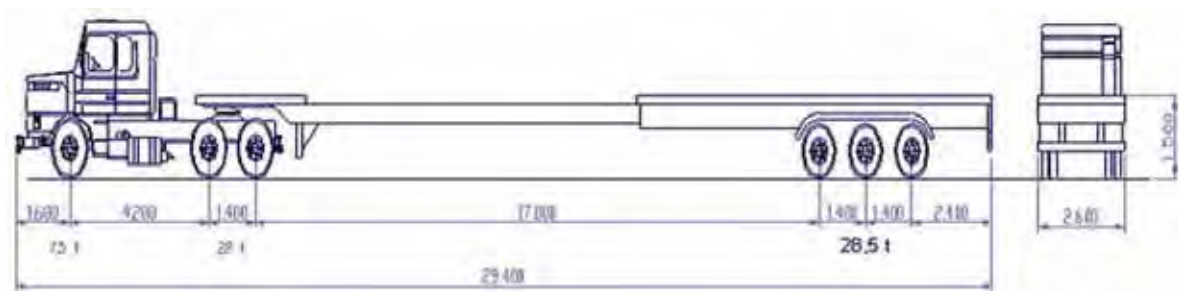


FIGURA 8 - Semi-Reboque Articulado Extensível (Fonte: Guia do TRC, 01/09/2011)



FIGURA 9 – Carregamento de Pá de Turbina Eólica em semi-reboque – (Revista o Carreteiro – 01/09/2011)

2.2 Reboques de cargas indivisíveis superpesadas

Para tanto esses veículos possuem uma geometria e mecanismos que permitem uma distribuição de carga uniforme sobre os eixos.

Outro fato que torna esse veículo auxiliar muito útil para cargas superpesadas é o fato que de esses reboques podem ser engatados em um conjunto de vários módulos de um número n de eixos. Para exemplificar como a carga é distribuída segue a formulação de distribuição de carga por eixo:

$$P_c = \text{PESO TOTAL CARGA TRANSPORTADA}$$

$$P_t = \text{PESO TOTAL ESTRUTURA REBOQUE (TARA)}$$

$$P_e = \text{PESO TOTAL EQUIPAMENTOS ADICIONAIS DE CARGA}$$

$$N_e = \text{NÚMERO DE EIXOS NO REBOQUE OU CONJUNTO DE MÓDULOS}$$

$$E_c = \text{CARGA POR EIXO DO CONJUNTO}$$

$$E_c = \frac{P_c + P_t + P_e}{N_e} \quad (1)$$

Válida somente para reboques linha de eixo, a equação (1) fornece um meio de prever a quantidade de “eixos” a ser utilizado no transporte de uma determinada carga. A soma da carga total ($P_c+P_t+P_e$), em toneladas, dividido pelo número de eixos (N_e) tem de ser igual ou menor ao peso permitido por eixo na categoria do reboque na Figura 6. Na Figura 10 temos a esquematização de um módulo de seis eixos, porém existem diversos módulos com uma quantidade de eixos que vão de quatro até dez eixos.

Quando o número de eixos necessários ultrapassa a quantidade de eixos um módulo, faz-se necessário a utilização de dois ou mais módulos de reboques linha de eixos em conjunto. Entre um módulo e outro há um sistema de engates (que varia de fabricante para fabricante) que une os módulos.

O engate entre os módulos é feito de maneira que os esforços sejam transmitidos de um reboque ao outro, apesar de não se garantir o efeito de viga única.

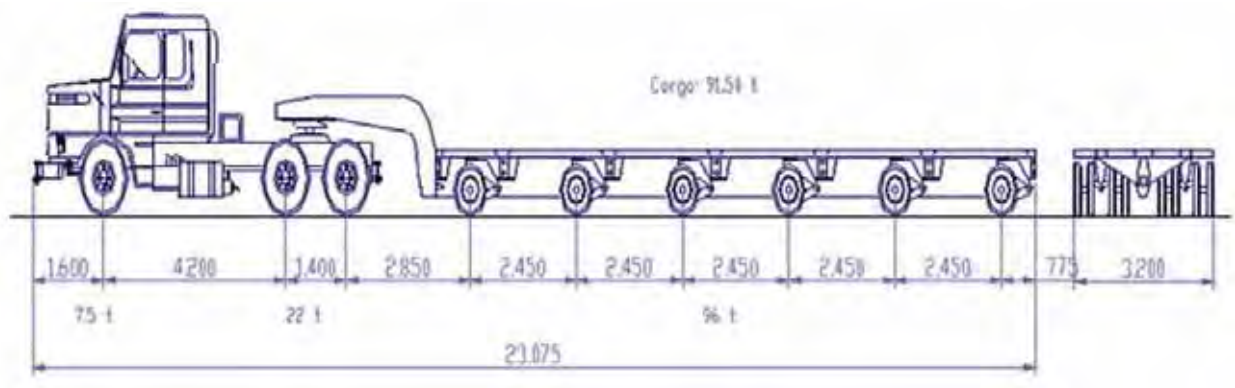


FIGURA 10 – Reboque Modular Hidráulico “Linha de eixos”
(Fonte: Guia do TRC, 01/09/2011)

As principais vantagens desse tipo de reboque em comparação com os eixos em tandem comuns é a distribuição de carga em todos os eixos ao longo dos módulos por meio do sistema hidráulico (que será explicado no item 3.2) e a possibilidade de direcionar cada eixo isolado de forma a acompanhar o raio de curvatura realizado pela combinação de veículo de carga.

Apesar de ser uma tecnologia já comum no mercado mundial, a produção desse tipo de reboque modular é inédita no Brasil. Até recentemente todos os reboques linha de eixos existentes eram importados, com um preço de venda que gira em torno de R\$ 120.000,00 por eixo. A Figura 11 apresenta os principais fabricantes de reboques linhas de eixo:

Marca	Tipo	Pneus	Largura	Varição de altura	Capacidade de carga (ton/eixo)
Nicolas	Europa	7,50 x 15	3,20	0,70 - 0,90 - 1,10	20,0
Nicolas	US	8,25 X 15	3,65	0,70 - 0,90 - 1,50	34,0
Cometto	US	7,50 x 15	3,20	0,65 - 0,90 - 1,10	34,0
Procon	US	7,50 x 15	3,50	0,77 - 0,97 - 1,17	34,0
Procon	US	8,25 X 15	3,50	0,80 - 1,08 - 1,20	34,0
Randon	US	7,50 x 15	3,50	0,70 - 0,90 - 1,50	34,0
Biselli	Europa	8,25 X 15	3,20	0,80 - 0,90 - 1,10	20,0
Biselli	US	7,50 x 15	3,20	0,70 - 0,90 - 1,10	34,0

FIGURA 11 - Fabricantes principais linhas de eixo utilizadas no Brasil - Fonte: (Guia do TRC, 01/09/2011)

3. REBOQUES MODULARES COM QUATRO LINHAS DE EIXO

3.1 Introdução

Os reboques linha de eixos podem variar em tamanho, quantidade de eixos, espaçamentos e outros mecanismos especiais que variam de fabricante para fabricante. Os dois primeiros modelos manufaturados no Brasil seguiram modelo de reboques de quatro linhas de eixos, principalmente por limitações na área de produção da fábrica da Metalúrgica Guará.

Para melhor demonstrar o funcionamento deste reboque, serão esquematizados os detalhes de projeto e construção do primeiro reboque linha de eixos construído e homologado no Brasil no item 3.1. Após o entendimento do funcionamento de um reboque linha de eixos, será executada uma análise com base no RB.04LE-01 no item 3.2, para o dimensionamento de um projeto com um custo menor e a tara mais leve, chamado RB.04LE-02.

3.2 Reboque RB.04LE-01 – Projeto

O primeiro pedido de construção de linha de eixos da Metalúrgica Guará tinha em seu escopo dois reboques linhas de eixos de quatro linhas de eixos cada e duas cabeceiras de comando hidráulico. Esses dois itens são demonstrados no desenho de apresentação no Apêndice A.

O pedido do cliente teve sua produção iniciada pela equipe da engenharia de métodos e processos da Metalúrgica Guará. O primeiro projeto foi de construção da estrutura principal do reboque e cabeceira, sendo o projeto; desde os cálculos estruturais estáticos e dinâmicos responsabilidade de outro setor.

A Metalúrgica Guará apenas realiza obras de execução, sendo a parte de conceito do projeto, desenvolvimento, desenho e Homologação de projetos por parte do cliente. As principais etapas de produção das obras são:

- Abertura de ordem de serviço: Leitura dos documentos de pedido de compra, documentos de especificação de pintura/solda/inspeção, interpretação dos desenhos e compra da matéria-prima necessária para a conclusão da obra.

- Preparação: é onde começa a produção em si, com a preparação do material a ser soldado/montado/usinado. A preparação fica encarregada de dobrar/cortar/furar o material em

medidas compatíveis com a peça final.

- Montagem/Solda: durante a etapa de montagem o material é “pontado” de acordo com as medidas e tolerâncias de caldeiraria indicados no desenho do cliente, que após a calibração e verificação do departamento de qualidade é liberado para soldagem final de acordo com a norma solicitada pelo desenho.

- Acabamento/Pintura: Corresponde aos setores que finalizam a obra para expedição. O produto (quando este é necessário se fornecido com pintura) acabado vai para a cabine de jateamento com grana lha de aço para depois ir para a pintura.

- Expedição: Carregamento do produto pintado para entrega para o cliente. Produto acabado, identificado e embalado para entrega no cliente.

Para o modelo RB.04LE-01 da linha de eixos da Metalúrgica Guará, foi consolidado serão realizadas as etapas de preparação, soldagem, acabamento e pintura desse projeto. Porém durante a execução do projeto foram incluídas mais funções (pré-montagem e desenhos técnicos), que permitiram um melhor do conhecimento desse equipamento.

3.2.1 Reboque RB.04LE-01 – Intenção de projeto

Não foram fornecidos os desenhos de produção da obra, sendo necessária toda a elaboração dos desenhos de montagem da estruturas.

A primeira etapa de aquisição de matéria-prima foi realizada baseada nos primeiros desenhos do reboque. Os principais tipos de matéria prima para construção foram chaparias de aço SAC-50 de várias espessuras (material que faz parte de cerca de 70% do peso do reboque), tarugos fundidos de aços carbono SAE 1045 e SAE4340 para itens com usinagem e buchas de bronze. Outros materiais como rolamentos, rótulas e elementos de fixação foram adquiridos posteriormente, sendo que certos itens como motor diesel da bomba, bomba hidráulica ficaram como fornecimento do cliente.

O aço SAC 50 além das excelentes propriedades mecânicas possui ótima soldabilidade e elementos de liga que aumentam a resistência à corrosão.

3.2.2 Reboque RB.04LE-01 – Elaboração desenhos de construção

Os desenhos foram sendo elaborados em paralelo com a produção do reboque, resultando em alguns ajustes técnicos na montagem final do reboque, com ênfase nos desenhos da estrutura principal. As medidas de montagem, indicadas no Apêndice B, são importantes para o projeto, pois são elas que garantem a estabilidade do reboque.

Foram elaborados 23 desenhos de elementos principais, além de alguns desenhos de usinagem e ajustes. A realização do desenho em ambiente tridimensional possibilitou a elaboração de desenhos com vistas isométricas mais rapidamente, que por sua vez, ajudam o setor da produção por facilitar a visualização das peças.

3.2.3 Reboque RB.04LE-01 – Produção

Inicialmente eram emitidas duas revisões de desenhos: a Revisão zero, de análise crítica onde havia um estudo de processos junto ao encarregado de montagem/solda e a Revisão um, emissão inicial autorizada para fabricação. Seguindo esse procedimento, juntamente fato de ter um supervisor do projeto no local de produção, fez com que os ajustes durante a construção do reboque fossem reduzidos.

Os principais ajustes foram de ordem dinâmica, devido a alterações no sistema de direção. A Figura 12 demonstra uma modificação da viga principal do reboque, pois inicialmente o sistema de direção do reboque passaria por passagens retangulares na alma da viga, e por uma decisão do cliente, mudou-se o sistema de direção para passagem nos suportes laterais, mostrados na Figura 13. Os desenhos de alteração da viga principal e do suporte lateral encontram-se respectivamente nos Apêndices C e D.

Uma das razões da mudança do projeto pelo cliente é o fato de que a viga principal tem a função principal de suportar a peso da carga e transmiti-lo efetivamente para os pontos de apoio (Pinos da Suspensão), e a inclusão de vãos na viga poderia incluir pontos de concentração de tensão nessa estrutura.

Na Figura 14 é demonstrado como o reboque reage a uma carga aplicada no centro de reação dos pontos de sustentação, em estado estacionário. Porém mesmo que o reboque esteja em movimento em um terreno irregular, os esforços indicados na Figura 14 ainda são válidos, pois o sistema hidráulico garante distribuição de carga uniforme em todos os eixos, por alteração do volume e pressão internos do pistão hidráulico, compensando quaisquer desníveis em cada um dos eixos.



FIGURA 12 – Ajustes na Viga Principal



FIGURA 13 – Suporte Lateral em produção

Nos pontos de aplicação de força na viga é onde se localizam os conjuntos da suspensão acoplados com o eixo de freio a disco aro 15''. Cada conjunto da suspensão deste reboque possui basicamente quatro componentes: corpo da suspensão com rolamentos de rolos cônicos, braço de ação, pistão de dupla ação hidráulico e eixo com freio a disco aro 15''. Todos os componentes mencionados anteriormente estão identificados na Figura 15.

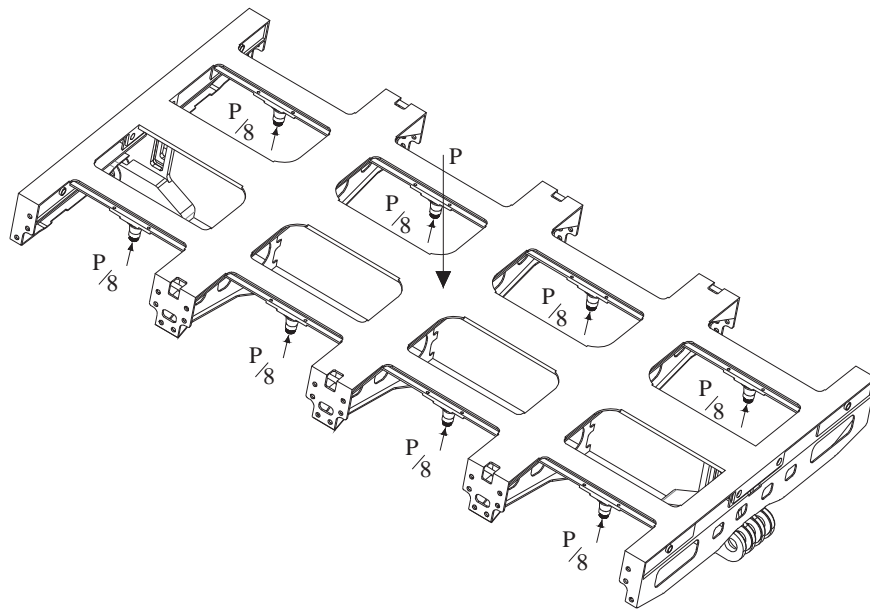


FIGURA 14 – Estrutura principal do reboque com os principais esforços sendo aplicados



FIGURA 15 – Conjunto Suspensão Hidráulica RB.04LE-01 com os componentes: a) Corpo da suspensão, b) Braços articulados, c) Pistão Hidráulico e d) Eixo Aro 15'' com freio a disco

Depois de realizado todo o trabalho de caldeiraria dos componentes do reboque, foi realizado as usinagens para os componentes de pinos removíveis e buchas. A Metalúrgica Guará, na falta de equipamento de usinagem necessário para o serviço de fresa de peças de dimensões maiores que 1 metro, realizou as usinagens desses itens em outros fornecedores.

Também tivemos dentro do galpão de obras mesmo, a montagem dos tubos pneumáticos e hidráulicos. O Apêndice E mostra o desenho da tubulação hidráulica para referência de montagem e para lista de material (quantidade total de tubos), sendo os ajustes finais realizados na obra.

3.2.4 Reboque RB.04LE-01 – Conclusão Projeto

Devido à chegada de uma obra nova na empresa, o restante da montagem foi realizado no galpão do cliente pelo responsável do projeto e sua equipe. A finalização da montagem e ajustes foi concluída em três meses para os dois reboques e as duas cabeceiras vendidas. Um dos reboques prontos para circulação é demonstrado na Figura 16. Juntamente aos ajustes finais, foi iniciado o processo de documentação pelo engenheiro líder de equipe.



FIGURA 16 – Teste de carga da RB/LE-001 com 120 toneladas (Metalúrgica Guará, 2010)

Munidos de toda a documentação necessária juntamente com o teste de carga, teste de freios, funcionamento do sistema hidráulico, todos presenciados pelos inspetores da entidade homologadora, a documentação está em fase de aprovação. Uma vez aprovada, a empresa Metalúrgica Guará ficará certificada a produzir veículos auxiliares de carga, podendo produzir seus próprios modelos de reboques linha de eixos.

3.3 REBOQUE RB.04LE-02

O primeiro modelo RB.04LE-01 foi construído para operar tanto em rodovias quanto em pátio industrial e local de obras. Para operação de movimentação de carga em pátio industrial o limite de peso por eixo do RB.04LE-01 é de 30 toneladas, que ao considerar 4 eixos, temos uma capacidade de carga total de 120 toneladas. Porém de acordo com a Figura 6 o limite de carga por eixo é de 12 toneladas.

A Metalúrgica Guará deu início a um segundo modelo de reboque linha de eixos, basicamente uma modificação do RB.04LE-01, com duas mudanças principais: um custo menor de produção e uma carga útil por eixo maior por redução na tara do reboque, às custas de uma redução da carga total de operação no pátio.

A redução de peso do projeto existente, requisitado pelo cliente, além de implicar em uma quantidade menor de material utilizado no reboque, aumenta a capacidade de carga útil (para rodovias) e pode significar também um projeto mais simples quando comparado a um reboque mais robusto.

A simplificação do projeto e a redução de custo de material eram interessantes para a empresa, principalmente quando era possível eliminar outros processos produtivos que não fossem corte de material, dobra, usinagens simples e soldagem.

A principal característica desse tipo de reboque é ilustrada na Figura 17 onde cada suspensão sofre a mesma intensidade de forças. O funcionamento baseia-se no princípio que os pistões do conjunto da suspensão estão todos interligados pela tubulação hidráulica, fazendo com que a pressão em todos eles seja a mesma. Uma alteração de pressão em algum dos pistões faz com que essa pressão seja transmitida para os demais pistões, que por ter a mesma área

A bomba de engrenagem alimenta o sistema hidráulico até que o fluido seja suficiente para que os pistões fiquem na altura desejada. O sistema então é travado, de forma que o fluido hidráulico fique confinado entre os pistões.

O cálculo detalhado para toda a parte estrutural desse equipamento levaria muito tempo, então foi adotado um método para ser realizado o cálculo com segurança, com um mínimo de perdas de informações de projeto.

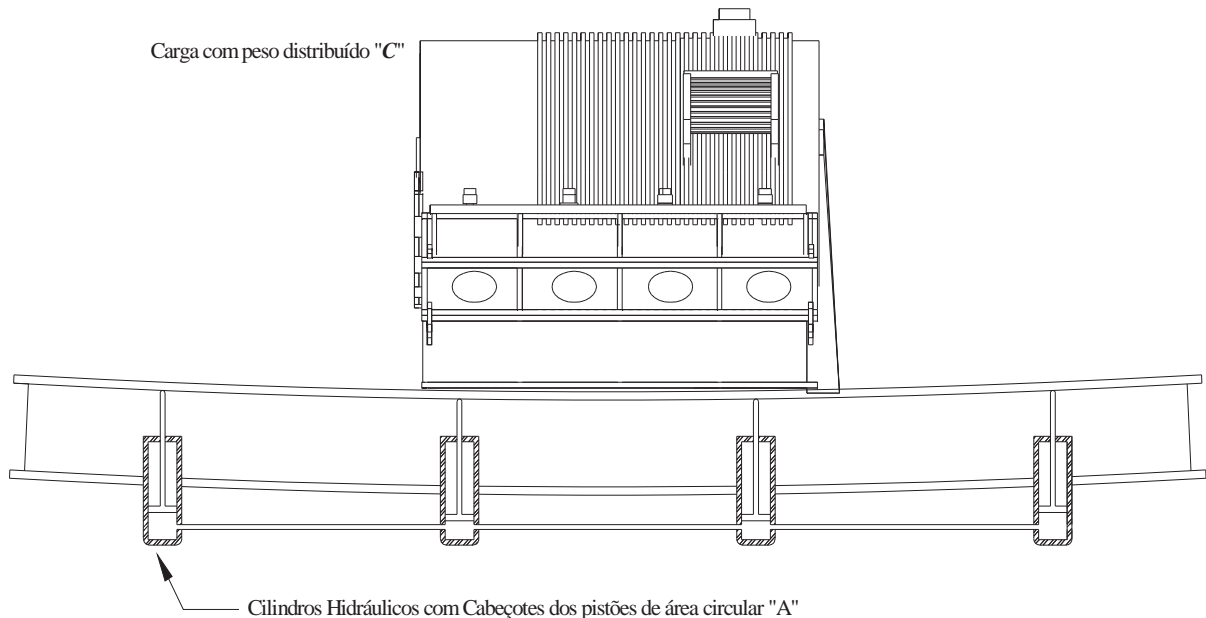


FIGURA 17 – Carga sustentada por viga apoiada sobre pistões hidráulicos sob mesma pressão

O método utilizado baseia-se primeiramente na realização de um cálculo para verificar onde se pode reduzir material na estrutura do modelo RB.04LE-01, utilizando um fator de segurança definido. O fator de segurança será baseado no limite de resistência à fadiga do componente estrutural principal do componente analisado sendo verificado esse fator de segurança para várias reduções de material no modelo através do software Microsoft Excel. Além do fator de segurança para vida em fadiga, foi também verificado a deflexão em cada um dos componentes, de modo que a soma da deflexão de cada um deles não ultrapasse um limite definido.

Devido a deformações na viga, por razões que não puderam ser definidas, o tirante de direção colide em alguns pontos na estrutura do reboque conforme o detalhe “D” da Figura 18. Ficou decidido aumentar o vão de passagem do tirante de direção para o modelo RB.04LE-02, de acordo com os limites geométricos da estrutura.

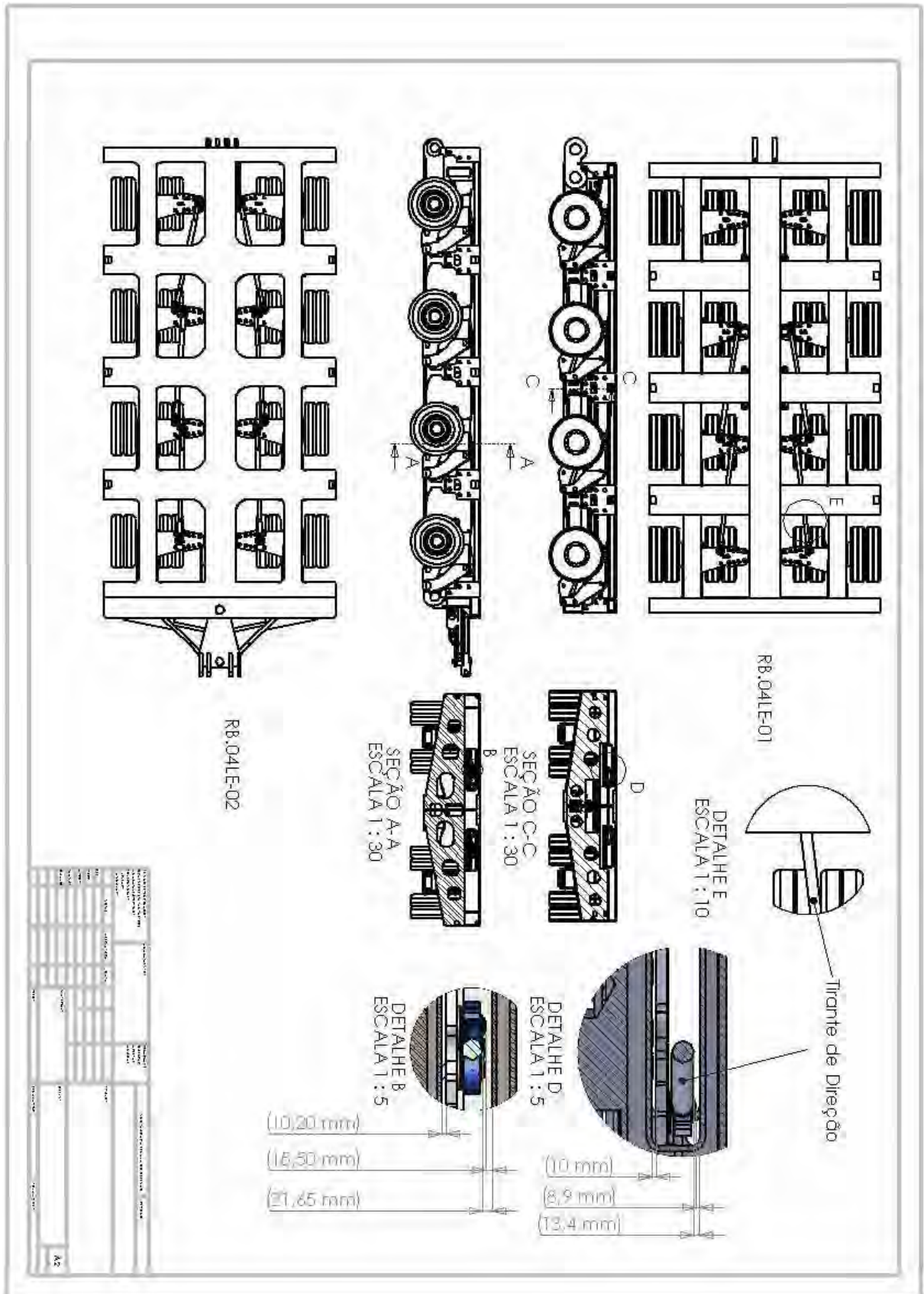


FIGURA 18 – Espaçamentos nos tubos de passagem dos tirantes da direção

O vão de passagem do tirante, de um modelo para o outro, tem uma diferença de

medida de 8,25 mm (21,65 mm – 13,4 mm). Além de eliminar a medida que poderia ocasionar uma colisão do tirante, será incluído nos cálculos um limite de 4,13 mm, metade da diferença de medida dos dois modelos.

Após a definição das dimensões necessárias, é realizada uma validação do modelo com base na análise por elementos finitos no software Solidworks Simulation Express. Serão considerados dois critérios, Máxima de Energia de Deformação e Deflexão máxima em qualquer ponto menor que 4,13 mm. Após validação de todos os componentes do reboque, teremos a comparação de peso e custos da estrutura do projeto *RB.04LE-01* com a estrutura do modelo novo *RB.04LE-02*, para verificar se os objetivos foram alcançados.

3.3.1 Limites de resistência à fadiga

Os esforços presentes no conjunto da suspensão do reboque são conseqüências da pressão aplicada no atuador hidráulico. Os esforços dinâmicos são provenientes de quaisquer desníveis na superfície por onde o veículo possa transitar que aplicam uma alteração de volume no atuador hidráulico. Os esforços em cada um dos atuadores não passam de valores que correspondem a 350 bares, devido às válvulas de alívio pressão.

Sabendo que o sistema estará sob ação de uma carga variável, devemos fazer a verificação do fator de segurança do sistema por falha à fadiga. Para tanto utilizaremos as equações apresentadas no livro Projeto de Engenharia Mecânica (SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G., 2004) para determinação do limite de resistência à fadiga.

Para a determinação do limite de resistência à fadiga, ou seja, fadiga para um corpo-de-prova que estará submetido a mais de 10^6 ciclos será utilizada a seguinte equação:

$$S'_{e_{A572}} = 0,504 \cdot S_{ut} \text{ MPa} \quad S_{ut} \leq 1460 \text{ MPa} \quad (2)$$

Sendo que a S_{ut} é o limite de resistência mínimo à ruptura do aço selecionado, que na norma ASTM A572 Grau 50 é de 450 Mpa e para a norma ASTM A36 é de 400 Mpa, logo com a equação (2) tem-se:

$$S'_{e_{A572}} = 0,504 \cdot 450 = 226,4 \text{ Mpa}$$

Analogamente para o aço ASTM-A36:

$$S'_{e_{A36}} = 0,504 \cdot 400 = 201,6 \text{ Mpa}$$

O limite de resistência à fadiga corrigido é calculado com a equação (3):

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S'_e \quad (3)$$

Onde os coeficientes são calculados conforme tabelas e equações do livro de Projeto mecânico (SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G., 2004), como se segue:

k_a = fator de modificação de condição de superfície

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b \quad (4)$$

As chapas utilizadas na construção desse reboque têm acabamento laminado a quente, que é o acabamento mais comum encontrado comercialmente. Utilizando então a Figura 19 e a equação (4), temos:

$$- k_{a_{A572}} = 57,7 \cdot (450)^{-0,718} = 0,7745$$

$$- k_{a_{A572}} = 57,7 \cdot (400)^{-0,718} = 0,7814$$

Acabamento superficial	Fator a		Expoente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Retificado	1,34	1,58	-0,085
Usinado ou laminado a frio	2,70	4,51	-0,265
Laminado a quente	14,4	57,7	-0,718
Como forjado	39,9	272,	-0,995

Fonte: C. J. Noll e C. Lipson, "Allowable Working Stresses," Society for Experimental Stress Analysis, vol. 3, no. 2, 1946, p. 29. Reproduzida por O. J.Horger (eds.) Metals Engineering Design ASME Handbook, McGraw-Hill, New York. Copyright © 1953 The McGraw-Hill Companies, Inc. Reimpressa com permissão.

FIGURA 19 – valores para cálculo do coeficiente de superfície

k_b = **fator de modificação de tamanho**

O fator de tamanho terá de ser calculado para cada parte da estrutura do reboque, pois depende do tipo de viga utilizado.

k_c = **fator de carregamento**

Como estamos lidando somente com forças que geram uma flexão rotativa no sistema então o coeficiente de acordo com a equação (10), retirada do livro Projeto de Engenharia Mecânica (SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G., 2004), será **1**.

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexão} \\ 0,85 & \text{axial} \\ 0,59 & \text{torção} \end{cases}$$

k_d = **fator de temperatura**

Como o reboque operará sempre em temperatura ambiente e o mesmo não gera nenhum tipo de calor interno, será considerado o coeficiente k_d correspondente para uma temperatura de trabalho de $20^\circ C$, ou seja, $k_d = 1$.

k_e = **fator de confiabilidade**

Como ainda estamos em uma etapa de cálculo preliminar, podemos considerar o fator de confiabilidade de 99%. A Figura 20 relaciona as confiabilidades e os respectivos valores k_e .

Confiabilidade, %	Variante de transformação z_α	Fator de confiabilidade k_e
50	0	1,000
90	1,288	0,897
95	1,645	0,868
99	2,326	0,814
99,9	3,091	0,753
99,99	3,719	0,702
99,999	4,265	0,659
99,9999	4,753	0,620

FIGURA 20 – Valores de coeficientes de confiabilidade

Pela tabela temos $k_e = 0,814$

k_f = **Fator de efeitos diversos**

Esse coeficiente representa considerações como corrosão, efeitos de revestimentos metálicos e concentração de tensão em entalhes. Esses efeitos para as vigas apresentadas nesse trabalho serão desconsiderados. Logo $k_f = 1$.

Substituindo os valores definidos dos fatores de correção na equação (3), temos:

Para o aço ASTM A572 Gr 50

$$S_e = (0,7745) \cdot k_b \cdot 1 \cdot 1 \cdot (0,814) \cdot 226,4 = 142,73 \cdot k_b \quad (5)$$

Para o aço ASTM A36

$$S_e = (0,7814) \cdot k_b \cdot 1 \cdot 1 \cdot (0,814) \cdot 201,6 = 128,23 \cdot k_b \quad (6)$$

O limite de resistência à fadiga por enquanto ficará em função do fator de forma k_b , que

varia de acordo com a geometria de cada uma das partes do reboque. Após a definição de k_b serão verificados os fatores de segurança para vida em fadiga de acordo com o critério ASME elíptico:

$$nf = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2}} \quad (7)$$

Seguem abaixo os valores de tensão mínima de escoamento para os respectivos aços a serem utilizadas na equação (7):

$$S_{y_{A572}} = 350 \text{ Mpa para o ASTM A572 Gr 50}$$

$$S_{y_{A36}} = 250 \text{ Mpa para o ASTM A36}$$

3.3.2 Dimensionamento do conjunto da suspensão hidráulica

A análise do conjunto da suspensão hidráulica pelo braço da suspensão. No projeto **RB.04LE-01** o sistema de articulação do braço da suspensão era mais complexo, porém garantia menos esforços tanto na estrutura do braço quanto em seus elementos de fixação.

Observando a figura verificamos que a articulação desse conjunto é composta de seis pinos por conjunto de suspensão, ou seja, 12 por eixo. Cada pino utiliza duas buchas de bronze SAE-66, que devem ser trocadas periodicamente. Outro elemento principal dessa articulação é a manga do eixo (faz a fixação do “eixo aro 15” com a suspensão), que garante que o eixo estará sempre na posição horizontal e elimina esforços torcionais no eixo.

Temos então para um módulo do reboque linha de eixos modelo RB.04LE-01 com 4 eixos um total de:

- **48** pinos usinados
- **96** buchas de bronze usinadas
- **8** Mangas do eixo, sendo necessária a fundição de uma peça para ser usinada
- **16** Peças de articulação (braços da articulação) a ser usinadas para ajuste com os pinos.

Foi verificado também que os custos foram maiores nesses itens, ou seja, o foco da redução de custos estaria nessa articulação. Foi então proposto a eliminação do braço auxiliar da articulação, manga do eixo e seus respectivos pinos (itens em vermelho na Figura 21).

A verificação foi feita a partir de um modelo inicial, e nesse modelo foram feitos os

cálculos para verificação de fatores de segurança para vida em fadiga. Esse procedimento irá se repetir para os outros elementos que serão analisados desse reboque.

A Figura 22 mostra a posição de trabalho do conjunto da suspensão, com as medidas do modelo novo do braço da suspensão e suas respectivas medidas principais. Com a pressão máxima do sistema de 350 bar, e a medida do pistão do atuador hidráulico de 130 mm, podemos calcular a força máxima aplicada pelo sistema.

$$\Sigma M_c = 0,1825 \cdot F_{\max.pistão,y} - 0,57045 \cdot F_{\max.eixo,y} = 0$$

$$F_{\max.pistão,y} = \text{sen}(83,64) \cdot P_{\max.sist} \cdot A_{atuador} = 35000000 \cdot \frac{0,13^2 \cdot \pi}{4} = 461690,24 \text{ N}$$

$$F_{suspensão_{\max}} = \frac{0,1825}{0,57045} \cdot 461690,24 = 147707,85 \text{ N}$$

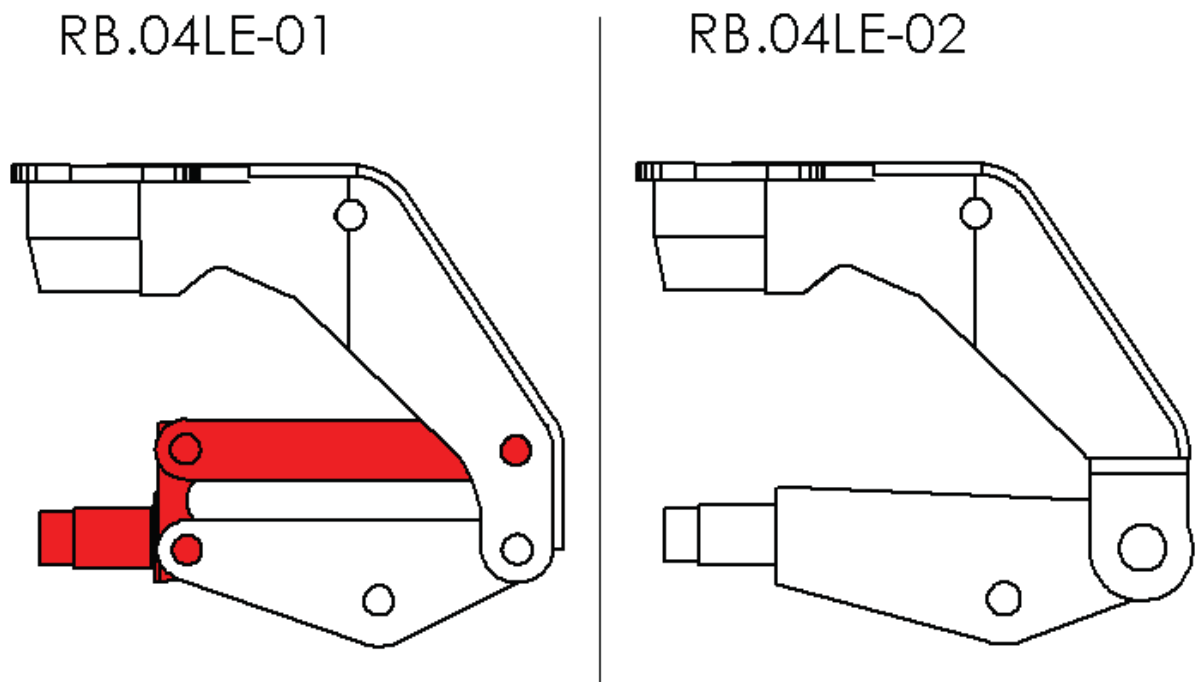


FIGURA 21 – Principais diferenças entre os conjuntos da suspensão dos modelos RB.04LE-01 e RB.04LE-02

Considerando a carga máxima por eixo para rodovias (11,5 toneladas) e um reboque linha de eixos com quatro eixos, a força mínima no pistão do conjunto da suspensão necessária para sustentar a carga para transporte rodoviário será:

$$F_{suspensão_{\min}} = \frac{P \cdot 9,81}{8} = \frac{4 \cdot 11,5 \cdot 9,81}{8} = 56407,5 \text{ N}$$

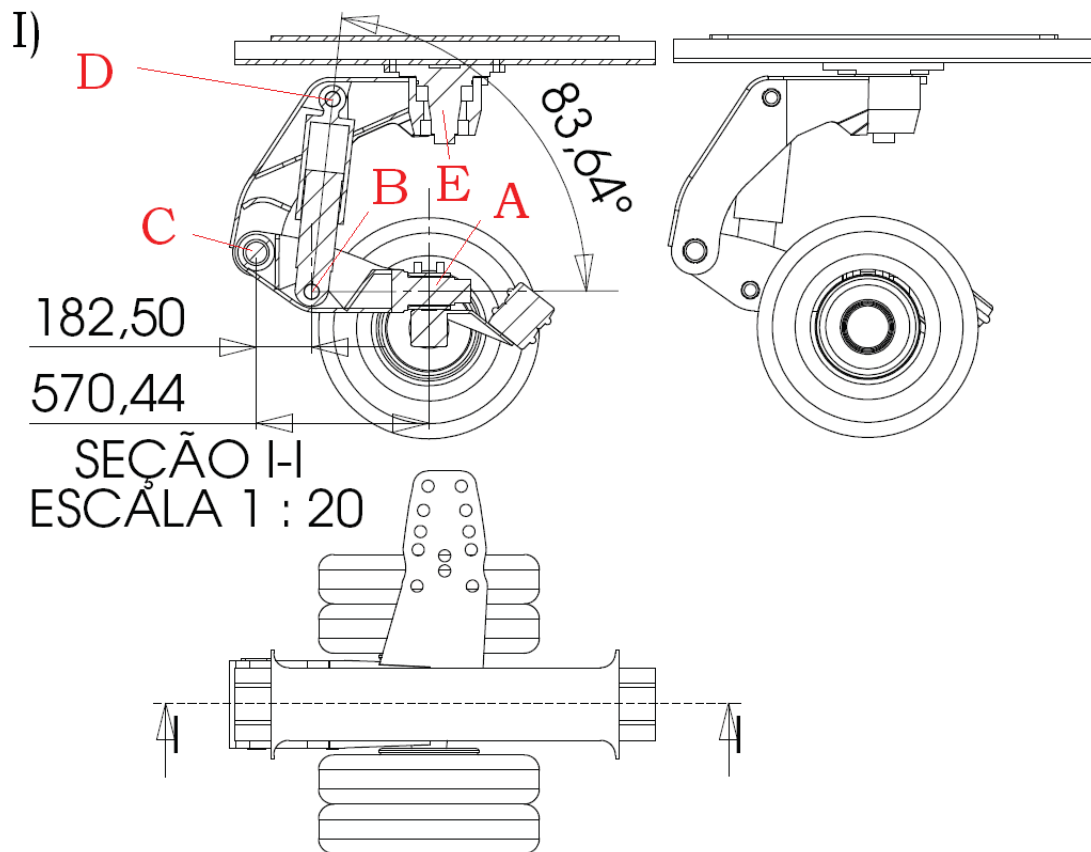


FIGURA 22 – (I) Conjunto da Suspensão com os pontos de aplicação das forças (II) modelo matemático para cálculo dos esforços

A Figura 23 mostra os diagramas de esforço cortante e momento fletor para o braço ABC na posição que o sistema é mais solicitado:

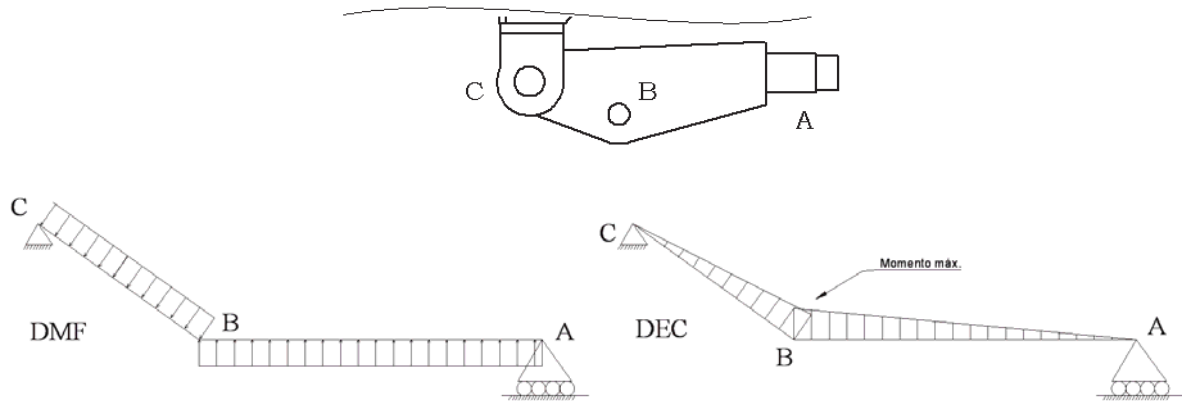


FIGURA 23 – diagrama de corpo livre para o braço da articulação

O momento máximo no braço da suspensão estará localizado no ponto B, com valores máximos e mínimos conforme as equações 17 e 18:

$$\Sigma M_B = 0,388 \cdot R_{yA} \quad (8)$$

$$M_{máx.} = 0,388 \cdot R_{yA_{máx.}} \quad (9)$$

$$M_{mín.} = 0,388 \cdot R_{yA_{mín.}} \quad (10)$$

Da equação (9) e da força máxima no pistão temos:

$$M_{máx.} = 0,388 \cdot 147707,85 = 57310 [N \cdot m]$$

Analogamente da equação (10) para a força mínima no pistão temos:

$$M_{mín.} = 0,388 \cdot 56407,5 = 21886 [N \cdot m]$$

A Figura 24 mostra um corte transversal ao longo do comprimento do braço da articulação, que possui um perfil tipo “U”. Será verificado o fator de segurança para as várias medidas desse perfil no ponto onde o momento de flexão é máximo. As geometrias do primeiro modelo levam em conta as seguintes considerações:

- O espaçamento interno desse braço deverá ser de 170 mm, para alojamento com folga do atuador hidráulico. A medida externa deverá ser de menos de 210 mm, pois essa medida corresponde ao alojamento interno do corpo da suspensão. Logo a chapa utilizada deverá ser menor ou igual a $(210-170)/2 = 20$ mm, que em seu tamanho comercial é de 19,05 mm (3/4”).

- A espessura da chapa inferior (medida A) não deverá ultrapassar 12,7 mm (1/2”) pois isso dificultaria a dobra do item.

- A medida “C” não pode ultrapassar 180 mm, para não prejudicar o movimento articulado.

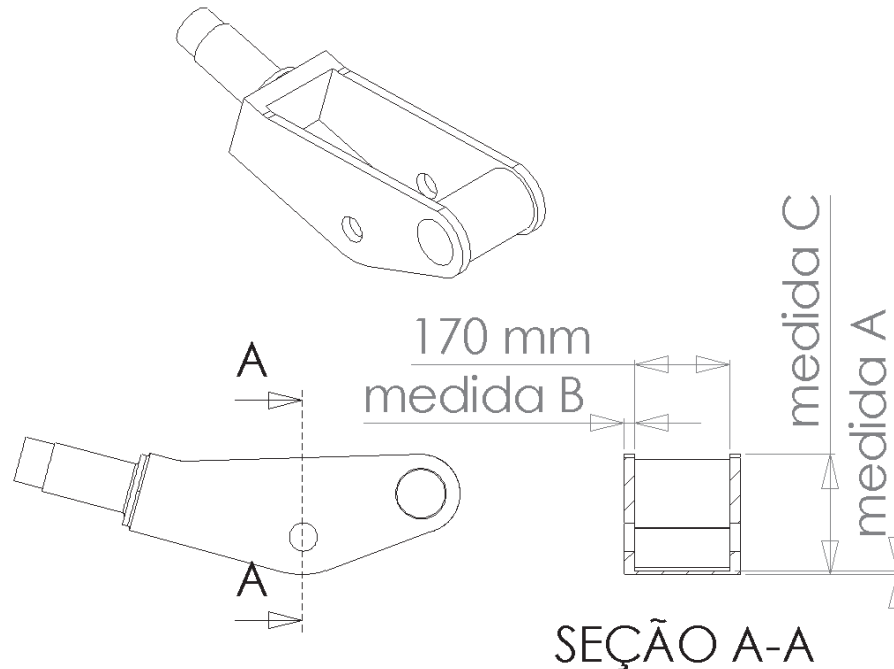


FIGURA 24 – Corte na seção do braço articulado com as principais medidas

TABELA 1 – Dimensionamento braço da articulação para chapas de ASTM A36

Principais medidas	B = 19,05 mm (Chapa 3/4")			
Vão entre as abas [m]	0,17	0,17	0,17	0,17
Medida A (esp. Chapa inferior) [m]	0,003175	0,00635	0,009525	0,0127
Medida B (esp. Chapa lateral) [m]	0,01905	0,01905	0,01905	0,01905
Medida C (Tamanho máx aba perfil) [m]	0,18	0,18	0,18	0,18
Variáveis de cálculo				
Área Alma [m ²]	0,003429	0,003429	0,003429	0,003429
Área Aba [m ²]	0,00053975	0,0010795	0,001619	0,002159
Centróide [m]	0,083549303	0,0781918	0,073719	0,069971
MI Abas [m ⁴]	7,40664E-05	7,407E-05	7,41E-05	7,41E-05
MI Alma [m ⁴]	1,81367E-09	1,451E-08	4,9E-08	1,16E-07
MI Centróide [m ⁴]	2,24283E-05	2,555E-05	2,8E-05	3E-05
Altura linha tensão max [m]	0,096450697	0,1018082	0,106281	0,110029
Tensão flutuante máxima [Pa]	246455756,3	228348919	2,17E+08	2,1E+08
Tensão flutuante mínima [Pa]	94118490,36	87203707	82937097	80174546
Tensão média [Pa]	170287123,3	157776313	1,5E+08	1,45E+08
Tensão Alternada [Pa]	76168632,97	70572606	67119705	64884015
A95	0,001131288	0,0010807	0,001039	0,001003
Deq. [m]	0,121526836	0,1187804	0,116438	0,114438
Kb (fator tamanho Marin)	0,710695251	0,7132504	0,715484	0,717433
Se [Pa]	91132451,99	91460093	91746571	91996421
Sy [Pa]	250000000	250000000	2,5E+08	2,5E+08
Fator de segurança vida em fadiga (nf)	0,93	1,00	1,06	1,09

TABELA 2 – Dimensionamento braço da articulação para chapas SAC-50

Principais medidas	B = 19,05 mm (Chapa 3/4")			
Vão entre as abas [m]	0,17	0,17	0,17	0,17
Medida A (esp. Chapa inferior) [m]	0,003175	0,00635	0,009525	0,0127
Medida B (esp. Chapa lateral) [m]	0,01905	0,01905	0,01905	0,01905
Medida C (Tamanho máx aba perfil) [m]	0,18	0,18	0,18	0,18
Variáveis de cálculo				
Área Alma [m ²]	0,003429	0,003429	0,003429	0,003429
Área Aba [m ²]	0,0005398	0,00108	0,001619	0,002159
Centróide [m]	0,0835493	0,078192	0,073719	0,069971
MI Abas [m ⁴]	7,407E-05	7,41E-05	7,41E-05	7,41E-05
MI Alma [m ⁴]	1,814E-09	1,45E-08	4,9E-08	1,16E-07
MI Centróide [m ⁴]	2,243E-05	2,56E-05	2,8E-05	3E-05
Altura linha tensão max [m]	0,0964507	0,101808	0,106281	0,110029
Tensão flutuante máxima [Pa]	246455756	2,28E+08	2,17E+08	2,1E+08
Tensão flutuante mínima [Pa]	94118490	87203707	82937097	80174546
Tensão média [Pa]	170287123	1,58E+08	1,5E+08	1,45E+08
Tensão Alternada [Pa]	76168633	70572606	67119705	64884015
A95	0,0011313	0,001081	0,001039	0,001003
Deq. [m]	0,1215268	0,11878	0,116438	0,114438
Kb (fator tamanho Marin)	0,7106953	0,71325	0,715484	0,717433
Se [Pa]	101437533	1,02E+08	1,02E+08	1,02E+08
Sy [Pa]	350000000	3,5E+08	3,5E+08	3,5E+08
Fator de segurança vida em fadiga (nf)	1,12	1,21	1,27	1,32

Comparando a Tabela 2 com a Tabela 3 observamos que aço SAC-50 oferece uma resistência maior à fadiga e ao escoamento, quando comparado ao aço ASTM A36. Apesar de ser mais caro (de 15% a 20%), a redução na quantidade de material pode chegar a até 30% por ter uma maior resistência.

De acordo com a Tabela 3, foram definidas as medidas de espessuras de chapas para o fator segurança de 1,26, com a aba (medida B) de chapa de 3/4" (19,05 mm) e chapa inferior (medida A) de 1/4" (6,35 mm).

O primeiro modelo do braço da articulação, além de utilizar um perfil conforme as medidas acima, terão outras medidas necessárias para alocação dos pinos. O perfil será de uma viga totalmente solicitada ao invés de uma viga prismática, para redução de peso.

O teste para validação da peça será realizado no software solidworks, para verificação de pontos de concentração de tensão. A partir do primeiro teste, podemos eliminar pontos de concentração de tensão por adição de materiais e novos testes, até alcançarmos um fator de segurança razoável.

Foram aplicadas as forças máximas conforme diagrama do corpo livre ABC Figura 26, sendo a fixação definida no ponto "A".

O menor fator de segurança nesse primeiro modelo é de 0,93 (350 Mpa / 373 Mpa), que

como podemos verificar na Figura 25, é devido a alguns pontos de concentração de tensão que devemos eliminar através da adição de material nos locais com coloração no gradiente vermelho-amarelo (maiores tensões). Logo, há falha nesse primeiro modelo, sendo necessário a elaboração de outro.

Pode-se verificar também que o componente foi bem dimensionado para o resto da estrutura, pois a tensão se distribui quase uniformemente pelo braço, numa intensidade compatível com o limite de resistência à fadiga (90-100 Mpa), exceto pelos já mencionados pontos de concentração de tensão.

A adição de material se dará nos pontos circulosados em vermelho, espessamento das chapas laterais e chapa inferior.

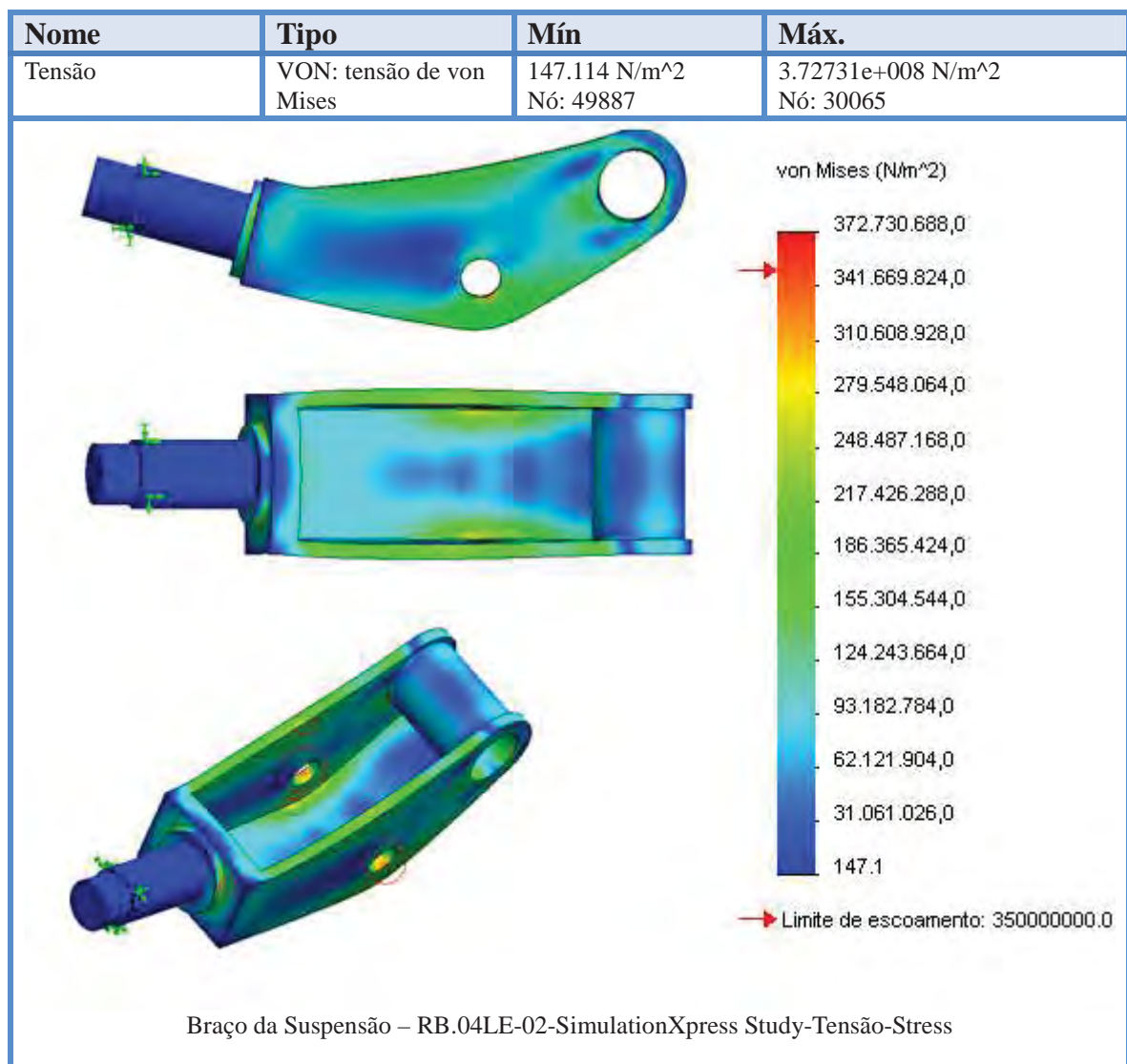


FIGURA 25 – Gradiente de tensões primeiro modelo braço da suspensão

Após a adição de material nos pontos críticos, um novo modelo é elaborado para análise

de elementos finitos. Os resultados desse novo modelo são demonstrados na Figura 26.

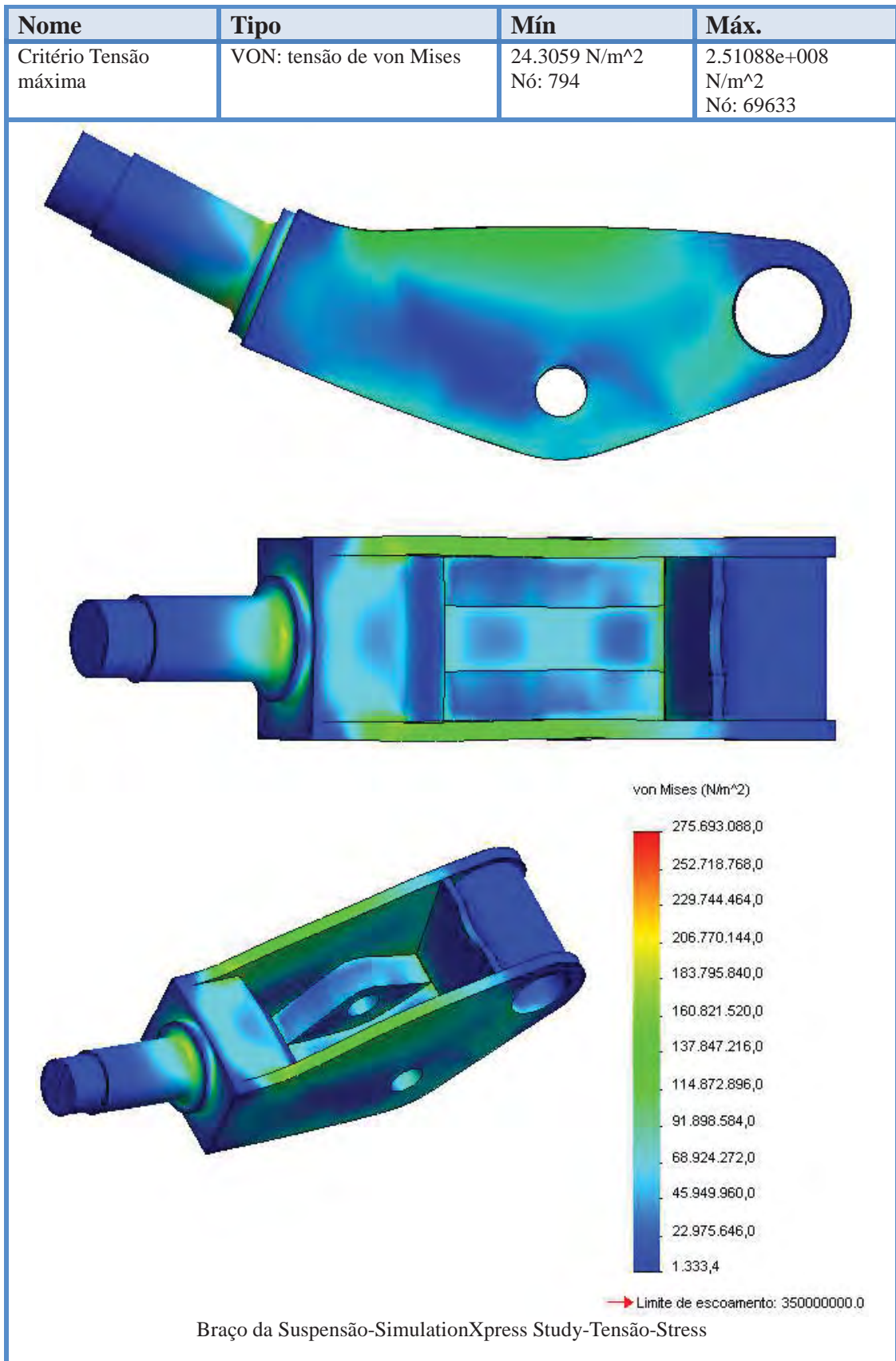


FIGURA 26 – Tensão máxima de Von Misses para modelo redesenhado do braço da suspensão

O fator de segurança nesse modelo é de $F.S. = \frac{350 \text{ Mpa}}{251 \text{ Mpa}} = 1,39$.

Com o fator de segurança de 1,39, pode-se validar esse modelo para construção.

Ficou decidido pela equipe de engenharia da Metalúrgica Guará não alterar as medidas do corpo da suspensão, exceto no local do componente onde são fixados os pinos. Houve alteração de dois pinos para um, conforme Figura 27, porém o restante da estrutura permaneceu inalterado, pois os gabaritos e processo de fabricação já estavam definidos para o primeiro modelo.

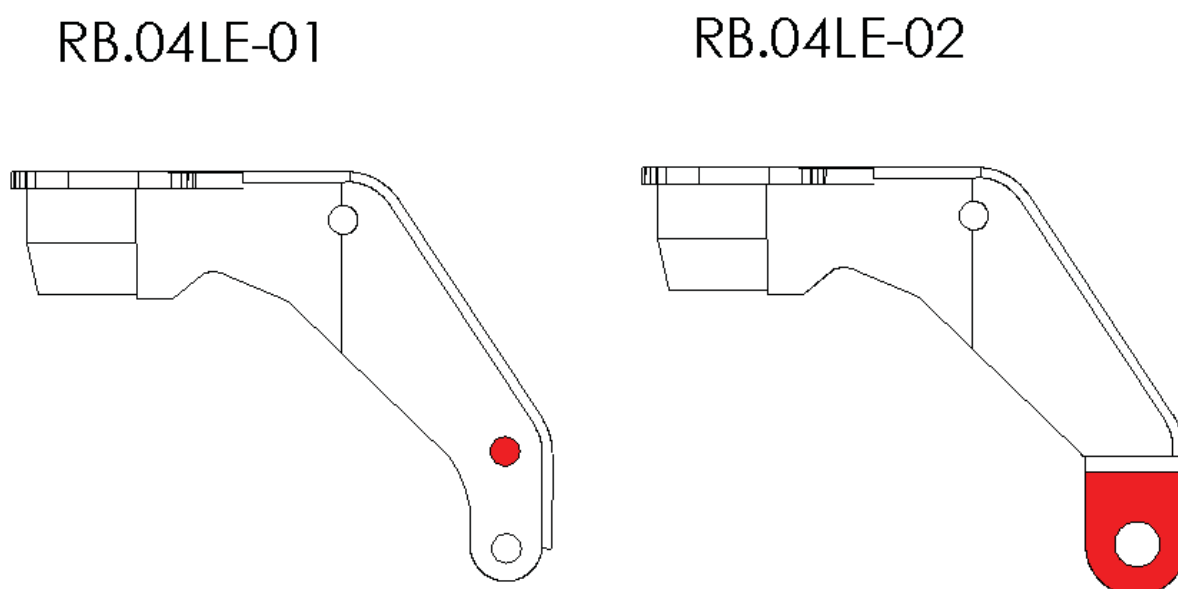


FIGURA 27 – Alterações no componente corpo da suspensão

Para podermos validar o conjunto da suspensão, foi montado um modelo tridimensional, fixando todos os itens e aplicando a carga máxima suportada por cada conjunto da suspensão. O ponto de aplicação de forças continuou sendo no pino de fixação do eixo aro 15”, indicado na Figura 28 (setas roxas) e a fixação do item ficou sendo no alojamento dos rolamentos (setas verdes).

Os resultados obtidos foram satisfatórios, com 20% de segurança mesmo para carga de choque correspondente à pressão de 350 bar no sistema. A Figura 29 demonstra a distribuição de esforços no conjunto da suspensão, que como podemos observar ainda fica entre os limites de resistência à fadiga estabelecida na Tabela 3 (90-100 MPa).



FIGURA 28 – Ponto de aplicação de esforços no conjunto da suspensão

Nome	Tipo	Mín	Máx.
Tensão	VON: tensão de von Mises	316.951 N/m ² Nó: 68590	2.87094e+008 N/m ² Nó: 32701

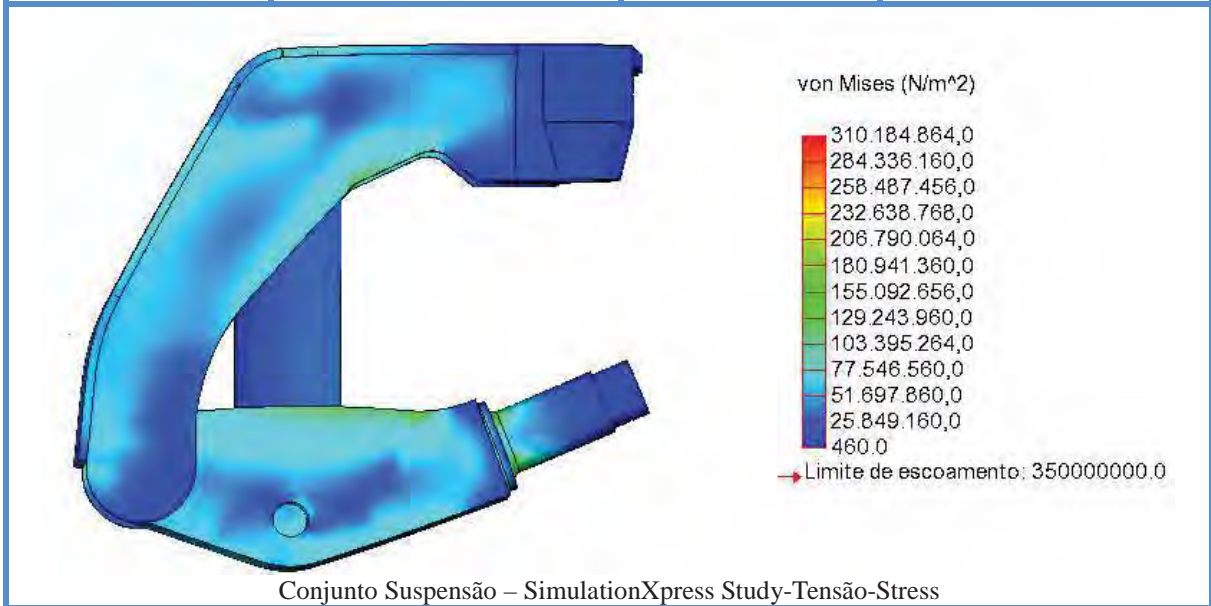


FIGURA 29 – Gradiente de Tensões para conjunto da suspensão completo

A maior tensão nesse modelo é de 287 Mpa, logo o fator de segurança nesse é de $F.S. = \frac{350 \text{ Mpa}}{287 \text{ Mpa}} = 1,22$. Com um fator de segurança de 1,22 correspondentes a pressão máxima no cilindro (350bar), foi validado para construção o modelo do conjunto da suspensão.

3.3.3 Dimensionamento da estrutura principal

A estrutura do reboque tem algumas medidas pré-definidas, as principais referem-se ao espaçamento dos eixos para o funcionamento do sistema de direção. Para um dimensionamento inicial da estrutura principal iremos dividi-la em três partes e analisa-las separadamente: Suportes Laterais (1), Bases do eixo (2) e Viga Principal (3) (ver Figura 31). Após serem verificados os componentes separados, será feita a validação do conjunto inteiro por método de elementos finitos no software Solidworks Simulation Express.

Para o dimensionamento da estrutura principal iremos considerar o pior caso de carga indivisível, ou seja, uma carga pontual aplicada diretamente no centro da estrutura. Será verificado o fator de segurança para vida em fadiga e também será verificada a somatória das deflexões da estrutura, que deve estar abaixo de 4,13 milímetros, para garantir que não haja esforços e/ou colisões no sistema de direção. Para efeitos de cálculos serão feitas as seguintes considerações:

- Foram obedecidas as medidas de construção dentro das tolerâncias de caldeiraria.
- Posicionamento do centro de gravidade da carga coincida com a resultante das forças exercidas nos pistões da suspensão.

3.3.4 Dimensionamento da base do eixo

O modelo para dimensionamento da base do eixo será uma viga bi-engastada com carga concentrada localizada no centro. Os esforços considerados para os cálculos estão ilustrados na Figura 30.

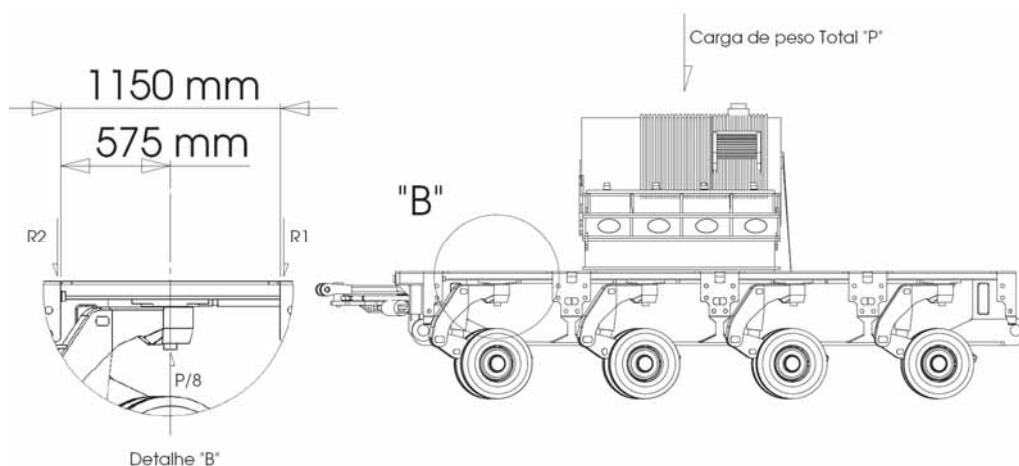


FIGURA 30 – Medidas e Esforços aplicados à Base do Eixo.

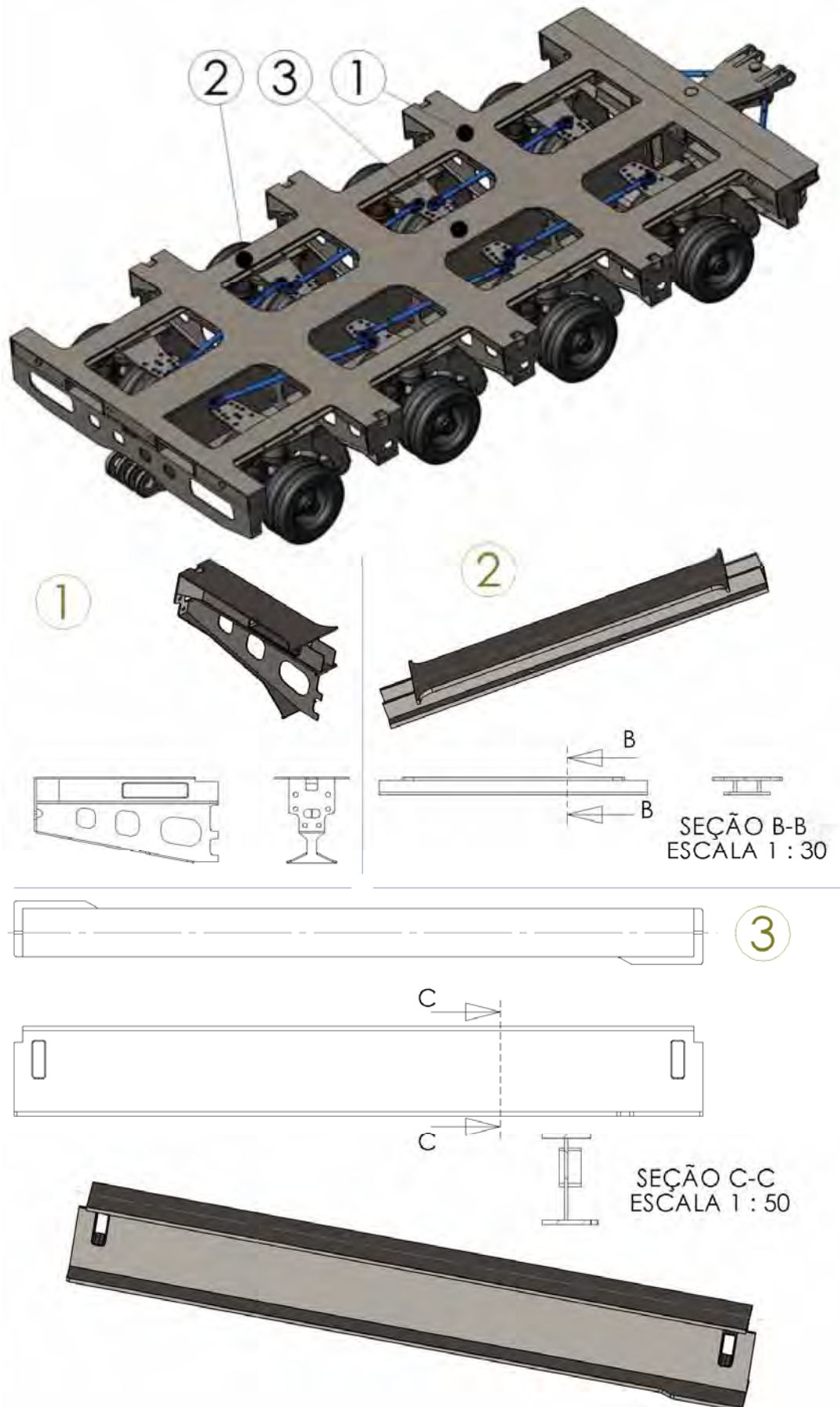


FIGURA 31 – Divisão estrutura principal: 1) Suportes Laterais 2) Bases do Eixo e 3) Viga Principal

O modelo matemático da base do eixo tem as medidas, restrições e cargas definidas de acordo com a Figura 32. A carga apoiada na plataforma do reboque é sustentada de forma uniforme por cada um dos eixos, dividindo o peso da mesma em oito (oito conjuntos de suspensão).

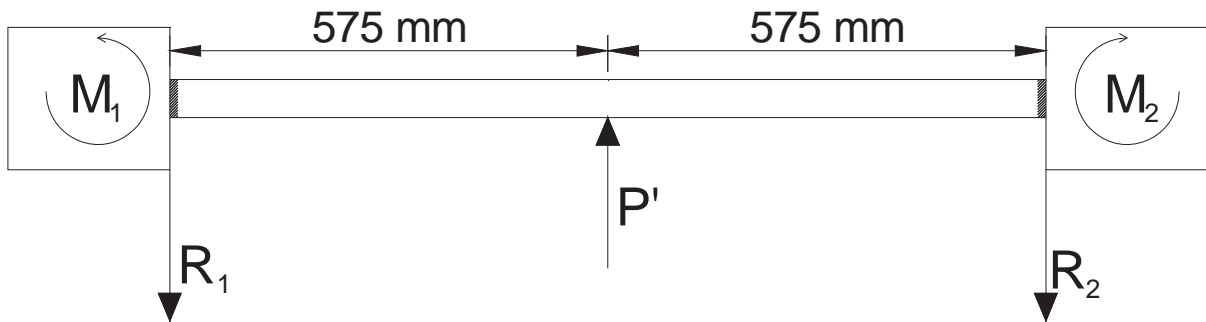


FIGURA 32 – Modelo matemático para dimensionamento base do eixo

Trata-se de um modelo com uma equação de descontinuidade (viga bi-engastada com carga ao centro), onde se faz necessário a utilização das equações de singularidade. O procedimento partirá da equação de carregamento $q(x)$ e prosseguirá integrando-a para obter as equações de Esforço cortante $V_y(x)$, Momento fletor $M_z(x)$, Deflexão Angular $\theta_z(x)$ e Deflexão linear $v(x)$.

Dados Iniciais:

P' = Carga no pino da Suspensão. Essa carga é a reação correspondente à carga suportada pelos pneus de cada eixo.

L = Comprimento Total da Viga, que é igual a 1150 mm.

E = Módulo de Young do aço, $205 \cdot 10^9 \text{ Mpa}$

I_z = Momento de Inércia em relação à linha neutra no eixo “z” (Eixo z passa pela seção transversal da viga). Esse valor definirá que tipo de viga será utilizado.

Começando pela equação (11) de carregamento $q(x)$:

$$E \cdot I_z \frac{d^4 v}{dx^4} = q(x) = P' \left\langle x - \frac{L}{2} \right\rangle^{-1} - R_1 \langle x - 0 \rangle^{-1} \quad (11)$$

Porém de acordo com R.C. Hibbeler, as equações de descontinuidade não são válidas

para expoentes negativos, então iniciaremos com a equação de esforço cortante:

$$E \cdot I_z \frac{d^3 v}{dx^3} = V_y(x) = P' \langle x - L/2 \rangle^0 - R_1 \langle x - 0 \rangle^0 \quad (12)$$

$$E \cdot I_z \frac{d^2 v}{dx^2} = M_z(x) = P' \langle x - L/2 \rangle^1 - R_1 \langle x - 0 \rangle^1 + C_1 \quad (13)$$

$$E \cdot I_z \frac{dv}{dx} = \theta_z(x) = \frac{P' \langle x - L/2 \rangle^2}{2} - \frac{R_1 \langle x - 0 \rangle^2}{2} + C_1 \cdot x + C_2 \quad (14)$$

$$E \cdot I_z v(x) = \frac{P' \langle x - L/2 \rangle^3}{6} - \frac{R_1 \langle x - 0 \rangle^3}{6} + \frac{C_1 \cdot x^2}{2} + C_2 \cdot x + C_3 \quad (15)$$

A fim de descobrirmos as incógnitas das equações acima, utilizaremos as seguintes condições de contorno:

-Deslocamentos localizados nas extremidades da viga são considerados nulos:

$$v(0) = 0 \quad v(L) = 0$$

-Deflexões Angulares e Deslocamentos localizados nas extremidades da viga são nulos:

$$\theta(0) = 0 \quad \theta(L) = 0$$

Desenvolvendo a equação (15), tem-se:

$$v(0) = 0 = \frac{P' \langle 0 - L/2 \rangle^3}{6} - \frac{R_1 \langle 0 - 0 \rangle^3}{6} + \frac{C_1 \cdot 0^2}{2} + C_2 \cdot 0 + C_3$$

Aplicando as condições de contorno, tem-se:

$$v(0) = 0 = \frac{P' \langle 0 - L/2 \rangle^3}{6} - \frac{R_1 \langle 0 - 0 \rangle^3}{6} + \frac{C_1 \cdot 0^2}{2} + C_2 \cdot 0 + C_3 \quad (16)$$

Em uma equação de singularidade na forma $\langle x - a \rangle$, se $x < a$ então $\langle x - a \rangle = 0$, nulificando os termos na equação (16) nos leva a $C_3 = 0$.

Analogamente para $x = 0$ na tem-se:

$$\theta(0) = 0 = \frac{P' \langle 0 - L/2 \rangle^2}{2} - \frac{R_1 \langle 0 - 0 \rangle^2}{2} + \frac{C_1 \cdot 0}{2} + C_2 \rightarrow C_2 = 0$$

$$v(L) = 0 = \frac{P' \langle L - L/2 \rangle^3}{6} - \frac{R_1 \langle L - 0 \rangle^3}{6} + \frac{C_1 \cdot L^2}{2} \quad (17)$$

$$\theta(0) = 0 = \frac{P' \langle L - L/2 \rangle^2}{2} - \frac{R_1 \langle L - 0 \rangle^2}{2} + \frac{C_1 \cdot L}{2} \quad (18)$$

Das equações (17) e (18), resolvemos C_1 e R_1 para P' .

$$R_1 = -P'/2 \quad \text{e} \quad C_1 = -\frac{P'L}{8}$$

$$M_z(0) = -M_z(L/2) = -\frac{P'L}{8} \quad (19)$$

Da equação (19) e o tamanho da viga de 1,15 metros, o momento de flexão na viga máximo é dado por:

$$M_{\max} = \frac{P' \cdot 1,15}{8} [N \cdot m] \quad (20)$$

Da equação (17) juntamente com os valores de C_1 e R_1 , a deflexão vertical da viga é dada por:

$$v_{\max} \left(x \leq L/2 \right) = \frac{P' \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} (-4 \cdot \alpha^3 + 3 \cdot \alpha^2) \quad (21)$$

O limite estipulado para a carga P' é a carga no pistão, que pode chegar até um máximo de 147,7 kN, que substituindo na equação (20) temos:

$$M_{\max} = \frac{147707,85 \cdot 1,15}{8} = 21233 [N \cdot m]$$

Analogamente para a força mínima no pistão de 56,4 kN temos:

$$M_{\min} = \frac{56407,5 \cdot 1,15}{8} = 8108,6 [N \cdot m]$$

Esses momentos definirão os valores máximos e mínimos de tensão para o cálculo da linha de carga e coeficiente de segurança de vida em fadiga. Como pontos de partida para a redução de peso nessa parte da estrutura, foram feitas as seguintes considerações:

- O perfil da viga será um perfil tipo “caixa”, constituído de chapas soldadas de espessuras de acordo com a Figura 33.

- Aba superior do perfil deverá ser de 240 mm, para garantir uma maior área de suporte na plataforma de carga.

- Aba inferior do perfil deverá ter 240 mm de largura para poder ter área útil para furação de fixação dos parafusos do pino do eixo.

- Altura máxima do perfil deve ser de 92 mm para não haver alteração na altura do reboque.

- As duas almas do perfil estarão distanciadas a 50 mm das bordas da aba para furos dos parafusos.

- Projeto existente (RB.04LE-001) utilizava duas chapas de $\frac{3}{4}$ ” para as almas e duas de

5/8” para as abas da viga. Verificar se há possibilidade de alterar o projeto para que todas as chapas possam ter espessura de 5/8” (15,875 mm).

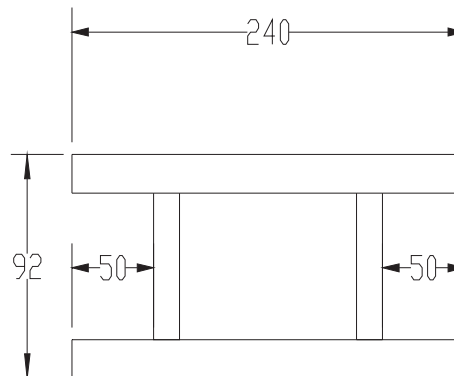


FIGURA 33 – Medidas Construtivas Bases do Eixo

Para o cálculo das Tensões máximas e mínimas foi utilizada a equação (22) e para a deflexão na viga a equação (21).

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot c}{I} \quad (22)$$

Sendo “c” metade da altura do perfil, M_{\max} o resultado da equação (32) e “I” o momento de inércia de área da seção transversal dessa viga de acordo com a Figura 34.

Observando a Tabela 4, foram utilizadas as espessuras de 5/8” (15,875 mm), resultando em um de segurança para vida em fadiga razoável aliado a uma baixa deflexão da viga.

Tabela 3 – Dimensionamento Base do Eixo para chapas SAC-50 de 1/8” (3,175 mm) a 5/8” (15,875 mm)

Largura Aba	0,24 m				
Altura Perfil	0,09175 m				
Carga Máxima	147707,85 N				
Momento Máximo	21233,00344 N.m				
Momento Mínimo	8108,5925 N.m				
Se' (limite resis. Fadiga)	142730000 N/m ²				
Sy (lim. Escoamento)	350000000 N/m ²				
Mód. Elasticidade	2,05E+11 Pa				
Dimensão em Polegadas	1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"
Espessura Aba [m]	0,003175	0,00635	0,009525	0,0127	0,015875
Espessura Alma [m]	0,003175	0,00635	0,009525	0,0127	0,015875
Momento de Inércia [m⁴]	3,32001E-06	6,09042E-06	8,3723E-06	1,02235E-05	1,1699E-05
Índice Esbeltez [m³]	7,23708E-05	0,000132761	0,0001825	0,000222856	0,00025501
Tensão Máxima [Pa]	293391774,8	159933781,3	116343453	95276696,88	83262981,2
Tensão Mínima [Pa]	112042290,7	61076515,3	44429967,5	36384862,46	31796989,4
Tensão Alternada [Pa]	90674742,02	49428632,98	35956742,9	29445917,21	25732995,9
A95	0,001101	0,001101	0,001101	0,001101	0,001101
Deq. [m]	0,119888983	0,119888983	0,11988898	0,119888983	0,11988898
Kb	0,712210876	0,712210876	0,71221088	0,712210876	0,71221088
Se [Pa]	101653858,3	101653858,3	101653858	101653858,3	101653858
Fator de Segurança Fadiga	0,94	1,06	1,09	1,10	1,10
Deflexão Máxima (m)	1,719	0,937	0,682	0,558	0,488

Tabela 4 – Dimensionamento Base do Eixo para chapas SAC-50 de 3/4'' (19,05 mm) a 1.1/4'' (31,75 mm)

Dimensão em Polegadas	3/4"	7/8"	1"	1.1/8"	1.1/4"
Espessura Aba [m]	0,01905	0,022225	0,0254	0,028575	0,03175
Espessura Alma [m]	0,01905	0,022225	0,0254	0,028575	0,03175
Momento de Inércia [m ⁴]	1,2849E-05	1,37227E-05	1,4364E-05	1,4816E-05	1,5116E-05
Índice Esbeltez [m ³]	0,000280087	0,000299131	0,00031312	0,000322964	0,00032949
Tensão Máxima [Pa]	75808580,4	70982172,34	67810691,6	65744147,06	64441226,9
Tensão Mínima [Pa]	28950256,06	27107117,08	25895972,1	25106787,14	24609219,8
Tensão Alternada [Pa]	23429162,17	21937527,63	20957359,7	20318679,96	19916003,5
A95	0,001101	0,001101	0,001101	0,001101	0,001101
Deq. [m]	0,119888983	0,119888983	0,11988898	0,119888983	0,11988898
Kb	0,712210876	0,712210876	0,71221088	0,712210876	0,71221088
Se [Pa]	101653858,3	101653858,3	101653858	101653858,3	101653858
Fator de Segurança Fadiga	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
Deflexão Máxima (m)	0,444	0,416	0,397	0,385	0,378

3.3.5 Dimensionamento do suporte lateral:

Para o modelo matemático do suporte lateral, será considerada uma estrutura de viga em balanço com a carga com ponto de aplicação conforme Figura 34. A estrutura estará suportando a carga R_{sup} que é igual à soma em módulo das forças exercidas pelas bases do eixo dos dois lados do suporte, conforme detalhe “C” da Figura 34.

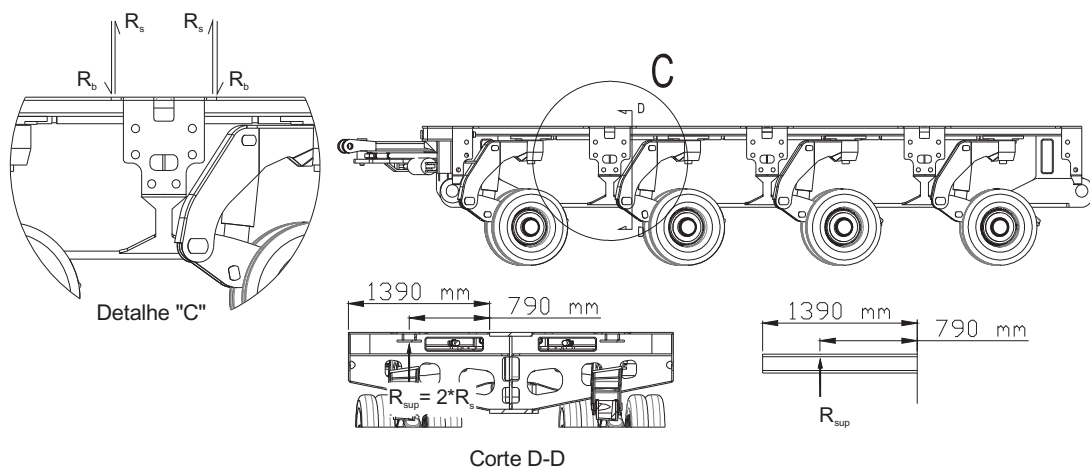


FIGURA 34 – Esforços no Suporte Lateral e modelo matemático

Como podemos observar no canto inferior direito da Figura 34, o modelo utilizado para dimensionamento do suporte lateral será uma viga em balanço com as medidas indicadas. As considerações para o cálculo serão as seguintes:

- Viga tipo caixa, espaçamento “almas” espaçadas de 20 mm da borda do perfil para

facilitação da solda de filete;

- Aba superior de 400 mm de largura fornecendo apoio para sustentação de carga;
- Verificar possibilidade de redução da largura da aba inferior para metade da aba do projeto existente (de 400 mm para 200 mm);
- Verificar possibilidade de redução da espessura das abas de $\frac{3}{4}$ " (19,05 mm) para $\frac{5}{8}$ " (15,875 mm) ou menor;
- Redução da espessura das "almas" do perfil de $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm) para $\frac{3}{8}$ " (9,525 mm) e aumento da altura do perfil para deixar mais espaço livre para as hastes da direção no tubo retangular.
- Para simplificação dos cálculos, serão desconsiderados os efeitos da nervura com base soldada abaixo desse perfil caixa, que serve de apoio para fixação das tubulações hidráulicas e pneumáticas. Será considerado apenas o perfil indicado no detalhe "B" da Figura 35.

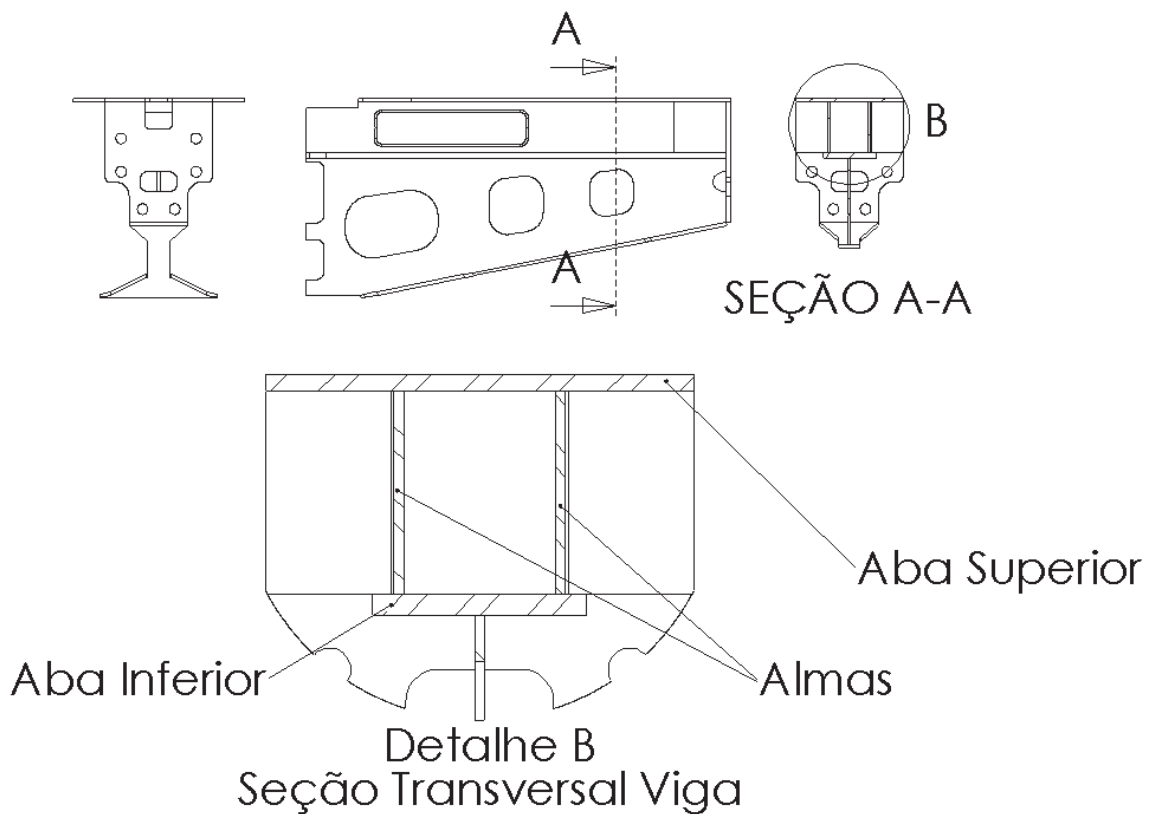


FIGURA 35 – Detalhes construtivos do suporte lateral

De acordo com o corte D-D da Figura 34, o momento de flexão máximo será dado por:

$$|M_{\max}| = R_{\text{sup}} \cdot 0,79 \quad (23)$$

$$R_{\text{sup}} = 2 \cdot R_s = |2 \cdot R_b| = 2 \frac{P}{2} = P = 147707,85 \text{ N}$$

$$|M_{\max}| = 147707,85 \cdot 0,79 = 116689 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Analogamente para a menor carga no eixo:

$$|M_{\min}| = 56407,5 \cdot 0,79 = 44651,9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

A deflexão de uma viga em balanço é:

$$v = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (24)$$

A tabela 5 mostra o resultado do fator de segurança

TABELA 5 – Dimensionamento Suporte Lateral para chapas de variadas espessuras SAC-50

Larg Aba inferior	0,2	
Tamanho Viga caixote	0,225	M
Larg. Aba superior	0,4	M
Carga Máxima	147707,85	N
Momento Máximo	116689,2015	N.m
Momento Mínimo	44562,004	N.m
Se' (limite resis. Fadiga)	142730000	N/m ²
Sy (lim. Escoamento)	350000000	N/m ²
Mód. Elasticidade	2,05E+11	Pa
Espessura Aba sup [m]	0,015875	0,015875
Espessura Aba inf [m]	0,015875	0,01905
Espessura Almas [m]	0,009525	0,009525
Área Aba superior [m²]	0,00635	0,00635
MI Aba superior [m⁴]	0,000299321	0,000299321
Área duas Almas [m²]	0,003681413	0,003620929
MI duas almas caixa [m⁴]	5,80499E-05	5,80314E-05
Área aba inferior [m²]	0,003175	0,00381
MI Aba inferior [m⁴]	2,66717E-07	4,60886E-07
Centróide [m]	0,137638238	0,132628204
MI Conjunto [m⁴]	1,07E-04	1,15E-04
Alt. Linha tensão máxima [m]	0,137638238	0,132628204
A95	2,25E-03	2,25E-03
Deq. [m]	0,171386604	0,171386604
Kb	0,673352657	0,673352657
Tensão máxima [Pa]	1,49E+08	1,34E+08
Tensão Mínima [Pa]	5,71E+07	5,12E+07
Tensão Alternada [Pa]	46195131,71	41446417,19
Tensão Média [Pa]	103276169,5	92659703,51
Se [Pa]	96107624,71	96107624,71
Fator de Segurança Fadiga	1,773028566	1,97617294
Deflexão Viga em Balanço (mm)	1,1	1,0

É verificado que para abas com 5/8'' (15,875 mm) de espessura, a deflexão ainda fica um pouco acima de 1 mm, como ficou definido deflexões próximas ou abaixo de 1 mm para

os suportes laterais e as bases do eixo, serão escolhidas as medidas conforme a segunda coluna da Tabela 5, ou seja, aba superior de 5/8" (15,875 mm) e aba inferior de 3/4" (19,05 mm) com as almas da caixa de 3/8" (9,525 mm). Comparando com o modelo anterior temos a redução de espessura de uma das chapas de 3/4" para 5/8", que traduz-se em uma redução de peso ao considerar toda a estrutura.

3.3.6 Dimensionamento Ponteiros Estrutura Principal

O dimensionamento da ponteira é semelhante ao dimensionamento do suporte lateral, conforme o modelo matemático da Figura 36:

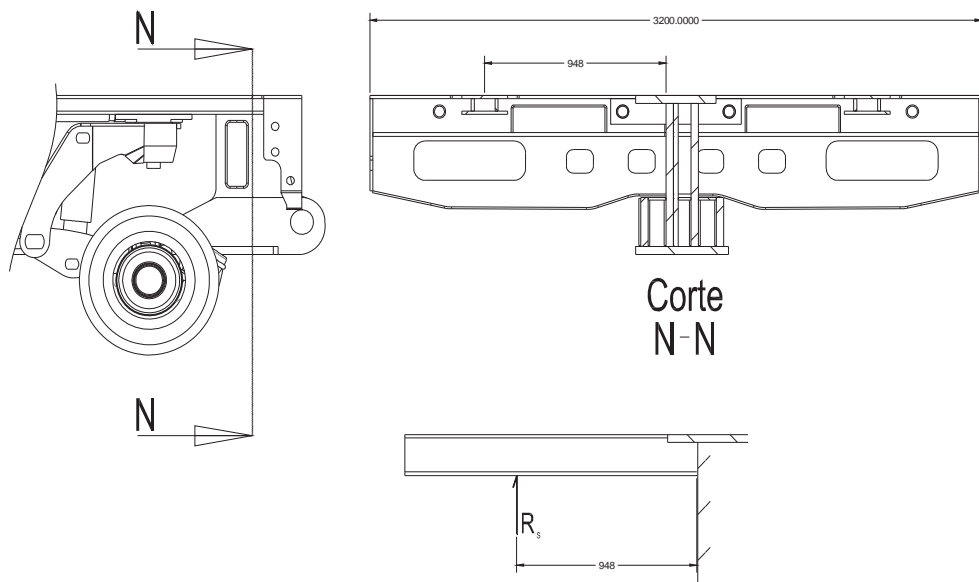


FIGURA 36 – Esforços na ponteira do reboque e modelo matemático

Dados iniciais:

$$R_{pont} = R_s = 147707,85 / 2 = 73853,925 \text{ N}$$

Utilizando a equação (23) e R_{pont} tem-se:

$$|M_{\max}| = 73853,925 \cdot 0,948 = 70013,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$|M_{\max}| = \frac{56407,5}{2} \cdot 0,948 = 26737,16 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Da Tabela 6, com uma das abas com 15,875 mm (5/8"), outra de 19,05 mm (3/4") e as almas de 9,525 mm (3/8"), temos uma deflexão menor do que 1 mm, aliado a um fator de

segurança considerável. Comparando ao modelo RB.04LE-01, tem-se a redução da chapa superior de 3/4" para 5/8".

TABELA 6 – Dimensionamento Ponteira do Reboque para chapas SAC-50

Larg Aba inferior	0,2				
Tamanho Viga caixote	0,2	M			
Larg. Aba superior	0,2	M			
Carga Máxima	73853,925	N			
Momento Máximo	70013,5209	N.m			
Momento Mínimo	26737,2024	N.m			
Se' (limite resis. Fadiga)	142730000	N/m ²			
Sy (lim. Escoamento)	350000000	N/m ²			
Mód. Elasticidade	2,05E+11	Pa			
Espeçura Aba sup [m]	0,00635	0,009525	0,0127	0,015875	0,015875
Espeçura Aba inf [m]	0,00635	0,009525	0,0127	0,015875	0,01905
Espeçura Almas [m]	0,003175	0,00635	0,009525	0,0127	0,009525
Área Aba superior [m²]	0,00127	0,001905	0,00254	0,003175	0,003175
MI Aba superior [m⁴]	4,9204E-05	7,2629E-05	9,5285E-05	0,00011719	0,00011719
Área duas Almas [m²]	0,00118936	0,00229807	0,00332613	0,00427355	0,00314468
MI duas almas caixa [m⁴]	1,5371E-05	2,9251E-05	4,1711E-05	5,2817E-05	3,9594E-05
Área aba inferior [m²]	0,00127	0,001905	0,00254	0,003175	0,00381
MI Aba inferior [m⁴]	1,707E-08	5,7611E-08	1,3656E-07	2,6672E-07	4,6089E-07
Centróide [m]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09531879
MI Conjunto [m⁴]	2,73E-05	4,09E-05	5,31E-05	6,40E-05	6,52E-05
Alt. Linha tensão máxima [m]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,10468121
A95	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03
Deq. [m]	0,16158484	0,16158484	0,16158484	0,16158484	0,16158484
Kb	0,67960732	0,67960732	0,67960732	0,67960732	0,67960732
Tensão máxima [Pa]	2,56E+08	1,71E+08	1,32E+08	1,09E+08	1,12E+08
Tensão Mínima [Pa]	9,79E+07	6,54E+07	5,04E+07	4,18E+07	4,29E+07
Tensão Alternada [Pa]	79265741,5	52961181,8	40771851,9	33791600,9	34737646,3
Tensão Média [Pa]	177210495	118402693	91151611,3	75546209,6	77661236,5
Se [Pa]	97000353,5	97000353,5	97000353,5	97000353,5	97000353,5
Fator de Segurança Fadiga	1,04	1,56	2,02	2,44	2,37
Deflexão Viga Balanço (mm)	2,17	1,45	1,12	0,92	0,91
Peso específico Perfil [Kg/m]	29,28	47,95	65,99	83,39	79,52

3.3.7 Dimensionamento da viga principal

A viga principal será dimensionada a partir do modelo de uma viga apoiada conforme a Figura 37. As medidas intercaladas por espaçamentos de 1500 mm são as localizações dos suportes laterais que transmitem os esforços para essa viga. Os esforços R_{v1} correspondem aos suportes laterais e R_{v2} corresponde às vigas da ponteira.

A força R_{v1} é a soma algébrica do esforço cortante que os suportes laterais transmitem para a viga principal, em cada um dos lados. Similarmente, a força R_{v2} soma as forças da

estrutura na extremidade da viga principal. Logo:

$$R_{v1} = 2 \cdot R_{\text{sup}} = 2 \cdot 147707,85 = 295415,7 \text{ N}$$

$$R_{v2} = 2 \cdot R_{\text{sup}} = 2 \cdot 73853,925 = 147707,85 \text{ N}$$

$$P'' = 3 \cdot R_{v1} + 2 \cdot R_{v2} = 1181662,8 \text{ N}$$

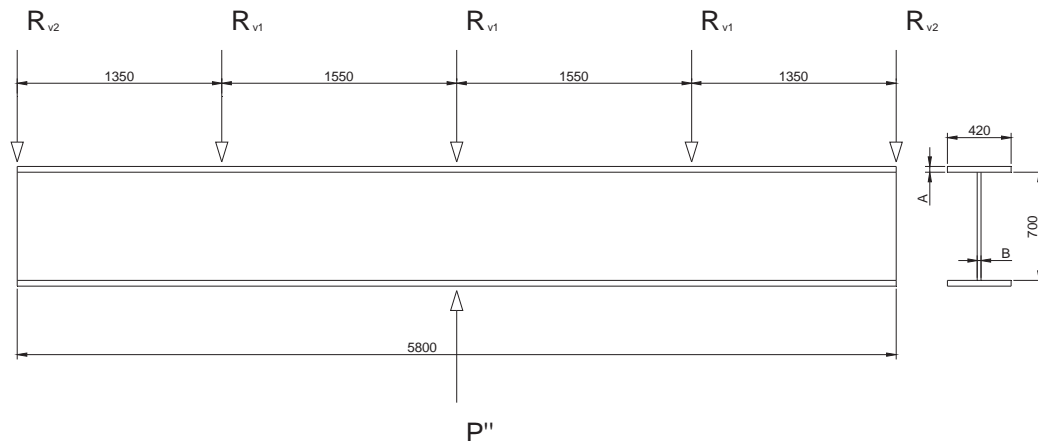


FIGURA 37 – Modelo matemático viga principal.

P'' é uma carga de referência (carga máxima momentânea), o reboque não vai operar com cargas desse porte. A carga nominal já definida anteriormente e é de 100 toneladas (981000 N).

Como o conjunto de cargas aplicadas é simétrico em relação ao centro da viga, podemos simplificar o modelo para uma viga em balanço com duas cargas:

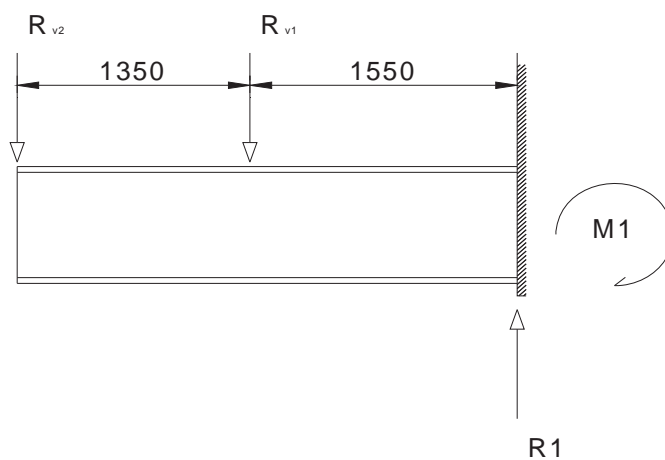


FIGURA 38 – Simplificação modelo matemático viga principal.

A deflexão dessa viga utilizando o método da superposição, nas duas pontas, será:

$$v = \left(\left(\frac{R_{v1} \cdot (1,55^2)}{2 \cdot E \cdot I} \right) \cdot 1,55 \right) + \left(\frac{R_{v1} \cdot (1,55^3)}{3 \cdot E \cdot I} \right) + \left(\frac{R_{v2} \cdot (2,9^3)}{3 \cdot E \cdot I} \right) \quad (44)$$

O momento de flexão máximo para essa viga é dado por:

$$M_{\max} = 1,55 \cdot R_{v1} + 2,9 \cdot R_{v2} = 457894,335 + 428352,765 = 886247,1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Com a razão de carga $r = 0,3819$ temos:

$$M_{\min} = 0,3819 \cdot M_{\max} = 338457 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (45)$$

Serão realizados os cálculos a partir das seguintes considerações:

- Vão entre as abas da viga terá de ser de 700 mm, para alojamento da tubulação hidráulico-pneumática e cilindros de armazenamento de ar comprimido.

- Largura da aba inferior de 420 mm, para apoio dos cilindros de ar comprimido.

- Largura da aba superior de 420 mm, para apoio da carga.

- Espessura da alma da viga deverá ser mais fina que das abas, melhor eficiência estrutural do perfil I.

- O fator de segurança será uma função das considerações acima e das medidas A (Aba inferior e superior) e B (Alma) da Figura 37.

- O critério de seleção da espessura das chapas será baseado também na deflexão da viga, para que não ultrapasse o limite já estabelecido pelos itens base do eixo e suporte lateral.

Observando a série de dados 1 da Tabela 7 o fator de segurança de 2,41 para esse componente é mais que satisfatório, porém temos uma deflexão nas extremidades da viga de 3,26 mm, que somados com as medidas calculadas para as partes de Base do Eixo e Suporte lateral, ultrapassam os 4,13 mm definidos como segurança para não haver colisão na estrutura principal. Na série de dados 2, obtemos um valor de deflexão satisfatória que define as medidas para a viga principal com duas abas de 1.1/2" (38,1 mm) e alma de 1" (25,4 mm).

A partir das medidas definidas para cada uma das partes da estrutura principal, é possível definir um modelo tridimensional, com todos o componentes fixados, para ser analisado no software Solidworks Simulation Express.

Para garantir a carga em cada eixo seja a mesma, a área de aplicação de carga (setas verdes) ficou definida como a restrição do sistema e os pontos de aplicação de força estão localizados nos pinos (setas roxas).

O procedimento mais comum quando se utiliza um software desse tipo é que os pontos de apoio no solo ou engastados sejam definidos como restrições e a carga apoiada seja simulada por uma força na direção da gravidade, porém desse modo não iríamos simular a mesma força em cada um dos eixos.

TABELA 7 – Dimensionamento Viga Principal para aços SAC-50

Larg Aba inferior	0,42	M
Espaçamento Interno Viga "I"	0,7	M
Larg. Aba superior	0,42	M
Carga Rv1	295415,7	N
Carga Rv2	147707,85	N
Momento Máximo	886247,1	N.m
Momento Mínimo	338457	N.m
Se' (limite resis. Fadiga)	142730000	N/m ²
Sy (lim. Escoamento)	350000000	N/m ²
Mód. Elasticidade	2,05E+11	Pa
Série de Dados		
	1	2
Espessura Aba sup [m]	0,0254	0,0381
Espessura Aba inf [m]	0,0254	0,0381
Espessura Alma [m]	0,0127	0,0254
Área Aba superior [m ²]	0,010668	0,016002
MI Aba superior [m ⁴]	0,00581241	0,009176
Área Alma [m ²]	0,00889	0,01778
MI Alma [m ⁴]	0,001615833	0,003404
Área aba inferior [m ²]	0,010668	0,016002
MI Aba inferior [m ⁴]	2,29419E-06	7,74E-06
Centróide [m]	0,3754	0,3881
MI Conjunto [m ⁴]	3,17E-03	5,09E-03
Alt. Linha tensão máxima [m]	0,3754	0,3881
A95	1,58E-02	1,63E-02
Diâmetro [m]	0,453688107	0,461299
Deq. [m]	0,254	0,254
Kb	0,633020907	0,633021
Tensão máxima [Pa]	1,05E+08	6,76E+07
Tensão Mínima [Pa]	4,01E+07	2,58E+07
Tensão Alternada [Pa]	3,24E+07	2,09E+07
Tensão Média [Pa]	7,25E+07	4,67E+07
Se [Pa]	9,04E+07	9,04E+07
Fator de Segurança Fadiga	2,41	3,75
Deflexão Viga em Balanço (mm)	3,26	2,03
Peso/metro Perfil (kg/m)	237,27	390,80
Fator de Segurança Estático	3,34	5,18

A Figura 39 ilustra a aplicação dos esforços no reboque, com uma carga de 100 toneladas ao centro, uma situação que dificilmente aconteceria na prática, pois uma concentração de peso de 100 toneladas em uma pequena área (700 mm x 200 mm) é incomum.

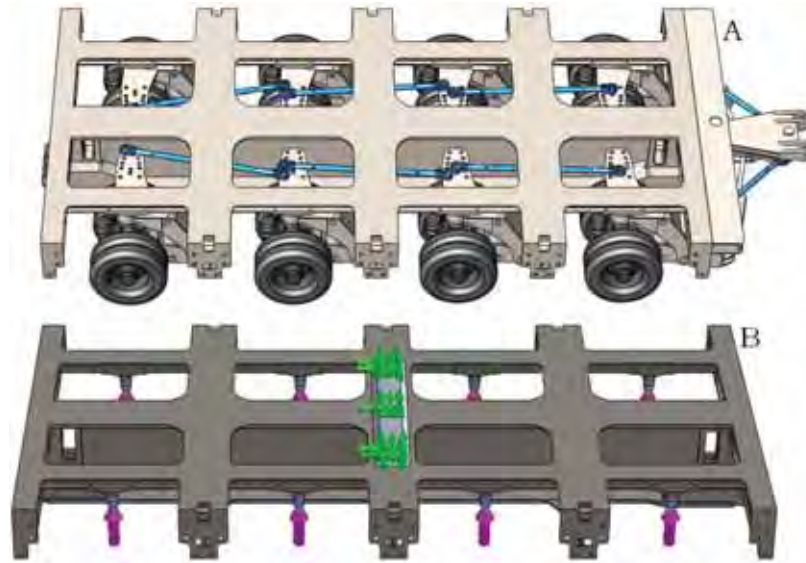


FIGURA 39 – A) Reboque completo com todos os componentes B) Estrutura principal do reboque com esforços aplicados

A Figura 40 demonstra o gradiente de tensões no reboque, que não ultrapassam o valor máximo encontrado pelo software de 239 MPa.

Com esse valor máximo como referência e utilizando o limite de escoamento do aço utilizado de 350 MPa, temos um fator de segurança para a estrutura de 1,47.

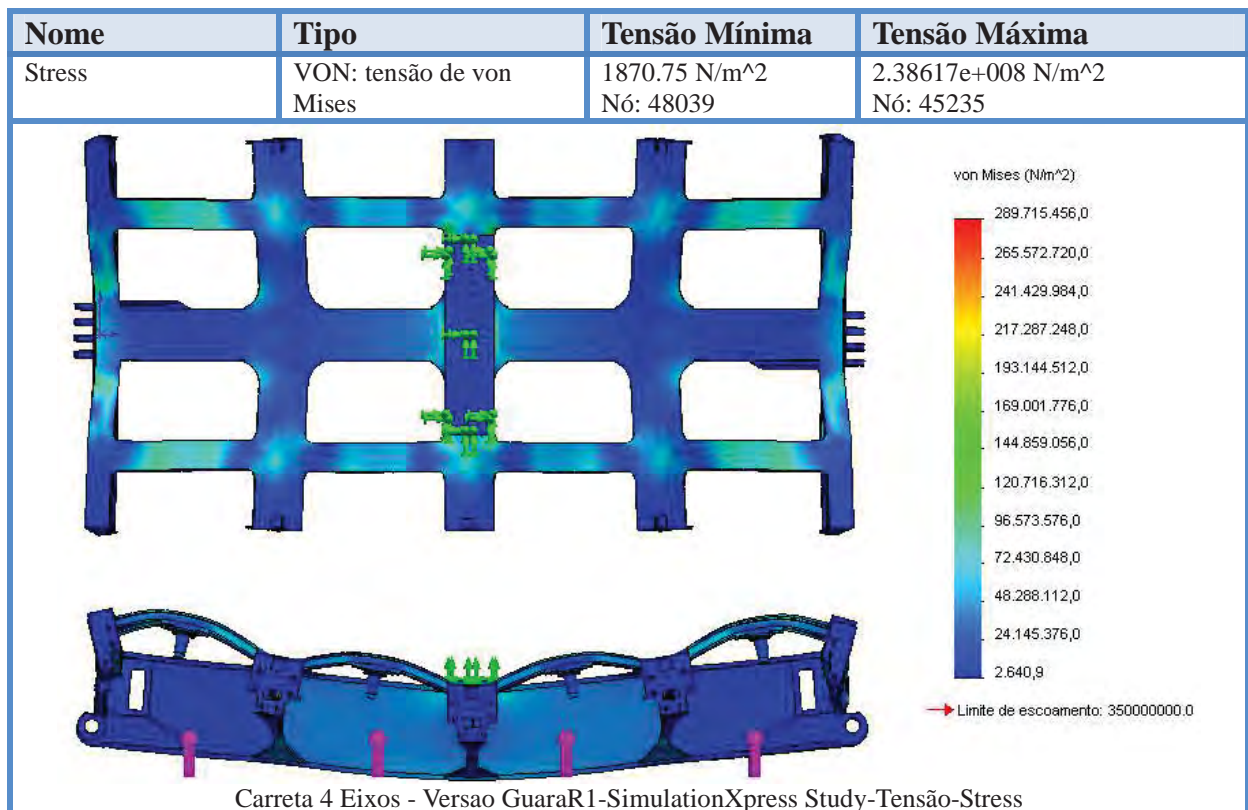


FIGURA 40 – Tensão Máxima e Mínima Von Mises para a estrutura principal

O software também simula a deflexão no reboque diante da carga aplicada, com isso pode-se verificar se a critério de deflexão máxima na estrutura foi satisfeito. A Figura 41 mostra a estrutura com um gradiente de cores que indicam a deflexão da estrutura em relação ao ponto de restrição.

O software retorna que o valor máximo de deflexão na estrutura é de 3,97 mm, abaixo dos 4,13 mm estipulados, ou seja, o processo produtivo do reboque poderá ser o mesmo que haverá poucas chances do resultado final ter problemas de colisão no sistema de direção.

É importante observar que as distorções demonstradas nas Figuras 40 e 41 não correspondem à realidade. O software aumenta a escala da deflexão para ilustrar se a peça é deformada como esperado, uma ferramenta que auxilia o bom-senso do engenheiro a definir as restrições e cargas aplicadas nesse modelo.

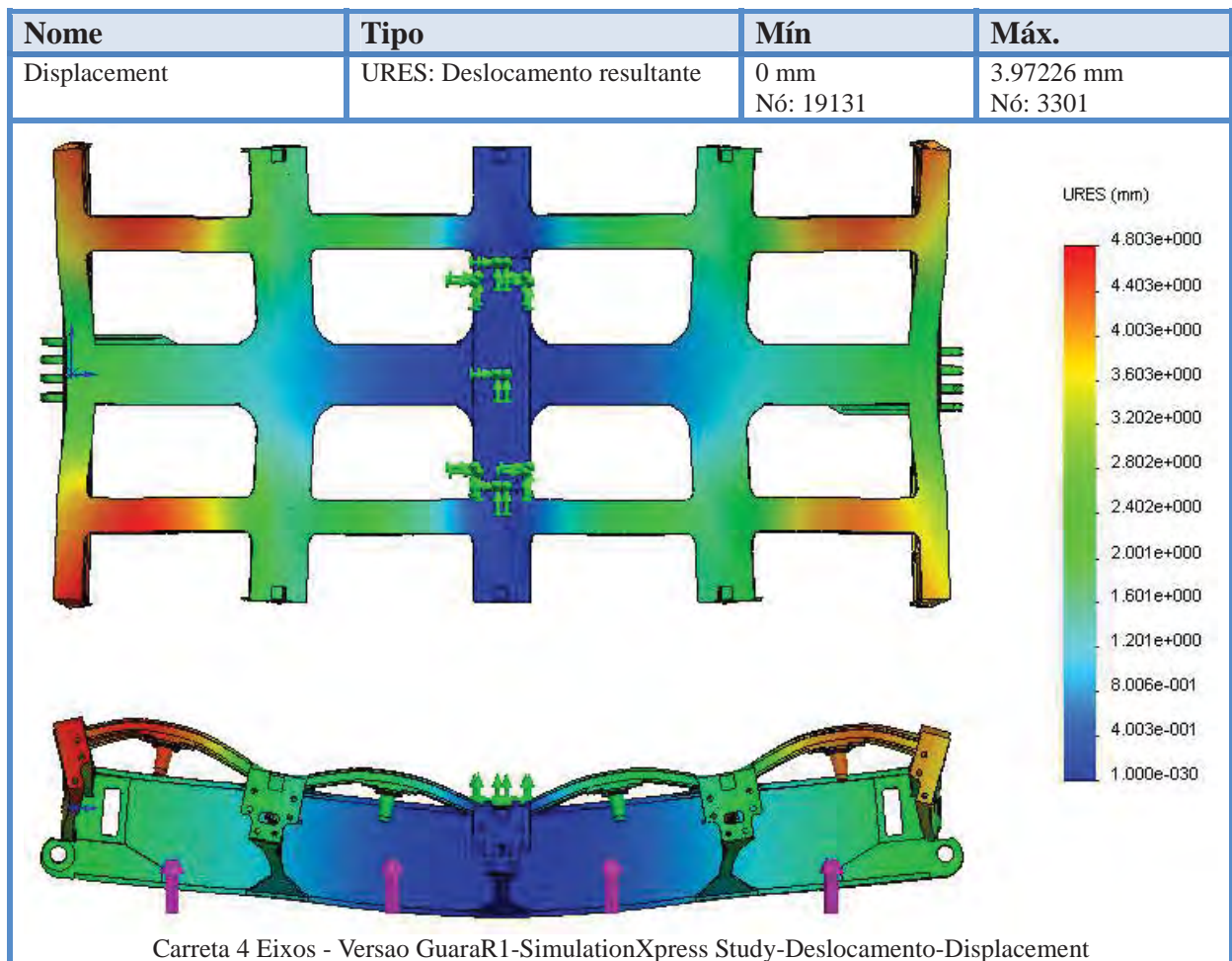


FIGURA 41 – Deformações Máxima e Mínima para a estrutura principal

4. RESULTADOS

Será feita a comparação dos itens dos reboques que tiveram mudança do modelo RB.04LE-01 para o RB.04LE-02. Para verificar se o objetivo de um reboque mais econômico para o modelo RB.04LE-02 foi alcançado, serão considerados custos de aquisição de matéria-prima (chapas de aço, material fundido, peça bruta para usinagem) e custos de produção (usinagens). O custo de chapas de aço e peças brutas para usinagem é padrão, cotados em R\$/Kg, já os preços de processos produtivos foram obtidos através de dados dos custos do reboque RB.04LE-01.

Na Tabela 8 será demonstrado o custo total dos itens de um módulo de quatro eixos para cada um dos modelos. A diferença de valor fica reduzida em um total de R\$ 9091,12 por reboque.

TABELA 8 – Comparação de custos entre os projetos RB.04LE-01 e RB.04LE-02

RB.04LE-01						
Item	Qtd.	Peso (Kg)	Valor Matéria Prima Bruta (R\$/Kg)	Valor Total Matéria Prima (R\$)	Valor Processo Produtivo (R\$/Unidade)	Valor Total (R\$)
Estrutura Principal	1	6976	3,2	R\$ 22.323,20		R\$ 22.323,20
Conjunto Suspensão	8	241	3,2	R\$ 6.169,60		R\$ 6.169,60
Fundição Manga do Eixo	8			R\$ 150,00	R\$ 300,00	R\$ 2.550,00
Usinagem Pinos 3"	32	9	4,5	R\$ 1.296,00	R\$ 150,00	R\$ 6.096,00
Soma						R\$ 37.138,80
RB.04LE-02						
Item	Qtd.	Peso (Kg)	Valor Matéria Prima Bruta (R\$/Kg)	Valor Total Matéria Prima (R\$)	Valor Processo Produtivo (R\$/Unidade)	Valor Total (R\$)
Estrutura Principal	1	6594	3,2	R\$ 21.100,80		R\$ 21.100,80
Conjunto Suspensão	8	192,3	3,2	R\$ 4.922,88		R\$ 4.922,88
Usinagem Pinos 4"	8	14	4,5	R\$ 504,00	R\$ 190,00	R\$ 2.024,00
Soma						R\$ 28.047,68

Também será verificada a diferença na tara e capacidade de carga dos dois reboques, comparando o valor obtido na pesagem do RB.04LE-01 com o peso estimado para o RB.04LE-02. A Tabela 9 compara os principais dados relativos ao peso e carga útil dos dois modelos.

A capacidade de carga útil aumentada no RB.04LE-01 é pouca (800 Kg) comparando a redução na carga máxima do reboque (20 toneladas). Isso pode indicar uma superdimensionamento da estrutura, resultado da cautela ao definir as espessuras dos

materiais e do critério de deflexão na estrutura.

TABELA 9 – Comparação de pesos entre os projetos RB.04LE-01 e RB.04LE-02

Comparativo Operacional dois Reboques	RB.04LE-01	RB.04LE-02
Carga Máxima Nominal (Peso Bruto Total)	120 ton.	100 ton.
Carga Máxima por Eixo	30 ton	25 ton
Carga Máxima por Eixo para trânsito em rodovias	11,5 ton.	11,5 ton.
Tara (Peso do Reboque)	14,6 ton.	13,8 ton.
Peso P/Eixo (Tara)	3,65 ton.	3,45 ton.
Peso líquido por eixo (para Rodovias)	7,85 ton.	8,05 ton.

5. CONCLUSÕES

Dentro do estudo realizado no projeto RB.04LE-02 obteve-se resultados satisfatórios quando comparamos ao modelo RB.04LE-01. Os objetivos do trabalho, redução de peso e custos, foram alcançados. Relacionado ao preço foi reduzido um valor considerável, principalmente nos itens matéria-prima e processo produtivo de usinagem. Alguns dos valores não considerados por falta de dados foram: a redução de custos da manufatura por diminuição de hora trabalhada e economia na manutenção.

Essa economia concentra-se mais no conjunto da suspensão. Isto se deve ao fato de que esse componente foi simplificado, porém se traduz em uma menor capacidade de carga do reboque. Entretanto ao considerarmos o limite de peso por eixo permitido por lei para rodovias, o reboque RB.04LE-02 por ser mais leve é mais eficiente, possuindo uma maior capacidade de carga útil para transporte rodoviário do que o RB.04LE-01.

Apesar de ambos os objetivos terem sido alcançados, há o que melhorar nesse modelo. Comparando o ganho de carga útil para transporte rodoviário e a perda de carga máxima de um modelo para o outro, nota-se uma considerável diferença entre os dois valores (19600 Kg). A explicação está no critério de deflexão definido para a estrutura principal. No componente conjunto da suspensão tivemos uma redução de aproximadamente 20% de peso, enquanto que na estrutura principal (onde foi aplicado o critério de deflexão) essa redução foi de apenas 5%.

Entretanto o critério de deflexão foi tido como necessário para corrigir um problema no reboque RB.04LE-01: a colisão do sistema de direção com a estrutura principal. A causa desse problema reside no processo de soldagem utilizado na produção do reboque, que não foi capaz de garantir as medidas finais necessárias para o funcionamento correto do equipamento. Como o modelo RB.04LE-02 também está pra ter sua produção finalizada na Metalúrgica Guará, corre-se o risco das medidas finais ficarem fora do conforme, sendo necessário adotar o critério de limite de deflexão.

Enfim, para que se pudesse ter um projeto de reboque mais eficiente sem a adoção do critério de deflexão teriam que ser solucionados os dois problemas de outra maneira: melhorando o processo de produção de soldagem, tornando-o mais preciso ou mudar o sistema de direção de forma que não seja necessária a passagem de tirantes pela estrutura principal. A melhora no processo de soldagem demandaria um maior tempo de produção por reboque e talvez fosse necessária a contratação de novos funcionários. A mudança do sistema

de direção demandaria mais tempo de projeto, atrasando as outras etapas posteriores de produção, podendo inviabilizar a data de entrega produto final para o cliente.

Ambas as opções mencionadas anteriormente podem ser adotadas para um novo projeto, porém para o RB.04LE-02 o critério de deflexão foi o suficiente para a produção de um reboque eficiente para transporte rodoviário e mais econômico, facilitando o processo de aquisição do reboque pelas empresas de logística pesada que trabalhem com prestação de serviços de cargas indivisíveis.

BIBLIOGRAFIA

HIBBELER, R. C.. **Resistência dos Materiais**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G.. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7. ed. São Paulo: Artmed, 2004.

PORTAL GUIA DO TRANSPORTADOR <<http://www.guiadotrc.com.br/>> - 2011

PORTARIA 22/10 DER/SP - NORMA PARA CONCESSÃO DE AUTORIZAÇÃO ESPECIAL DE TRÂNSITO PARA VEÍCULOS OU COMBINAÇÃO DE VEÍCULOS UTILIZADOS NO TRANSPORTE DE CARGA INDIVISÍVEL E VEÍCULOS ESPECIAIS QUE NÃO SE ENQUADREM NOS LIMITES DE PESO OU DE DIMENSÕES ESTABELECIDOS PELO CONTRAN. – <<http://www.der.sp.gov.br/servicos/portarias.aspx>>

TRANSPORTES PESADOS ITAJAÍ - <<http://www.transpi.com.br/>>

REVISTA GRANDES CONSTRUÇÕES –

<http://www.grandesconstrucoes.com.br/br/index.php?option=com_contenido&task=viewMateria&id=225>

PORTAL 730 - <<http://www.portal730.com.br/noticias/cidades/12506-prf-escolta-transporte-de-transformador.html>>

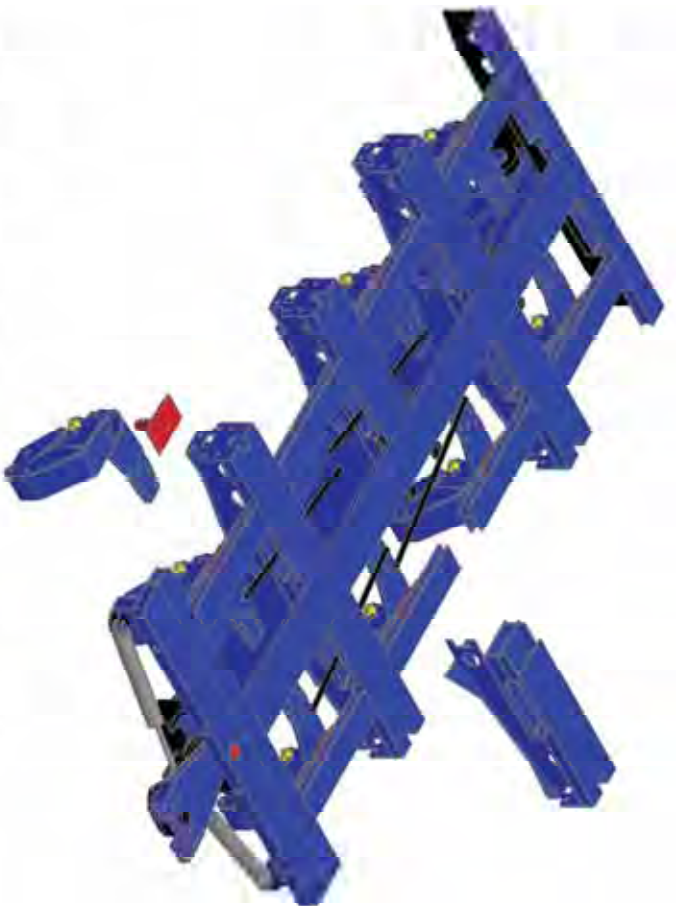
RAC - <<http://www.rac.com.br/noticias/campinas-e-rmc/79192/2011/03/30/rota-das-bandeiras-libera-trecho-da-rodovia-dom-pedro-i.html>>

FOLHA UOL - <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/998993-apos-4-horas-de-bloqueio-fernao-dias-sp-tem-uma-faixa-liberada.shtml>>

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION – FEDERAL HIGHWAY
ADMINISTRATION - <<http://www.fhwa.dot.gov/policy/otps/truck/wusr/chap06.htm>>

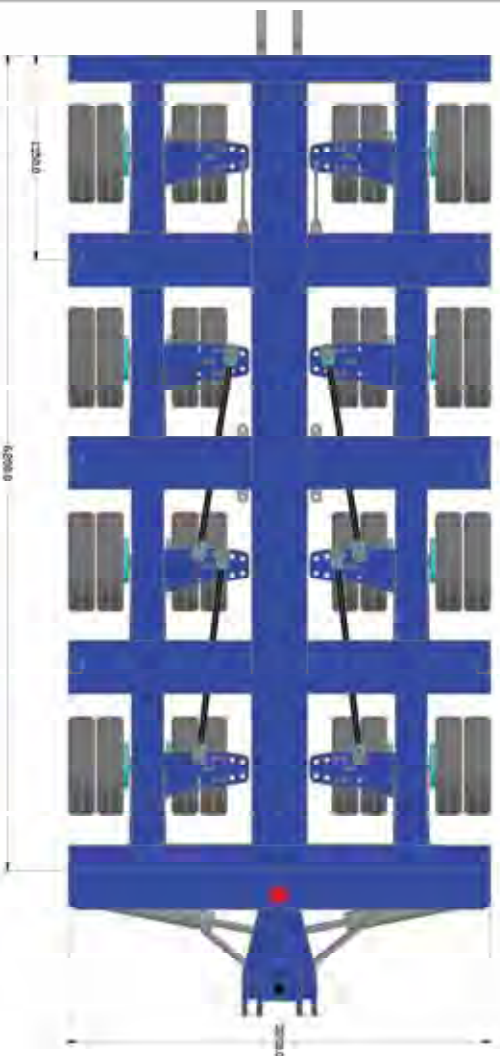
GUIA DO TRC - <<http://www.guiadotrc.com.br/lei/resusp.asp>>;
<<http://www.guiadotrc.com.br/lei/veiculos.asp>>

REVISTA O CARRETEIRO -
<<http://www.revistaocarreteiro.com.br/modules/revista.php?recid=1054&edid=90>>



Estrutura principal do reboque sem eixos e rodas.

Reboque Hidráulico Linha de Eixos - RB.04LE-01

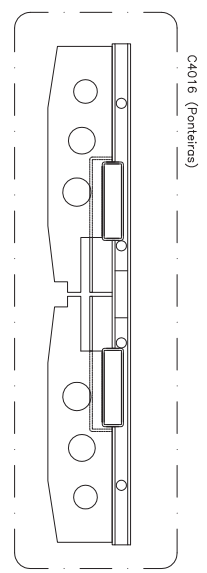
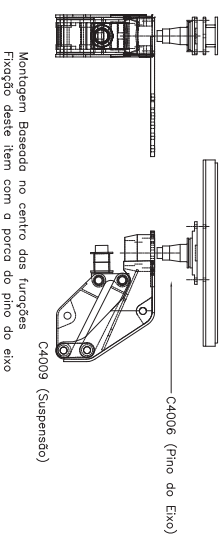
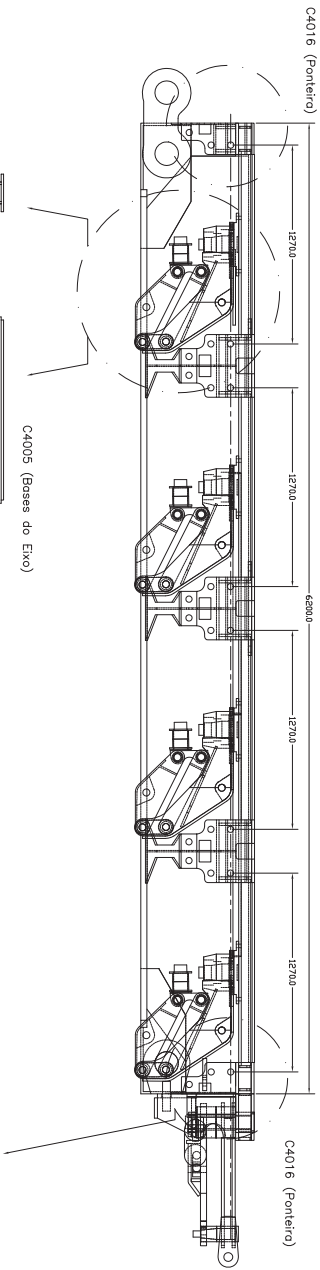
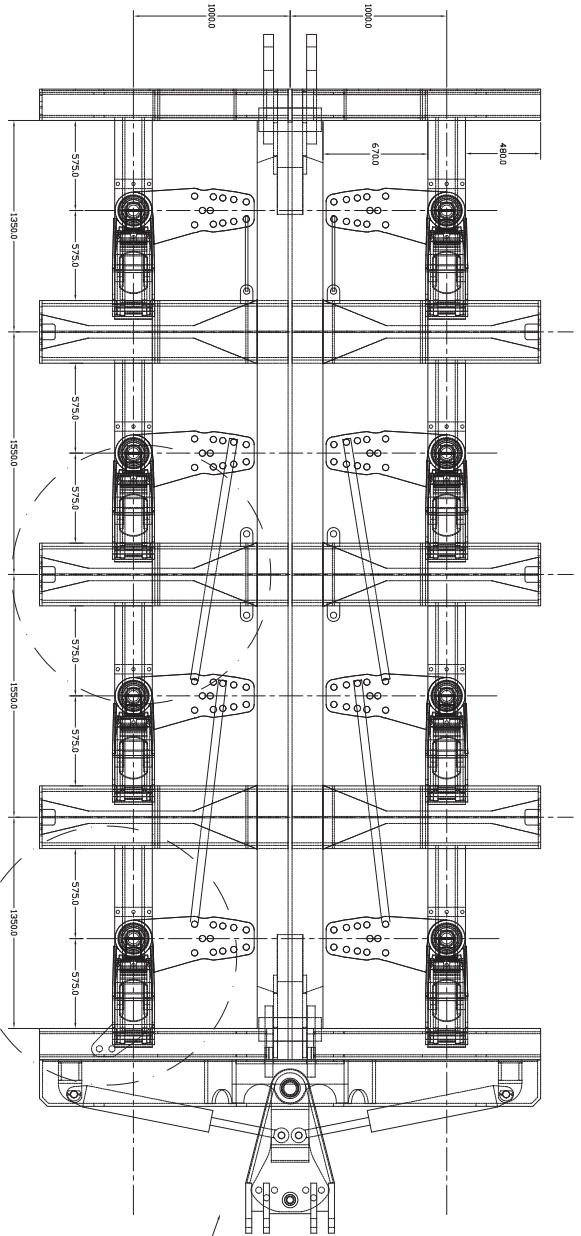


Cabeceira comando hidráulico

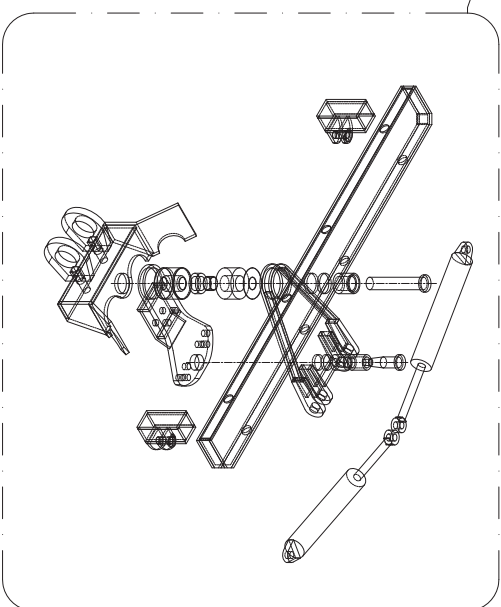


Modelo	RB.04LE-01
Entre Eixos	1550 mm
Comprimento	6200 mm
Largura	3200 mm
No. Eixos	4 eixos
Cap. Carga	120 ton.
Tara	13,3 ton.

NO.	SALA	QUANTIDADE NA REPOZICÃO	DATA	TIPO	USO
DEPARTAMENTO Carreta 4 eixos					
TÍTULO Carreta 4 eixos - Apresentação					
MATERIAL Metaldúrgico Guará					
ELAB.	PROJ.	APR.	REVIS.	DATA	TIPO
ESCALA DOS DESENHOS: 1:1					
Nº DE TUBOS:					
Nº DE MATERIAIS:					
DES-RB.04LE-01-00					
					TOTAL A2
					4



C4003 (Bloco do Nervuro)
C4005 (Bases do Eixo)
Funcão realizado na montagem



Item	Quantidade	Descrição	Partes Unit.	Partes Tot.	Obs.
01	6	C4003 (Bloco do Nervuro)			
02	8	C4005 (Base do Eixo)			
03	8	C4009 (Suspensão)			
04	8	C4006 (Pino do Eixo)			
05	1	C4011 (Cabeceira)			
06	2	C4016 (Fronteira)			

TÍTULO
Carreta 4 eixos – Montagem principal

EMPENHAMENTO
Carreta 4 eixos

CLIENTE
I.V. TRANSPORTES

EMPENHAMENTO
Metalúrgica Guardá

REV. DATA MANTENÇA DA REVISÃO EMB. VERB. APROV.

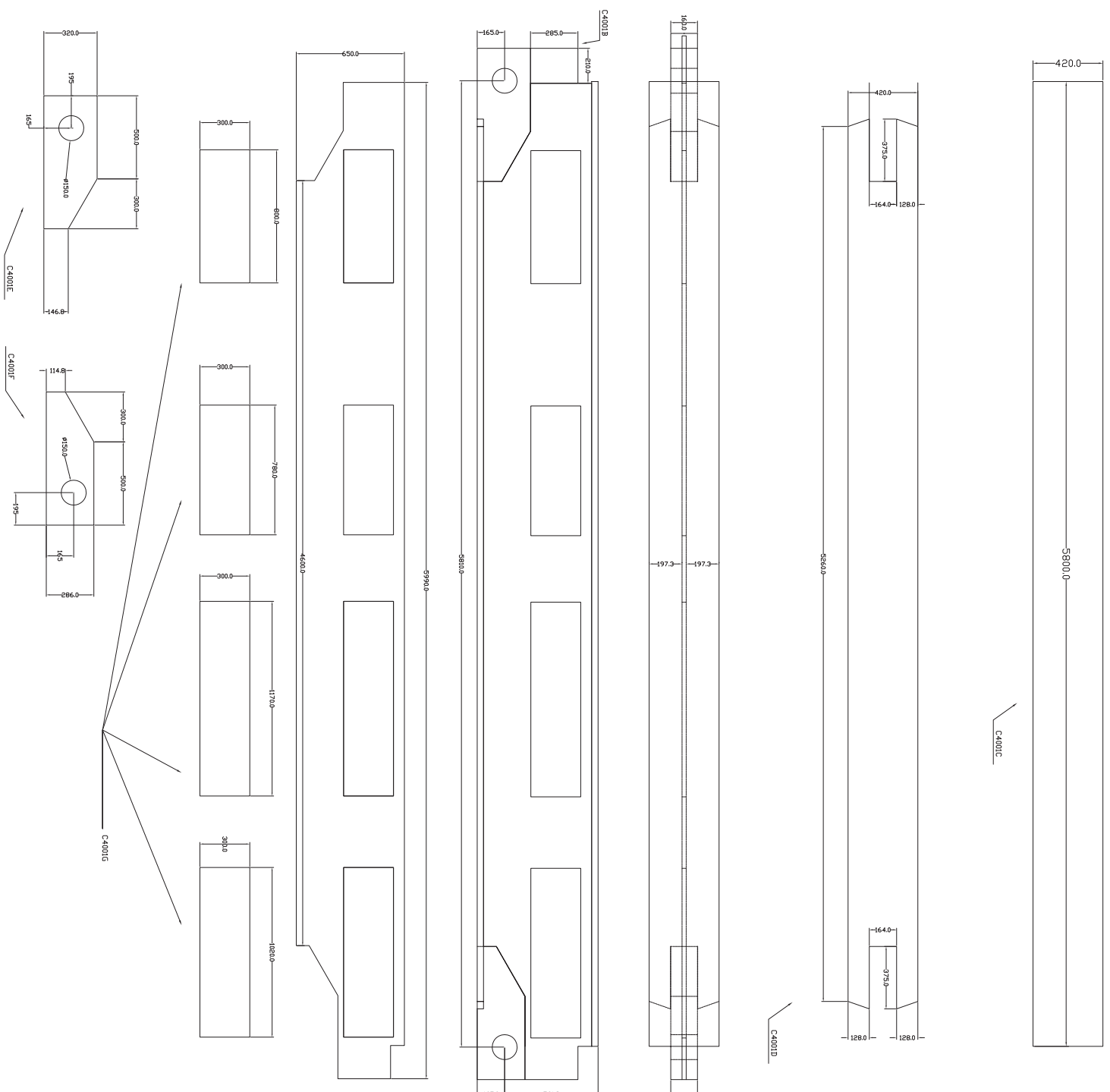
ELAB. VERB. APROV. R. TEC. COTA N°

CODIGO DOS DESCRITORES DATA ESCALA FOLHA


N° DO CLIENTE N° Metalúrgica Guardá REVISÃO

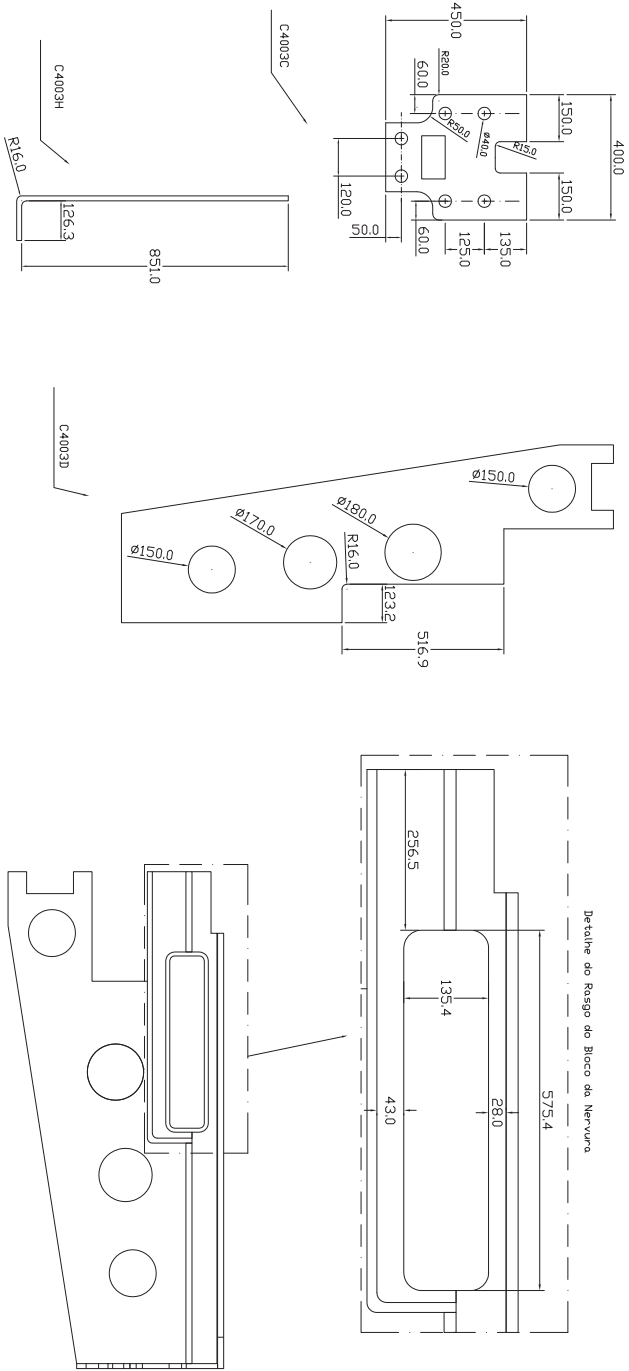
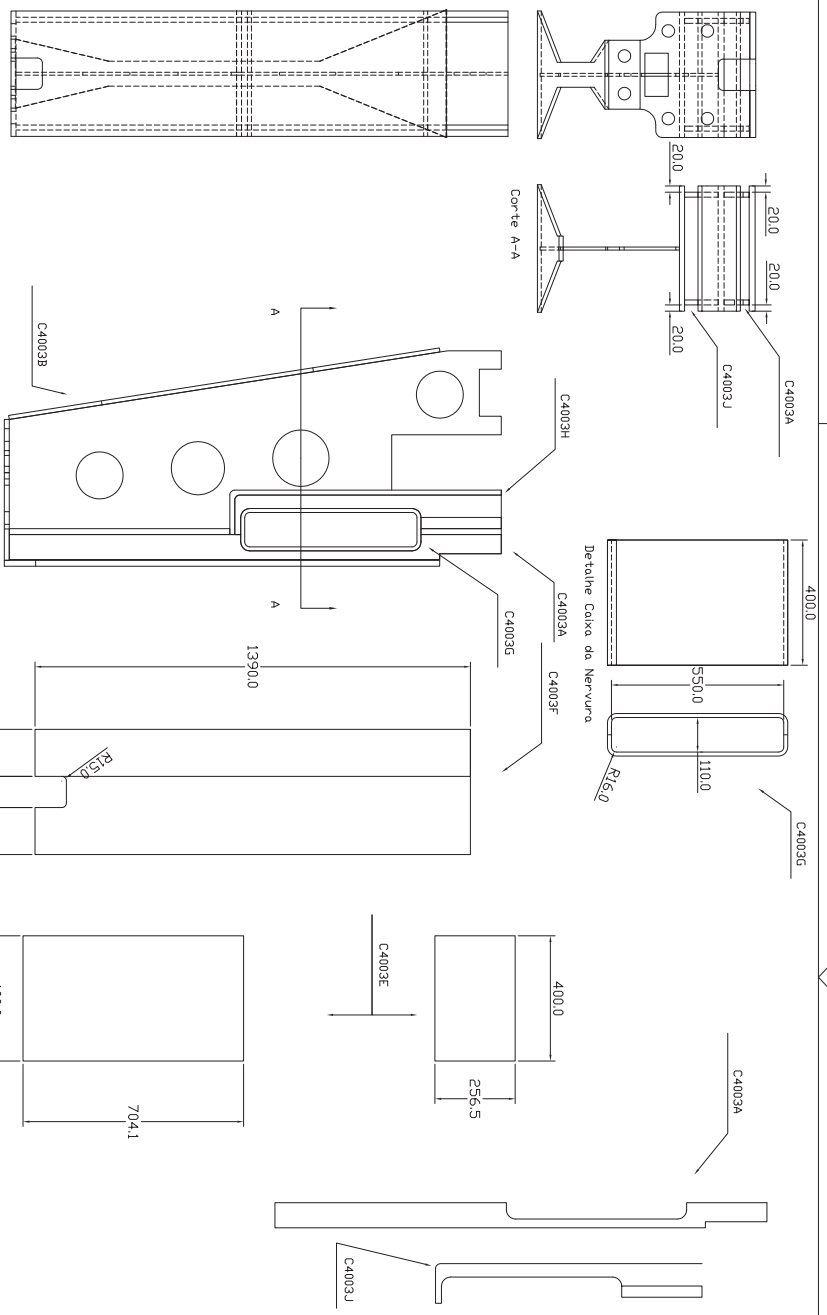
DESC4002

4

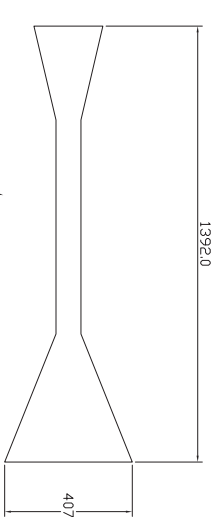


Item	Descrição	Quantidade	Definição	Parte Unit.	Parte Tot.	Obs.
1	C4001A	1	Alma do Chassi			IDENT. P.153M
2	C4001B	1	Chapa Aço SAC 50 1"			IDENT. P.153M
3	C4001C	1	Chapa Aço SAC 50 1"			IDENT. P.153M
4	C4001D	1	Chapa Aço SAC 50 1 1/2"			IDENT. P.153M
5	C4001E	1	Bloco 1 suporte Alma			IDENT. P.153M
6	C4001F	1	Bloco 2 suporte alma			IDENT. P.153M
6	C4001G	4	Aço ASTM A36			IDENT. P.153M
6	C4001H	4	Pecas sucatas do corte plasma			IDENT. P.153M

02	27/08/10	Ajuste cotas				
REV.	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	ELAB.	VERIF.	APROV.	
LM Transportes CLIENTE			 Metalurgica Guardá			
EMPREENDIMENTO CARRETA 4 EIXOS						
TÍTULO CARRETA 4 EIXOS - MONTAGEM VIGA PRINCIPAL						
ELAB.	VERIF.	APROV.	R. TEC.	SÉRIE Nº		
CÓDIGO DOS DESCRITORES			DATA	ESCALA	FOLHA	
Nº DO CLIENTE			Nº Metalurgica Guardá		REVISÃO	
					DES-C4001	
					2	



Item	Macroço	Quantidade	Descrição	Peso Unid.	Peso Tot.	Obs.
1	C4003A	12	Alma do Braço Chapa 5/8" - SAC 50			DRTE PLASMA
2	C4003B	6	Base da Nervura Chapa 1/2" - SAC 50			DRTE PLASMA
3	C4003C	6	Chapa Lateral Chapa 5/8" - SAC 50			DRTE PLASMA
4	C4003D	6	Nervura Chapa 3/8" - SAC 50			DRTE PLASMA
5	C4003E	6	Braço Parte Inferior (com rasgo)			DRTE PLASMA
6	C4003F	6	Braço Parte Superior Chapa 3/4" - SAC 50			DRTE PLASMA
7	C4003G	6	Caixa da Nervura 2 Chapas 400x666x1/2" - SAC 50			Duas chapas em U soldadas
8	C4003H	6	Chapa Suporte Nervura Chapa 400x990x5/8" - SAC 50			DRTE PLASMA
9	C4003J	12	Alma parte inferior Chapa 5/8" - SAC 50			DRTE PLASMA



REV.	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	ELAB.	VERIF.	APROV.

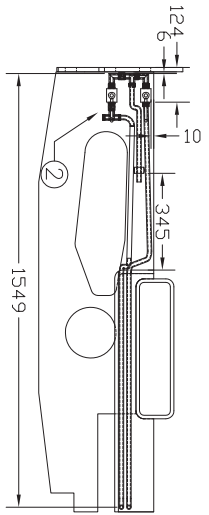
CLIENTE: I.V. TRANSPORTES

EMPENHAMENTO: Metalúrgica Guará

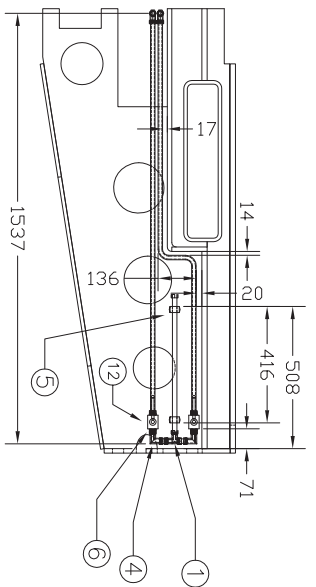
TÍTULO: Carreta 4 eixos

Sub-título: Carreta 4 eixos - Montagem Bloco principal
Adaptação Bloco da Nervura Novo

ELAB:	Fábio Brant	VERIF.:		APROV.:	MESIAS	R. TEC.:		CREA N.º	
CÓDIGO DOS DESCRITORES		104-0031-1111		DATA		ESCALA		FOLHA	
N.º DO CLIENTE		DES-C4003		N.º Matriculção Guará		REVISÃO		2	

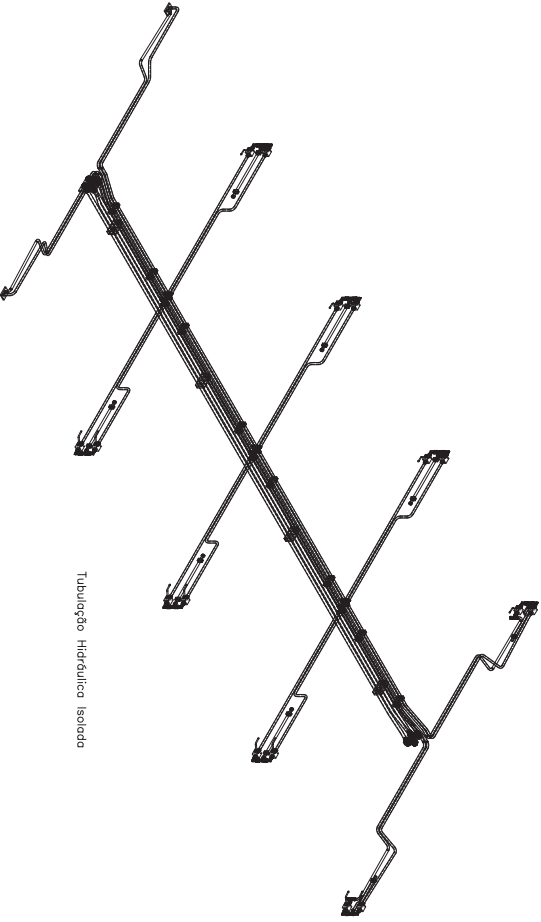
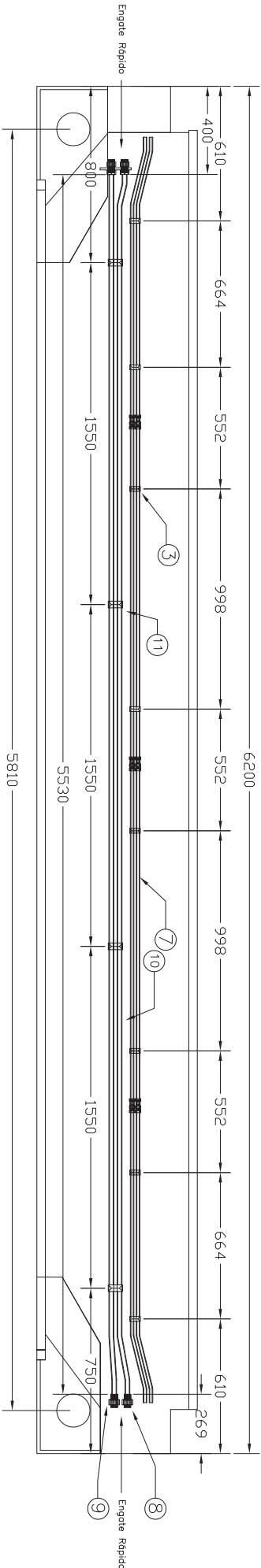


Suportes Laterais Exteriores



Suportes Laterais Intermediários

Item	Quantidade	Descrição	Partes Unit.	Partes Tot.	Obs.
1	8	Conexões "T" Ø 16 mm			
2	2	Conexão maior "T" Ø 16 mm			
3	16	Bracadeira dupla Ø 16 mm			
4	16	Curvo 90° Ø 16 mm			
5	14	Bracadeira Ø 16 mm			
6	114	Porca c/ Anilha Ø 16 mm			
7	-	Tubo Ø 16 x 2,6 x 37180 mm			
8	8	Conexão reta Ø 22 mm			
9	16	Porca c/ anilha Ø 22 mm			
10	-	Tubo Ø 22 x 2,6 x 22120 mm			
11	8	Bracadeira Dupla Ø 22 mm			
12	16	Válvula Registro Ø 16 mm			



Tubulação Hidráulica Isolada

REV.	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	ELAB.	VERIF.	APROV.
CLIENTE					
I.V. TRANSPORTES					
EMPENHAMENTO					
Carreta 4 eixos					
TÍTULO					
Carreta 4 eixos – Sistema Hidráulico					
ELAB.	VERIF.	APROV.	R. TEC.	COTA Nº	
CÓDIGO DOS DESCRITORES			DATA	ESCALA	FOLHA
					A2
Nº DO CLIENTE			Nº Metalúrgica Guará	REVISÃO	
			DESC4020	2	