

RAÍSSA HITOMI NOBRE DOI

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTETOR LATERAL EM ALUMÍNIO

RAÍSSA HITOMI NOBRE DOI

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTETOR LATERAL EM ALUMÍNIO

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

Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva

Guaratinguetá
2013

D657d	Doi, Raíssa Hitomi Nobre Desenvolvimento de um protetor lateral em alumínio / Raíssa Hitomi Nobre Doi – Guaratinguetá : [s.n], 2013. 52 f : il. Bibliografia: f. 42. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013. Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva 1. Alumínio 2. Método dos elementos finitos I. Título CDU 669.71
-------	--

RAÍSSA HITOMI NOBRE DOI

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

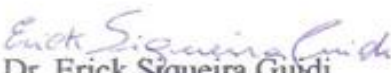
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Antonio Wagner Forti
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Angelo Caporali Filho
UNESP-FEG


Dr. Erick Siqueira Guidi
UNESP-FEG

Guaratinguetá
2013

Às pessoas que sonharam esse sonho comigo e que
sempre me incentivaram a seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me proporcionado tal oportunidade; por ter me capacitado para chegar até aqui; por ter sido consolo, força e esperança; por ter colocado em meu caminho pessoas tão especiais, que foram auxílio e conselho para que esse tão grande sonho fosse possível.

a meus pais, que acima de tudo foram alicerce para a construção da minha vida; foram minha primeira sociedade; que tiveram paciência para me educar, para me mostrar um caminho a seguir; que estiveram a meu lado em todos os momentos, consolando-me e compartilhando minhas conquistas e felicidades.

à Universidade Estadual Paulista e ao seu corpo docente, por terem me proporcionado o conhecimento, capacitando-me para minha vida profissional.

ao meu orientador, *Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva*, por ter me dado suporte para que esse trabalho fosse realizado; por todas as dicas e críticas realizadas.

a minha amiga, *Priscila Carvalho*, por ter sido a força que eu não tinha mais para continuar; por ter sido o porto seguro onde eu encontrava conforto.

a minha amiga, *Patrícia de Fátima Baptistella*, por ter estado sempre ao meu lado, ouvindo meus problemas que sempre pareciam os maiores do mundo; por ter acompanhado toda minha trajetória acadêmica; e por ter feito meus dias e minhas decisões mais fáceis.

a todos que, de maneira direta ou indireta, compartilharam comigo alguma fase da minha vida, porque é graças a todas as experiências que eu tive, que pude chegar aqui.

DOI, R. H. N. **Desenvolvimento de um protetor lateral em alumínio.** 2013. 38f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

Tendo em vista a necessidade do desenvolvimento de um dispositivo de segurança e proteção lateral, devido à Resolução 323/09 do CONTRAN, que obriga o uso do equipamento para maioria dos caminhões e reboques, o objetivo desse trabalho é desenvolver o projeto de um protetor lateral em alumínio de acordo com a norma ABNT NBR 14.148, que dentre muitas especificações, estipula que o equipamento suporte uma carga de 5 kN e sofra uma deflexão de no máximo 30mm, não especificando qual material deve ser feito. A escolha do alumínio se deu por conta de sua baixa densidade, de forma a não aumentar de forma significativa a tara do caminhão o que, conseqüentemente, reduz a emissão de CO₂ e os gastos com manutenção. Além disso, esse material apresenta uma boa relação resistência/peso, elevada resistência à corrosão, excelente acabamento superficial e é totalmente reciclável; por isso vem ganhando espaço em vários segmentos da indústria. Para a realização do projeto foram escolhidos perfis para fazer a montagem do conjunto e depois foi realizada uma análise por elementos finitos no software HyperWorks para verificar se o dispositivo projetado suportaria às cargas estipuladas pela norma. Um detalhe a ser observado é que esses programas de simulação podem apresentar imprecisões, por conta do tamanho e da forma dos elementos que compõe a malha e por diversos outros motivos, por isso é necessário que, mesmo com os resultados obtidos de forma satisfatória, sejam realizados testes físicos para que seja validado o bom funcionamento do equipamento, o que não foi feito para o presente trabalho.

PALAVRAS-CHAVES: Protetor lateral. Segurança. Alumínio. Baixa densidade. Transportes. Elementos Finitos.

DOI, R. H. N. **Development of a aluminium side shield.** 2013. 38f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

In view of the need to develop a device for security and lateral protection, due to the Resolution 323/09 of CONTRAN, which requires the use of such equipment for most trucks and tow trucks, the objective of this work is to develop a project for an aluminum lateral protection device, according to the ABNT NBR 14.148 regulation, that, among many specifications, stipulates that the equipment must support a load of 5 kN and suffer a maximum deflection of 30mm, but does not say what material it should be made of. The reason for choosing aluminum is because of its low density, so as not to significantly increase the curb weight of the truck, which, consequently, reduces CO₂ emissions and maintenance expenses. Additionally, this material presents a good resistance/weight ratio, high resistance to corrosion, excellent surface finish and it's fully recyclable; reason why it has been gaining the attention of many industry segments. For the realization of the project, profiles were chosen to make the assembly of the set, and then a finite elements analysis was performed in the HyperWorks software, to verify if the designed device would support the loads stipulated by the regulation. One details to note is that these simulation programs could show inaccuracies, because of the size and shape of the elements that compose the mesh, and for many other reasons, so it is necessary that, even with the results coming back satisfactory, actual physical tests are conducted to validate the proper functioning of the equipment, which was not done for this study.

KEYWORDS: Lateral protection. Security. Aluminum. Low density. Transport. Finite Elements.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	9
1.2	OBJETIVOS.....	10
1.3	JUSTIFICATIVA.....	11
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO.....	11
2	O ALUMÍNIO.....	13
2.1	APLICAÇÃO DO ALUMÍNIO.....	14
2.2	O ALUMÍNIO NOS TRANSPORTES.....	15
2.3	PROTETOR LATERAL EM ALUMÍNIO.....	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1	PESQUISA DE MERCADO.....	19
3.2	COMPONENTES DO PROTETOR LATERAL.....	20
3.3	ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS.....	24
3.3.1	Definição.....	24
3.3.2	HyperWorks.....	25
3.3.3	Utilização do HyperWorks.....	26
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	32
4.1	DEFLEXÕES PARA CADA ELEMENTO.....	33
4.2	TENSÕES PARA CADA ELEMENTO.....	36
4.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	39
5	CONCLUSÕES.....	41
6	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Atualmente, o fator sustentabilidade está bastante em foco no cotidiano. Nesse cenário, as indústrias estão tentando se adaptar às novas exigências determinadas pelo próprio governo, visando reduzir as influências da atividade humana ao meio em que se vive. Além disso, as pessoas estão se tornando cada vez mais conscientes de seu papel em relação à proteção ambiental. Por isso, além de ter que cumprir as normas/leis impostas pelo governo ou incentivos dados pelo mesmo, as empresas ainda tem que se preocupar com a imagem que passa para seus clientes e o quanto o seu produto está sendo sustentável.

Apesar disso, a população ainda não está disposta a pagar um preço muito elevado para obter um produto mais benéfico ao meio ambiente, a menos que esse mesmo equipamento gere retornos financeiros futuros.

Assim, ao iniciar um novo projeto vários pontos devem ser analisados. Deve-se verificar a viabilidade do projeto, ou seja, se o projeto é possível de ser executado e se é rentável; a concorrência para esse produto (é algo novo? Seria competitivo no mercado?); atende às necessidades do consumidor (Qual a utilidade?); entre outros fatores.

No presente trabalho o projeto depende também de uma norma que especifica parâmetros que o produto deve seguir. No presente caso é determinada a carga a que estará submetido o produto e a máxima deformação que poderá haver no sistema.

O motivo para o desenvolvimento desse projeto é que o uso do dispositivo de segurança e proteção lateral (DSPL) passou a ser obrigatório pela resolução 323 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), elaborada em 17 de Julho de 2009, por isso encontrou-se a necessidade do desenvolvimento desse dispositivo de forma que ele atenda o que foi imposto por norma, uma vez que a resolução impõe a utilização desse equipamento para a maioria dos veículos de carga, tendo em vista o aperfeiçoamento dos requisitos de segurança.

A resolução 323 visa que se maximize a segurança no trânsito com o uso desse dispositivo, uma vez que sua função é impedir que motocicletas, bicicletas e pedestres entrem embaixo do caminhão e sejam esmagados pelas rodas. Por isso, o dispositivo funciona como uma barreira, como pode ser visto na figura 1.

Figura 1 – Dispositivo de segurança e proteção lateral montado no caminhão.



Fonte: (<http://coisasdeagora.com/noticias.asp?id=2354> – acessado em 16/12/2013).

Assim, como a maioria dos veículos de carga deverá conter esse dispositivo, faz-se necessário que o mesmo tenha baixo peso, para que não haja uma redução significativa na capacidade de carga dos caminhões. Isso gerou uma oportunidade para muitas indústrias de transformação em desenvolver um equipamento mais eficiente, ou seja, com baixo peso e a resistência requerida por norma; e fabricá-lo.

Tendo isso em vista, o intuito desse trabalho é fazer análise por elementos finitos desse dispositivo, a fim de analisar se o material escolhido resiste às tensões determinadas pela norma.

Como a resolução não especifica o material do qual o equipamento deve ser feito tomou-se como ponto de partida o uso do alumínio, pois ele apresenta um peso específico bem inferior ao do aço, além de estar ganhando visibilidade do mercado de transportes rodoviários.

Outro ponto a ser analisado é a viabilidade de comercialização desse equipamento, ou seja, apesar de sua eficiência ele deve ter um valor de mercado que interesse aos principais fabricantes de implementos rodoviários. Então, fez-se necessária uma pesquisa de mercado, para verificar a aceitação do protetor lateral em alumínio, uma vez que o aço tem um preço de mercado mais acessível e é o principal concorrente do alumínio.

1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo desse trabalho é desenvolver um dispositivo de segurança e proteção lateral que esteja de acordo com a resolução 323 do CONTRAN. Para isso, será necessária a montagem do desenho de conjunto do equipamento e a análise por elementos

finitos do mesmo. Consequentemente, é necessário aprender a utilizar um software de elementos finitos.

Outro objetivo é conhecer mais profundamente o segmento de transportes para entender um pouco melhor quais as reais necessidades dele e analisar as expectativas sobre o produto, ou seja, quais são as características exigidas para satisfazer os consumidores.

Assim, para a realização desse trabalho é necessário que se conheça as expectativas do mercado, como os consumidores serão afetados pelo uso desse dispositivo, além de entender a norma e aplicá-la em um projeto, para que se realize uma análise por elementos finitos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o curso de graduação em Engenharia Mecânica e levando em consideração as disciplinas ministradas escolheu-se o esse tema porque se viu a oportunidade de aplicar o que se aprendeu durante o curso e acrescentar outros conhecimentos obtidos sobre gestão de projeto. Mostrando a importância/utilidade que as disciplinas tem fora da universidade e fazendo com que se desenvolva outras habilidades que não são muito praticadas durante a graduação.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Esse trabalho está dividido em três etapas, sendo que a primeira trata da parte teórica, em que descreve-se as vantagens na escolha do alumínio e a visibilidade que o mesmo vem ganhando no segmento de transportes; a segunda descreve os métodos que foram utilizados para que se atinja o objetivo do trabalho; e a última mostra os resultados obtidos com a análise de elementos finitos e com a pesquisa de mercado.

Assim, o capítulo 2 fala sobre o alumínio, suas características, vantagens e aplicações, dando um enfoque maior para o segmento de transportes, o qual está diretamente ligado ao objetivo do trabalho.

O capítulo 3 trata da explicação de como foi gerido o projeto desde a sua concepção até a finalização da análise por elementos finitos, o que abrange a pesquisa de mercado e a utilização do software HyperWorks.

No capítulo 4 encontra-se os resultados obtidos e a discussão dos mesmos: tanto da pesquisa de mercado (qual a aceitação do produto no segmento), quanto da análise por elementos finitos (tensões e deformações máximas).

O capítulo 5 são as conclusões que se teve com todo o trabalho, desde o que se aprendeu com a elaboração até o quão satisfatórios foram os resultados.

O capítulo 6 contem as referências utilizadas para escrever o texto.

Por fim, em anexo está a Resolução 323 do CONTRAN e a norma ABNT NBR 14.148, que trata dos requisitos para a construção e montagem de um protetor lateral.

2 O ALUMÍNIO

“Uma excepcional combinação de propriedades faz o alumínio um dos mais versáteis materiais utilizados na engenharia e em construções.” (GUIA TÉCNICO DO ALUMÍNIO: EXTRUSÃO, 2008, p.10).

As propriedades que mais se destacam no alumínio são: o seu baixo peso específico; a alta relação resistência/peso, ou seja, une o baixo peso com um ótimo comportamento mecânico; a alta resistência à corrosão mesmo quando exposto a meios agressivos como, por exemplo, a maresia, conferindo-lhe uma alta durabilidade; o fato de não produzir reação tóxica, o que permite que seja utilizado para diversos fins como a indústria alimentícia; alta condutibilidade térmica e elétrica; e ele pode ser infinitamente reciclável sem perder suas propriedades físico-químicas, o que gera uma grande economia de energia na sua produção.

“Leveza é uma das principais características do alumínio. Seu peso específico é de cerca de $2,7 \text{ g/cm}^3$. Sua massa é aproximadamente 35% da massa do aço e 30% da massa do cobre.” (GUIA TÉCNICO DO ALUMÍNIO: EXTRUSÃO, 2008, p.10).

O alumínio puro é pouco utilizado como material estrutural, uma vez que sua resistência à tração é muito baixa (em torno de 90 MPa). Assim, para aumentar sua resistência, são feitos tratamentos térmicos ou trabalhos a frio, para que sua aplicação se amplie. Além disso, as ligas de alumínio são utilizadas em larga escala, pois o acréscimo de componentes químicos podem alterar características indesejáveis para certas aplicações, além de aumentar, também, sua resistência. Deste modo, torna-se possível a obtenção de ligas de alumínio com diversas características diferentes de acordo com a sua aplicação.

Em relação à resistência à corrosão do alumínio deve-se tomar cuidado com o contato do alumínio com alguns metais na presença de um eletrólito, pois pode ocorrer a corrosão galvânica.

Outra característica do alumínio é que ele não produz faísca, o que possibilita sua utilização para armazenamento de produtos inflamáveis e/ou explosivos.

Enfim, todas essas características permitem que o alumínio seja utilizado em vários segmentos da indústria e da construção civil, trazendo vários benefícios para os mesmos.

Na tabela 1 há uma comparação entre as propriedades físicas do alumínio e do aço, em que se pode observar características como o baixo peso específico do alumínio em relação ao aço.

Tabela 1 – Comparação das propriedades físicas do alumínio e do aço.

PROPRIEDADES FÍSICAS TÍPICAS	ALUMÍNIO	AÇO
Densidade (g/cm ³)	2,7	7,86
Temperatura de fusão (°C)	660	1.500
Módulo de elasticidade (MPa)	70.000	205.000
Coefficiente de dilatação térmica (L/°C)	23.10 ⁻⁶	11,7.10 ⁻⁷
Condutibilidade térmica a 25°C (cal/cm/°C)	0,53	0,12
Condutibilidade elétrica (%IACS)	61	14,5

Fonte: (<http://abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/> - acessado em 14/11/13)

2.1 APLICAÇÃO DO ALUMÍNIO

As características do alumínio permitem que ele tenha uma diversa gama de aplicações. Por isso, o metal é um dos mais utilizados no mundo todo. Material leve, durável e bonito, o alumínio mostra uma excelente performance e propriedades superiores na maioria das aplicações. Produtos que utilizam o alumínio ganham também competitividade, em função dos inúmeros atributos que este metal incorpora, como pode ser conferido a seguir:

- Leveza: Característica essencial na indústria de transportes, a leveza do alumínio representa menor consumo de combustível, menor desgaste, mais eficiência e capacidade de carga. Para o setor de alimentos, traz funcionalidade e praticidade às embalagens por seu peso reduzido em relação a outros materiais;
- Elevada condução de energia: O alumínio é um excelente meio de transmissão de energia, seja elétrica ou térmica. Um condutor elétrico de alumínio pode conduzir tanta corrente elétrica quanto um de cobre, que é duas vezes mais pesado e, conseqüentemente, caro. Por isso, o alumínio é muito utilizado pelo setor de fios e cabos. O metal também oferece um bom ambiente de aquecimento e resfriamento. Trocadores e dissipadores de calor em alumínio são utilizados em larga escala nas indústrias alimentícia, automobilística, química, aeronáutica, petrolífera, etc. Para as embalagens e utensílios domésticos, essa característica confere ao alumínio a condição de melhor condutor térmico, o que na cozinha é extremamente importante;
- Impermeabilidade e opacidade: Característica fundamental para embalagens de alumínio para alimentos e medicamentos. O alumínio não permite a passagem de umidade, oxigênio e luz. Essa propriedade faz com que o metal evite a deterioração de alimentos, remédios e outros produtos consumíveis;
- Alta relação resistência/peso: Importante para a indústria automotiva e de transportes, confere um desempenho excepcional a qualquer parte de equipamento de transporte que consuma energia para se movimentar. Aos utensílios domésticos oferece uma maior durabilidade e manuseio seguro, com facilidade de conservação. Com uma resistência à tração de 90 MPa, por meio do trabalho a frio, essa propriedade pode ser praticamente dobrada, permitindo seu uso em estruturas, com excelente comportamento mecânico, aprovado em aplicações como aviões e trens;
- Beleza: O aspecto externo do alumínio, além de conferir um bom acabamento apenas com sua aplicação pura, confere modernidade a qualquer aplicação por ser um material nobre, limpo e que não se deteriora com o passar do tempo. Por outro lado, o metal permite uma ampla gama

de aplicações de tintas e outros acabamentos, mantendo sempre o aspecto original e permitindo soluções criativas de design;

- **Durabilidade:** O alumínio oferece uma excepcional resistência a agentes externos, intempéries, raios ultravioleta, abrasão e riscos, proporcionando elevada durabilidade, inclusive quando usado na orla marítima e em ambientes agressivos. O alumínio tem uma autoproteção natural que só é destruída por uma condição agressiva ou por determinada substância que dissipe sua película de óxido de proteção. Essa propriedade facilita a conservação e a manutenção das obras, em produtos como portas, janelas, forros, telhas e revestimentos usados na construção civil;
- **Maleabilidade e soldabilidade:** A alta maleabilidade e ductibilidade do alumínio permite à indústria utilizá-lo de diversas formas. Suas propriedades mecânicas facilitam sua conformação e possibilitam a construção de formas adequadas aos mais variados projetos;
- **Resistência à corrosão:** O alumínio tem uma auto-proteção natural que só é destruída por uma condição agressiva ou por determinada substância que dissipe sua película de óxido de proteção. Essa propriedade facilita a conservação e a manutenção das obras, em produtos como portas, janelas, forros, telhas e revestimentos usados na construção civil, bem como em equipamentos, partes e estruturas de veículos de qualquer porte. Nas embalagens é fator decisivo quanto à higienização e barreira à contaminação;
- **Resistência e dureza:** Ao mesmo tempo em que o alumínio possui um alto grau de maleabilidade, ele também pode ser trabalhado de forma a aumentar sua robustez natural. Com uma resistência à tração de 90 MPa, por meio do trabalho a frio, essa propriedade pode ser praticamente dobrada, permitindo seu uso em estruturas, com excelente comportamento mecânico, aprovado em aplicações como aviões e trens;
- **Possibilidade de muitos acabamentos:** Seja pela anodização ou pela pintura, o alumínio assume a aparência adequada para aplicações em construção civil, por exemplo, com acabamentos que reforçam ainda mais a resistência natural do material à corrosão;
- **Infinitamente reciclável:** Uma das principais características do alumínio é sua alta reciclabilidade. Depois de muitos anos de vida útil, segura e eficiente, o alumínio pode ser reaproveitado, com recuperação de parte significativa do investimento e economia de energia, como já acontece largamente no caso da lata de alumínio. Além disso, o meio ambiente é beneficiado pela redução de resíduos e economia de matérias-primas propiciadas pela reciclagem. (<http://www.abal.org.br/aluminio/vantagens-do-aluminio/> - acessado em 02/12/2013)

2.2 O ALUMÍNIO NOS TRANSPORTES

Atualmente, o alumínio vem ganhando espaço no segmento de transportes. Torna-se cada vez mais comum encontrar alumínio em carros, caminhões, ônibus e trens. Segundo a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), este setor é o maior consumidor de alumínio no mundo.

Isso ocorre, pois há uma imensa necessidade na fabricação de veículos mais leves, menos poluentes e com melhor desempenho. A leveza está diretamente ligada ao menor consumo de combustíveis e, conseqüentemente, à redução na emissão de CO₂; e ao menor

desgaste de pneus e dos componentes mecânicos, gerando uma redução no número de manutenções.

Dessa forma, a ABAL afirma que “produzir meios de transportes mais econômicos, com baixas taxas de emissão de CO₂ e elevada reciclabilidade são objetivo hoje em todas as montadoras do globo, pressionadas pela dependência do petróleo, ameaça de mudanças climáticas e pelos novos hábitos dos consumidores.”.

(<http://abal.org.br/aplicacoes/automotivo-e-transportes/>, acessado em 14/11/2013)

Apesar de seu maior valor de mercado quando comparado ao aço, o alumínio é uma boa opção para que se obtenha redução de peso para esses veículos, sem que se perca um bom comportamento mecânico. Além disso, ele apresenta uma vida útil bem maior do que a do aço, uma vez que possui uma boa resistência a agentes externos, intempéries, corrosão e meios agressivos. Graças a essa resistência não se faz necessário que se pinte o alumínio para protegê-lo, a menos que ele esteja em um meio que possibilite a corrosão galvânica.

Assim, pode-se verificar que o uso do alumínio traz benefícios tanto para o meio ambiente, quanto para o consumidor, que economizará com manutenção, combustível e, no caso dos caminhões, poderá carregar uma maior quantidade de carga, sem exceder o peso bruto máximo aceito nas rodovias, diminuindo, assim, os custos logísticos.

Dados obtidos no site da ABAL:

- Componentes automotivos de alumínio são tipicamente 50% mais leves e ainda garantem maior rigidez estrutural e segurança veicular que os fabricados com materiais mais pesados;
- Cada 10% de redução de peso nos automóveis – pelo uso do alumínio em substituição ao aço – representa um aumento de 5% a 7% em eficiência combustível;
- A cada 100 kg de redução de peso de um automóvel, cerca de 300 a 900 litros de combustível podem ser economizados durante todo o ciclo de vida do veículo. Em táxis e ônibus urbanos, a economia é significativamente superior a 2500 litros;
- Em média, cada quilo de alumínio, aplicado em substituição a um material pesado, pode evitar a emissão de até 20 kg de CO₂ durante a vida útil de um automóvel; 28 kg de CO₂, de caminhões, e 40 a 45 kg de CO₂, de ônibus;
- A aplicação do alumínio para reduzir o peso dos veículos no setor de transportes no mundo pode evitar a emissão de 660 milhões de toneladas de CO₂ ao ano – 9% das emissões do gás de efeito estufa relacionadas ao segmento;
- Com diversas vantagens técnicas, econômicas e ambientais, cerca de 90% do alumínio presente nos veículos é recuperado e reciclado. (<http://abal.org.br/aplicacoes/automotivo-e-transportes/>, acessado em 14/11/2013).

2.3 PROTETOR LATERAL EM ALUMÍNIO

A determinação do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) para instalação do dispositivo de segurança e proteção lateral (DSPL) em caminhões, reboques e semi-reboques com peso bruto total superior a 3.500 kg está em vigor desde o primeiro dia de 2011. Por meio da resolução número 323/09, os veículos saídos de fábrica, nacionais e importados ficam obrigados a circular com protetores laterais, que têm como missão reduzir a gravidade dos acidentes registrados com pessoas e veículos leves e impedir que os atingidos sejam projetados para as rodas traseiras.

Não se enquadram na resolução, os veículos com basculamento lateral, semireboque prancha, com carroçarias fechadas para transporte de bebidas e carroçaria ou plataformas de carga que estejam a até 55 centímetros de altura em relação ao solo. A todos os demais a exigência é rígida principalmente para que o protetor não se solte durante o percurso.

Ainda que nenhum material tenha sido indicado pelo CONTRAN para a fabricação – que só estabelece a obrigatoriedade de um responsável técnico pelo projeto e a realização de ensaios práticos – como o peso do dispositivo será incluído a tara, o ideal é que ele seja leve. “De forma alguma o peso do protetor lateral pode comprometer a eficiência do veículo e o pavimento das estradas”, afirma o diretor do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), Orlando Moreira da Silva.

A equação é simples: protetores mais leves proporcionam aumento na capacidade de carga transportada por viagem, com potencial capitalização do faturamento do frete, além de redução do desgaste de freios e pneus. É aí que o alumínio entra como a solução ideal, segundo especialistas. Seu peso é 60% inferior ao aço, favorece a instalação do dispositivo de segurança e proteção lateral.

“A estrutura de alumínio é mais leve, fácil de ser instalada e absorve mais energia quando há impacto.”, compara Edson Fim, coordenador de desenvolvimento de produtos da Hydro Alumínio, umas das empresas que já vem produzindo os protetores com perfis de alumínio. Amortecedor de choque lateral, segundo tipo de acidente com caminhões mais recorrente no Brasil, os protetores laterais de alumínio são desenvolvidos para suportar cargas de até 500 kgf. Vale reforçar que o alumínio absorve mais energia de impacto em uma colisão quando comparado ao aço, podendo oferecer o dobro da resistência equivalente ao material ferroso.

Segundo Edson Fim, outro quesito de segurança veicular também favorece o uso deste material. “O alumínio não produz faísca, em caso de impacto, o que reduz o risco de incêndios e de acidentes explosivos em caso de tombamentos, até porque, o tanque de combustível fica mais bem protegido. Além disso, facilita a remoção e até mesmo o corte ou torção do perfil, para desprender as vítimas, em uma situação de socorro.”

Segundo especialistas, para a fabricação do DSPL, as ligas ideais são as estruturais, pois apresentam alta resistência mecânica e elevado limite de escoamento. Já as dimensões, são dadas a partir da relação entre os eixos das carrocerias, permitindo o transporte tanto de produtos em pallets como a granel. “Os vãos de sobra serão preenchidos pelos protetores laterais”, explica o gerente técnico da ASA Alumínio, Diones Torres. Na empresa, os dispositivos de segurança projetados com perfis de alumínio são feitos com a liga 6352. O peso e as dimensões do conjunto variam em relação a cada estrutura de carroceria, com média de 44 kg por veículo. As especificações do dispositivo seguem a norma ABNT NBR 14.148, de dezembro de 2008, que disciplina a fabricação do protetor lateral para caminhões e rebocados. O processo de fabricação é feito por meio de perfis extrudados de alumínio, que permitem a produção em barras e uma grande variedade de formas.

Imune à corrosão e sem necessidade de solda e pintura, a vida útil do dispositivo de segurança e proteção lateral de alumínio é muito superior a componentes fabricados com materiais ferrosos, com custo baixíssimo de manutenção. Outro benefício é que a base lisa do perfil de alumínio permite seu uso com plataforma de comunicação visual. Por fim, ainda figura entre as vantagens do uso do alumínio, o alto valor residual da matéria-prima no mercado. Nas futuras trocas dos protetores e após uma colisão ou fim da vida útil do dispositivo, a sucata

de alumínio é vendida no mercado por volta de R\$3,50 por quilo contra R\$0,30 por quilo de aço. (<http://www.abal.org.br/aluauto/ed26/PDFs/transportes.pdf> - acessado em 02/12/2013)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento desse projeto foi dividido em duas partes. A primeira implica na realização de uma pesquisa de mercado para ver o qual seria a receptividade de um protetor lateral de alumínio pelo consumidor. A segunda abrange toda a realização do projeto propriamente dito, desde a escolha dos perfis a serem utilizados até a finalização da análise por elementos finitos no software HyperMesh.

3.1 PESQUISA DE MERCADO

A pesquisa de mercado foi realizada com as dez das maiores empresas de implementos rodoviários no Brasil, para isso utilizou-se um levantamento feito pela Associação Nacional dos Fabricantes de Implementos Rodoviários (ANFIR), que forneceu um ranking com as dez maiores fabricantes do setor, as quais cobriam mais de 50% do mercado de implementos.

A partir desse dado, foi possível fazer o levantamento de quantas unidades de caminhões eram produzidos por mês, em quais delas se fazia necessário o uso do protetor lateral, qual era o volume de protetor lateral consumido e qual o material era utilizado (alumínio ou aço) e o porquê. Isso foi feito através de ligações realizadas para o setor de compras de cada uma dessas empresas.

Com esses dados verificou-se que 65% dos protetores laterais utilizados por esses fabricantes são de alumínio e é unânime a justificativa da leveza do material. O uso é sempre visando à redução de peso e, secundariamente, fatores como durabilidade, reciclabilidade e alto valor agregado, entre outros.

Algumas das empresas que ainda utilizam o protetor lateral em aço tem projetos para substituição pelo alumínio, ou seja, daqui em diante o consumo de alumínio aumentará bastante.

Assim, pode-se concluir que o desenvolvimento de um protetor lateral de alumínio terá grande aceitação entre os principais consumidores.

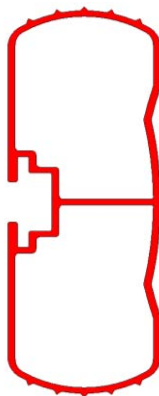
3.2 COMPONENTES DO PROTETOR LATERAL

A pesquisa de mercado mostrou que o desenvolvimento de um protetor lateral em alumínio teria uma boa aceitação no mercado e ele vem ganhando espaço, devido às características do material. Assim, tornou-se possível dar início ao projeto propriamente dito com a seleção dos perfis que farão parte do dispositivo de proteção lateral.

Inicialmente, idealizou-se um protetor lateral fixo, cujos perfis selecionados eram:

- A figura 2 representa a barra frontal do protetor lateral, que é responsável por absorver o primeiro impacto.

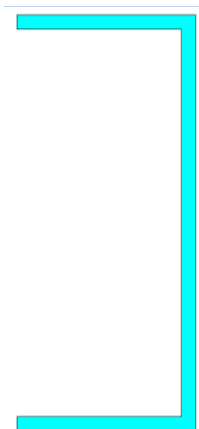
Figura 2 - Perfil da barra de proteção lateral.



Fonte: Autoria Própria.

- A figura 3 representa a coluna para fixação da barra do protetor lateral, que é o perfil responsável por apoiar a barra frontal, que é diretamente fixada nele, por meio de um parafuso.

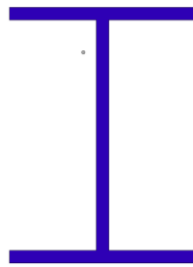
Figura 3 - Perfil U: Coluna.



Fonte: Autoria Própria.

- A figura 4 representa o reforço da coluna, que serve de ligação da coluna com a mão francesa, sem contar que ela acaba aumentando a resistência daquela.

Figura 4 - Perfil I: Reforço da Coluna.



Fonte: Autoria Própria.

- A figura 5 representa o perfil responsável pela fixação do dispositivo no piso da carroceria, nele são fixados a coluna, o reforço da coluna e a mão francesa.

Figura 5 - Perfil U: Fixação.



Fonte: Autoria Própria.

- A figura 6 representa o perfil responsável pela sustentação do dispositivo, unindo-o à coluna e, conseqüentemente, a barra frontal ao perfil responsável pela fixação na carroceria.

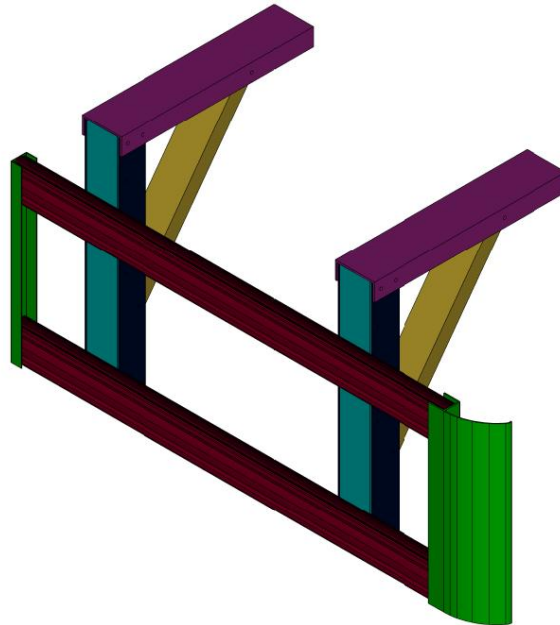
Figura 6 - Tubo Quadrado: Mão Francesa.



Fonte: Autoria Própria.

Com a junção desses perfis, realizou-se a montagem observada na figura 7.

Figura 7 - Dispositivo de Segurança e Proteção Lateral Fixo.

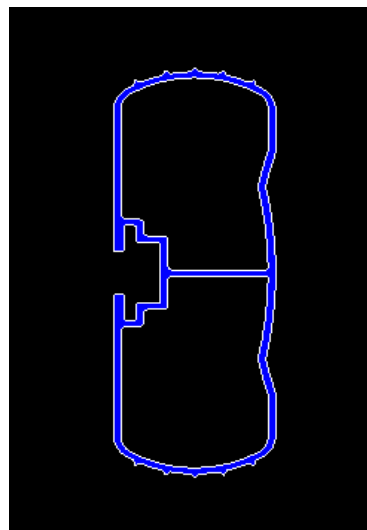


Fonte: Autoria Própria.

Posteriormente, visando atender melhor às necessidades dos clientes, realizou-se a elaboração de um dispositivo basculante, ou seja, que seja possível movimentar. Para montar esse equipamento foi realizada uma nova escolha de perfis, dentre eles um perfil de uma dobradiça, para que se possibilitasse o movimento do sistema.

- Na figura 8 pode-se ver um perfil de uma barra lateral, que é o mesmo utilizado na montagem anterior e desempenha a mesma função, ou seja, é o responsável por receber o primeiro impacto;

Figura 8 – Perfil do Protetor Lateral.

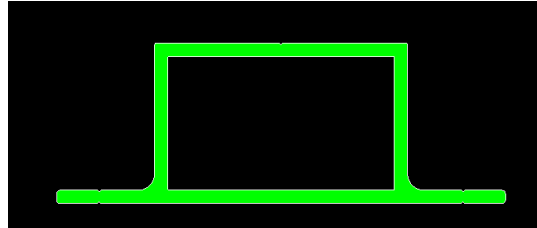


Fonte: Autoria Própria.

- A figura 9 representa tanto a coluna para fixação da barra frontal do protetor lateral como o suporte para fixação do equipamento na carroceria, sendo que no

primeiro caso ele é responsável por apoiar a barra frontal; e no segundo caso ele serve de fixação para mão francesa, além de ligar todo o conjunto à carroceria;

Figura 9 - Perfil Ômega: Coluna e Fixação.



Fonte: Autoria Própria.

- A figura 10 representa o perfil que une a coluna ao perfil de fixação na carroceria (figura 9), ele é responsável por dar sustentação ao sistema;

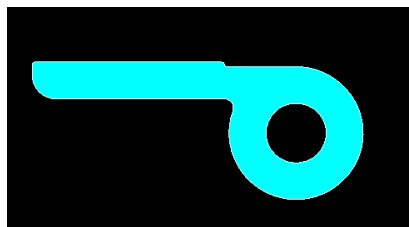
Figura 10 - Perfil U: Mão Francesa.



Fonte: Autoria Própria.

- A figura 11 é o perfil da dobradiça, que fixa a coluna à carroceria e ainda permite que a coluna e a barra frontal sejam movidas no sentido vertical, para que se facilite a manutenção do caminhão.

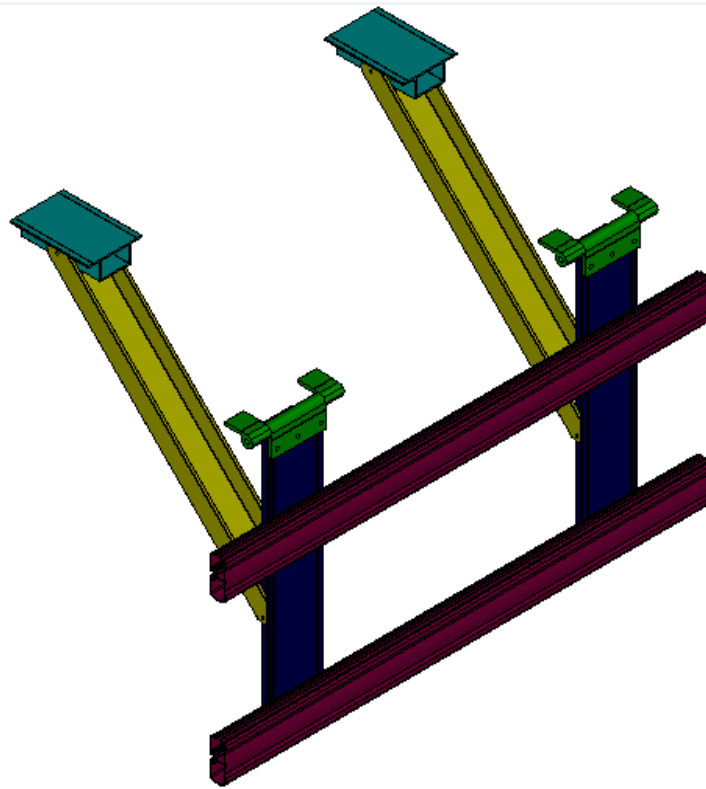
Figura 11 - Perfil da Dobradiça.



Fonte: Autoria Própria.

Com união desses perfis montou-se o dispositivo basculante mostrado pela figura 12.

Figura 12 - Dispositivo de Segurança e Proteção Lateral Basculante.



Fonte: Autoria Própria.

Esse dispositivo apresenta uma distância de 800 mm entre os centros das colunas e entre as barras frontais há um vão de 300 mm.

Na figura 12 é possível observar que os perfis em verde correspondem à dobradiça, que assim como numa porta possibilita que esse dispositivo se movimente, para isso se faz necessário que a mão francesa seja desparafusada da coluna.

Como esse dispositivo é mais competitivo no mercado, toda a análise por elementos finitos se deu em cima dele.

3.3 ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS

3.3.1 Definição

A análise por elementos finitos (FEA) foi desenvolvida nos anos 60 como método para prever com precisão a reação de partes complexas de várias entradas. Antes do desenvolvimento do FEA, a única forma de validar um modelo ou validar uma teoria era testar fisicamente uma parte. Isso foi e ainda é muito demorado e caro. Embora a FEA nunca tomará o lugar do teste físico final e da validação do modelo, ele pode reduzir drasticamente o tempo e o dinheiro gastos nos estágios intermediários e na elaboração.

A análise por elementos finitos é agora uma ferramenta vital e insubstituível em várias indústrias como a Automotiva, Aeroespacial, Bélica, de Bens de Consumo, Oil & Gas, Construção e muitas outras.

A FEA é realizada em 3 passos: Pré processamento, Resolução e Pós Processamento. Segue a explicação desses passos.

Passo 1: Pré-Processamento

O Pré-Processamento é o ato de preparar (criar a malha) o modelo para a análise. Geometrias complexas são divididas em formas simples (elementos) no ato de criar a malha. Isso permite que o desenvolvedor, no próximo passo, preveja a ação desses elementos e analise a reação de uma parte complexa a forças externas e interações. É criada a malha na peça e depois são definidos o tipo e a espessura do material a ser adicionado. O próximo passo é a aplicação de forças e restrições. O modelo é preparado para a análise com a informação que o desenvolvedor irá precisar para executar seus cálculos. O modelo é salvo em um formato que o software possa ler e é mandado para a fase de processamento.

Passo 2: Resolução

A resolução é realizada por qualquer um dos vários softwares de análise por elementos finitos disponíveis para venda. O desenvolvedor utiliza a informação disponível no arquivo criado no primeiro passo e calcula a reação das partes definidas na entrada. Respostas comuns são flecha, tensão e aceleração. Esses resultados são arquivados e são lidos no estágio de Pós-Processamento.

Passo 3: Pós-Processamento

Pós-processamento é onde os resultados gerados pelo desenvolvedor podem ser revisados. Informações podem ser consultadas, deslocadas e mesmo postas em gráficos em várias janelas permitindo a customização guiada pelo desejo do público. (HyperWorks, HyperMesh Introduction: Pre-processing for Finite Element Analysis, p.1, tradução nossa)

3.3.2 HyperWorks

O HyperWorks é um software de simulação desenvolvido pela Altair, que auxilia na elaboração do desenho, da modelagem e da simulação. Facilita e diminui o tempo de projeto e pode ser utilizado para vários segmentos da indústria, entre elas: aeroespacial, automotiva, eletrônica, de construção, entre outras.

Sua etapa de pré-processamento é desenvolvida pelo HyperMesh, que elabora grandes modelos para que possam ser simulados. Ele possibilita a elaboração de malhas com um grande nível de precisão, pois apresenta ferramentas eficientes para editar a geometria.

A etapa de pós-processamento é realizada no HyperView, que apresenta uma ótima qualidade na representação da escala de cores, que mostram os resultados obtidos em cada elemento da malha.

3.3.3 Utilização do HyperWorks

Após a escolha de perfis e a montagem do sistema, realizou-se a simulação por elementos finitos no software HyperWorks.

Para a etapa de pré-processamento segue-se os seguintes passos:

- Abrir o HyperMesh e selecionar a função RADIOSS;
- Importar o desenho 3D em formato .step para o a plataforma HyperMesh: File → Import → Geometry → Seleciona-se o arquivo .step;

Quando importa-se a geometria surge ao lado esquerdo da tela uma árvore com todos os perfis existentes no arquivo.

Para cada peça da montagem deve-se criar uma superfície média (midsurface), como se fosse uma casca.

- Criação da midsurface: Geom (menu na parte inferior da tela) → Midsurface → Seleciona-se a geometria que se quer criar a superfície média (isso deve ser feito para um perfil de cada vez) → Extract;

Algumas vezes, a midsurface criada apresenta descontinuidades, principalmente em perfis que compostos espessuras muito diferentes, raios e/ou furos. Nesses casos, é necessário que se faça correções na superfície de forma que ela fique contínua e o mais semelhante possível do real, para isso são utilizadas as ferramentas de edição da geometria, podendo acrescentar desde nós até planos novos.

Após realizar as correções necessárias na midsurface, especifica-se o material e a espessura daquela geometria:

- Criação do material: Botão direito do mouse na árvore de componentes → Create → Material → abre-se uma caixa de diálogo, onde deve-se preencher com o tipo do material (isotrópico, anisotrópico, fluido...), nome do material, card image → Create → Completar os dados com o limite de escoamento do material (E), coeficiente de Poisson (NU) e peso específico (RHO) → Return.

No caso que está sendo estudado o tipo de material é isotrópico, o card image é MAT 1 e os valores de limite de escoamento, coeficiente de Poisson e peso específico são, respectivamente, $6,9 \times 10^4$, 0,33 e $2,71 \times 10^{-9}$.

Obs.: O material criado foi o alumínio.

- Criação da espessura: Botão direito do mouse na árvore de componentes → Create → Property → Na caixa de diálogo preenche-se o tipo de propriedade, o

nome, e o card image → Create → Completa-se os dados com a espessura que está sendo criada (T) → Return.

Neste caso, o tipo de propriedade que está sendo criada é “all”, o card image é “PSHELL” e a espessura é escolhida de acordo com a real da peça que está se criando.

Com o material e a propriedade é possível criar um componente, que é aplicado nas superfícies da midsurface. Assim, para cada espessura é criado um componente diferente, para que seja possível caracterizar cada parte da midsurface, segundo as características reais da peça. Fazendo com que ela adquira um “volume”.

- Criação de componente: Botão Direito do mouse do lado esquerdo da tela → Create → Component → Na aba property seleciona-se a propriedade cuja espessura é a desejada e na aba material o material desejado → Create.

Após a criação dos componentes deve-se aplicá-los à midsurface. Na parte inferior da tela clica-se em organize → seleciona-se o componente → Seleciona-se a face da midsurface cujo componente está relacionado → Move → Return.

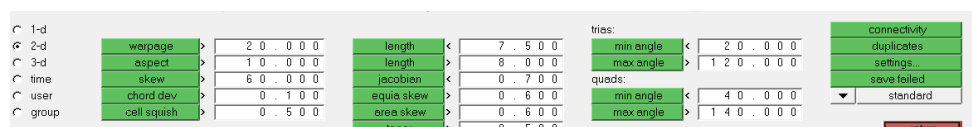
Com esse procedimento foi dada características estruturais para a midsurface. Com isso, pode-se iniciar a criação da malha.

A princípio quanto menor for a malha mais preciso será o resultado, porém uma malha muito pequena exige uma capacidade muito grande do computador, que muitas vezes não consegue fazer a simulação. Assim, na maioria dos perfis foi utilizada uma malha de 5 mm, com exceção da dobradiça que a malha foi de 3 mm, pois é uma região bem crítica, onde pode aparecer altas tensões.

- Criação da malha: F12 → Define-se o tamanho do elemento → Seleciona-se a superfície onde será criada a malha → Mesh.

Após a criação da malha é possível verificar a qualidade dela. Com o botão F10 abre-se uma caixa de diálogo na parte inferior da tela onde são definidos parâmetros, que auxiliam na verificação da malha, assim, definiu-se os valores observados na figura 13:

Figura 13 - Parâmetros para verificação da qualidade da malha.



Fonte: Autoria Própria.

Com esses valores definidos, clicando-se sobre os retângulos verdes o software mostra quantos elementos estão fora dos parâmetros estipulados, assim torna-se possível a alteração da forma deles.

Para esse trabalho o parâmetro mais difícil de obedecer foi o “jacobian”, que está diretamente ligado à forma dos elementos da malha. Quanto mais próximo de 1, menos deformados os elementos estarão.

Outro fator importante é o número de elementos da malha, pois está diretamente relacionado ao tamanho da mesma. Assim, na tabela 2 estão listados o perfil e o número de elementos de sua malha.

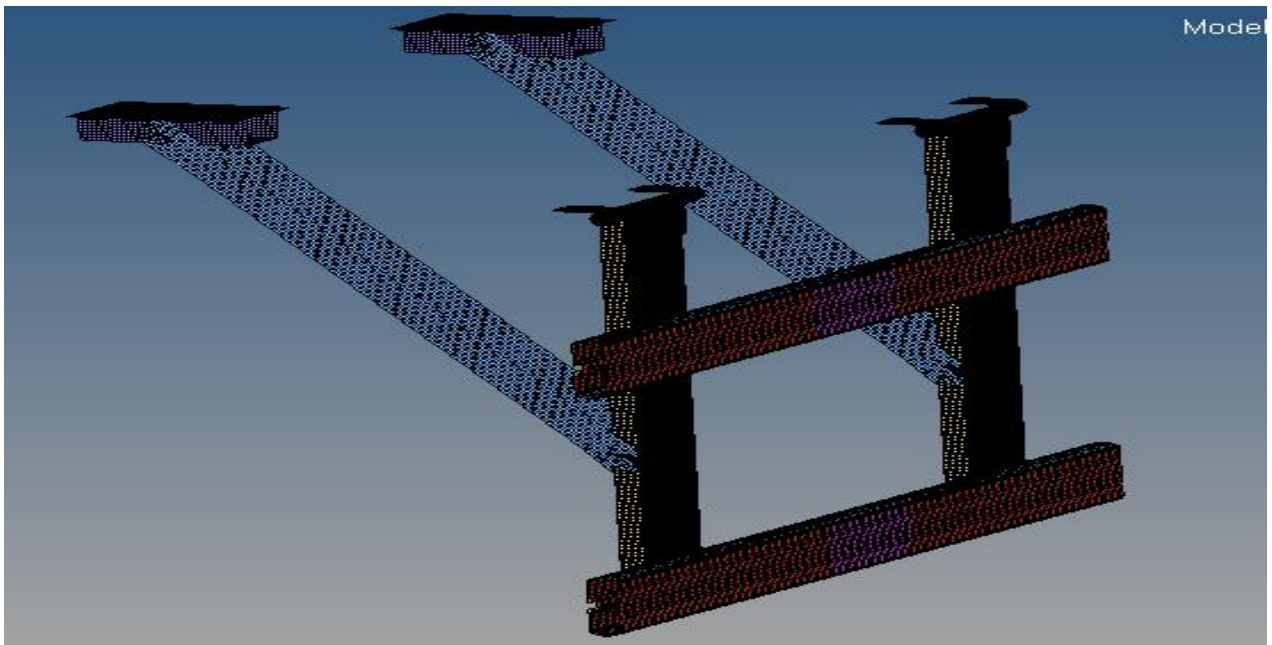
Tabela 2 – Número de elementos existentes na malha para cada perfil.

PERFIL	NÚMERO DE ELEMENTOS
Barra frontal	8.525
Coluna	13.667
Mão francesa	5.212
Fixação	2.415
Dobradiça	3.191

Fonte: Autoria Própria.

Essa distribuição de elementos pode ser observada na figura 14, que representa o conjunto inteiro com malha.

Figura 14 - Malha de Elementos Finitos do Dispositivo.



Fonte: Autoria Própria.

Após a criação da malha para todas as peças do conjunto deve-se fazer a fixação delas. Como, todas elas são unidas por parafusos é necessário que se crie um componente com uma propriedade do tipo 1D que esteja ligada a um círculo sólido já determinando inicialmente.

- Criação do círculo sólido: 1D → HyperBeam → Standard section → Create → Define-se o raio → File → Exit.

- Criação de propriedade: Botão Direito do mouse do lado esquerdo da tela → Create → Property → Na caixa de diálogo preenche-se o tipo da propriedade (1D), o nome (Parafuso), o card image (PBEAM), beamsection (nome do solid circle criado) → Create → beamsec (quadrado amarelo) → Selecionar o solid circle com o raio do parafuso → Return.
- Criação do componente: da mesma forma que foi feito anteriormente.

Com o componente criado faz-se as ligações do centro de um furo no outro.

- Criação dos parafusos: 1D → Bars → Seleciona-se os nós centrais dos furos → A orientação deverá ser perpendicular ao plano em que está contido o furo → Return.

Além dos parafusos deve-se criar um componente rígido que mostra para o programa que não haverá movimento nem transversal, nem de rotação.

- Criação do elemento rígido: Cria-se um componente sem propriedade e sem material → Create.

Esse componente deverá ser colocado nos furos, gerando as restrições de todos os movimentos.

- Restringindo os movimentos: 1D → Rigids → Seleciona-se todas as restrições → Seleciona-se o nó central e depois os nós ao redor do furo → Create.

Depois da fixação com os parafusos, é necessário que se crie contato entre as faces, para que durante a simulação um perfil não atravesse o outro, ou seja, que uma face seja limitante para outra.

- Criação de contato nas faces: Analyses → Contactsurfs → elems → Define-se um nome e seleciona-se a face que quer fazer o contato → Create.

Obs.: criar contactsurfs para todas as faces em contato e analisar a direção.

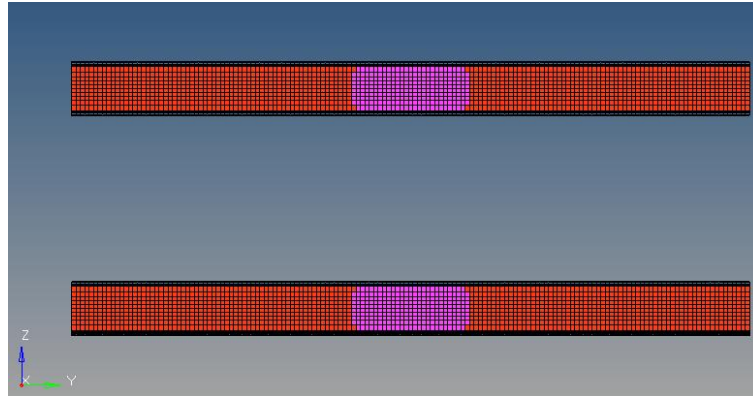
- Criação de Interfaces de contato: Analyses → Interfaces:
 - ➔ Create (Definir o nome e o tipo) → Create.
 - ➔ Card image → Load/edit → Define-se o tipo e a orientação.
 - ➔ Add → Seleciona-se as duas faces que estarão em contato → Update.

Após a definição de todo modelo, deve-se aplicar as cargas e as restrições.

E, por último, aplicaram-se as cargas e as restrições.

As cargas foram definidas de acordo com a norma ABNT NBR 14.148, que estipula uma carga aplicada de 5 kN em uma superfície plana e circular de diâmetro de $120 \pm 10 \text{ mm}$, para isso criou-se uma região na malha com essa dimensão para que fosse possível aplicar a carga. Essa região pode ser verificada na cor rosa na figura 15.

Figura 15 - Região de Aplicação da Carga.



Fonte: Autoria Própria.

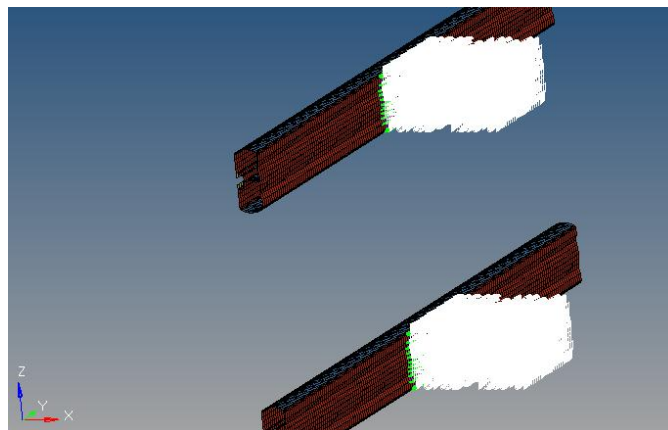
Como carga é aplicada em cada nó existente nessa região verificou-se o número de nós dessa região e dividiu-se a força de 5 kN pelo número de nós, definindo-se, assim, o valor da força.

- Criação de um vetor: Botão direito do mouse na lateral esquerda da tela → Create → load collector → Define-se um nome → Create.
- Aplicação da força: Analyses → Forces → Seleciona-se os nós, onde serão aplicadas as forças → Determina a magnitude da força e a direção da força → Create.

Obs.: verificar se a direção da força está correta.

Na Figura 16 pode-se ver a carga aplicada na barra frontal do protetor lateral.

Figura 16 - Carga Aplicada.



Fonte: Autoria Própria.

Para a criação das restrições deve-se analisar o que deverá ser restringido.

- Criar outro load collector.
- Restrições: Analyses → Constraints → Seleciona-se os nós, onde serão aplicadas as restrições → Create.

Depois de tudo definido coloca-se o programa para gerar a solução.

- Aplicar a carga e as restrições: Analyses → load steps → SPC (Restrição) e LOAD (Carga) → Create.
- Simulação: Analyses → RADIOSS.

Para visualizar os resultados deve-se abrir o HyperView, que é responsável pelo pós-processamento do HyperWorks.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Após toda a etapa de pré-processamento e resolução, obteve-se os resultados, os quais serão expostos e discutidos ao longo desse capítulo. Tendo em mente que o objetivo desse projeto era analisar se o material escolhido resiste à carga de 5 kN aplicada, ou seja, que ele não falhe por escoamento, além de não apresentar flecha superior a 30mm.

Sabendo que a liga de alumínio escolhida apresenta tensão admissível de aproximadamente 150 MPa e com os parâmetros definidos durante a criação do material, pode-se analisar os resultados.

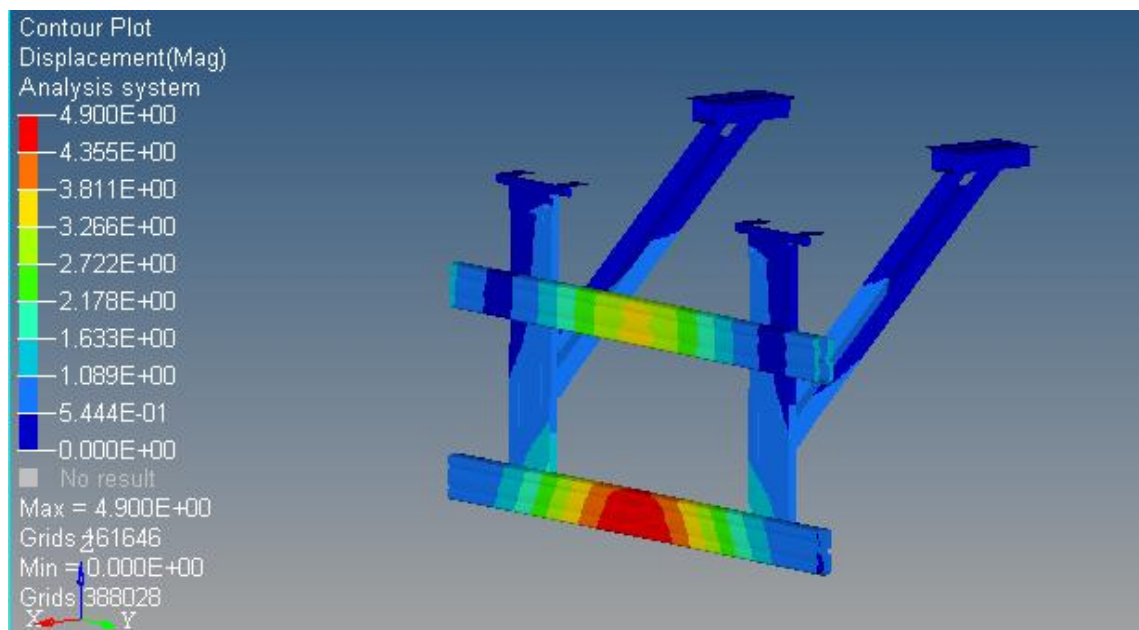
Durante o projeto foi necessário alterar o perfil da dobradiça, pois o que foi inicialmente escolhido não resistia à carga. Então se escolheu um perfil mais robusto, afim de que ele suportasse de forma aceitável a carga.

Outra região onde notou-se tensões acima da tensão de escoamento da liga de alumínio foi nos furos da coluna de fixação da barra do protetor lateral. Para resolver esse problema acrescentou-se mais um furo para sustentar a mão francesa.

Após a realização de várias simulações, obteve-se um resultado que satisfizesse ao que foi proposto inicialmente. O resultado alcançado foi:

- Deflexão máxima de 4,90 mm na região central da barra inferior do protetor lateral, como é possível observar na figura 17.

Figura 17 - Deflexão do Sistema.



Fonte: Autoria Própria.

Como esperado a deflexão máxima ocorreu na barra frontal inferior do dispositivo, como pode ser visto na figura 17, indicado pela cor vermelha da escala. Assim, pode-se

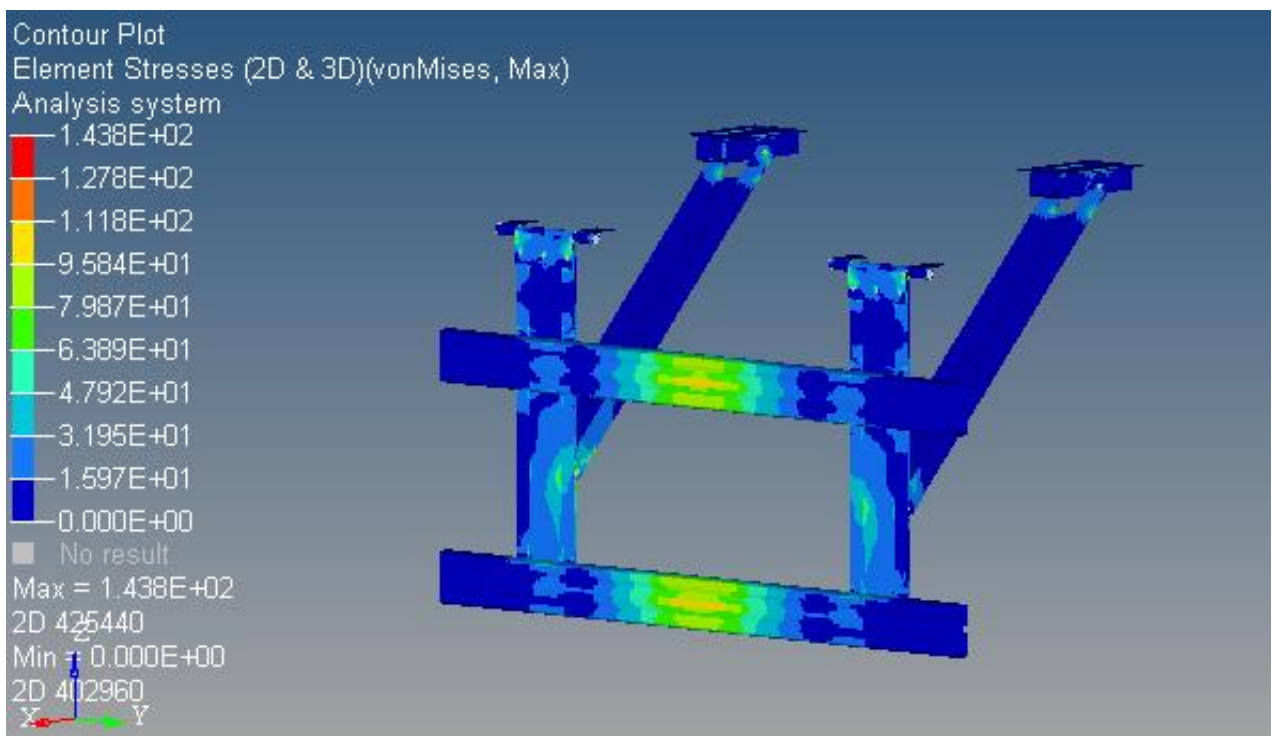
afirmar que o material apresenta uma deformação máxima bem inferior ao que foi proposto por norma, satisfazendo uma das condições propostas.

- Tensão máxima baseada no critério de von Mises foi de 143,8 MPa na região do furo da coluna que sustenta a mão francesa. Na figura 18 pode-se observar a distribuição de tensões ao longo do dispositivo.

Com esse resultado, pode-se afirmar que o dispositivo não falha por escoamento, uma vez que sua tensão máxima é inferior à tensão admissível do material.

Assim, é possível concluir que a liga de alumínio selecionada é suficientemente resistente para a aplicação em um dispositivo de segurança e proteção lateral, porque os resultados obtidos satisfazem os dois itens contidos na norma.

Figura 18 - Distribuição de Tensões no Sistema.

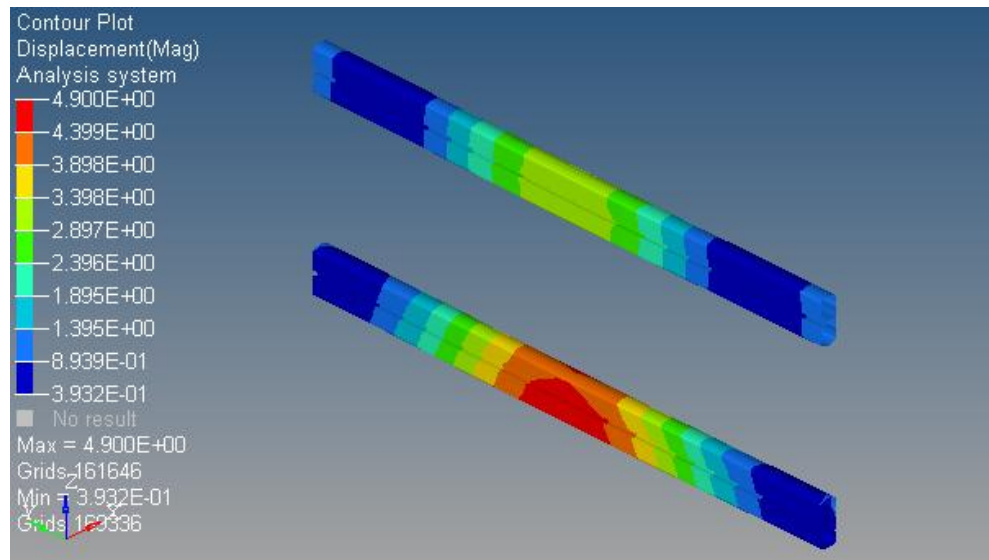


Fonte: Autoria Própria.

4.1 DEFLEXÕES PARA CADA ELEMENTO

- Na barra frontal do protetor lateral é onde ocorre a maior deflexão, de 4,90 mm, como é possível observar na figura 19. A máxima flecha ocorre no centro da barra frontal inferior, pois é a região onde está distribuída toda a carga de 5 kN; enquanto que a mínima ocorre nas extremidades da barra.

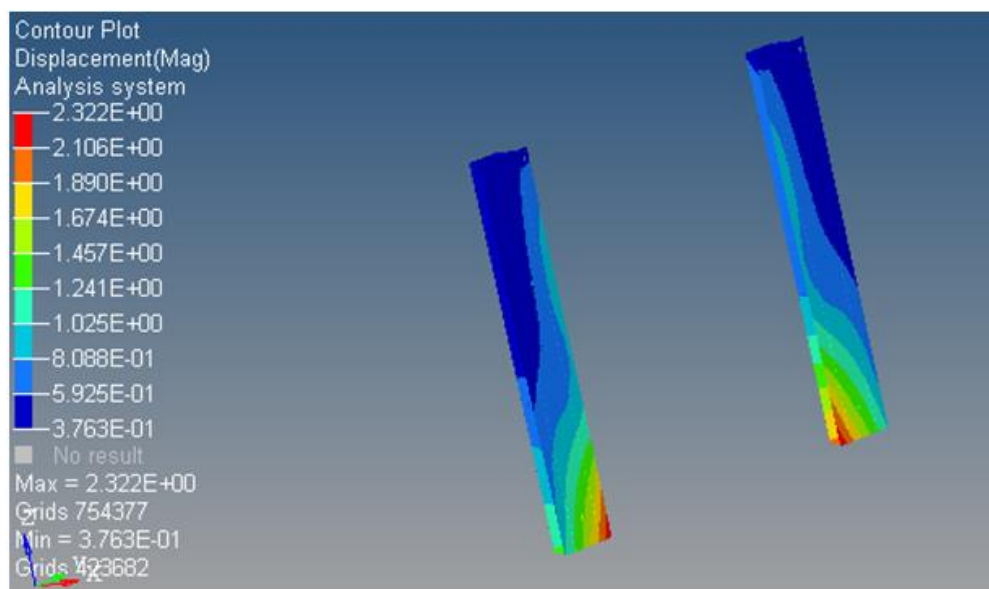
Figura 19 - Deflexão na Barra do Protetor Lateral.



Fonte: Autoria Própria.

- Na coluna de fixação da barra frontal a maior deflexão foi de 2,322mm e ocorreu na região em contato com a barra frontal inferior, como é possível observar na figura 20.

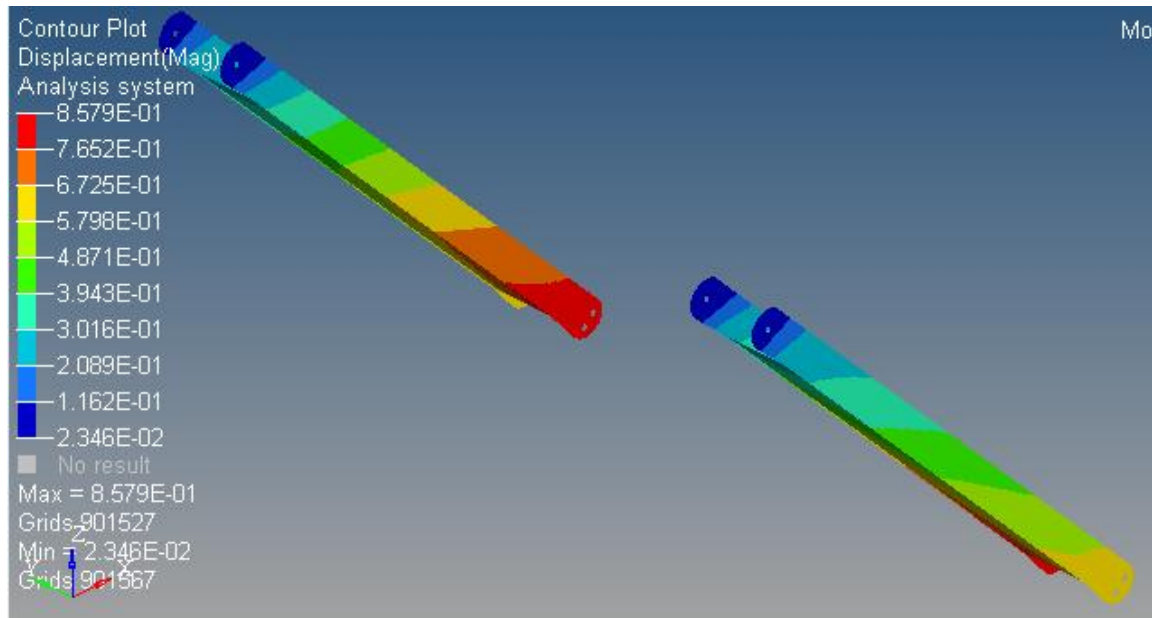
Figura 20 - Deflexão na Coluna



Fonte: Autoria Própria

- Na mão francesa a maior deflexão foi de 0,8579 mm, na região inferior do perfil, como é possível observar na figura 21.

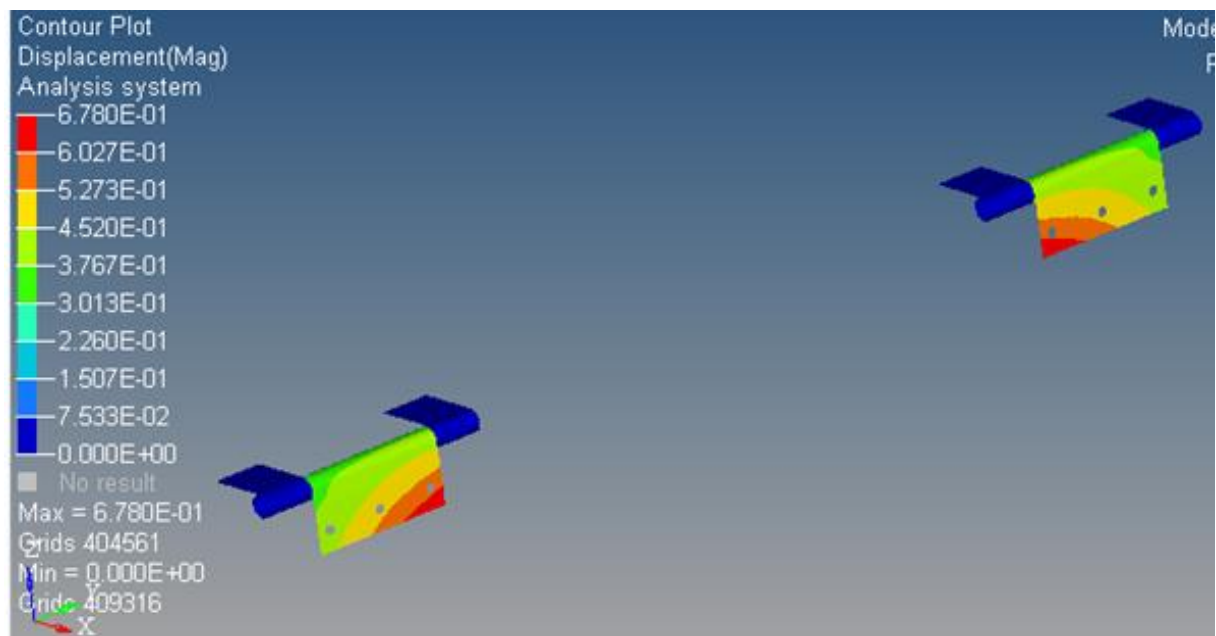
Figura 21 - Deflexão na Mão Francesa.



Fonte: Autoria Própria.

- Na dobradiça a deflexão máxima foi de 0,678 mm, na região de contato com a coluna, como é possível observar na figura 22.

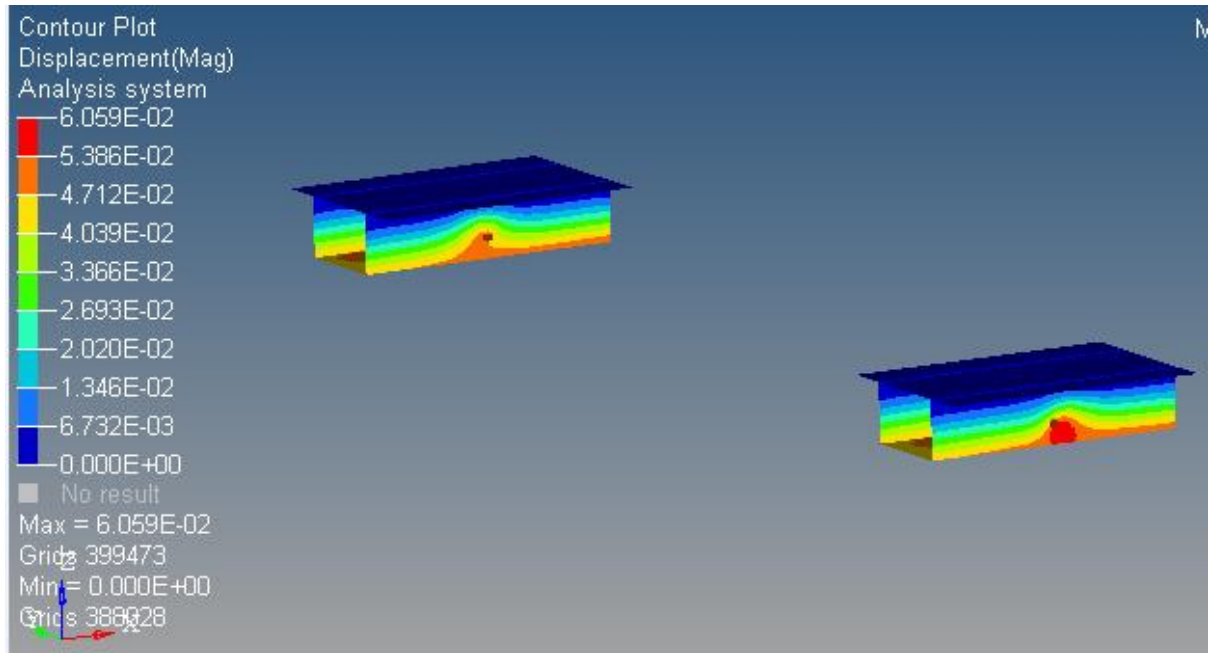
Figura 22 - Deflexão na Dobradiça.



Fonte: Autoria Própria.

- No suporte para fixação na carroçaria a deflexão máxima foi de 0,06059 mm, na região onde é fixada a mão francesa, como é possível observar na figura 23.

Figura 23 - Deflexão no Suporte de Fixação.



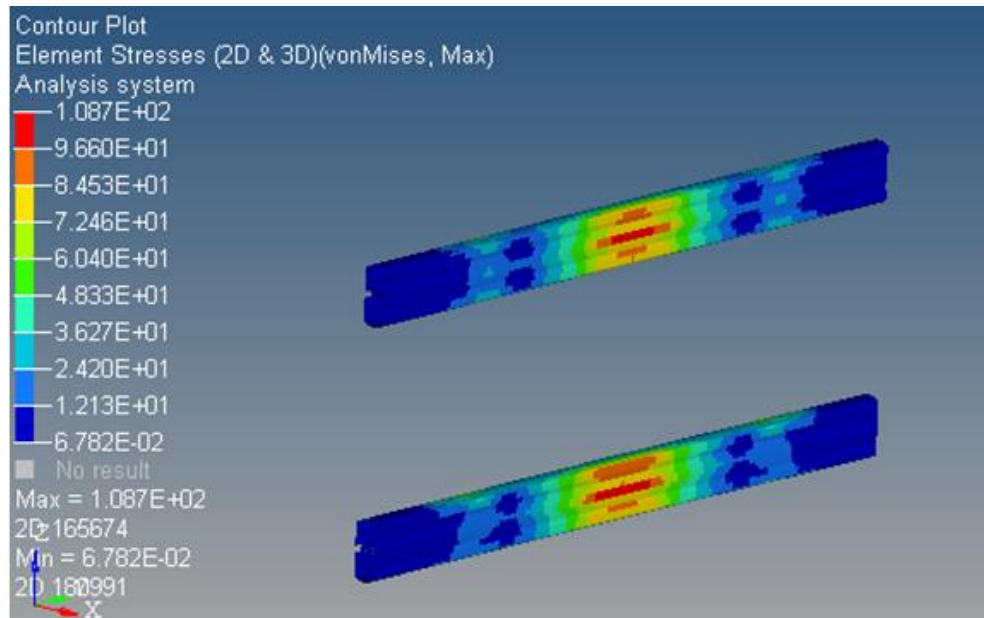
Fonte: Autoria Própria

Ao analisar os resultados obtidos para cada peça, pode-se dizer que as maiores deflexões ocorrem nas regiões mais próximas à aplicação de carga e com menor sustentação, ou seja, na barra frontal do protetor na região inferior. Assim, é possível afirmar que a menor deflexão ocorreu no fixador do conjunto na carroceria e que seu valor tende a zero, ou seja, a flecha vai diminuindo de acordo com o aumento da distância da região de aplicação da carga.

4.2 TENSÕES PARA CADA ELEMENTO

- Na barra frontal do protetor lateral a tensão máxima foi de 108,7 MPa, que ocorre na região de aplicação da carga, como é representado em vermelho na figura 24. Nessa região não ocorre a tensão máxima, pois a área por onde se distribui essa carga é consideravelmente grande.

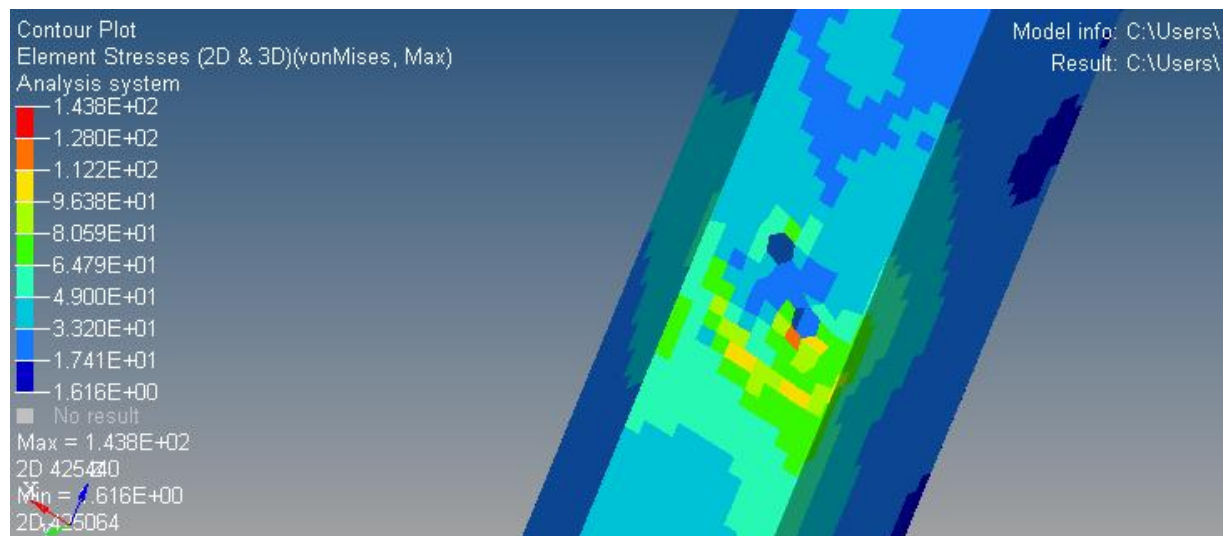
Figura 24 - Tensões na Barra Frontal.



Fonte: Autoria Própria.

- Na coluna para fixação da barra frontal é onde ocorre a tensão máxima do sistema de 143,8 MPa na região do furo que a fixa na mão francesa, como pode ser observado na figura 25.

Figura 25 - Tensões na Coluna: Região dos Furos onde se fixa a mão francesa.

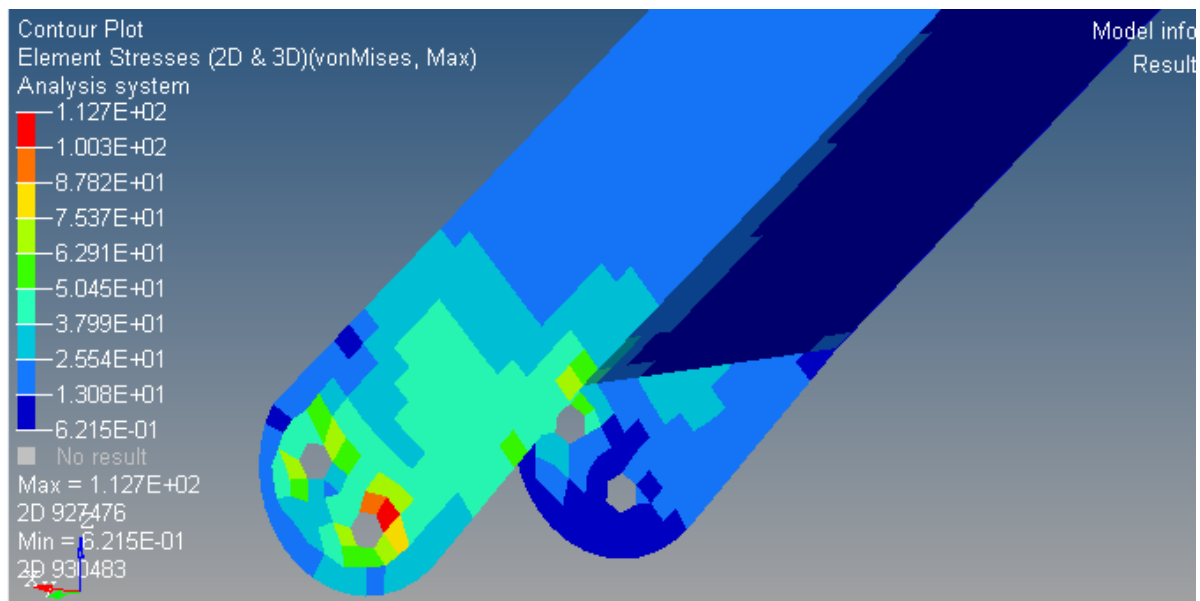


Fonte: Autoria Própria.

Esse valor é inferior ao da tensão admissível do material. Sendo assim, não haverá falha do sistema.

- Na mão francesa a tensão máxima foi de 112,7 MPa, na região do furo onde ela é fixada à coluna (região de máxima tensão), como pode ser observado na figura 26.

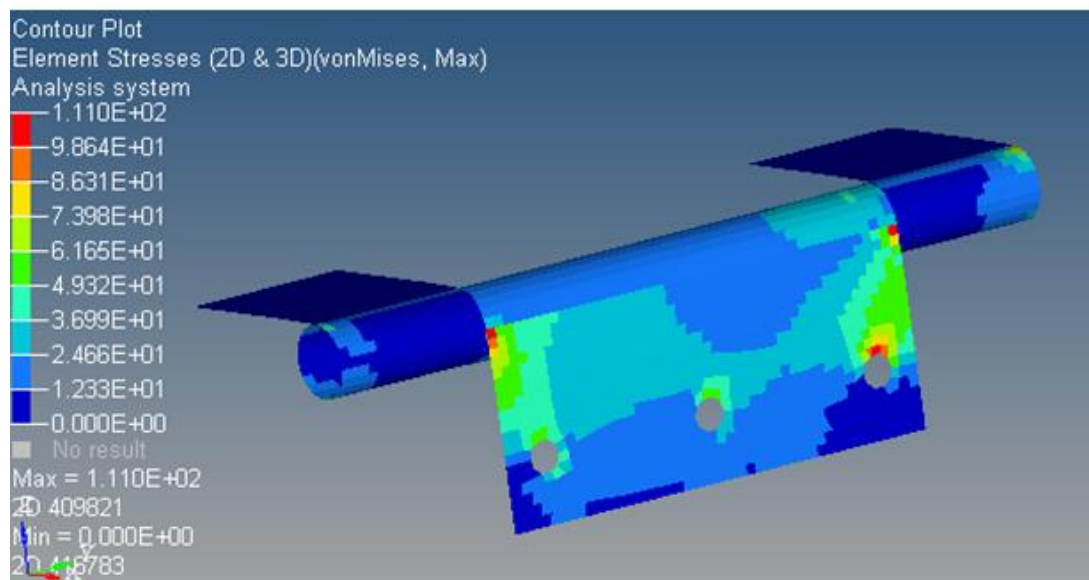
Figura 26 - Tensão na Mão Francesa: Região dos Furos que se Fixam na Coluna (região de maior tensão nesse perfil).



Fonte: Autoria Própria.

- Na dobradiça a tensão máxima foi de 111,0 MPa e ocorreu na região onde ela é fixada na coluna, como pode ser visto na figura 27.

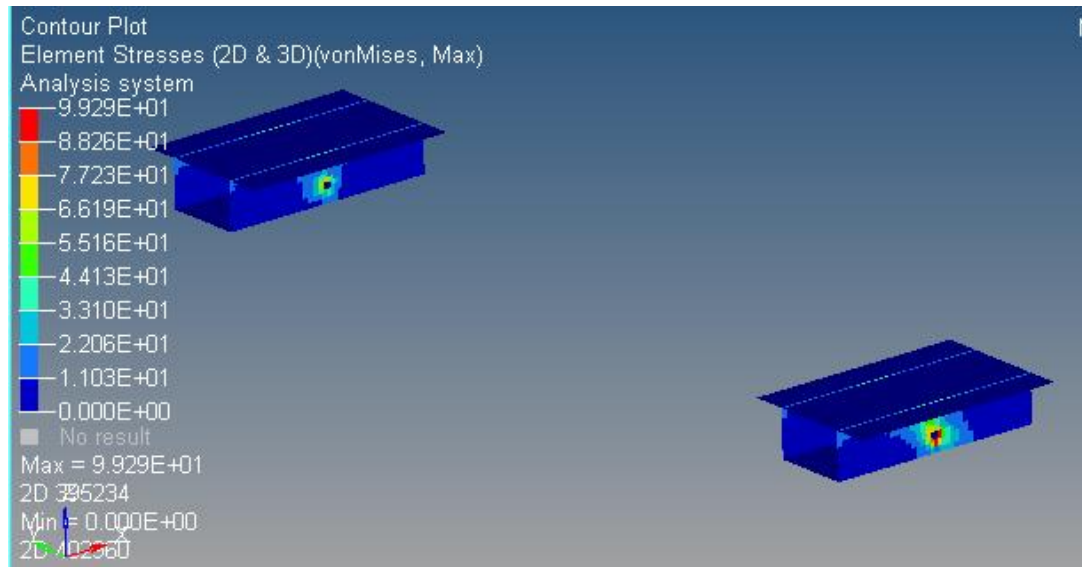
Figura 27 - Tensões na Dobradiça.



Fonte: Autoria Própria.

- No suporte para fixação na carroceria a tensão máxima foi de 99,29 MPa, na região do furo, onde é fixada a mão francesa, como pode ser observado na figura 28.

Figura 28 - Tensão no Suporte de Fixação.



Fonte: Autoria Própria.

A partir desses resultados, pode-se verificar que as regiões com as tensões mais altas em um perfil, se dão nas proximidades dos furos. Assim, a maior tensão de todo o sistema foi obtida na região do furo de fixação entre a coluna e a mão francesa, onde a área para resistir à carga é menor.

4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Pelos resultados obtidos, conclui-se que a aplicação da carga de 5 kN na região especificada gera uma flecha máxima de 4,90 mm, ou seja, bem inferior à deflexão de 30 mm imposta por norma; e uma tensão máxima no sistema de 143,8 MPa, valor inferior à tensão admissível do material escolhido que é de 150 MPa, ou seja, o material resiste à carga sem que ele falhe.

Então, pode-se afirmar que o alumínio, além de apresentar uma redução de peso considerável do equipamento, ele também é capaz de resistir à força estipulada, podendo ser um bom substituto para o aço.

No entanto, é necessário que se tenha em mente que o método de análise por elementos finitos não é 100% confiável. Sendo assim, os resultados obtidos são aproximados e podem apresentar variações. Isso ocorre, pois o método depende de vários fatores como o tamanho e a forma da malha, fazendo aproximações. Assim, antes de o dispositivo ser de fato comercializado ele deve passar ainda por testes físicos, ou seja, fazer a montagem do protótipo e submetê-lo à carga da forma especificada.

Nesse trabalho, não foi possível desenvolver esse teste físico, o que gera uma dúvida na confiabilidade desses resultados. Sendo assim, em oportunidades posteriores seria interessante que testes fossem realizados para validar (ou não) as respostas obtidas.

5 CONCLUSÕES

Visando aumentar a segurança dos motoristas de carros e motos e ciclistas, a resolução 323 da CONTRAN passou a obrigar o uso do Dispositivo de Segurança e Proteção Lateral, objeto de estudo do presente trabalho.

Para cumprir essa regra as indústrias de implementos rodoviários tiveram que desenvolver esses dispositivos de acordo com a norma ABNT NBR 14.148. Indo ao encontro dessa necessidade, fez-se a análise por elementos finitos desse dispositivo e verificou-se que o sistema montado atende às regras previstas por norma, ou seja, o material escolhido resiste à carga de 5 kN aplicada e a sua deformação é inferior a 30 mm.

Além da elaboração do projeto propriamente dito, fez-se uma pesquisa de mercado para verificar as possibilidades de se comercializar o protetor lateral em alumínio e verificou-se que, devido ao baixo peso e, conseqüentemente, economia com combustíveis e manutenção, o alumínio vem ganhando grande fatia desse mercado, tornando-se competitivo frente ao aço.

Nesse trabalho também se verificaram os benefícios do alumínio no setor do transporte. Características como baixa densidade, boa resistência a ambientes agressivos, a reciclabilidade do material são características que se destacam, pois além de afetarem diretamente o consumo de combustíveis e a manutenção, aumento da vida útil e o valor agregado do produto, respectivamente, interfere também em questões ambientais, pois haverá menores emissões de CO₂; quando o produto não desempenhar mais sua função ele poderá ser 100% reciclado, reduzindo consideravelmente o consumo de energia na fabricação de novos produtos.

Outra observação a ser feita é a importância que algumas disciplinas da graduação em Engenharia Mecânica tiveram para o desenvolvimento desse trabalho dentre elas destacaria: Resistência dos Materiais, pois deu base para entender a aplicação da carga e as tensões que agem no conjunto; Materiais de Construção Mecânica, pois auxiliou no conhecimento de processos de tratamentos térmicos, além dos componentes de cada liga de alumínio; Desenho Técnico Básico e Desenho Técnico Mecânico, pois eles deram base para criar, entender os desenhos e fazer a montagem; Processos de Tecnologia Industrial, que possibilitou o entendimento do processo de extrusão, que é o processo de transformação utilizado para fabricação dos perfis.

Assim, pode-se concluir que o trabalho alcançou o objetivo de realizar o projeto de acordo com a norma, além de ter trazido conhecimentos em gestão de projetos e sobre as várias ligas de alumínio e seus benefícios.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Guia Técnico do Alumínio: Extrusão**. 4ª Ed. São Paulo: ABAL, 2008. 248 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Características Químicas e Físicas**. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/>>. Acesso em: 14/11/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Automotivo e transportes**. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/aplicacoes/automotivo-e-transportes/>>. Acesso em: 14/11/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Vantagens do Alumínio**. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/aluminio/vantagens-do-aluminio/>>. Acesso em: 02/12/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Aluauto**. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/aluauto/ed26/PDFs/transportes.pdf>>. Acesso em: 02/12/2013.

BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito. **Resolução 323**. Brasil, 2009.

ALTAIR. **HyperMesh Introduction**: Pre-processing for Finite Elements Analysis. 2011. 211p.

ANEXO A - RESOLUÇÃO Nº 323, DE 17 DE JULHO DE 2009

Estabelece os requisitos de fabricação e instalação de protetor lateral para veículos de carga.

O CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN, usando da competência que lhe confere o inciso I do art. 12 da Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, que institui o Código de Trânsito Brasileiro – CTB, e conforme o Decreto nº 4.711, de 29 de maio de 2003, que dispõe sobre a Coordenação do Sistema Nacional de Trânsito, e

Considerando a necessidade de aperfeiçoar e atualizar os requisitos de segurança para os veículos de carga nacionais e importados,

Considerando as conclusões apresentadas no bojo do Processo administrativo nº 80001.007960/2009-76

RESOLVE:

Art. 1º Os caminhões, reboques e semi-reboques com peso bruto total PBT superior a 3.500 kg (três mil e quinhentos quilogramas) novos, saídos de fábrica, nacionais e importados a partir de 1º de janeiro de 2011, somente poderão ser registrados e licenciados se estiverem dotados do protetor lateral que atenda às especificações constantes do Anexo desta Resolução.

Parágrafo único. Os veículos de que trata o “caput” deste artigo, cujas características originais da carroçaria forem alteradas, ou quando neles for instalado algum tipo de implemento, a partir de 1º de janeiro de 2011, também deverão atender às especificações constantes do Anexo desta Resolução.

Art. 2º Não estão sujeitos ao cumprimento desta Resolução os seguintes veículos:

I – Caminhões tratores;

II – Carroçaria ou plataformas de carga que estejam a até 550 mm de altura em relação ao solo;

III – Veículos concebidos e construídos para fins específicos e onde, por razões técnicas, não for possível prever no projeto a instalação dos protetores laterais;

IV – Veículos inacabados ou incompletos;

V – Veículos e implementos destinados à exportação;

VI – Viaturas militares;

VII – Aqueles que possuam na carroçaria o protetor lateral incorporado ao projeto original do fabricante

Parágrafo único. O órgão máximo executivo de trânsito da União analisará e decidirá quais veículos se enquadram no inciso III.

Art.3º A não observância dos preceitos desta Resolução sujeita o infrator às penalidades previstas nos incisos IX ou X do artigo 230 do Código de Trânsito Brasileiro.

Art.4º Esta Resolução entrará em vigor na data da sua publicação.

Alfredo Peres da Silva

Presidente

Marcelo Paiva dos Santos

Ministério da Justiça

Rui César da Silveira Barbosa

Ministério da Defesa

Rone Evaldo Barbosa

Ministério dos Transportes

Valter Chaves Costa

Ministério da Saúde

Carlos Alberto Ferreira dos Santos

Ministério do Meio Ambiente

Elcione Diniz de Macedo

Ministério das Cidades

José Antônio Silvério

Ministério da Ciência e Tecnologia

ANEXO B – NORMA ABNT NBR 14.148

1. Escopo

Estabelecer os requisitos para o protetor lateral de caminhões e rebocados, com peso bruto total (PBT) acima de 3 500 kg.

Este Anexo não se aplica a:

- a) caminhões-tratores;
- b) carroçarias ou plataformas de carga que estejam a uma altura em relação ao solo de até 550 mm;
- c) veículos concebidos e construídos para fins específicos e onde, por razões técnicas, não for possível prever em projeto a instalação de protetores laterais.

2. Finalidade

Evitar ou minimizar colisões, impedindo que motos, bicicletas ou veículos de pequeno porte penetrem na parte inferior e sejam esmagados pelas rodas do caminhão ou do rebocado.

3. Requisitos

3.1 O protetor lateral não deve ultrapassar o plano correspondente à largura do veículo. A parte principal da superfície exterior do protetor lateral não deve estar a mais de 120 mm para dentro do plano correspondente à largura do veículo. A extremidade frontal deve ser dobrada para dentro, entre 50 mm e 100 mm, nos primeiros 100 mm (ver Figura 1). As extremidades do protetor lateral, nos últimos 250 mm próximos aos pneus, devem estar no máximo a 30 mm para dentro em relação ao plano correspondente a largura do veículo ou, quando não houver esta referência, 30 mm à face externa do pneu medido na altura do protetor lateral (ver Figura 1). Quando a cabina do veículo for mais larga que a carroçaria, deve prevalecer a largura da carroçaria.

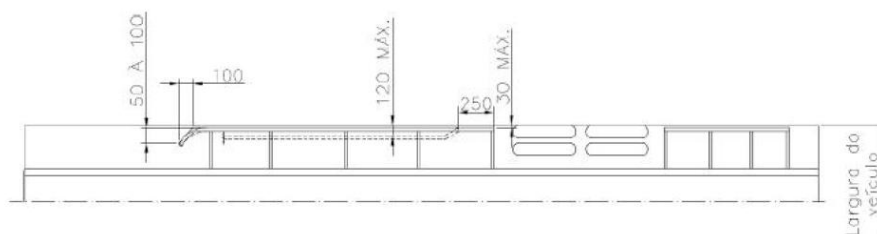


Figura 1 — Exemplo de protetor lateral – Vista superior (dimensões em mm)

3.2 A superfície externa do protetor lateral deve ser lisa. Descontinuidades no protetor lateral devem ser aceitas, desde que devidas a componentes do próprio veículo. As partes adjacentes podem sobrepor-se, desde que a superfície de sobreposição esteja voltada para a parte traseira ou para baixo. A folga máxima longitudinal permitida deve ser de 25 mm (ver Figura 2).

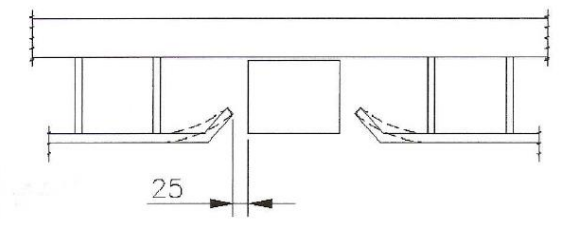


figura 2 — Folgas e concordâncias do protetor lateral com componentes do veículo – Vista superior (dimensões em mm).

3.2.1 Parafusos e rebites com cabeça, sem arestas cortantes, podem sobressair da superfície externa do protetor lateral em dimensão não superior a 10 mm. Esta tolerância é válida também para outras peças, desde que lisas ou arredondadas. Todas as arestas ou cantos externos devem ter raio de acabamento não inferior a 2,5 mm.

3.2.2 Havendo a presença de caixa de acessórios (ferramentas, rancho etc.) e se sua face externa não estiver no mesmo plano do protetor, deve ser necessária uma concordância entre as superfícies (ver Figura 2).

3.2.3 No local do pneu sobressalente, quando for necessária a colocação do protetor lateral e não for possível o modelo fixo, deve ser aceito o protetor lateral basculante. Os demais requisitos devem ser atendidos.

3.3 O protetor lateral pode ser constituído por uma superfície contínua, por barras horizontais ou por uma combinação de superfícies e barras. Caso o protetor seja constituído por barras, estas podem ter qualquer forma de seção transversal com altura não inferior a 100 mm, e não devem estar separadas por mais de 300 mm (ver Figura 3).

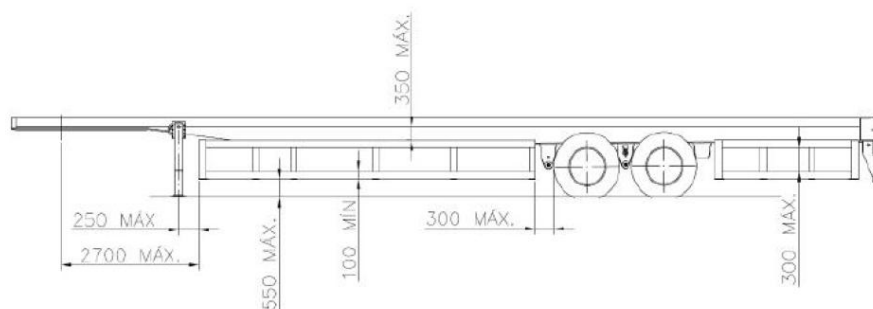


Figura 3 — Exemplo de protetor lateral – Vista lateral dimensões em mm)

3.4 A posição da aresta frontal deve ser:

a) em um caminhão, não mais do que 300 mm para trás de um plano vertical que seja perpendicular ao plano longitudinal do veículo e tangencie a superfície externa do pneu localizado imediatamente à frente do protetor lateral (ver Figura 4);

b) em um reboque com barra de tração ou semi-reboque sistema autodirecional, não mais do que 500 mm para trás do plano definido em a) (ver Figura 5);

c) em um semi-reboque, não mais do que 250 mm para trás do plano transversal médio do suporte vertical, se ele estiver presente, mas em nenhum caso a distância entre a aresta frontal do protetor lateral e um plano transversal que passe pelo centro do pino-rei, quando este estiver em sua posição mais traseira, deve ser maior do que 2 700 mm (ver Figura 3).

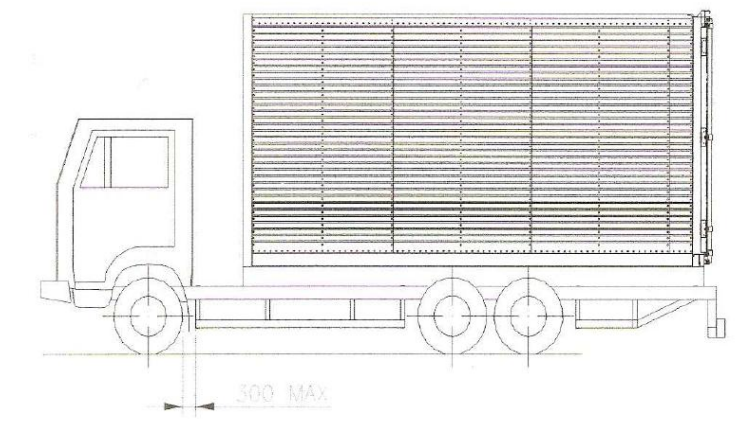


Figura 4 — Posição da aresta frontal em caminhão – Vista lateral (dimensões em mm)

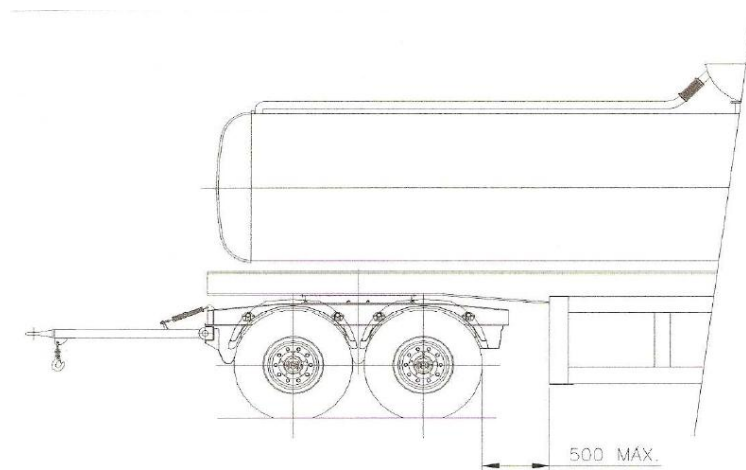


Figura 5 — Posição da aresta frontal em veículo rebocado de carga – Vista lateral (dimensões em mm)

3.4.1 A aresta frontal deve consistir em um elemento vertical contínuo que se estenda por toda a altura do protetor. A face externa desse elemento deve ter uma largura mínima de 100 mm.

3.4.2 Em um caminhão no qual a dimensão de 300 mm, definida em 3.4a), interfira na cabina, o protetor lateral deve ser construído de forma que a folga entre a sua aresta frontal e os painéis da cabina não exceda 100 mm e, se necessário, deve ser voltada para dentro com um ângulo que não exceda 45°. Neste caso, o estabelecido em 3.4.1 não é aplicável.

3.4.3 Em um caminhão no qual a dimensão de 300 mm, definida em 4.4a), interfira na cabina e a folga entre a aresta frontal do protetor lateral e os painéis da cabina for menor do que 100 mm por opção do fabricante, os requisitos de 3.4.2 devem ser atendidos.

3.5 A distância entre a aresta traseira do protetor lateral e o plano vertical transversal que tangencia a parte mais saliente do pneu da roda imediatamente atrás da referida aresta não deve exceder 300 mm (ver Figura 3). Não é necessário um elemento vertical contínuo.

3.6 O protetor lateral, na região do balanço traseiro, em sua terça parte final, pode admitir alturas em relação ao plano de apoio das rodas maiores que 550 mm para adequar o ângulo de saída.

3.7 A altura da borda inferior do protetor lateral, medida com o veículo com sua massa em ordem de marcha, não deve, em nenhum ponto, ser superior a 550 mm em relação ao plano de apoio das rodas (ver Figura 3).

3.8 A distância da borda superior do protetor lateral à face inferior da base do assoalho, medida no plano vertical tangente à superfície externa dos pneus ou em um plano paralelo a este, não deve exceder 350 mm (ver Figura 3), exceto nos casos descritos em 3.8.1 a 3.8.3.

3.8.1 Quando o plano vertical tangente à superfície externa do protetor lateral não interceptar a estrutura do veículo, a borda superior deve estar ao nível da superfície de carga ou a 950 mm de altura em relação ao solo, prevalecendo a dimensão menor, medido com o veículo com sua massa em ordem de marcha (ver Figura 6).

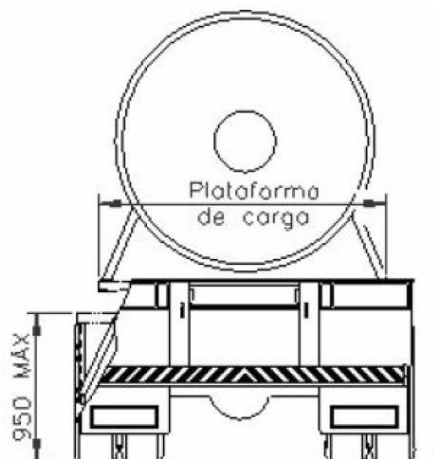


Figura 6 — Protetor em relação à superfície de carga sem intercepção (dimensões em milímetros)

3.8.2 Quando o plano vertical tangente à superfície externa do protetor lateral interceptar a estrutura do veículo a uma altura maior do que 1 300 mm acima do solo, a borda superior do protetor lateral não deve ficar a menos de 950 mm de altura em relação ao solo (ver Figura 7).

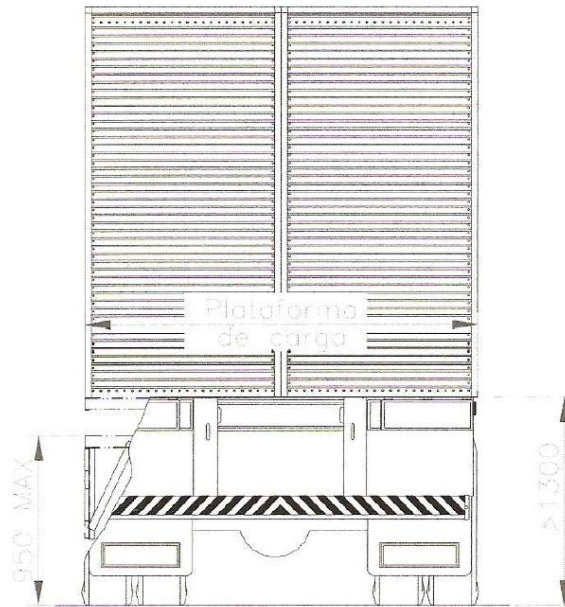


Figura 7 — Protetor em relação à superfície de carga com intercepção (dimensões em milímetros)

3.8.3 Em um veículo especialmente projetado e construído e não meramente adaptado para o transporte de contêineres ou tanques, ou então de caixa desmontável, a superfície superior do protetor lateral deve ser determinada conforme 3.8.1 e 3.8.2, sendo estes equipamentos considerados parte integrante do veículo.

3.9 Para realização do ensaio, o veículo deve ser posicionado:

- a) sobre uma superfície horizontal e plana;
- b) sem carga;
- c) com o semi-reboque apoiado sobre o suporte vertical, com a superfície de carga na horizontal. Se necessário, pode ser utilizado um apoio lateral para estabilizar o semireboque durante a aplicação da carga.

4. Requisitos específicos

4.1 Os protetores laterais devem ser rígidos e suas fixações não devem se soltar durante a utilização normal do veículo. Os protetores laterais podem ser fabricados com qualquer material, desde que atendam aos requisitos deste anexo.

4.2 O protetor lateral deve suportar uma força estática horizontal de 5 kN, aplicada perpendicularmente em pontos de sua superfície exterior através do centro de um dispositivo cuja face seja circular e plana, com 220 mm mais ou menos 10 mm de diâmetro. A deformação do protetor durante a aplicação da força não pode ser maior que:

- a) 30 mm nos 250 mm de comprimento nas extremidades traseira e dianteira do protetor;
- b) 150 mm nas partes restantes do protetor.

4.3 Os resultados indicados em 4.2 podem ser definidos por intermédio de cálculos de projeto ou simulações. Este procedimento deve ser comprovado por pelo menos um ensaio prático.

4.4 Deve haver um responsável técnico pelo projeto.

4.5 Os protetores laterais não podem ser utilizados como base para fixação de condutores elétricos (chicotes) e tubulações pneumáticas ou de freios.

4.6 Podem estar incorporados no protetor lateral, desde que sejam atendidas as dimensões prescritas neste anexo, os componentes fixados permanentemente ao veículo, como caixas de ferramentas, suporte para rodas sobressalentes, reservatórios de água, equipamentos específicos para fins diversos ou outros, os quais devem atender a 3.1, 3.2 e 4.2.

4.7 Adicionalmente, os veículos especificados a seguir devem atender a 4.7.1 a 4.7.4.

5.7.1 Os reboques ou semi-reboques telescópicos devem atender a 3.1 e 4.1 a 4.6 quando fechados totalmente. Quando o reboque ou semi-reboque estiver estendido, os protetores laterais devem atender a 3.7, 3.8, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e mais 3.4, 3.5 ou 3.6, mas não necessariamente a todos. Com o conjunto no comprimento máximo, não deve haver folgas no comprimento dos protetores laterais.

5.7.2 Veículos tanques rodoviários, com tubulação lateral para carga e descarga, devem ser equipados com protetores laterais, atendendo totalmente a 3.1. Somente devem ser permitidas modificações devidas a requisitos operacionais, após avaliação do projeto específico pelo agente de inspeção.

5.7.3 Nos veículos rodoviários equipados com apoios extensíveis destinados a garantir estabilidade lateral em operações de carga e descarga ou outras para as quais foi concebido, os protetores laterais podem ser instalados com folgas adicionais, a fim de permitir a extensão dos apoios, desde que estes fiquem protegidos quando recolhidos.

4.7.4 Podem ser admitidas folgas no protetor lateral para permitir a passagem e o tensionamento dos cabos de fixação nos veículos equipados com pontos de ancoragem destinados a transportes do tipo roll on–roll off.

4.7.5 Se as laterais do veículo no seu projeto, pela forma e características dos seus componentes em conjunto, atenderem aos requisitos deste anexo, devem ser considerados como uma substituição aos protetores laterais.

5 Marcação

Pelo menos uma seção do protetor lateral deve ter a marcação referente ao conjunto do protetor lateral com as seguintes informações:

- a) nome de fabricante;
- b) CNPJ do fabricante.