

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**FELIPE DE FREITAS THOMPSON
JOÃO ALBERTO FIORESI ALTOÉ**

**DEFENSAS METÁLICAS: UMA EVOLUÇÃO NA SEGURANÇA DAS
ESTRADAS**

**VITÓRIA
2012**

**FELIPE DE FREITAS THOMPSON
JOÃO ALBERTO FIORESI ALTOÉ**

**DEFENSAS METÁLICAS: UMA EVOLUÇÃO NA SEGURANÇA DAS
ESTRADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecânica do Centro
Tecnológico da Universidade Federal do
Espírito Santo, como requisito parcial
para obtenção do grau de Engenheiro
Mecânico.

Orientador: Dr. Ângelo Gil Pezzino
Rangel.

VITÓRIA
2012

THOMPSON, Felipe de Freitas; ALTOÉ, João Alberto Fioresi

Defensas Metálicas: uma evolução na segurança das estradas /Felipe de Freitas Thompson; João Alberto Fioresi Altoé – 2012.

84f

Orientador: Dr. Ângelo Gil Pezzino Rangel

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Defensas Metálicas. 2. Desempenho. 3. Normas

I. THOMPSON, Felipe de Freitas; II. ALTOÉ, João Alberto Fioresi. III. Universidade Federal Do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica. IV. Defensas metálicas: Uma evolução na segurança das estradas.

**FELIPE DE FREITAS THOMPSON
JOÃO ALBERTO FIORESI ALTOÉ**

**DEFENSAS METÁLICAS: UMA EVOULUÇÃO NA SEGURANÇA DAS
ESTRADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Aprovado em 23 de julho de 2012.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Angelo Gil Pezzino Rangel
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Marcio Coelho de Mattos
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Prof. Eng. Oswaldo Paiva Almeida Filho
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao apoio e suporte dos nossos familiares, sem os quais a realização desse projeto teria sido muito mais árdua.

Queremos também agradecer ao suporte da equipe de assistência técnica da ArcelorMittal Tubarão (CVA), que nos deu informações cruciais e cuja ajuda foi fundamental para a escolha e desenvolvimento do tema, em especial o gerente de assistência técnica Andre Carvalho Prado e o especialista Ralph Telles dos Anjos pelos conselhos e auxílio na parte técnica, imprescindíveis para realização do projeto.

Não poderíamos também deixar de agradecer a equipe do centro de P&D da ArcelorMittal Liège, em particular ao pesquisador Luca Felappi pela ajuda nas simulações numéricas.

Igualmente nosso agradecimento ao professor Angelo Gil Pezzino Rangel, orientador do projeto, que sempre esteve disponível e pronto para nos ajudar em problemas encontrados ao longo do desenvolvimento do projeto.

RESUMO

Nos dias atuais, a segurança é muito importante e fundamental em qualquer dimensão. Nas rodovias não é diferente. As estatísticas negativas deixam todos preocupados com a quantidade e gravidade dos acidentes. Aspectos sociais, políticos e econômicos estão vinculados a um simples acidente em rodovias.

Dessa forma visando melhorar a segurança nas estradas, foi realizada uma análise das barreiras de proteção utilizadas no Brasil comparado-as com as existentes em outros países (Europeus), e o resultado foi à baixa qualidade dos produtos aqui utilizados. Concluiu-se a necessidade de alteração das normas vigentes no país para garantir a melhoria da qualidade, cujo processo foi iniciado em 2011.

Para acelerar o processo de alteração da norma, um novo projeto de defensa metálica foi desenvolvido pela Arcelormittal Tubarão, dentro das especificações das normas e desempenhos econômicos brasileiros, porém com desempenho mecânico e qualidade nos padrões europeus.

Este trabalho faz um paralelo entre as normas brasileiras e europeia, e também entre a defensa metálica comumente utilizada no Brasil e a nova defensa desenvolvida pela ArcelorMittal Tubarão em conjunto com o centro de P&D da ArcelorMittal na Bélgica.

Por fim, foi feita uma comparação do desempenho de ambas as defensas e o estudo da viabilidade econômica da nova defensa comparando-a com a utilizada atualmente, chegando-se a um resultado custo x benefício.

Palavras-Chave: Defensa metálica. Normas. Desempenho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Novos Perfis	14
Figura 2- Defensa Perfil Armco	15
Figura 3: Queda na taxa de acidentes/veículos.....	16
Figura 4 - Conveção do sentido positivo dos eixos e localização do acelerômetro .	23
Figura 5: <i>Working Width</i>	25
Figura 6: <i>Dynamic Deflection</i>	26
Figura 7: Vehicle intrusion	26
Figura 8: Trajetórias de saída.....	31
Figura 9: Guia de Deslizamento.	35
Figura 10: Instalação de postes de defensas metálicas.	36
Figura 11: Extremidades das defensas	36
Figura 12: Perfil C110 Brasileiro.....	37
Figura 13: Perfil Defensa Metálica Semimaleável	38
Figura 14: Bobinas de aço e uma barreira de proteção em uma rodovia	39
Figura 15: Bobinas Novas e uma Barreira de Proteção certificada pela EN 1317 em uma Rodovia.....	40
Figura 16: Contato node- surface	46
Figura 17: Contato single-surface e surface-surface.	46
Figura 18: contato spotweld.....	47
Figura 19: Defensa metálica semimaleável simples de dupla onda.	49
Figura 20: Perfil da nova Defensa sem espaçador	50
Figura 21: Modelo de defensa usada na simulação	52
Figura 22: Teste de impacto TB11 na defensa metálica atual.....	53
Figura 23: vista superior da defensa metálica atual mostrando o CEN Box	53
Figura 24: simulação do teste TB42 vista do caminhão no momento do impacto ..	54
Figura 25: Teste TB11 do carro no momento do impacto.....	55
Figura 26: vista superior da defensa metálica nova mostrando o CEN-Box.....	55
Figura 27: Teste TB42 vista do caminhão no momento do impacto.....	56
Figura 28: Viabilidade econômica defensa antiga x defensa nova	60
Figura 29: Acidentes Rodoviários na Europa em 2006.....	67
Figura 30: Evolução do número de mortes em acidentes rodoviários na UE27 (2000-2008)	68

Figura 31: Defensa maleável simples.....	73
Figura 32: Defensa maleável dupla	73
Figura 33: defensa semimaleável simples.....	74
Figura 34: Defensa semimaleável dupla.....	74
Figura 35: defensa tripla onda simples	75
Figura 36: defensa tripla onda dupla	75
Figura 37: Detalhes da lâmina dupla onda (dimensões em milímetros)	76
Figura 38: Perfil C-150 dupla onda (dimensões em milímetros)	77
Figura 39: Espaçador semimaleável.....	78
Figura 40: Plaqueta	79
Figura 41: Calço	79
Figura 42: parafusos M16 utilizados na fixação das defensas metálicas	80
Figura 43: Desenho técnico referente à nova defensa metálica desenvolvida	81
Figura 44: Defensa metálica modelada mostrando a malha utilizada para simulação	82
Figura 45: Modelo Geo Metro usado nas simulações.....	83
Figura 46: Modelo do caminhão de 9960kg usado nas simulações	83
Figura 47: Vista do modelo de solo usado nas simulações numéricas.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quadro comparativo do número de mortes em relação ao tamanho da população.....	16
Tabela 2 - Efeito da instalação das defensas metálicas	18
Tabela 3 - Classificação dos níveis de <i>Working Width</i>	25
Tabela 4 - <i>Vehicle Intrusion</i>	27
Tabela 5 - Classe de Gravidade do Impacto.	28
Tabela 6 - Testes de impacto.	29
Tabela 7 - Critério para a saída do CEN Box.	30
Tabela 8 - Elementos que compõem uma Defensa maleável.	50
Tabela 9 - Elementos que compõem uma nova Defensa maleável.....	51
Tabela 10 - Resultados teste TB11 Índices de desempenho	54
Tabela 11 - Resultados teste TB11 Índices de desempenho	54
Tabela 12 - Resultados teste TB11 - Índices de desempenho	55
Tabela 13 - Resultados teste TB42 - Índices de desempenho	56
Tabela 14 - Dados do aço CF24.....	59
Tabela 15 - Dados do aço da Nova Defensa metálica.....	60
Tabela 16- Níveis de contenção	69
Tabela 17 - Propriedades mecânicas mínimas necessárias para os aços utilizados na fabricação de defensas metálicas.....	71
Tabela 18 - Tipos de ensaio, frequência de amostragem e frequência de ensaios a serem realizados nos aços para fabricação de defensas metálicas.	72
Tabela 19- Propriedades do ARBL e de um aço estrutural	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍGLAS

AT	Acidentes de trânsito
IPR	Instituto de Pesquisa Rodoviário
CEDR	Conferência Europeia de Administração Rodoviária
NBR	Norma Brasileira
EM	Norma Europeia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEN	Comitê Europeu de Normatização
ASI	<i>Acceleration Severity Index</i>
THIV	<i>Theoretical Head Impact Value</i>
VPTC	Veículo pesado de transporte de carga
W	<i>Working width</i>
NCRHP	Norma Norte Americana
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
TB	Teste de impacto
CE	Comissões de Estudo
CEST	Comissões de estudo de segurança no tráfego
EU	União Europeia

LISTA DE SÍMBOLOS

\hat{a}_x	Valores de acelerações Máximos aceitáveis [m/s ²]
\bar{a}_x	Valores de acelerações Medidos [m/s ²]
f_{n+1}^{ext}	Forças Externas [N]
f_{n+1}^{int}	Forças Internas [N]
du	Incremento do Deslocamento [m]
u	Deslocamento Total [m]
dE	Incremento de Energia [W/s]
E	Energia Total [W/s]
\dot{u}_n	Velocidade Instante n [m/s]
\ddot{u}_n	Campo de aceleração [m/s ²]
\ddot{u}_n	Campo de aceleração [m/s ²]

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 HISTÓRIA E EVOLUÇÃO	14
1.2 MOTIVAÇÃO	15
1.3 OBJETIVO.....	18
2 DEFINIÇÃO E FUNÇÃO	20
2.1 PRINCIPAIS COMPONENTES	20
3 NORMAS EXISTENTES	22
3.1 NORMA EUROPEIA – EN 1317.....	22
3.1.1 Índices de Desempenho	22
3.1.1.1 <i>Acceleration Severity Índex (ASI)</i>	22
3.1.1.2 <i>Working Width, Dynamic Deflection e Vehicle Intrusion</i>	24
3.1.1.3 <i>Theoretical Head Impact Value</i>	27
3.1.1.4 <i>Post Impact Head Deceleration</i>	27
3.1.1.5 Gravidade do Impacto	27
3.1.2 Níveis de desempenho.....	28
3.1.3 Comportamento do Veículo de Teste	29
3.2 NORMAS BRASILEIRAS (NBR 6970, NBR 6971, NBR 15486)	32
3.2.1 ABNT NBR 6970 – Defensas metálicas zinkadas por imersão a quente	32
3.2.2 ABNT NBR 6971 – Defensas metálicas – Projeto e implantação	32
3.2.3 ABNT NBR 15486 – Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes	33
3.2.4 Locais e características de instalação	33
3.3 COMPARAÇÕES ENTRE NORMAS	38
3.3.1 Alteração da Norma Brasileira	41
4 SIMULADOR: LS-DYNA.....	43
4.1 MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO.....	44
4.1.1 Método de integração com tempo implícito.....	44
4.1.2 Método de integração com tempo explícito:.....	45

4.1.3 Contato.....	46
4.1.4 Energia de Contato.....	48
5 CARACTERÍSTICAS DAS DEFENSAS METÁLICAS	49
5.1 DEFESA ATUAL.....	49
5.2 DEFESA NOVA	50
6 SIMULAÇÕES NUMÉRICAS.....	52
6.1 DEFESA ATUAL.....	52
6.1.1 Resultados	53
6.2 DEFESA NOVA	54
6.2.1 Resultados	55
6.3 CONCLUSÃO TÉCNICA.....	56
7 ANÁLISE ECONÔMICA	58
7.1 DEFESA ATUAL.....	59
7.2 DEFESA NOVA	59
7.3 FRETE.....	61
7.4 CUSTOS QUALITATIVOS	62
7.4.1 Comparativo Custo x Benefício	62
8 CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS.....	65
ANEXO A - ESTATÍSTICAS DA IMPORTÂNCIA DAS BARREIRAS DE PROTEÇÃO NAS ESTRADAS.....	67
ANEXO B – TABELAS E IMAGENS PRESENTES NAS NORMAS EN 1317, NBR 6970, NBR 6970, NBR 6971 E NBR 15486.	69
ANEXO C – PROPRIEDADES DAS DEFENSAS METÁLICAS.....	81
ANEXO D – CARACTERÍSTICA DAS SIMULAÇÕES.....	82

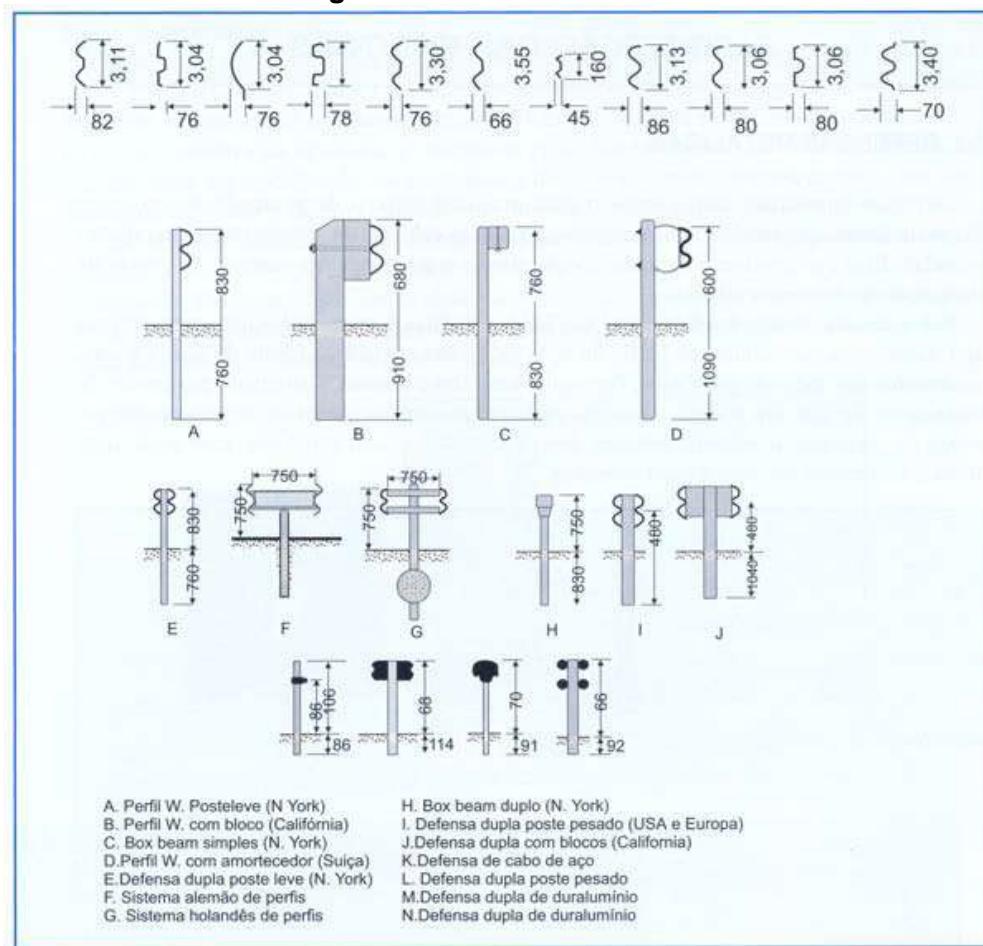
1 INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRIA E EVOLUÇÃO

As defensas são o mais tradicional dispositivo de contenção de veículos desgovernados, que tendem a sair pelas laterais ou subir nos canteiros centrais. Por isso, ela passou por sucessivos estudos, testes, para chegarem até o modelo atual.

Nas décadas de 50 e 60, realizaram-se muitas pesquisas para o aprimoramento dos projetos das defensas metálicas, já que era uma situação comum os veículos ultrapassarem as defensas ou com elas se chocarem perigosamente. Novos perfis foram desenvolvidos (Figura 1).

Figura 1:Novos Perfilis



Fonte: BRANCO.1999

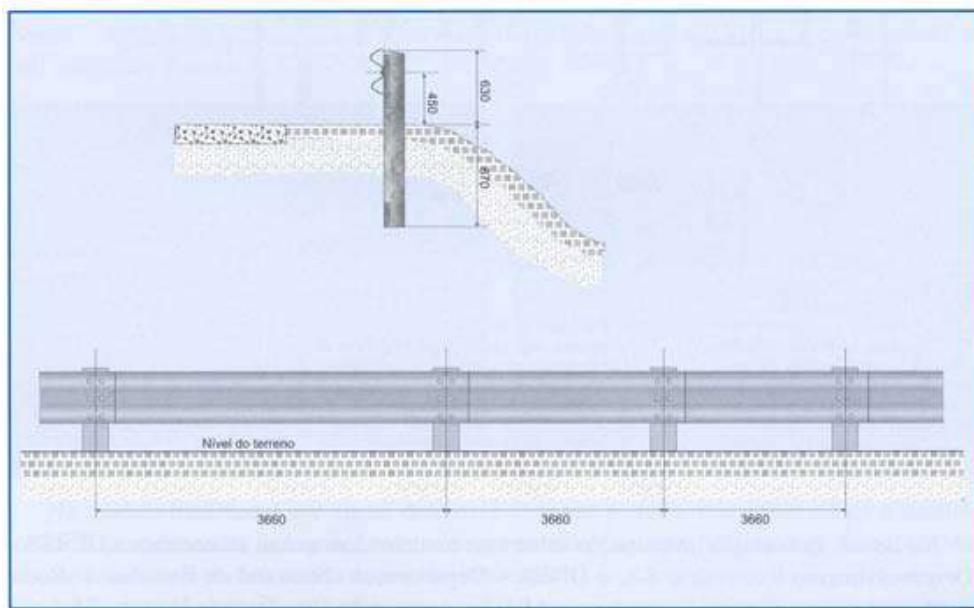
Entretanto, muitos riscos foram encontrados, dentre os quais, lâminas metálicas com bordas cortantes, lâminas fixadas diretamente nos postes (maior resistência nas regiões dos postes), fixação dos postes com cavadeiras (pouco esforço para a

retirada do poste), sistemas com lâmina maleável (esforços diferentes no vão e no poste). Por esta razão foram necessários ainda mais testes.

Em prol das deficiências encontradas nas defensas até aqui e buscando não apenas que os veículos ficassem contidos na pista, mas sim, a segurança dos passageiros, especialmente a Alemanha e a França, na década de 60, desenvolveram estudos minuciosos para aprimorar a função das defensas.

Até a década de 60, os modelos dos EUA e Brasil eram conhecidos como Armco, conforme Figura 2. Eram constituídos de perfis de aços moldados, justapostos por meio de parafusos, com uma tira contínua e sustentados por postes de madeira (no Brasil utilizava-se muito o eucalipto com seções quadradas, enterrados no solo a cada 4 metros) ou aço.

Figura 2- Defensa Perfil Armco



Fonte - BRANCO.1999

1.2 MOTIVAÇÃO

Hoje em dia a maioria dos acidentes fatais do mundo é ocasionada por conta dos acidentes de trânsito (AT), que representam cerca de 20% do total de fatalidades. Isso mostra como é importante que medidas sejam tomadas para minimizar esse quadro. Assim, políticas adotadas em países da Europa e também nos EUA, onde o

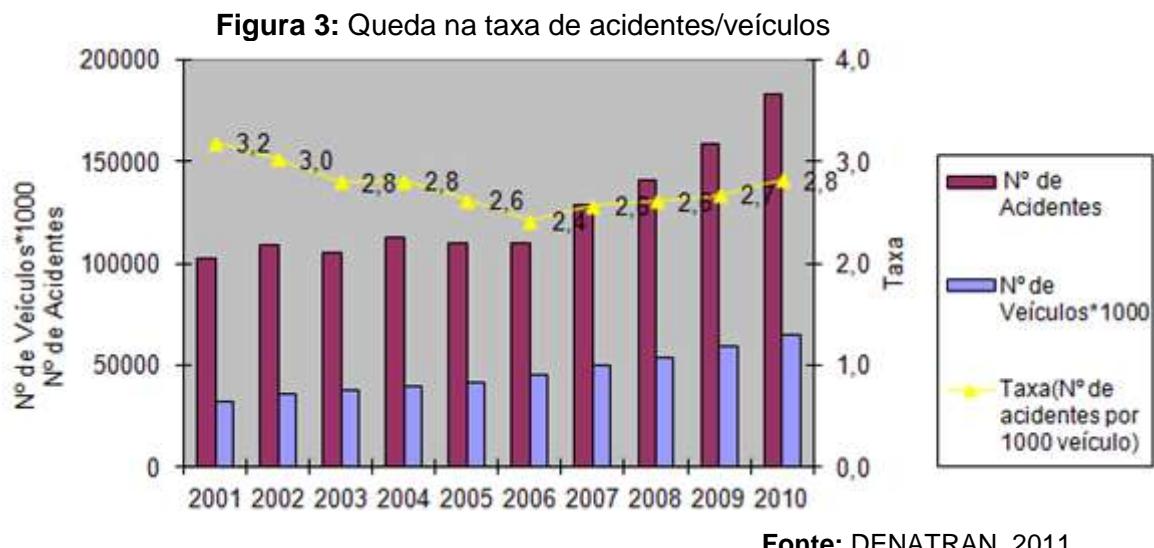
resultado foi muito bom, com redução das fatalidades, devem ser adotadas no Brasil também, buscando os mesmos objetivos. A Tabela 1 mostra essa comparação dita acima:

Tabela 1 - Quadro comparativo do número de mortes em relação ao tamanho da população.

Quadro comparativo entre Brasil, EUA e União Européia - 2008			
País	Mortes por AT em 2008	População 2008 (milhões)	Coeficiente de mortalidade/100 mil hab.
Brasil	57.116	189,6	30,1
Estados Unidos	37.261	304,0	12,5
União Européia	38.876	498,0	7,8

Fonte: International Transport, European Comission Transport

Com os esforços do governo brasileiro, como podemos ver na Figura 3, o número de acidentes diminuiu levemente quando comparado com ao crescimento da frota de veículos, já que dos anos 2001 até 2010, a frota de veículos aumentou 119% e o número de acidentes cresceu apenas 68%, como mostra o gráfico abaixo:



O alto custo proporcionado pelos acidentes é outro fator que merece destaque. As despesas com acidentes abrangem não apenas gastos com socorro, congestionamentos e danos ao patrimônio. Abrange também o caso em que há vítima fatal, visto que a maioria das fatalidades ocorre na faixa etária de 20 a 50 anos. O que proporciona outro custo ainda mais elevado, já que, de acordo com estudos realizados na União Europeia, um cidadão somente paga todo o dinheiro

recebido do Estado quando está na faixa de 35 a 40 anos. Estima-se que os gastos por ano com acidentes de trânsito nos EUA é da ordem de 150 bilhões de dólares, na Europa cerca de 200 bilhões de euros e no Brasil entre 30 e 35 bilhões de reais, segundo o IPR (Instituto de Pesquisas Rodoviárias).

A segurança nas estradas depende principalmente de fatores sociais (educação do condutor, prática do bom exemplo e policiamento rigorosos) e da infraestrutura (qualidade da via desde sua construção, manutenção e operação). Portanto o desenvolvimento de novas maneiras para aumentar a segurança nas estradas é contínuo, quer sejam com ações sobre o condutor, o veículo ou a infraestrutura.

Neste contexto, o CEDR (Conferência Europeia de Administração Rodoviária) avaliou e concluiu que uma das melhores formas de investimento para redução de acidentes, com relevância ao seu custo-benefício, é o desenvolvimento de retenções ao longo da via. Como os principais objetivos dos dispositivos de retenção são:

- Redirecionar o veículo a pista com ângulo menor que ele entrou;
- Absorção de energia, diminuindo o impacto do veículo e a gravidade do acidente;
- Proteção, barreira contra áreas perigosas;
- Evitar que o veículo volte para a estrada.

Elvik e Vaa (2004) lançaram o *The Handbook of Road Safety Measures*, livro que consiste de quatro partes. Neste livro são descritas 124 medidas de segurança adotadas em diferentes tipos de estradas, mostrando a efetividade de cada uma e também uma tentativa de mostrar os efeitos indesejados que elas podem ter na mobilidade e no meio ambiente. Eles também abordam assuntos como custos e custo x benefício. Veja a Tabela 2, que indica o efeito da instalação das defensas metálicas de acordo com o estudo conduzido por eles.

Tabela 2 - Efeito da instalação das defensas metálicas

Defensas Metálicas Regulamentadas ao longo de Taludes			
Gravidade do Acidente	Tipo de Acidente Afetado	Melhor Estimativa %	Intervalo de Confiança de 95%
Acidentes Fatais	Veículo saindo da estrada	-44	-54...-32
Acidentes com Feridos	Veículo saindo da estrada	-47	-52...-41
Taxa de Acidentes	Veículo saindo da estrada	-7	-35...+33

Fonte: ELVIK e VAA, 2004, adaptado

Pela Tabela 2 mostrada é possível ver que o uso de defensas certificadas (o estudo foi baseado na norma europeia EN 1317) provoca uma diminuição no número de acidentes tanto fatais quanto com feridos, diminuindo também a taxa de acidentes. Sendo este mais um estudo que corrobora com a premissa que o uso de defensas metálicas em determinadas situações contribui para o aumento da segurança nas estradas

1.3 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é fazer uma análise criteriosa do projeto de desenvolvimento de uma nova defensa metálica para o mercado brasileiro feito pela ArcelorMittal Tubarão, em conjunto com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da ArcelorMittal em Liège na Bélgica.

Assim, mostraremos a engenharia existente por trás do projeto, o cenário e a fundamentação teórica que serviram como base para o desenvolvimento da nova defensa.

O primeiro passo que serviu de base para o projeto de criação de uma nova defensa metálica foi à necessidade de se alterar as normas brasileiras referentes a barreiras de proteção nas estradas. Processo ainda em andamento.

Como a norma brasileira não prevê testes para análise de desempenho, então, além de se ter uma ideia da qualidade das defensas metálicas utilizadas no Brasil, tornou-se possível compará-la não apenas com a nova defensa desenvolvida, mas também com os padrões adotados na Europa para aprovação de barreiras de proteção.

Foi imposto que o novo sistema de contenção deveria apresentar melhor qualidade e garantir maior segurança dos usuários de rodovias que os modelos existentes atualmente no Brasil. E também proporcionar um ganho econômico tanto para a ArcelorMittal quanto para os fabricantes de defensas metálicas existentes.

De tal modo, foi necessário um estudo de viabilidade econômica para comprovar que o novo modelo de defensa metálica fosse capaz de competir com os modelos existentes.

Após a realização do estudo sobre a qualidade e o preço, foi estabelecida uma relação custo x benefício que permite definir qual das duas defensas é a mais adequada para uso nas estradas e rodovias brasileiras.

2 DEFINIÇÃO E FUNÇÃO

Defensa metálica é um dispositivo de contenção contínua, constituído de perfis metálicos, implantado ao longo das vias com circulação de veículos, projetado na sua forma, resistência e dimensões, para conter e redirecionar os veículos desgovernados, absorvendo parte da energia cinética do veículo, pela deformação do dispositivo [NBR 6971]. É bastante utilizado para proteção nas estradas e rodovias, sendo constituída basicamente de uma lâmina fina de aço com um perfil geralmente em “W” montada diretamente ou através de espaçadores em postes de aço ancorados regularmente ao longo da via.

São instalados ao longo das vias de circulação de veículos, na lateral, no canteiro central, em pontes e bordas de aterro, enfim, em locais perigosos nos quais, em caso de acidente, os danos causados são minimizados pela presença da defensa metálica.

Dessa forma, os principais objetivos da instalação de defensas metálicas são [EN1317, 2010]:

- Evitar que o veículo retorne para a estrada;
- Redirecionar com segurança um veículo desgovernado com um ângulo menor do que aquele com o qual ele atingiu a defensa metálica;
- Absorver o máximo de energia cinética possível, para desacelerar o veículo e tornar a batida o menos violento possível;

2.1 PRINCIPAIS COMPONENTES

Os principais componentes de uma defensa metálica são [NBR 6971 e NBR 15486]:

- Lâmina: componente de defensa metálica projetado para receber o impacto eventual de um veículo e servir de guia para a sua trajetória após o choque, contendo e redirecionando o veículo.
- Poste: componente de defensa metálica fixado ao solo, que além de sustentar o conjunto na sua altura de projeto, absorve parte da energia resultante da colisão de veículos.

- Espaçador: componente de defesa intermediário entre a lâmina e o poste, o qual mantém o afastamento entre estes, evitando o impacto direto de veículos com o poste e prevenindo o fenômeno de enganchamento.
- Calço: peça de apoio da lâmina dupla onda nas defensas semimaleáveis.
- Garra: peça usada em conjunto com o espaçador, dimensionada de modo que através do cisalhamento de seus parafusos de fixação ao poste, causado pelo impacto, mantenha aproximadamente a altura original da lâmina.
- Elementos de fixação: peças destinadas a fixar, firmemente, um componente de defesa ao outro, constituídas de parafusos, porcas, arruelas e plaquetas.

Barreira de proteção: dispositivo de contenção lateral longitudinal à via, colocado de forma contínua, utilizado para escudar (proteger) os motoristas dos obstáculos fixos laterais à via, sejam eles naturais ou feitos pela mão do homem, e também para proteger os usuários vulneráveis das rodovias. Podem ser barreiras de concreto, defensas metálicas, defensas de cabos ou outros elementos de contenção similares.

3 NORMAS EXISTENTES

3.1 NORMA EUROPEIA – EN 1317

Há alguns anos atrás, cada país europeu tinha seus próprios métodos para testar e avaliar o desempenho de dispositivos de segurança para vias de circulação de veículos. Isto tornava complicado o aproveitamento dos resultados por todos os países.

Visto que o custo de um teste de impacto gira em torno de 25 mil euros para um veículo leve, fica meio óbvio porque é preferível que os testes sejam realizados nas mesmas condições não importando o país, evitando assim que um mesmo produto tenha a necessidade de ser testado diversas vezes.

Também as normas existentes eram muito simples, tendo requisitos muito baixos com relação às propriedades dos materiais utilizados.

Em 1998 o Comitê Europeu de Normatização (CEN), sob ordem da União Europeia, criou o teste de impacto. A grande inovação desta norma foi agrupar os sistemas de proteção pelo desempenho conseguido nos ensaios, deixando assim maior liberdade para o desenvolvimento de novos produtos com designs e materiais variados, o que aumentou bastante os padrões de segurança nas estradas.

Segue abaixo uma explicação dos principais índices de desempenho requeridos pela norma europeia, como eles são medidos, e, como o resultado deles influencia na classificação de um dispositivo de proteção.

3.1.1 Índices de Desempenho

Todas as equações, tabelas e definições utilizadas no subcapítulo 3.1 foram retiradas da norma europeia EN 1317.

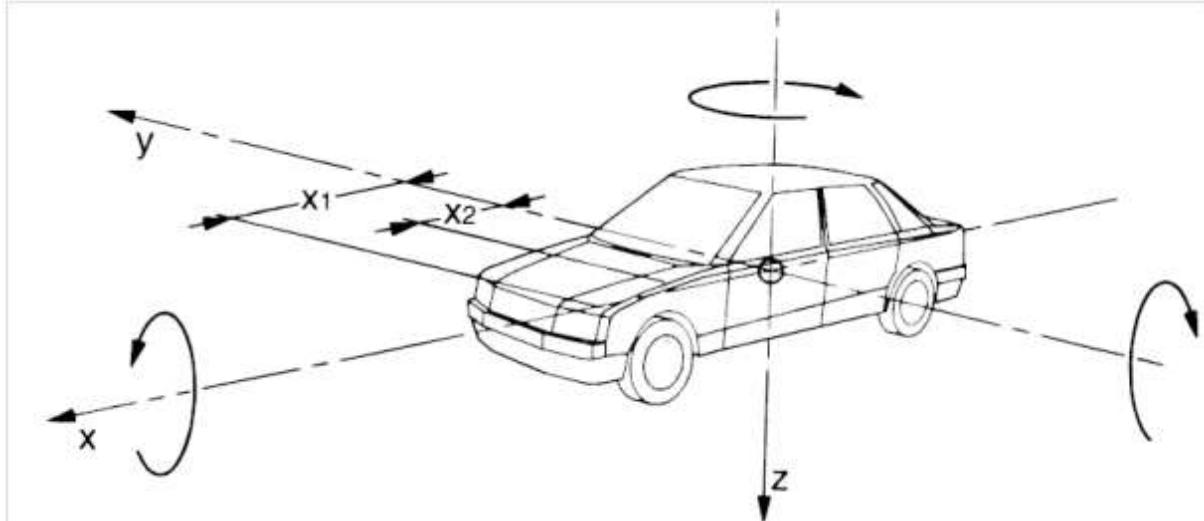
3.1.1.1 Acceleration Severity Index (ASI)

O índice ASI é medido em função do tempo, calculado usando a equação (3.1):

$$ASI(t) = \left[\left(\frac{\bar{a}_x}{\hat{a}_x} \right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_y}{\hat{a}_y} \right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_z}{\hat{a}_z} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (3.1)$$

Aonde \hat{a}_x , \hat{a}_y e \hat{a}_z são valores máximos aceitáveis (limites) que as componentes de aceleração ao longo dos eixos x, y e z, medidos em posição previamente determinada (figura 4) no interior do veículo podem atingir. Enquanto \bar{a}_x , \bar{a}_y e \bar{a}_z são componentes da aceleração medidos com um filtro digital Butterworth de 4 pólos, *phase-less, low pass* com frequência de corte de 13 Hz.

Figura 4 - Conveção do sentido positivo dos eixos e localização do acelerômetro



Fonte: EN 1317, 2010

Este índice tem o objetivo de mostrar a severidade do movimento de uma pessoa dentro do veículo durante o impacto contra uma barreira de proteção.

O aparelho utilizado para medição leva em conta o fato de que a aceleração do veículo pode ser transmitida para o corpo do ocupante através de contatos relativamente suaves, e não mede o efeito provocado pelas vibrações, resultando numa medição segura e confiável.

A equação (3.1) é a mais simples possível, na qual interagem as três variáveis x, y e z. Se quaisquer dois componentes da aceleração do veículo forem nulos, o ASI alcança seu valor limite de 1 (um) quando o terceiro componente for igual ao seu

valor limite de aceleração. Porém, quando dois ou três componentes não forem nulos, o ASI pode ser igual a 1 (um), mesmo com os valores individuais de algum componente sendo significantemente menor do que o aceitável.

Os limites de aceleração são valores abaixo dos quais o risco para o passageiro é pequeno (ferimentos leves, quando muito).

Para passageiros usando cinto de segurança, os valores máximos de acelerações aceitáveis são:

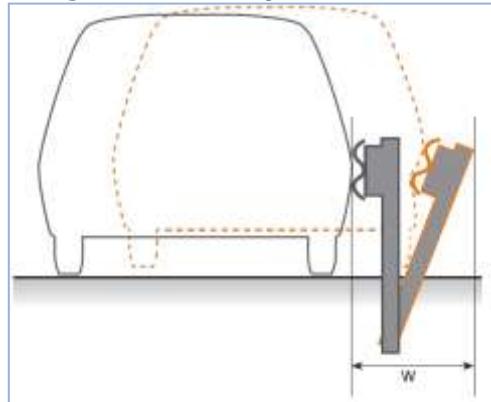
$$\hat{a}_x = 12g, \quad \hat{a}_y = 9g, \quad \hat{a}_z = 10g \quad (3.2)$$

A equação (3.1) fornece um número não dimensional, que é uma função escalar do tempo, e em geral do ponto medido dentro do veículo, tendo apenas valores positivos. Quanto mais o valor ASI exceder a unidade, maior o risco para o ocupante (no ponto medido), podendo exceder os limites de segurança. Dessa forma o valor ASI é definido pelo valor máximo atingido no intervalo durante a medição.

$$ASI = \max [ASI(t)] \quad (3.3)$$

3.1.1.2 Working Width, Dynamic Deflection e Vehicle Intrusion

A deformação de barreiras de proteção durante testes de impacto são caracterizadas pelo *working width*, *dynamic deflection* e *vehicle intrusion*.

Figura 5: Working Width

Fonte: EN1317-2, 2010

O índice *working width* é a distância máxima lateral entre qualquer ponto da superfície do dispositivo de segurança não deformado virado para o lado do tráfego e a posição mais distante que qualquer ponto do dispositivo de segurança deformado tem após a colisão (Figura 5). Se alguma parte do veículo se deformar em torno da barreira, esta não pode ser usada para se medir o *working width*, sendo a parte mais distante atingida por qualquer parte do veículo usada para medição.

Tabela 3 - Classificação dos níveis de Working Width.
CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE “WORKING WIDTH”¹

W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
$W_n \leq 0,6m$	$W_n \leq 0,8m$	$W_n \leq 1,0m$	$W_n \leq 1,3m$	$W_n \leq 1,7m$	$W_n \leq 2,1m$	$W_n \leq 2,5m$	$W_n \leq 3,5m$

Nota 1: Em casos específicos, um nível de *working width* menor do que W1 pode ser especificado.

Nota 2: A *dynamic deflection*, o *working width* e o *vehicle intrusion* permitem a determinação das condições de instalação de cada barreira de proteção e também a definir as distâncias necessárias na frente do obstáculo que permita que o sistema funcione de modo satisfatório.

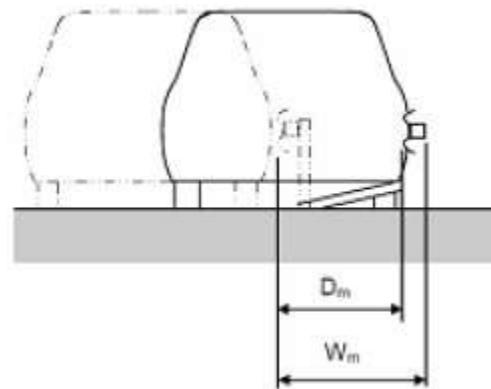
Nota 3: A deformação depende do tipo de barreira de proteção e das características do teste de impacto.

Fonte: EN1317-2

O índice *dynamic deflection* é bem similar ao *working width*. É a medida da deformação máxima de qualquer ponto da superfície do dispositivo de segurança voltado para o tráfego. A Figura 6 mostra o *dynamic deflection* e sua diferença em relação ao *working width*.

¹ Os números de *working width* (W_n) presentes na tabela 3, utilizado na classificação dos níveis é o número normalizado. O *working width* normalizado é utilizado para se corrigir divergências entre os valores medidos no teste real e os valores presentes na EN1317.

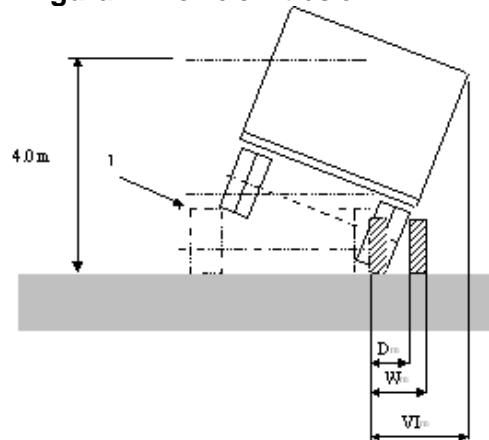
Figura 6: Dynamic Deflection



Fonte: EN1317-2, 2010

O *vehicle intrusion* é medido para veículos pesados de transporte de carga (VPTC) e ônibus. É a sua posição lateral máxima a partir do lado voltado para o tráfego da barreira não deformada. Os valores são classificados de acordo com a Tabela 4.

Figura 7: Vehicle intrusion



Fonte: EN1317-2, 2010.

Tabela 4 - Vehicle Intrusion

CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE “VEHICLE INTRUSION” ²								
VI1	VI2	VI3	VI4	VI5	VI6	VI7	VI8	VI9
VI _n ≤0,6 m	VI _n ≤0,8 m	VI _n ≤1,0 m	VI _n ≤1,3 m	VI _n ≤1,7 m	VI _n ≤2,1 m	VI _n ≤2,5 m	VI _n ≤3,5 m	VI _n >3,5 m
Nota 1: Em casos específicos, um nível de <i>vehicle intrusion</i> menor do que VI1 pode ser especificado.								
Nota 2: A <i>dynamic deflection</i> , o <i>working width</i> e o <i>vehicle intrusion</i> permitem a determinação das condições de instalação de cada barreira de proteção e também a definir as distâncias necessárias na frente do obstáculo que permita que o sistema funcione de modo satisfatório.								

Fonte: (EN1317-2, 2010)

3.1.1.3 Theoretical Head Impact Value

Para a avaliação dos níveis de severidade do impacto também é usado um conceito conhecido como *Theoretical Head Impact Value* ou THIV. O ocupante é considerado um objeto (cabeça) se movendo livremente. Quando o veículo muda de velocidade durante o impacto com dispositivo de segurança, o objeto (cabeça) continua se movendo livremente até que atinja alguma superfície no interior do veículo. A magnitude da velocidade do THIV é considerada como sendo a medida da severidade do impacto entre o veículo e o dispositivo de segurança.

3.1.1.4 Post Impact Head Deceleration

O *Post Impact Head Deceleration* (PHD) é medido logo após o THIV. É presumido que a cabeça continua em contato com a superfície durante o tempo restante de impacto. Acontecendo isso, a cabeça sofre os mesmos níveis de desaceleração do veículo durante o tempo em que ele está em contato com a defensa.

3.1.1.5 Gravidade do Impacto

A estimativa da gravidade do impacto para carros tem que ser feita utilizando ambos os índices ASI e THIV. Nesse caso os valores dos índices devem estar em conformidade com os requerimentos da Tabela 5

² Os números de *vehicle intrusion* (VI_n) presentes na tabela 4, utilizado na classificação dos níveis é o número normalizado. O *vehicle intrusion* normalizado é utilizado para se corrigir divergências entre os valores medidos no teste real e os valores presentes na EN1317.

Em função dos valores obtidos nos testes ASI e THIV, são definidas três diferentes maneiras de classificação da gravidade do impacto, sendo as classes A, B e C.

Tabela 5 - Classe de Gravidade do Impacto

Classe de Gravidade do Impacto	Valores dos Índices
A	ASI \leq 1,0
B	1 $<$ ASI \leq 1,4
C	1,4 $<$ ASI \leq 1,9

Fonte: (EN 1317-2, 2010)

3.1.2 Níveis de desempenho

Na norma EN 1317 as barreiras de proteção são classificadas de acordo com o nível de contenção, ou seja, se eles foram projetados para conter veículos leves ou grandes caminhões (VPTC – veículo pesado de transporte de carga). Desta maneira, têm-se diferentes tipos de barreiras de proteção para diferentes propósitos. Portanto, cada nível é testado de uma maneira diferente.

Apesar de existirem diversos tipos de testes, eles são muito similares. Consistem basicamente de um veículo que atinge a barreira de proteção com uma dada velocidade e ângulo. O peso e o tipo de veículo também variam de acordo com cada teste.

Na Tabela 6 estão listados os testes de impacto existentes, enquanto que a Tabela 16 contida no anexo B mostra os níveis de contenção existentes e quais testes de impacto são necessários para validar cada nível de dispositivo.

Tabela 6 - Testes de impacto.

Teste	Velocidade de impacto (km/h)	Ângulo de impacto (graus)	Massa total (kg)	Tipo de veículo
TB11	100	20	900	Carro
TB21	80	8	1300	Carro
TB22	80	15	1300	Carro
TB31	80	20	1500	Carro
TB32	110	20	1500	Carro
TB41	70	8	10000	VPTC rígido
TB42	70	15	10000	VPTC rígido
TB51	70	20	13000	Ônibus
TB61	80	20	16000	VPTC rígido
TB71	65	20	30000	VPTC rígido
TB81	65	20	38000	VPTC articulado

Fonte: (EN1317-2, 2010)

3.1.3 Comportamento do Veículo de Teste

Durante e após o impacto, não mais do que uma roda do veículo deverá passar sobre a parte mais alta do dispositivo de segurança deformado. O veículo não pode capotar durante ou após o impacto.

Para testes com VPTC, não mais do que 5% da massa do cascalho pode ser separado ou derramado durante o teste. Inclusive até o momento em que o veículo saia da área de teste (o cascalho é adicionado ao carro para que o peso do veículo testado, bem como a distribuição do peso seja igual a do veículo totalmente ocupado).

O veículo deve deixar o dispositivo de segurança após o impacto de modo que o trajeto das rodas não atravesse uma linha paralela à face inicial da barreira voltada para o tráfego. Esta linha paralela se localiza a uma distância A, mais a largura do veículo, mais 16% do comprimento do veículo, limitada a uma distância B do último

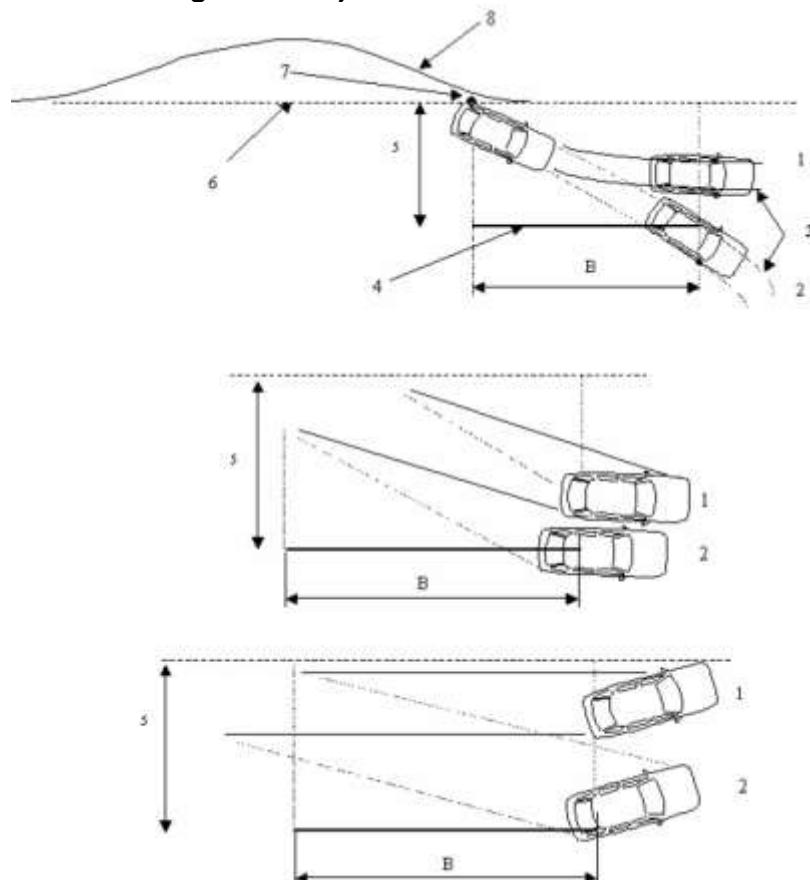
ponto P, conforme Figura 8(*CEN Box*), onde o último trajeto das rodas re-atravessa após impacto inicial a linha em que se encontrava originalmente a face inicial da barreira voltada para o tráfego. Este retângulo formado pelas linhas A e B é chamado de *CEN Box*, e se alguma roda do carro sair deste retângulo, a barreira de proteção é reprovada no teste de impacto.

Tabela 7 - Critério para a saída do *CEN Box*

Tipo de veículo	A (m)	B (m)
Carros	2,2	10
Outros veículos	4,4	20

Fonte: (EN1317-2, 2010)

Figura 8: Trajetórias de saída.



Fonte: EN1317, 2010

Aprovado

1. Reprovado
2. Trajetória das rodas
3. Comprimento da linha de saída
4. $A + \text{largura do veículo} + 16\% \text{ do comprimento do veículo}$
5. Face inicial da barreira voltada para o tráfego
6. Ponto P
7. Formato da barreira deformada

3.2 NORMAS BRASILEIRAS (NBR 6970, NBR 6971, NBR 15486)

3.2.1 ABNT NBR 6970 – Defensas metálicas zincadas por imersão a quente

Esta norma foi criada inicialmente em 1975, tendo sido revisada pela primeira vez em 1999. Atualmente sua versão mais recente foi publicada em fevereiro de 2012, e tem como objetivo especificar os requisitos mínimos para o recebimento de defensas metálicas de perfis zincados por imersão a quente.

Nesta norma estão discriminadas as propriedades mecânicas mínimas que o aço constituinte da defesa metálica deve ter, bem como os métodos de ensaio a que as defensas metálicas e seus componentes devem ser submetidos a fim de garantir a qualidade das mesmas (ANEXO B).

3.2.2 ABNT NBR 6971 – Defensas metálicas – Projeto e implantação

A primeira versão desta norma foi lançada em 1983, vindo a ser revisada somente em 1999. Sua terceira e atual versão foi lançada em abril de 2012. Esta norma especifica as características requeridas para as defensas metálicas, quanto à sua implantação.

Nela estão especificadas as formas, dimensões e tolerâncias que as defensas metálicas devem possuir. Também contém a maneira adequada de implantação e os desenhos técnicos de todos os modelos prescritivos de defensa metálica e de suas partes.

Um aspecto interessante é que nesta última revisão da norma foi adicionado um parágrafo permitindo a instalação de outros modelos de defensas metálicas (diferentes das maleáveis e semimaleáveis), desde que atendam às normas internacionais, e sejam ensaiadas e aprovadas de acordo com NCRHP *report 350* (norma vigente nos EUA) ou EN 1317, especificando seu nível de contenção de acordo com as referidas normas.

3.2.3 ABNT NBR 15486 – Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes

Esta norma foi publicada em maio de 2007 e estabelece diretrizes para o projeto de dispositivos de contenção viária. Ela se aplica aos novos projetos viários, duplicações, reconstruções ou adequações.

Ela explica detalhadamente os locais onde se devem instalar barreiras de proteção. Ela esclarece o fato de que proteções laterais são necessárias somente quando puderem reduzir a severidade dos acidentes, garantindo a condição de que o impacto contra a barreira de proteção tenha consequências menos graves do que atingir um objeto fixo, uma área acidentada ou algum usuário vulnerável (pedestre, ciclista e expectadores ao longo da via) da rodovia.

Outro aspecto interessante desta norma, é que ela foi a primeira a citar as normas europeia EN 1317 e a norte americana NCHRP 350, mostrando critérios de desempenho, como níveis de contenção e testes de impacto.

Esta norma encontra-se em revisão, com o objetivo de incluir itens de desempenho.

3.2.4 Locais e características de instalação

As normas brasileiras que determinam a necessidade de instalação de defensas são as NBR 6970 e NBR 6971. Segundo essas normas as condições básicas nas quais as defensas são necessárias são as seguintes:

1. Pistas em aterros, especialmente sobre aterros altos e/ou com taludes laterais íngremes;
2. Estradas com pistas separadas, com canteiros centrais estreitos e grandes volumes de tráfego;
3. Estradas com obstáculos nas áreas laterais e objetos que possam oferecer riscos, tais como estruturas e acessórios.

Estas três categorias básicas para instalação de defensas dependem ainda de um número de condições relacionadas abaixo:

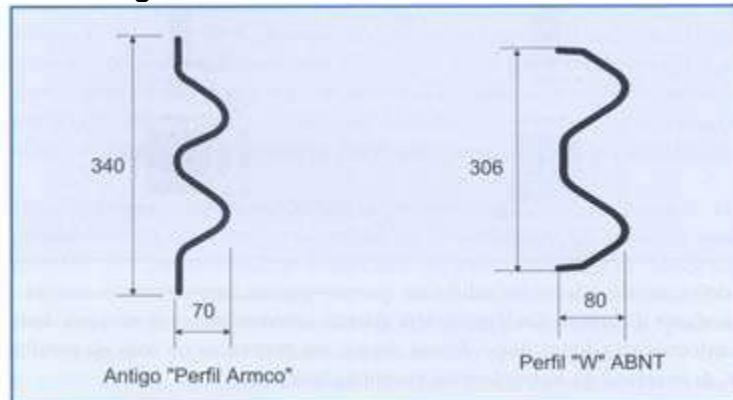
- Altura do aterro;
- Inclinação dos taludes do aterro;
- Largura do acostamento e/ou pista
- Curvatura horizontal (traçado);
- Curvatura vertical (perfil);
- Condições da zona lateral;
- Condições climáticas;
- Tipo ou classe da estrada;
- Características do tráfego, especialmente volume e velocidade;
- Incidência de acidentes.

Como princípio básico, a rodovia deve ser projetada através de disposições criteriosas e equilíbrio das características geométricas de modo a eliminar ou minimizar a necessidade de defensas. A responsabilidade pela colocação das defensas e de outros dispositivos de proteção deve ser atribuída, principalmente, ao engenheiro projetista, que determina e coordena todos os aspectos do projeto rodoviário. A verificação e ajuste finais através de experiência operacional e inspeção de campo devem ser parte integrante do processo global.

Esses são apenas alguns dos itens tratados nas normas que além de determinar os locais necessários para instalação, apresentam os métodos de instalação, quer quanto às dimensões, como quanto à geometria.

Após inúmeros testes e simulações, os alemães e franceses chegaram a conclusões análogas. Os estudos feitos por eles consagraram características indispensáveis nas defensas e que foram assumidos como fundamentais para os estudos brasileiros, inclusive para a normatização. Dessa maneira, as principais características que uma defesa é obrigada a apresentar para desempenhar seu papel da melhor forma possível, são os seguintes:

Figura 9: Guia de Deslizamento.



Fonte: BRANCO, 1999

- O desenho da lâmina ou guia de deslizamento deve ter bordas não cortantes (Figura 9).
- A defensa deve ser contínua, portanto, as suas juntas parafusadas e a própria lâmina de aço não podem se romper. Desse critério resultaram as especificações do aço e o desenho das juntas.
- A defensa deve deformar-se, absorvendo a maior parte da energia cinética do veículo, evitando impactos fortes nos passageiros e devolvendo o veículo a sua diretriz inicial, com ângulo pequeno de retorno e baixa velocidade.
- A resistência do conjunto ao impacto deve ser a mais uniforme possível.
- A guia de deslizamento deve ficar afastada dos postes de sustentação, de maneira a evitar choques do veículo com esses postes.
- A fixação dos postes ao solo deve ser feita através do emprego de bate-estacas (Figura 10). Quando aplicadas sobre pisos de concreto devem ter chumbadores de grande resistência à tração.

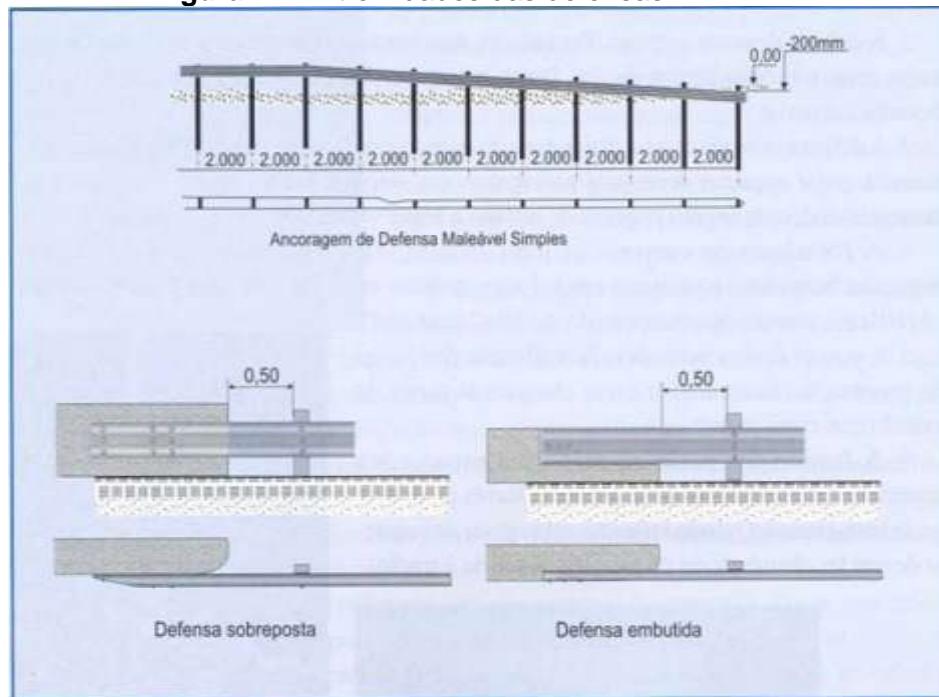
Figura 10: Instalação de postes de defensas metálicas.



Fonte: BRANCO, 1999

- As defensas não podem ter saliências que provoquem danos maiores aos veículos. Por isso, os parafusos das junções das lâminas têm cabeças arredondadas e porcas pelo lado interno.
- As extremidades livres das defensas devem ser ancoradas no solo ou parafusadas em elementos de concreto, na transição para eventuais barreiras (Figura 11).

Figura 11: Extremidades das defensas

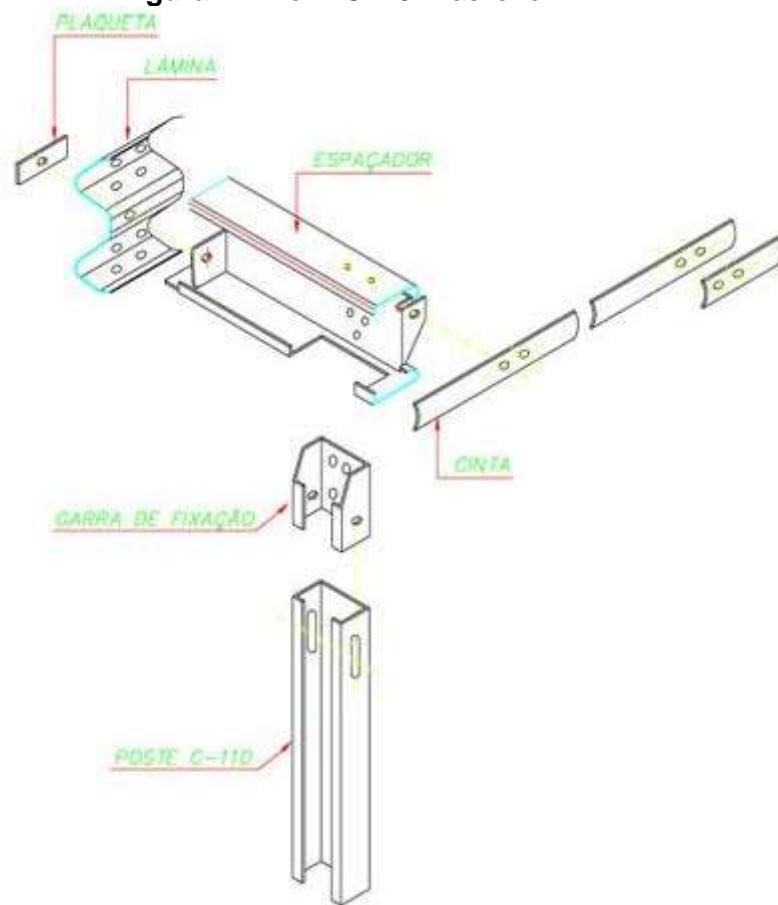


Fonte: BRANCO, 1999.

- Trechos muito longos de defensas, devem ter juntas de dilatação, especialmente quando parafusadas em elementos de concreto.

A partir desses requisitos, os especialistas brasileiros adaptaram as normas e os conceitos europeus com a realidade aqui do Brasil. A defensa ideal brasileira veio a ser classificada pela ABNT como “maleável”, podendo ser simples ou dupla, respeitando todas as especificações do aço, mas com substituição do poste de sustentação. O perfil C 110 brasileiro, na (Figura 12) é este que nos referimos como ideal no Brasil.

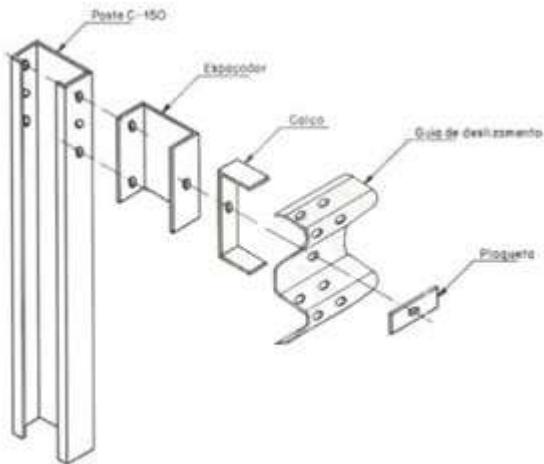
Figura 12: Perfil C110 Brasileiro



Fonte: NBR 6971,2012

Porém se desenvolveu no Brasil outro modelo de defensa metálica chamada de semimaleável, mais parecido com os modelos existentes nos EUA. Este modelo tem um desempenho inferior ao maleável, mas apresenta um custo menor.

Figura 13: Perfil Defensa Metálica Semimaleável



Fonte: NBR 6971,2012

As normas brasileiras são bem detalhadas quanto aos modelos de defensas e regras de utilização. Porém, não estabelece critérios para o uso do modelo maleável ou semimaleável.

Além disso, na norma brasileira são mencionadas defensas rígidas e semirígidas, que se destinam a aplicações especiais, como a transição de uma defensa metálica para uma barreira de concreto, e em situações onde não é possível a ancoragem.

3.3 COMPARAÇÕES ENTRE NORMAS

Analizando-se em separado cada norma, fica explícito que ambas são bem completas, abrangendo uma gama de situações possíveis. Porém, conforme dito anteriormente, o ponto chave que diferencia a norma europeia da norma brasileira é o fato de que a utilizada na Europa é baseada em índices de desempenho, enquanto a que vigora no Brasil é prescritiva.

Classificamos a norma brasileira como prescritiva, porque todas as características que a defensa metálica deve possuir já estão definidas na norma. Já estão especificados os perfis que as defensas metálicas devem possuir e também o material que deve ser usado para a fabricação, assim como o tratamento superficial a qual ela deve ser submetida, a forma de instalação da mesma, entre outros detalhes.

A primeira vista isto pode parecer uma vantagem. Porém, a norma estabelecida desta maneira acaba tendo alguns pontos negativos. As normas são antigas, a NBR 6970 é de 1975 enquanto a NBR 6971 é de 1983 (exceção a NBR 15486 de 2007). Apesar de ambas terem sido recentemente revisadas, os conceitos principais, ou seja, a essência delas continua sendo a mesma de quando lançadas. Logo, não estão adequadas para o volume de tráfego encontrado nas estradas atualmente, nem para o desempenho apresentado pelos veículos, que possuem maior velocidade e capacidade de carga. Assim, por vezes, não são capazes de diminuir a severidade dos acidentes.

As propriedades mínimas que são exigidas do material utilizados na fabricação das defensas metálicas são muito aquém quando comparado com outros tipos de aços existentes no mercado. Por ser prescritiva, a norma acaba sendo também restritiva, obrigando os designs de todas as defensas metálicas utilizadas no território nacional a serem iguais.

Figura 14: Bobinas de aço e uma barreira de proteção em uma rodovia



Dessa forma, a norma não deixa margem para alteração das defensas metálicas, dificultando o seu desenvolvimento, quer seja através da utilização de novos tipos de materiais, ou de novas maneiras de instalação e/ou diferentes designs de perfis. Essas inovações podem tanto minimizar os custos de fabricação e instalação das defensas metálicas, como melhorar o desempenho das mesmas em caso de acidente, diminuindo assim os danos aos veículos e seus ocupantes. Portanto, atenderiam a requisitos melhores de segurança.

No caso da norma europeia, ela é baseada em índices de desempenho, ou seja, qualquer dispositivo de segurança tem que preencher uma série de requisitos mínimos para serem aprovados e assim, utilizados nas estradas da Europa.

Figura 15: Bobinas Novas e uma Barreira de Proteção certificada pela EN 1317 em uma Rodovia



Dessa forma, atendendo esses índices, qualquer defensa metálica pode ser aprovada, tornando o número de restrições para o desenvolvimento de barreiras de proteção bem menor, havendo uma grande quantidade de produtos com diferentes perfis e materiais (polímeros, diferentes tipos de aço, madeira).

Outro ponto muito positivo da EN 1317 é que ela não só exige requisitos mínimos para aprovação, como também tem dois níveis para classificar os produtos aprovados. Assim produtos que oferecem maior segurança aos veículos e passageiros são classificados em um nível diferente daqueles que apenas atingem os requisitos mínimos. Assim, a pesquisa e o desenvolvimento acabam sendo ainda mais incentivados, acarretando na contínua melhoria das barreiras de proteção.

Ficam claras as desvantagens que a norma prescritiva apresenta em relação a uma norma baseada no desempenho. É importante a existência de um documento modelo, que sirva como guia e recomendação para instalação e característica que os dispositivos de segurança devem possuir. Mas, é um erro não permitir e não incentivar que diferentes modelos sejam produzidos, se esses substituírem de forma igual, ou melhor, em todos os aspectos as barreiras de proteção definidas nas normas.

3.3.1 Alteração da Norma Brasileira

O conteúdo das normas brasileiras é elaborado por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Em 2011 foi formada a Comissão de Estudo de Segurança no Tráfego (CEST) com o objetivo de revisar as normas NBR 6970, NBR 6971 e NBR 14885 (Segurança no tráfego – Barreiras de concreto). Porém, durante o processo percebeu-se que seria necessário uma alteração completa das três normas para se adequar aos padrões de qualidade e segurança mais elevados já existentes.

A opção adotada então foi alterar a norma NBR 15486, para se incluir todas as inovações ocorridas no setor de barreiras de proteção viárias, criando-se assim uma norma atual e abrangente em acordo com o que existe de mais avançado no mundo na questão de segurança nas estradas.

Assim, em 2012 a CEST começou a revisão da NBR 15486 com o intuito de substituir a versão atual da mesma, e também a NBRs 6970, 6971 e 14885. A ArcelorMittal Tubarão viu nesse processo de alteração a possibilidade de mudar a imagem ruim que as defensas metálicas tinham até então quanto à segurança nas estradas. E para tal é integrante da Comissão de Estudos formada em 2011 que vem trabalhando na alteração das normas.

Como já discutido anteriormente, o motivo desta imagem ruim das defensas metálicas brasileiras é devido às defensas existentes serem de baixa qualidade. E ainda, aliados a este fator, também se tem a falta de manutenção das defensas existentes, e por vezes a instalação mal feita e, por vezes a instalação em locais inadequados.

Desta forma as defensas metálicas ao invés de impedirem que os veículos saiam da pista e diminuam a severidade dos acidentes, acabam por não cumprir seu papel, não alterando e por vezes até mesmo agravando as consequências dos acidentes.

Logo, o uso de defensas metálicas foi reduzido, dando-se preferência a outros tipos de barreiras de proteção feitos com outros tipos de materiais. Mas por vezes esses outros tipos de barreiras existentes sofrem dos mesmos problemas que as defensas metálicas, não cumprindo o papel para os quais foram inicialmente designadas.

Visando modificar este cenário, a ArcelorMittal Tubarão como participante do grupo de estudos para alteração da norma está se esforçando para mudar a norma atual prescritiva para uma baseada na performance dos produtos existentes. Lembrando que a norma baseada em performance não privilegia algum tipo específico de material, mas sim os produtos que apresentem a melhor qualidade e oferece maior segurança, independente do material que ele seja constituído.

A alteração da norma NBR 15486 é um processo delicado, primeiro por causa dos motivos inerentes a alteração de qualquer norma, ou seja, é necessário que todos os participantes concordem com as mudanças que sejam feitas e neste grupo existem representantes de todas as partes interessadas (siderúrgicas, fabricantes de defensas, consultores, representantes do DER, do DNIT, concessionárias,...).

Outro fator é que, mesmo que sejam aprovadas todas as mudanças necessárias e a nova norma fique bem semelhante com a EN 1317, não se pode tornar os modelos prescritivos de barreiras de proteção (não apenas defensas metálicas) irregulares de uma hora para outra. É necessário tempo o suficiente de adaptação do mercado brasileiro como um todo e tempo para a criação de modelos capazes de atingir os requisitos mínimos de desempenho em todos os níveis de contenção existentes.

Nesse sentido, para incentivar e mostrar que é viável a alteração da norma (respeitando o tempo mínimo necessário de adaptação), a ArcelorMittal Tubarão em conjunto com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da ArcelorMittal em Liège na Bélgica decidiu criar um novo modelo de defesa metálica específico para o mercado brasileiro, com o mesmo nível de contenção que as defensas metálicas prescritivas mais utilizadas no país (H1), que atenda os requisitos previstos na EN 1317 e que seja de fácil produção tendo em vista o maquinário existente nas fábricas de defensas metálicas brasileiras.

4 SIMULADOR: LS-DYNA

O LS-Dyna é um avançado pacote de software de propósito geral para simulação multifísica desenvolvido pela *Livermore Software Technology Corporation*. Embora ele permita o cálculo de complexos problemas do mundo real, suas origens e competências iniciais são a análise de elementos finitos de dinâmicas transitórias altamente não lineares, utilizando integração temporal explícita. O LS-Dyna tem sido utilizado pelas indústrias automobilística, aeroespacial, de construção civil, militar, manufatureira e de bioengenharia.

Non linear significa que pelo menos uma (às vezes todas) das seguintes complicações ocorrem:

- Condições de contorno variáveis (como o contato entre partes que mudam ao longo do tempo);
- Grandes deformações (o amassamento das peças de chapas metálicas);
- Materiais não lineares que não apresentam comportamento elástico ideal (polímeros termoplásticos).

Dinâmico transiente significa a análise de eventos que ocorrem em alta velocidade e com pequena duração, nos quais as forças de inércia são importantes. Os usos típicos incluem:

- Acidentes de automóvel (deformação do chassi, inflação do airbag, tensionamento do cinto de segurança);
- Explosões;
- Manufatura (estampagem em chapas de aço).

4.1 MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO

4.1.1 Método de integração com tempo implícito

Os softwares que funcionam com um método implícito, aproximam os campos de deslocamento e as condições limite por iterações, tentando respeitar o equilíbrio das equações. A presença de não linearidade no problema requer uma busca iterativa da solução (método da derivada de Newton). O custo da busca da solução a cada passo depende principalmente de:

- A não linearidade presente, que pode necessitar um grande número de iterações, podendo até mesmo evitar a convergência do algoritmo.
- O tamanho do passo: quanto maior o tamanho do passo, mais o monitoramento do fenômeno de não linearidade irá demandar iterações.
- O tamanho da matriz de rigidez que deverá ser invertida repetidamente.

Comparado com o método explícito, ele permite tamanho de passos maiores. Ele se adéqua melhor para problemas estáticos, dinâmicos lineares e para baixas frequências.

O método é implícito porque a velocidade e aceleração são calculadas no tempo atual ($t+\delta t$). O princípio é de realizar interações no campo de deslocamento até que a equação de equilíbrio (3.1) seja suficientemente aproximada. Nessa equação M é a matriz de massa do sistema.

$$M \cdot \ddot{u}_{n+1} = f_{n+1}^{ext} + f_{n+1}^{int} \quad (4.1)$$

O critério para se parar as iterações é geralmente dado em função do deslocamento ou da energia. As iterações cessam uma vez que o quociente do incremento do deslocamento (ou energia) dividido pelo deslocamento total (ou energia total) seja menor que certa constante ϵ definida pelo usuário.

$$du/u \leq \epsilon_u \text{ or } dE/E \leq \epsilon_E \quad (4.2)$$

Então, a partir da aceleração são estimados os deslocamentos e velocidades. Nas equações (3.3), γ e β são os parâmetros definidos pelo usuário ($\gamma \in [0;1]$ e $\beta \in [0;0,5]$).

$$\begin{aligned}\dot{u}_{n+1} &= \dot{u}_n + (1 - \gamma)\delta t \ddot{u}_n + \gamma \delta t \ddot{u}_{n+1} \\ u_{n+1} &= u_n + \delta t \dot{u}_n + \delta t^2 (0,5 - \beta) \ddot{u}_n + \delta t^2 \beta \ddot{u}_{n+1}\end{aligned}\quad (4.3)$$

Infelizmente, este método tem uma estabilidade condicional. Então se faz necessário escolher com cuidado os parâmetros γ e β para que não ocorram problemas de estabilidade.

4.1.2 Método de integração com tempo explícito:

O método de integração com tempo explícito utiliza a fórmula de Taylor de primeira ordem com meio passo de tempo. Primeiro avalia-se o campo de aceleração \ddot{u}_n , efetuando um balanço de forças no instante t_n . Para tal, somam-se todas as forças externas e internas em cada nó, e calcula-se a aceleração nodal dividindo este termo pela massa associada ao nó.

$$M \cdot \ddot{u}_n = f_n^{ext} + f_n^{int} \quad (4.4)$$

Depois, é calculada a velocidade no instante $t_{n+1/2}$

:

$$\dot{u}_{n+1/2} = \dot{u}_{n-1/2} + \ddot{u}_n \delta t_n \quad (4.5)$$

Por fim, calcula-se o deslocamento no instante $n+1$. Desta forma, é possível calcular as deformações, e então as tensões.

$$u_{n+1} = u_n + \dot{u}_{n+1/2} \cdot \delta t_{n+1/2} \quad (4.6)$$

A determinação da solução no final de cada passo é, portanto baseada na resolução da equação linear da aceleração. Esta solução é feita bem rápido pela

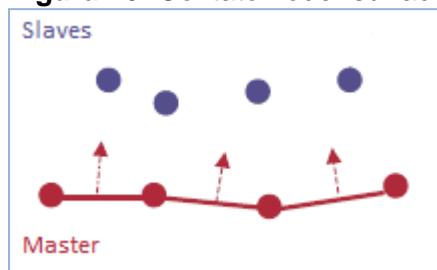
diagonalização da matriz de massa. Os desequilíbrios mecânicos são corrigidos retrospectivamente de um passo de tempo para o outro.

Esta técnica utiliza um grande número de pequenos passos de tempo, ao contrário do método de integração com tempo implícito. O método de integração com tempo explícito é adequado para dinâmicas rápidas, uma vez que nesses casos são preferíveis menores intervalos de tempo para uma boa análise de todas as variações dos fenômenos a uma alta frequência. Por esta razão e também por ser um método mais fácil de ser implementado do que o método implícito, ele será o método utilizado neste trabalho.

4.1.3 Contato

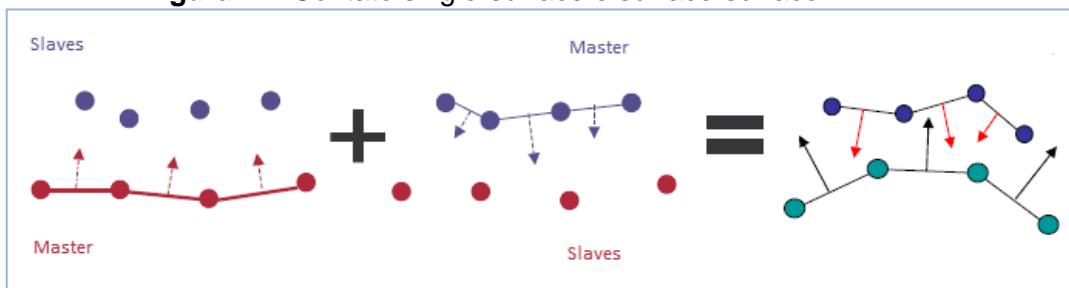
No software LS-Dyna não existe a noção de conectividade. Para se definir um contato, o programa trabalha com um lado chamado *slaves* e o outro lado chamado *master*. Ele usa um algoritmo para evitar que os nós *slaves* penetrem nos nós *masters*. Este contato é chamado *node-surface*.

Figura 16: Contato node- surface



Fonte: LS Dyna

Figura 17: Contato single-surface e surface-surface.

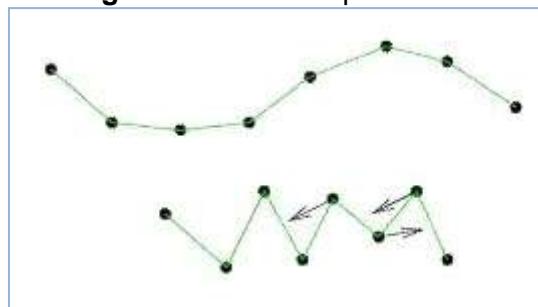


Fonte: LS Dyna.

Três tipos de contato são usados numa simulação de um teste de impacto: o *single-surface*, o *surface-surface* e o *spotweld*. O contato *single-surface* e o *surface-surface* são contatos simétricos, o que significa que na verdade eles são combinações de dois contatos *node-surface*. A superfície de uma das partes tem os nós definidos como *slaves* em relação a superfície da outra, e vice-versa.

O contato *single-surface* é utilizado para se tratar o *auto contato* entre as partes do veículo, de forma que suas diferentes partes não penetrem nelas mesmas. Neste tipo de contato o *master* é definido como sendo todas as partes do veículo, mesmo o contato de uma parte com ela mesma é detectada. Da mesma maneira o contato *single-surface* é definido para defensa metálica.

Figura 18: contato spotweld



Fonte: LS Dyna.

Já o contato *surface-surface* é utilizado para modelar a interação entre a defensa metálica e o veículo. É possível, por exemplo, definir a barreira como *slave* e o veículo como *master*. Neste tipo de contato, é muito importante que o vetor normal a superfície esteja muito bem orientado para a detecção do contato.

Por fim, o contato *spotweld* é usado para gerenciar os contatos com os parafusos. Ele permite a transmissão de forças na conexão, e também define os valores de ruptura nas ligações. Neste contato, um conjunto com todos os parafusos modelados é criado, e definido como conjunto *slave*. O conjunto *master* inclui todas as partes, exceto os parafusos.

4.1.4 Energia de Contato

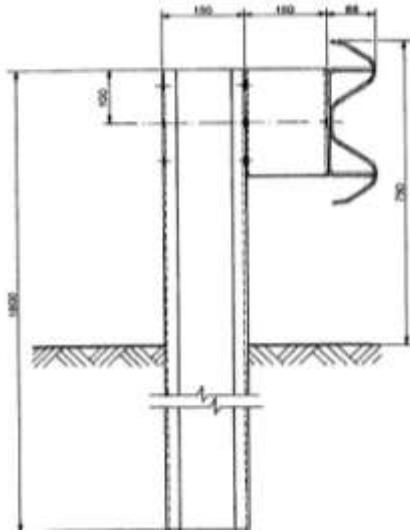
Em teoria, uma vez que exista contato entre *master* e *slave*, a energia de contato do *master* deve ser igual, mas com sinal oposto a energia de contato do *slave*. Embora, quase nunca seja possível ter essa igualdade de energia (em valores absolutos) entre o *master* e o *slave*. Então é necessário garantir que esta diferença de energia de contato seja menor que 5% da energia interna durante todo o cálculo. Se este não for o caso, é possível aumentar ou diminuir a rigidez, com o propósito de reduzir a ordem numérica destes erros. Quanto maior a rigidez, maior a força de repulsão entre duas superfícies para a mesma penetração.

5 CARACTERÍSTICAS DAS DEFENSAS METÁLICAS

5.1 DEFENSA ATUAL

Dentre os modelos especificados na norma NBR 6971, o modelo adotado para o estudo é o mostrado na Figura 19.

Figura 19: Defensa metálica semimaleável simples de dupla onda.



Fonte: NBR 6971,2012

De acordo com a norma brasileira esta defensa é classificada como semimaleável simples devido a sua capacidade de deformação (menor que a maleável), dupla onda (característica da lâmina) e é utilizada para a proteção lateral das estradas.

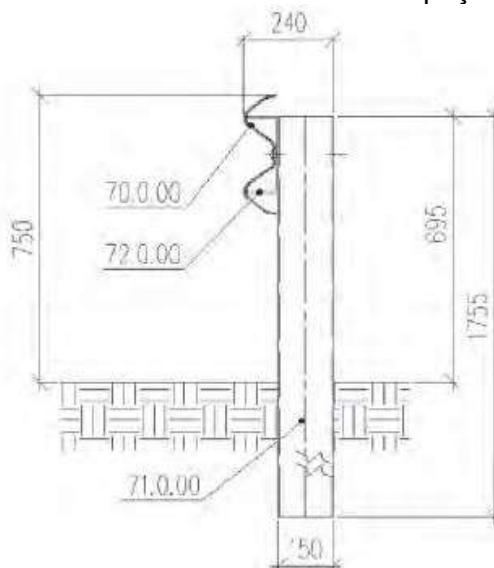
Os elementos que a compõe podem ser vistos na Tabela 8.

Tabela 8 - Elementos que compõem uma Defensa maleável.

Componente	Vista	Espessura (mm)	Material
Poste C150		4,75	Estrutural
Espaçador		4,75	Estrutural
Calço		4,75	Estrutural
Viga		3	Estrutural
Peso (kg)		19,5	

Fonte: NBR 6971

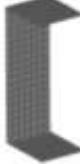
5.2 DEFENSA NOVA

Figura 20: Perfil da nova Defensa sem espaçador

Fonte: ArcelorMittal

Na Figura 20 é possível ver o desenho do perfil da nova defensa desenvolvida. A primeira diferença que se nota é a ausência de espaçador. Esse fato aliado com as menores espessuras dos componentes (como pode ser visto na tabela a seguir) proporciona um peso por metro inferior (15,2 quilos por metro), o que acaba sendo uma grande vantagem.

Tabela 9 - Elementos que compõem uma nova Defensa maleável

Componente	Vista	Espessura (mm)	Material
Poste C150		3,5	ARBL
Calço		5	Estrutural
Viga		2,5	ARBL
Peso (kg)	15,2		

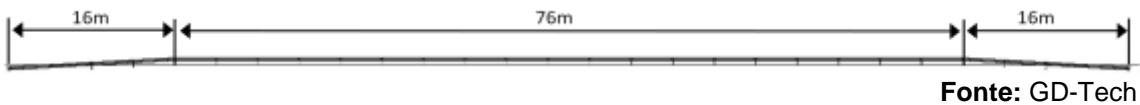
Essa diferença no peso de 4,3kg (mais de 20% mais leve) representa uma grande vantagem que será mais bem analisada adiante.

6 SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

Para as simulações tanto com a defensa atual quanto para defensa nova a massa dos veículos utilizados é 900 kg para o carro e 9960 kg para o caminhão.

O comprimento do modelo de ambas as defensas metálicas usadas na simulação é de 108 metros, sendo 32 metros para ancoragem e 76 metros de comprimento útil.

Figura 21: Modelo de defensa usada na simulação



Fonte: GD-Tech

Nas simulações o ponto de impacto dos veículos nas defensas metálicas utilizado foi igual a 1/3 do comprimento total da defensa.

Outros parâmetros como ângulos de impacto e velocidade de impacto estão de acordo com o especificado pela EN 1317 para os testes TB11 e TB42.

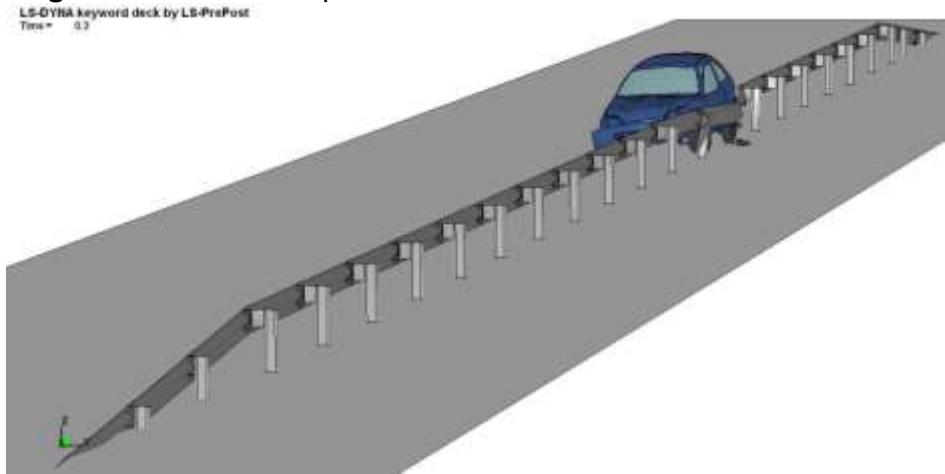
6.1 DEFESA ATUAL

A defensa atual foi modelada de acordo com os desenhos contidos na norma brasileira (NBR 6971). Os outros itens necessários para o teste, como o tipo de veículo, comprimento da defensa instalada, entre outros, foram modelados de acordo com a EN 1317.

6.1.1 Resultados

TB11

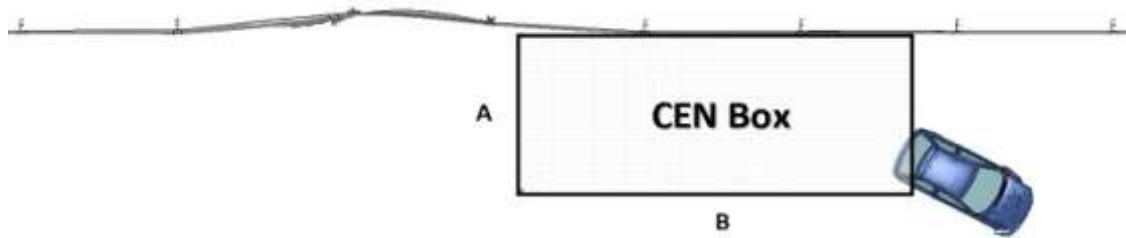
Figura 22: Teste de impacto TB11 na defensa metálica atual



Fonte: Simulações

O resultado da simulação do teste de impacto com um veículo de 900 kg conforme os parâmetros estabelecidos pela EN-1317 foram satisfatórios, ou seja, seriam aprovados. Porém, os resultados poderiam ser melhores. Prova disso é que o resultado foi ASI B. Assim, a desaceleração sentida pelo motorista na hora do impacto não foi suave o suficiente para ser classificada como ASI A, mas foi suficiente para ser aprovada.

Figura 23: vista superior da defensa metálica atual mostrando o CEN Box



Fonte: Simulações

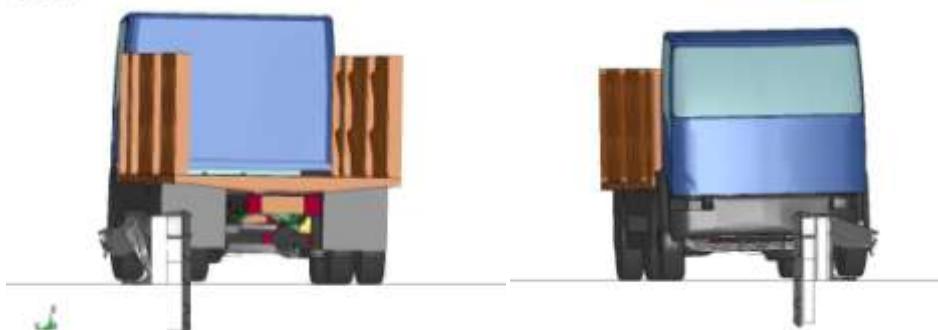
Outro parâmetro no qual o teste TB11 poderia ter sido melhor, ficando perto de falhar, foi o *CEN Box*, uma vez que a roda lateral direita traseira do carro quase passou fora do limite permitido. Isto quer dizer que numa situação real as chances seriam maiores de o carro ser redirecionado de volta para as pistas de tráfego.

Tabela 10 - Resultados teste TB11 Índices de desempenho

ASI	Working Width	Dynamic Deflection	Comprimento do Contato
B (1,1)	W2 (0,8)	0,6	6m

TB42

Como é possível ver nas imagens, a barreira prescritiva usada atualmente como proteção lateral nas rodovias brasileiras teve um bom desempenho, redirecionando o caminhão de 9960 kg de maneira satisfatória, de acordo com todas as exigências requeridas pela EN-1317.

Figura 24: simulação do teste TB42 vista do caminhão no momento do impacto

Fonte: Simulações

Tabela 11 - Resultados teste TB11 Índices de desempenho

Vehicle Intrusion	Working Width	Dynamic Deflection	Comprimento do Contato
VI5 (1,5)	W5 (1,4)	1,3	-

6.2 DEFENSA NOVA

A defensa desenvolvida foi modelada de acordo com os desenhos contidos no capítulo anterior, e os outros itens necessários para o teste, foram modelados de acordo com a EN 1317(ANEXO D).

6.2.1 Resultados

TB11

Na Figura 25 é possível ver como foi à simulação do teste de impacto TB11 na nova defensa metálica desenvolvida.

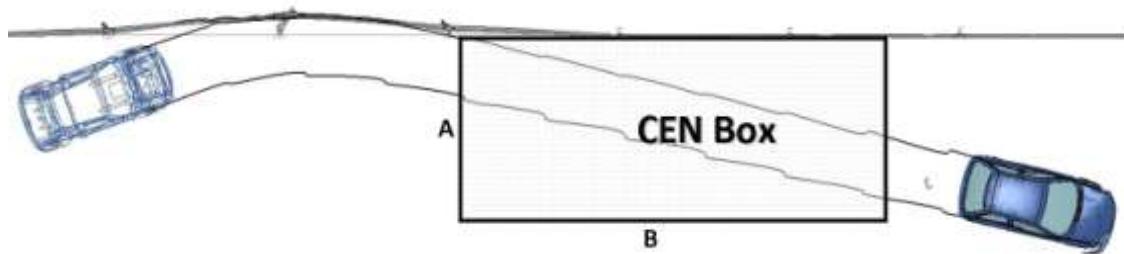
Figura 25: Teste TB11 do carro no momento do impacto.



Fonte: Simulações

Durante e após o impacto, nenhuma das rodas do veículo passou completamente por cima, ou abaixo da defensa metálica. O veículo não rolou durante ou após o impacto e o veículo deixou a defensa metálica após o impacto, de maneira tal que o rastro das rodas não atravessaram a área definida pelo *CEN Box*.

Figura 26: vista superior da defensa metálica nova mostrando o CEN-Box



Fonte: Simulações.

Como pode ser observado na tabela 12 o resultado obtido nos principais índices de desempenho foram ASI A e *working width* W2.

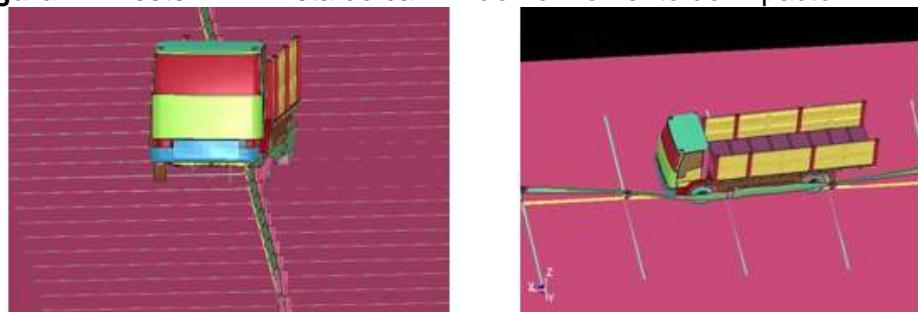
Tabela 12 - Resultados teste TB11 - Índices de desempenho

ASI	Working Width	Dynamic Deflection	Comprimento do Contato
A (0,85)	W2 (0,74)	-	-

TB42

Um fato interessante é que no teste TB42 da nova defensa, quando ela é impactada com o caminhão de 10 toneladas, o *working width* obtido no resultado é W4. Assim, mesmo absorvendo mais energia (ASI menor) do que a defensa prescritiva, a deformação do sistema é menor.

Figura 27: Teste TB42 vista do caminhão no momento do impacto.



Fonte: Simulações.

Tabela 13 - Resultados teste TB42 - Índices de desempenho

Vehicle Intrusion	Working Width	Dynamic Deflection	Comprimento do Contato
VI5 (1,5)	W4 (1,2)	1,1	18m

6.3 CONCLUSÃO TÉCNICA

Pode-se concluir analisando o resultado das simulações dos testes de impacto que ambas as defensas seriam aprovadas de acordo com a norma EN-1317. Porém, não teriam a mesma classificação.

O modelo prescritivo teve como resultado ASI B-W5, enquanto que o novo modelo testado obteve ASI A-W4. A diferença entre ASI A e B, significa que a desaceleração sentida pelo motorista no momento do impacto foi menor, o que gera uma menor chance do mesmo sofrer ferimentos.

A diferença entre os *working width* como já explicado anteriormente, diz respeito à deformação máxima sofrida pelo sistema após o impacto. Um *working width* menor implica que a barreira pode ser instalada em locais onde os obstáculos sejam mais

próximos da lateral da defensa metálica. Para o caso em questão, W4 se refere a uma deformação menor ou igual a 1,3 metros. Desta forma, a defensa poderia ser instalada em rodovias onde, por exemplo, existam árvores ao longo da pista com uma distância superior a 1,3 metros, enquanto que para W5 essa distância teria que ser de 1,7 metros.

Assim, as simulações mostram que a nova defensa desenvolvida tem um desempenho superior a do modelo prescritivo atualmente usado no Brasil.

7 ANÁLISE ECONÔMICA

Como visto na seção anterior, as simulações através do software LS-Dyna demonstraram que o desempenho da defensa metálica desenvolvida pela ArcelorMittal é superior ao modelo prescritivo equivalente existente no Brasil. Porém, infelizmente este fato por si só não é suficiente para justificar o investimento no desenvolvimento e produção do novo produto.

A nova defesa foi projetada com um aço de melhor qualidade (melhores propriedades mecânicas), consequentemente com um preço maior em relação ao aço CF24 (e equivalentes) presente nas defensas atuais. Um comparativo entre essas propriedades pode ser encontrado no anexo C.

Desta forma, é necessário que além da melhor qualidade, a nova defesa seja também economicamente viável, trazendo retorno ao investimento feito pela ArcelorMittal e, proporcionando um ganho para os clientes, justificando assim a substituição da produção do atual modelo prescritivo pelo novo modelo de defensa desenvolvido.

O primeiro passo nesse sentido, mostrado na seção 4.2, foi exigir no projeto da nova defesa que os perfis utilizados para se projetar os componentes fossem similares aos perfis utilizados atualmente no Brasil. Desta forma não seriam necessárias grandes adaptações nas máquinas existentes nos fabricantes, apenas algumas alterações de parâmetros devido ao uso de um aço diferente e das diferentes espessuras.

O passo seguinte foi fazer uma análise do impacto econômico que se obtém graças à redução considerável de cerca de 20% no peso. Nas seções a seguir têm-se o estudo desta redução nos gastos mais impactantes para o cliente que são o custo do aço e do frete.

Os valores utilizados a seguir são hipotéticos, porém baseados nos valores adotados pelo mercado atualmente.

7.1 DEFENSA ATUAL

O aço utilizado na fabricação das defensas metálicas atuais, previsto na norma NBR6970 é o CF24 ou algum outro com propriedades equivalentes (anexo B), de fácil fabricação e baixo valor agregado. Assim o preço (R\$/tonelada) é baixo e o lucro associado a sua venda é muito pequeno. Para o cliente, o importante é o preço final por metro de defensa que depende, não apenas do preço pago pela tonelada do aço, mas também do peso por metro que a defensa possui.

Na Tabela 14 estão três preços hipotéticos para o aço CF24, bem como o preço por metro em função do peso da defensa metálica usada atualmente.

Tabela 14 - Dados do aço CF24

Preço (R\$/tonelada) ³	Peso (kg/metro)	Preço (R\$/metro)
1000	19,5	19,5
950	19,5	18,53
900	19,5	17,55

7.2 DEFENSA NOVA

Como visto anteriormente, foi adotado um aço com melhores propriedades mecânicas para a nova defensa metálica, que possui um maior custo de fabricação, e um maior valor agregado para a venda, gerando um lucro maior.

Do ponto de vista do cliente, como o preço por tonelada é maior, a fabricação deste novo modelo de defensa pode ser impraticável. Porém, devido a grande redução no peso por metro, tem-se um preço por metro competitivo.

A Tabela 15 mostra o caminho inverso, adotando-se os preços por metro da defensa metálica atual, e com base no peso da nova defensa desenvolvida, qual pode ser o maior valor adotado para o preço por tonelada.

³ Valores hipotéticos, baseados nos preços médios dos aços praticados no mercado brasileiro atualmente.

Tabela 15 - Dados do aço da Nova Defensa metálica

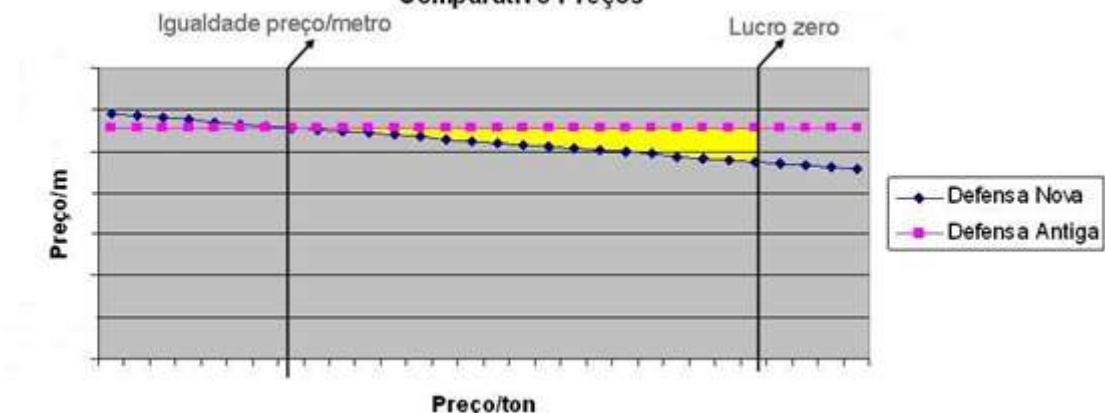
Preço (R\$/metro) ⁴	Peso (kg/metro)	Preço (R\$/tonelada)
19,5	15,2	1282,89
18,53	15,2	1219,08
17,55	15,2	1154,61

Na Tabela 15 fica explícito o preço máximo no qual o aço da nova defensa metálica pode ser vendido para que o cliente não perceba nenhuma alteração no preço por metro em relação ao aço CF24 das defensas atuais. Como era de se esperar, esse aumento no preço por tonelada é de cerca de 20%, a mesma proporção da redução do peso por metro.

Uma vez estabelecido um critério para o limite máximo do preço que pode ser cobrado, se faz necessário estabelecer um critério para o preço mínimo.

O critério adotado é aquele no qual a ArcelorMittal Tubarão terá lucro zero, ou seja, o preço por tonelada do aço cobrirá apenas os custos extras de fabricação do mesmo.

Desta forma, estabelecido os critérios, tem-se um gráfico como o mostrado na Figura 28.

Figura 28: Viabilidade econômica defensa antiga x defensa nova
Comparativo Preços

⁴ Valores hipotéticos, baseados nos preços médios dos aços praticados no mercado brasileiro atualmente.

Na Figura 28, o gráfico mostra o intervalo no qual deve estar o preço por tonelada (área amarela) em que tanto o cliente e a ArcelorMittal Tubarão tem lucro com o aço utilizado na nova defensa. É possível notar pelo gráfico que o tamanho do intervalo possibilita uma grande margem de negociação de preços.

7.3 FRETE

A redução no peso reflete também diretamente nos custos relativos ao frete, uma vez que no Brasil, para o transporte de aço o preço do frete é dado em reais por tonelada.

Como o novo modelo de defensa é mais leve, então no transporte da mesma quantidade de toneladas do aço usado para fabricação da defensa atual, e do aço para fabricação do novo modelo, apesar da quantidade igual, a quantidade de metros do produto final transportado é diferente.

Para deixar clara a diferença entre a quantidade de defensas possíveis a serem fabricadas, e o peso em tonelada transportado, segue o seguinte exemplo: a defensa atual pesa 19,5 quilos por metro, assim com uma tonelada do aço CF24 é possível fabricar 51 metros da defensa. O novo modelo de defensa pesa 15,2 quilos por metro, assim seguindo o mesmo raciocínio, com uma tonelada do aço especificado para ela é possível fabricar 66 metros de defensa, ou seja, um aumento de 28%.

Levando-se em conta que um caminhão (tipo de transporte mais utilizado no Brasil) transporta no máximo 27 toneladas de aço, usando a mesma relação do exemplo anterior, cada caminhão carrega 378 metros a mais do novo modelo de defensa, quando comparado com o existente atualmente, o que implica numa economia de 301 reais por quilometro de defensa transportada.

À primeira vista o ganho com o frete pode parecer pequeno, mas dependendo do preço de venda da tonelada do aço, o impacto dele no preço final pode chegar a quase 2%, o que é bastante tendo em vista as margens de lucro médias praticadas no mercado.

7.4 CUSTOS QUALITATIVOS

Existem alguns outros benefícios que advém da redução do peso, mas que são difíceis de serem quantificados. Por exemplo, a redução do custo com a galvanização, visto que a mesma é taxada em função do peso de material a ser galvanizado.

Pode-se citar da mesma maneira a redução do impacto no trânsito e no meio ambiente, já que a quantidade de caminhões necessária para transportar a mesma quantidade de defensas será menor.

Devido ao menor peso e a ausência do espaçador, é de se esperar que a instalação e a fabricação do novo modelo de defensa sejam mais fáceis e rápidas. A ausência de espaçador implica no uso de menos parafusos. Logo com a mesma mão de obra, será possível a fabricação e instalação em um menor espaço de tempo.

Outro fator que pode ser influenciado é a ocorrência e gravidade de acidentes de trabalho. Ao se trabalhar com peças mais leves, a tendência é que os acidentes diminuam, e quando ocorrerem, seja menos grave.

7.4.1 Comparativo Custo x Benefício

Após estas análises é possível fazer uma avaliação do custo benefício. Como visto anteriormente, o desempenho da nova defensa metálica não foi muito maior do que a do modelo prescritivo usado, apresentando pequenas melhorias no *working width* (W5 defensa prescritiva e W4 a nova defensa desenvolvida) e no ASI, (A para o novo modelo enquanto o modelo prescritivo tem B).

Sendo assim, por si só a melhoria no desempenho constitui um fator importante, mas não o suficiente para justificar a mudança das barreiras de proteção utilizadas no país pelo novo modelo de defensa metálica desenvolvido, ainda mais se essa melhoria na qualidade viesse com um aumento no preço.

Porém, este não é o caso, pois com a melhora do desempenho veio também melhorias de projeto e do material que conferem ao novo modelo outra gama de vantagens, como o menor peso, menor custo do produto final, maior rapidez e facilidade na fabricação e montagem, entre outros.

Graças a estas melhorias, a ArcelorMittal Tubarão consegue aumentar seu lucro e ainda conferir um ganho para seus clientes (fabricantes de defensas metálicas). Desta forma, todas estas características conferem um atraente custo x benefício, uma vez que além do ganho na qualidade, se tem também ganhos econômicos, tanto para a ArcelorMittal Tubarão quanto para os fabricantes de defensas metálicas, seus clientes. E mais importante são ganhos para os usuários do produto final, ou seja, todos os usuários das estradas.

Os bons resultados deste projeto abrem caminho para a criação de uma família de defensas metálicas certificadas abrangendo todos os níveis de contenção da EN 1317 (tabela 16) para todos os possíveis modelos (central, lateral e pontes/viadutos).

8 CONCLUSÃO

O projeto inicial é a alteração da norma brasileira que regula os dispositivos de segurança nas estradas, com o objetivo de aumentar a qualidade (e consequente segurança) dos produtos disponíveis e também a presença do aço nesses dispositivos.

Levando-se em conta que o desenvolvimento de um novo modelo de defensa metálica surgiu como uma oportunidade para dar suporte e acelerar a alteração da norma, disponibilizando no mercado um produto de alta qualidade, compatível com a EN1317, antes mesmo que tal grau de qualidade seja exigido pela legislação brasileira.

Como visto ao longo deste trabalho, o processo de desenvolvimento do novo modelo foi bem planejado e realizado, conseguindo alcançar as metas estabelecidas. Desta forma, pela nova defensa metálica oferecer maior segurança aos usuários do que os dispositivos atualmente utilizados, e o seu preço por metro final ser competitivo com as defensas metálicas em uso no país, ela cumpre seu objetivo, mostrando claramente que o aço pode ser usado para se construir produtos de alta qualidade, e que esta melhoria na qualidade não necessariamente tem que vir com um aumento no preço, reforçando a viabilidade de se adotar um modelo de norma baseado na performance.

Quanto ao objetivo inicial de alteração da norma, ainda continua em andamento, visto que este é um processo lento e que depende do acordo de todos os envolvidos no grupo de estudo. Mas pela parte do texto que já foi aprovada e pelo andamento das reuniões, tudo aponta para a adoção de uma norma baseada em critérios de desempenho adaptada da EN1317.

A conclusão que se pode chegar, é que o projeto está sendo bem elaborado e bem implementado, o desenvolvimento do novo modelo de defensa metálica só veio a somar, contribuindo para a alteração da norma e para a melhoria da qualidade dos produtos de segurança viária existentes no Brasil.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6970**. Defensas metálicas por imersão a quente. (Revisada em 2012)
2. _____. **NBR 6971**. Defensas metálicas – Projeto e Implantação (Revisada em 2012)
3. _____. **NBR 15486** – Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes. (2007)
4. _____. (2007). **PROJETO 16:300.05-005**. Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes.
5. EUROPEAN STANDARD. **Fpr EN 1317-2**. (2010). Road restraint systems- Parte 2: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers including vehicle parapets.
6. _____. **Fpr EN 1317-1**. (2010). Road restraint systems- Parte 1: Terminology and general criteria for the test methods.
7. European_Road_Statistics.(2010). Disponível em:
<http://www.irfnet.eu/images/stories/Statistics/2010/ER>
8. ARNAUD. (2010). **Analyse des modes de déconnexion dans une glissière de sécurité dans le cadre de simulations numériques de crash tests**.
9. BRANCO, A. M. (1999). **Segurança Rodoviária**. São Paulo
10. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **MT EM 370/97** (1997, revisada em 2006). Defensas metálicas de perfis zincados.
11. ERNST. (2007). X. **Heavy vehicles 'safety**.
12. <http://www.gdtech.be>. (2011). May, I. w.
13. <http://www.who.int>.
14. ROUTE, L. d. (2010). **Simulações de Testes de Impacto**. Testing Laboratory Equipment Estrada INRETS, França. Disponível em: <http://www.lier.fr>.

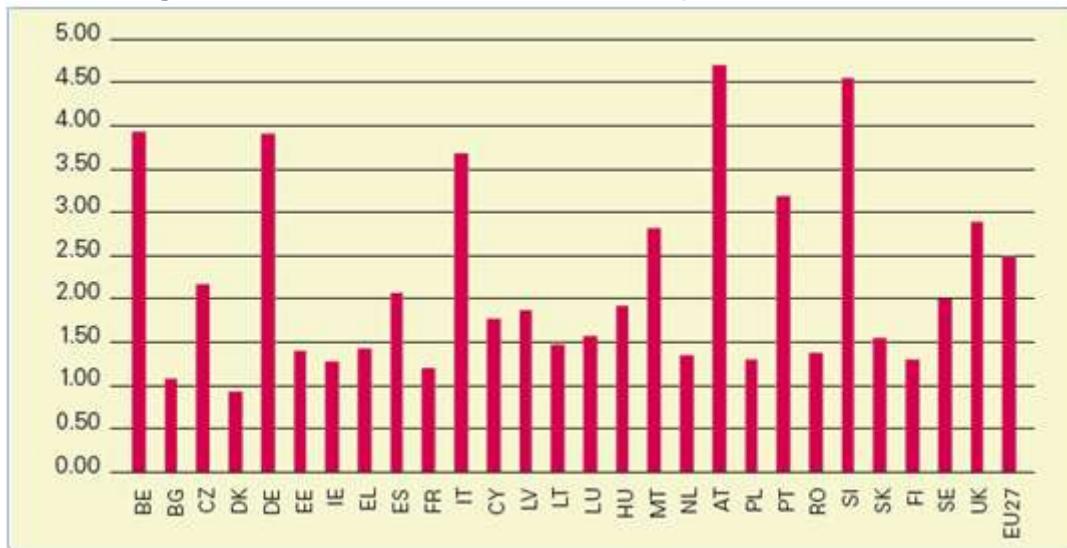
15. Safety, R. R. (s.d.). (2010). **Reports and Statistics/ Case Studies**. Disponível em: <http://www.rrs.erf.be/case-studies/44>.European Union Road Federation
16. VAA, R. E. (2004). **The Handbook of Road Safety Measures**. In: R. E. Vaa.
17. LS DYNA. (2010). **Tutoriais sobre o Simulador LS Dyna**. Disponível em: <https://www.dynasupport.com>
18. ERF. (2012). Is a non-profit association which coordinates the views of Europe's road sector and acts as a platform for dialogue and research on mobility issues. **Frota de Veículos**. Disponível em: <http://www.irfnet.eu/images/stories/Statistics/2010/ER>. European Union Road Federation.

ANEXO A - Estatísticas da Importância das barreiras de proteção nas estradas.

Neste anexo estão presentes alguns dados e estatísticas de estudos realizados na Europa sobre a importância das barreiras de proteção nas estradas.

Quase 1.280.000 dos feridos a cada ano na Europa (2006) são devidos a acidentes rodoviários.

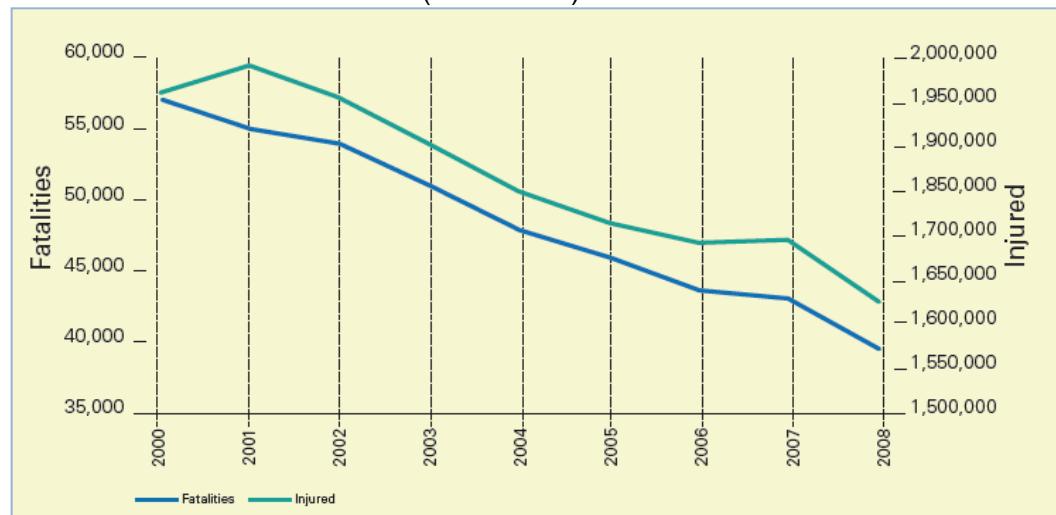
Figura 29: Acidentes Rodoviários na Europa em 2006



Fonte: WHO: Global burden disease, 2008

O gráfico abaixo mostra como o número de mortos em relativos a acidentes rodoviários vem diminuindo nos 27 Estados-membros da União Europeia.

Figura 30: Evolução do número de mortes em acidentes rodoviários na UE27 (2000-2008)



Fonte: WHO: Global burden disease, 2008

Anexo B – Tabelas e imagens presentes nas normas EN 1317, NBR 6970, NBR 6970, NBR 6971 e NBR 15486.

B.1 EN 1317

Os níveis de contenção das barreiras de segurança devem estar em conformidade com os requisitos da Tabela 16, sendo os testes realizados como mostrado na Tabela 6 do capítulo 2.

Tabela 16- Níveis de contenção

NÍVEIS DE CONTENÇÃO		TESTES
Contenção para baixos ângulos	T1	TB21
	T2	TB22
	T3	TB41 e TB21
Contenção normal	N1	TB31
	N2	TB32 e TB11
Alta contenção	H1	TB42 e TB11
	L1	TB42 e TB32 e TB11
	H2	TB51 e TB11
	L2	TB51 e TB32 e TB11
	H3	TB61 e TB11
	L3	TB61 e TB32 e TB11
Contenção muito alta	H4a	TB71 e TB11
	H4b	TB81 e TB11
	L4a	TB71 e TB32 e TB11

	L4b	TB81 e TB32 e TB11
<p>Nota 1: Nível de contenção a ângulos pequenos são para ser utilizados em dispositivos de contenção de segurança temporários. Dispositivos de contenção de segurança temporários podem também ser ensaiados para níveis de contenção mais elevados.</p> <p>Nota 2: Uma instalação ensaiada com sucesso para um determinado nível de contenção deve ser considerada como atendendo às condições de ensaio dos níveis inferiores, exceto que N1 e N2 não incluem T3, níveis-H não incluem níveis-L e H1, ..., H4b não incluem N2.</p> <p>Nota 3: Uma vez que os ensaios e o desenvolvimento de dispositivos de contenção de segurança para nível de contenção muito alta em diferentes países têm utilizado tipos bem diferentes de caminhões pesados, os ensaios TB71 e TB81 estão incluídos nesta Norma até este momento. Os dois níveis de contenção H4a e H4b não devem ser considerados como equivalentes e não existe uma hierarquia entre eles. O mesmo acontece para os níveis de contenção L4 e L4b.</p> <p>Nota 4: O desempenho das classes L é melhorado em relação à classe H correspondente pela adição do teste TB32</p>		

A avaliação de uma barreira de proteção dentro da faixa dos níveis de contenção T3, N2, H1, H2, H3, H4b, L1, L2, L3, L4a e L4b necessitam da realização de diferentes testes:

- Um teste de acordo com o nível de contenção máximo da barreira em particular;
- Testes utilizando carros para verificar que além de atender o nível de contenção máximo para a qual a barreira foi projetada, ela é também segura para carros em geral.

B.2 NBR 6970

A tabela mostrada abaixo se encontra na norma ABNT NBR 6970. Segundo a mesma, o aço utilizado para a produção de defensas metálicas deve ser o CF24 ou similar, desde que tenha as propriedades mecânicas iguais ou superiores as da tabela a seguir.

Tabela 17 - Propriedades mecânicas mínimas necessárias para os aços utilizados na fabricação de defensas metálicas

Limite de resistência à tração LR – Mínimo	350 MPa
Limite de escoamento LE – mínimo	240 MPa
Alongamento mínimo após a ruptura $L_0 = 50$ mm	$e < 3,0 \text{ mm} \rightarrow 20\%$ $e \geq 3,0 \text{ mm} \rightarrow 23\%$
Dobramento a 180° (calço 1,5 vezes a espessura do corpo de prova)	Não pode apresentar trincas na face externa

Fonte: (NBR 6970)

A Tabela 18 também presente na norma ABNT NBR 6970 é a que determina quais os ensaios devem ser realizados, a frequência de amostragem e de ensaios dos mesmos. Tem por objetivo controlar e garantir que a qualidade do material utilizado está de acordo com o especificado na norma.

Tabela 18 - Tipos de ensaio, frequência de amostragem e frequência de ensaios a serem realizados nos aços para fabricação de defensas metálicas.

Tipo de ensaio	Frequência de amostragem	Frequência de ensaios
Determinação da massa do revestimento (zinco em g/m ²)	Um elemento por grupo de 300 peças	Três determinações por peça a ensaiar (guia de deslizamento) Uma determinação por peça a ensaiar (demais elementos)
Determinação da espessura do revestimento	Dois elementos por grupo de 50 peças	Dez determinações por m ²

Fonte: NBR 6970

B.3 NBR 6971

A seguir estão os desenhos de todos os modelos de defensas metálicas existentes na versão atual da norma ABNT NBR 6971, bem como os detalhes dos componentes da defensa metálica semimaleável dupla onda lateral usada como base de comparação para a nova defensa desenvolvida.

Figura 31: Defensa maleável simples

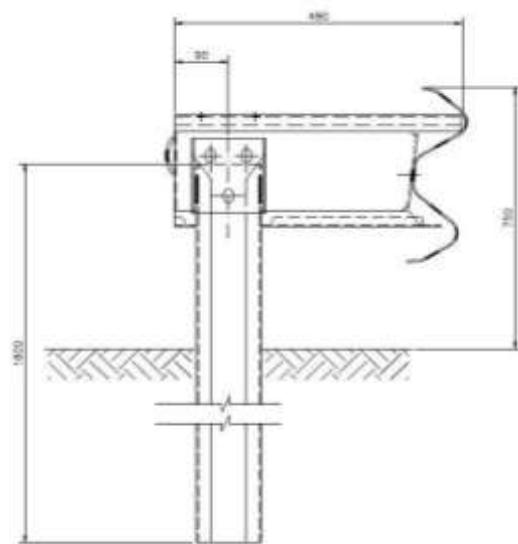


Figura 32: Defensa maleável dupla

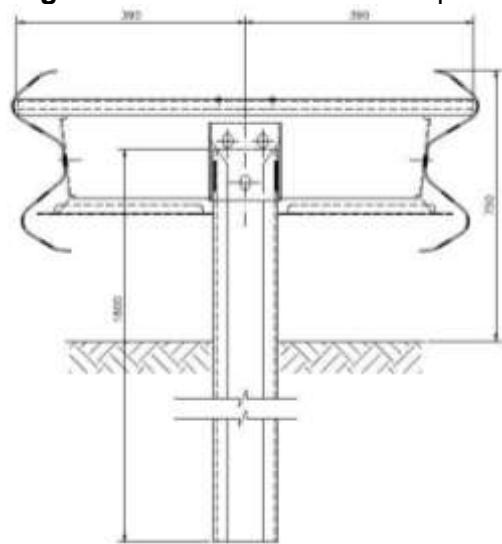


Figura 33: defensa semimaleável simples

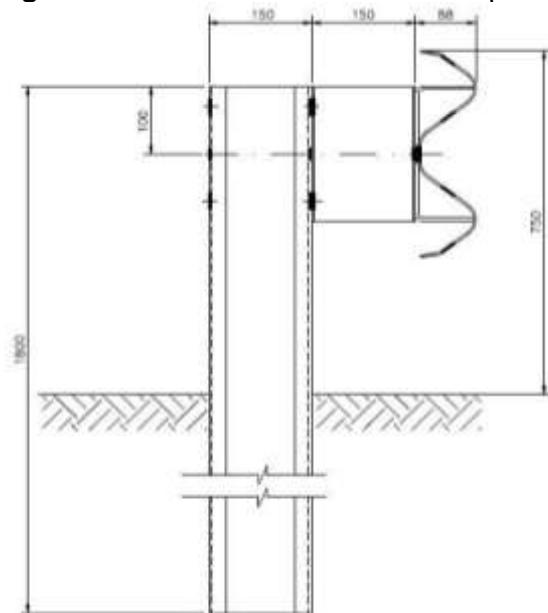


Figura 34: Defensa semimaleável dupla

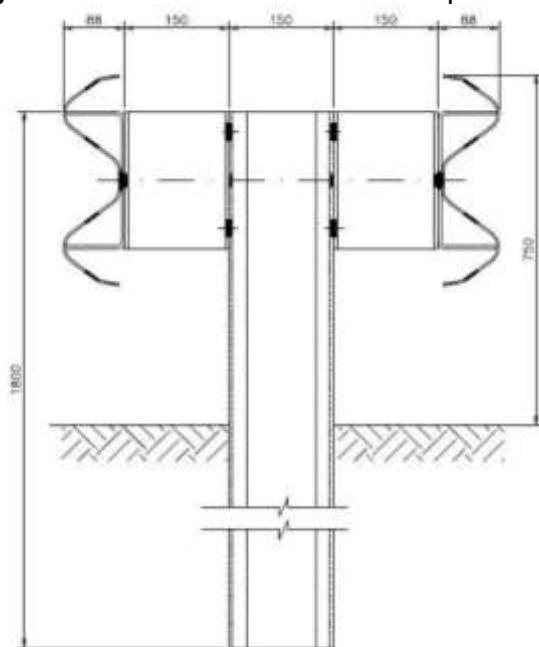


Figura 35: defensa tripla onda simples

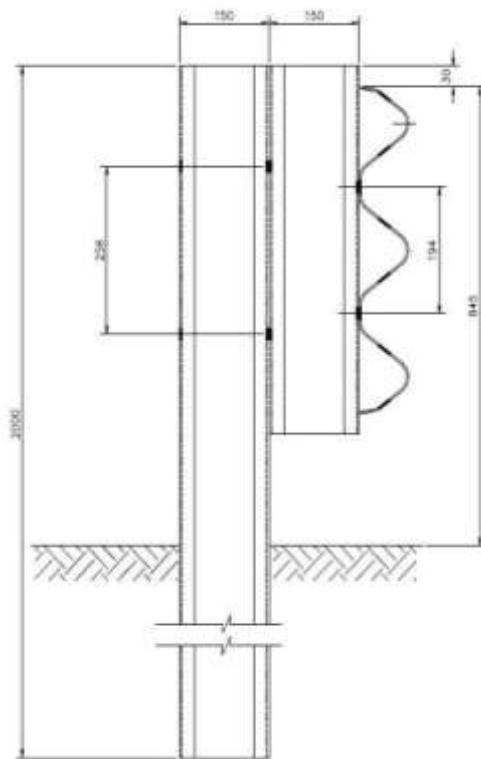


Figura 36: defensa tripla onda dupla

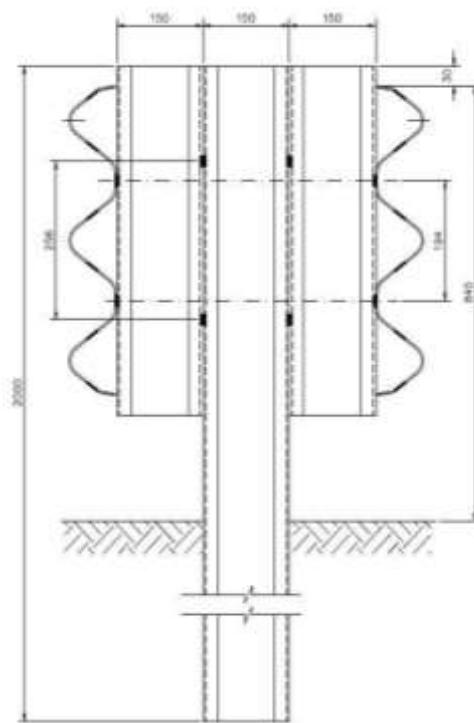


Figura 37: Detalhes da lâmina dupla onde (dimensões em milímetros)

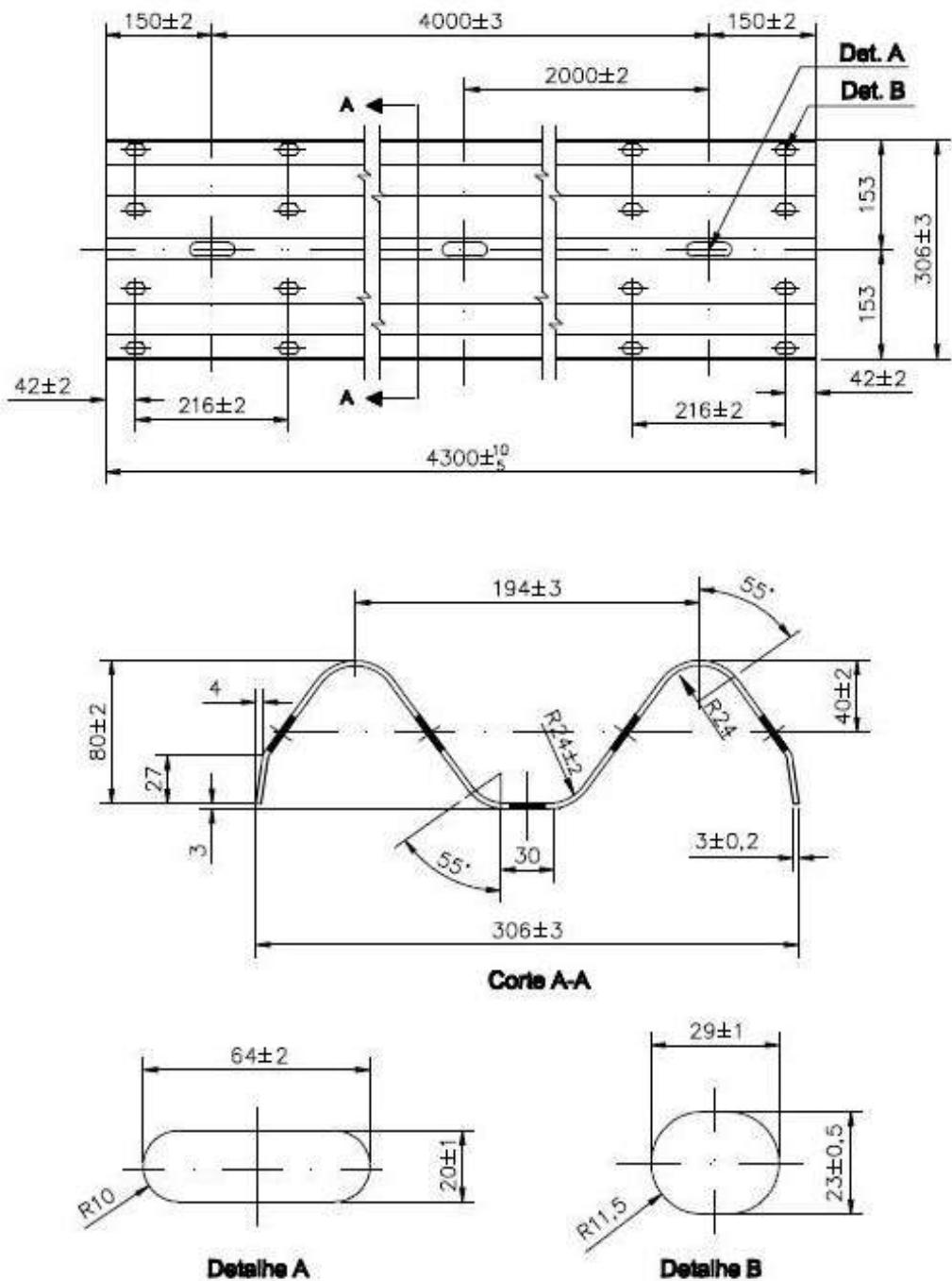


Figura 38: Perfil C-150 dupla onda (dimensões em milímetros)

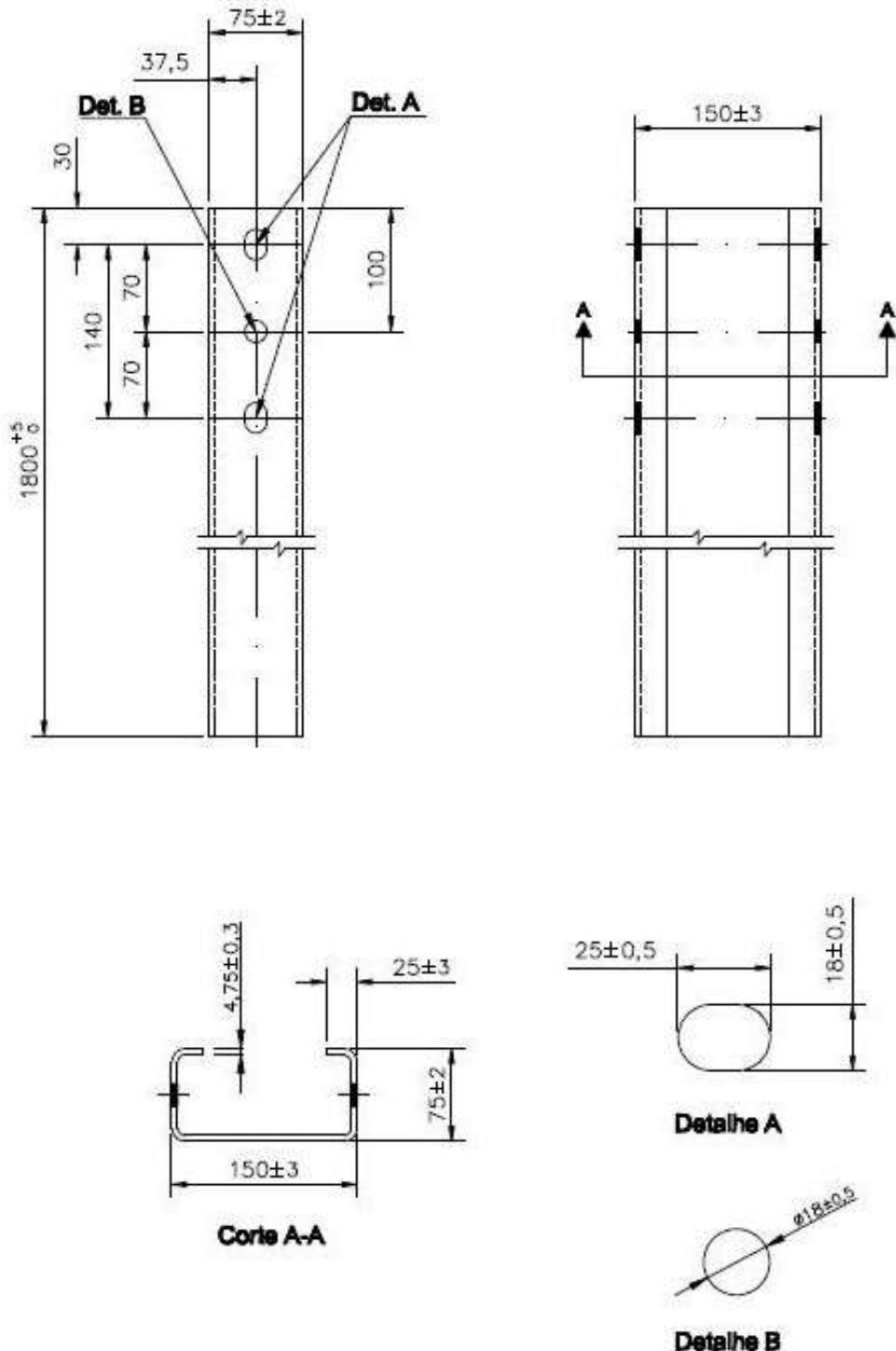


Figura 39: Espaçador semimaleável

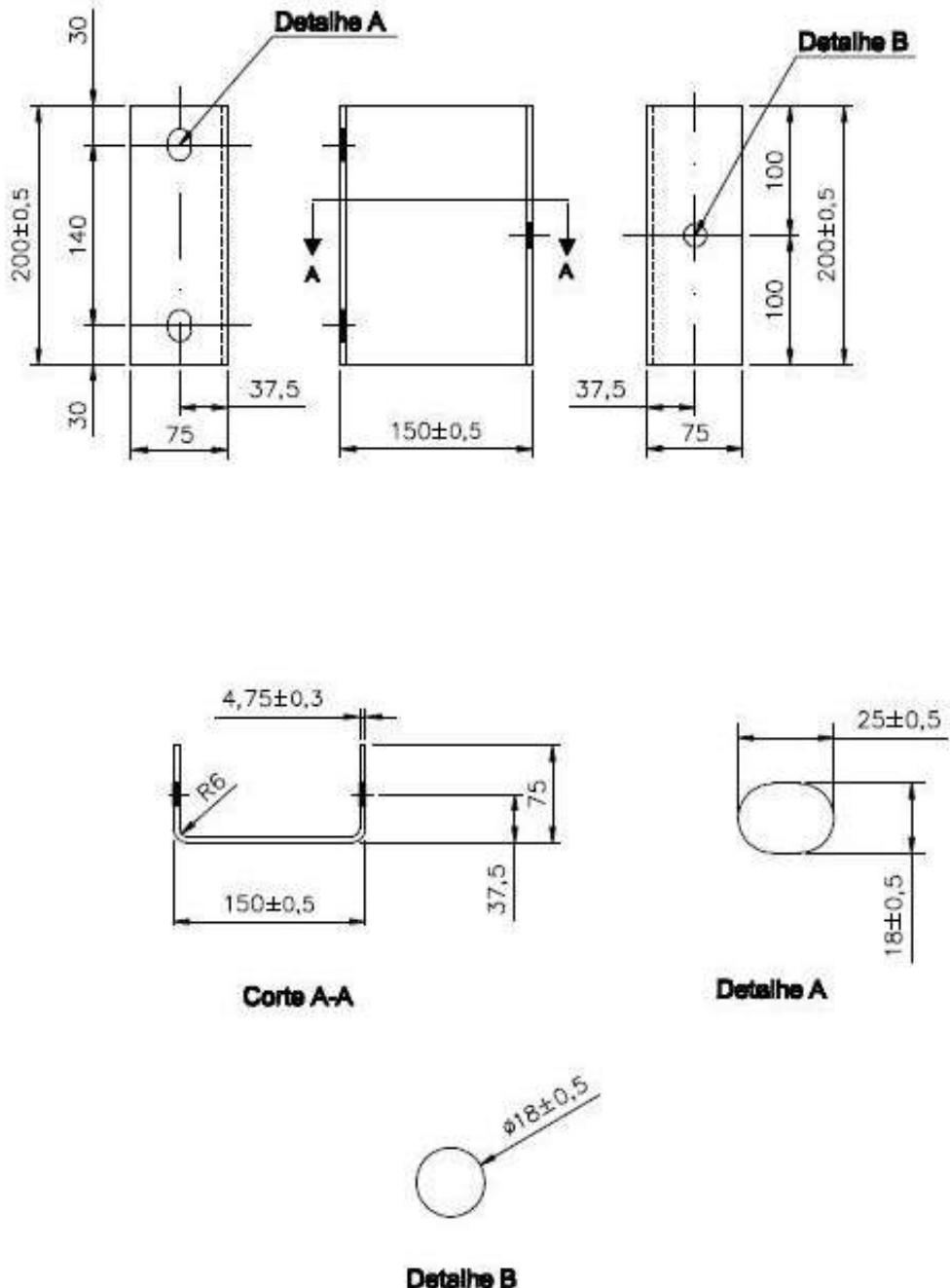


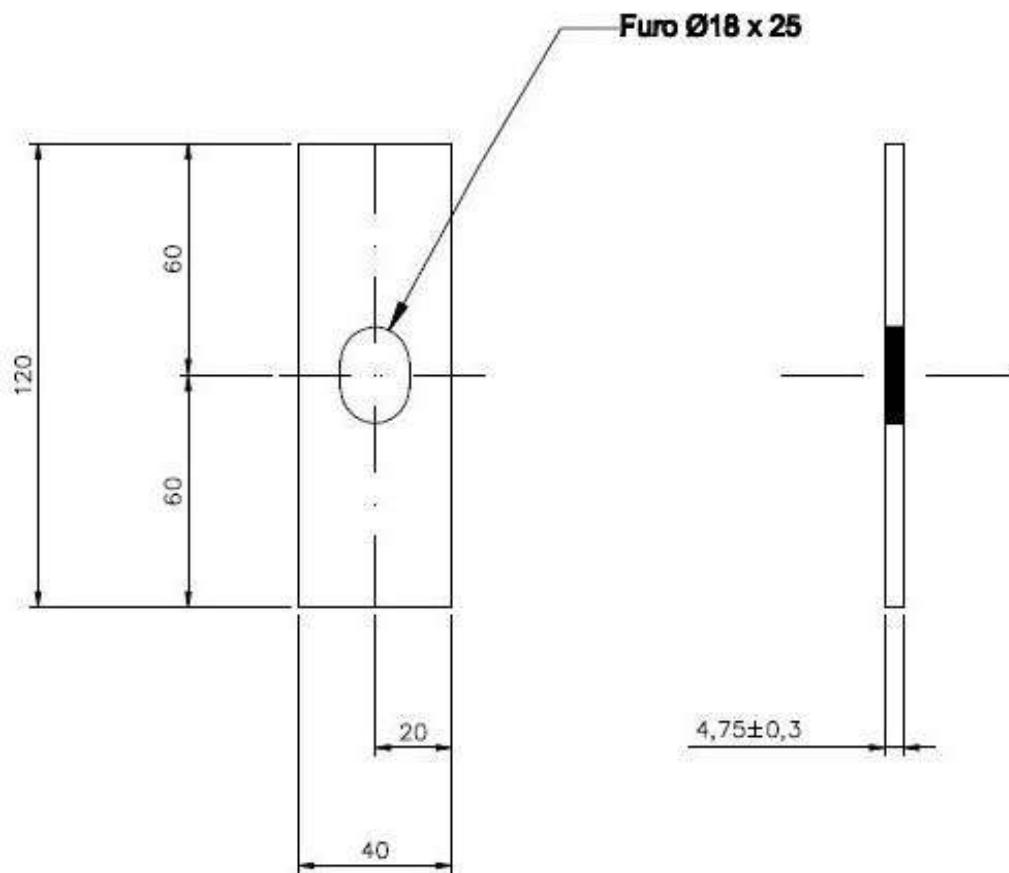
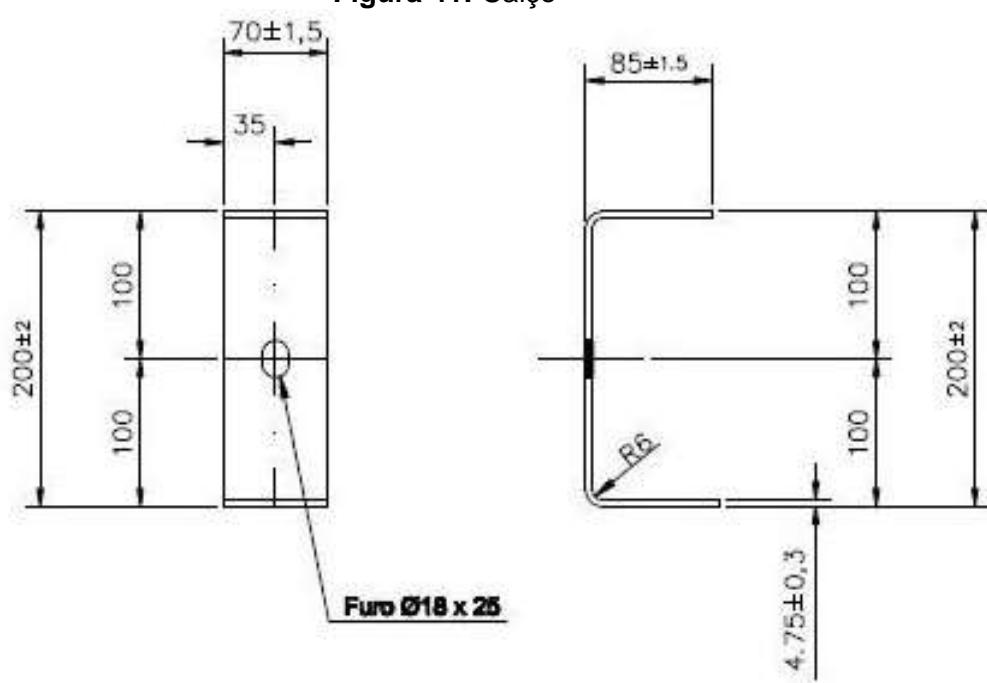
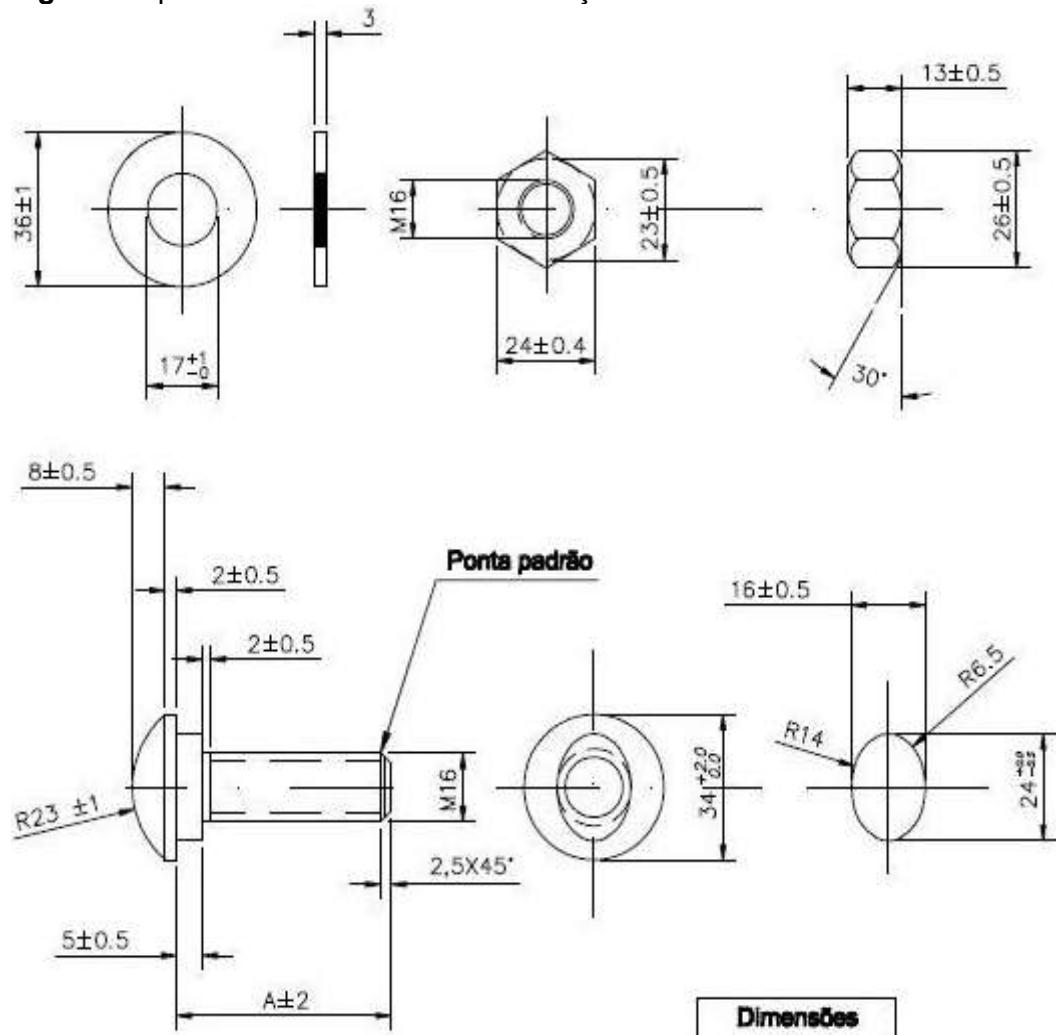
Figura 40: Plaqueta**Figura 41: Calço**

Figura 42: parafusos M16 utilizados na fixação das defensas metálicas



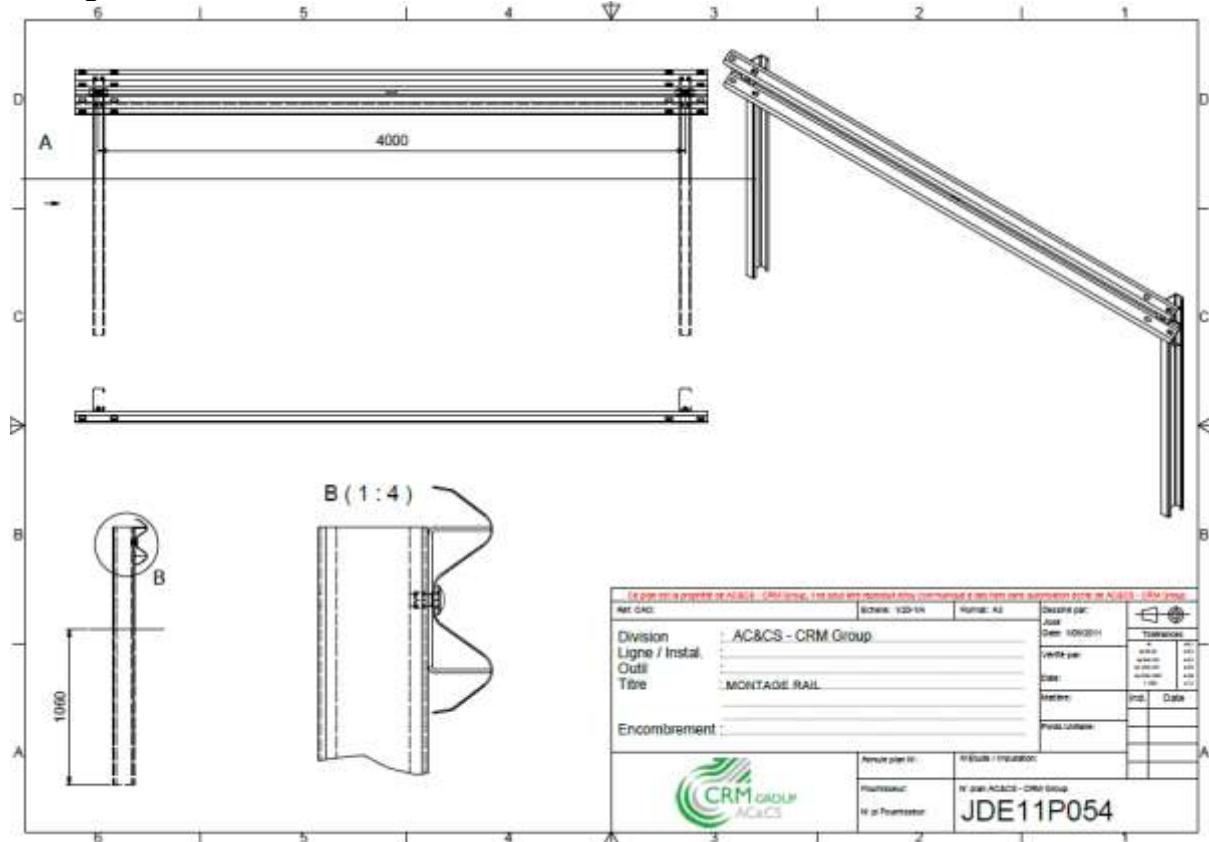
ANEXO C – Propriedades das Defensas Metálicas

Na tabela abaixo está mostrado um comparativo entre as propriedades mecânicas do aço utilizado no desenvolvimento da nova defensa metálica pela ArcelorMittal e o aço que contém as propriedades mínimas requeridas pela norma brasileira.

Tabela 19- Propriedades do ARBL e de um aço estrutural

	Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência à tração (MPa)	Alongamento			Dobramento 180°
			Espessura (mm)	Base medida	Valor mínimo (%)	
ARBL	420	480-620	E<3	80	16	0,5 E
			E>3		19	
Estrutural	240	360-510	E<3	80	21	1,0 E
			E>3		26	

Figura 43: Desenho técnico referente à nova defensa metálica desenvolvida

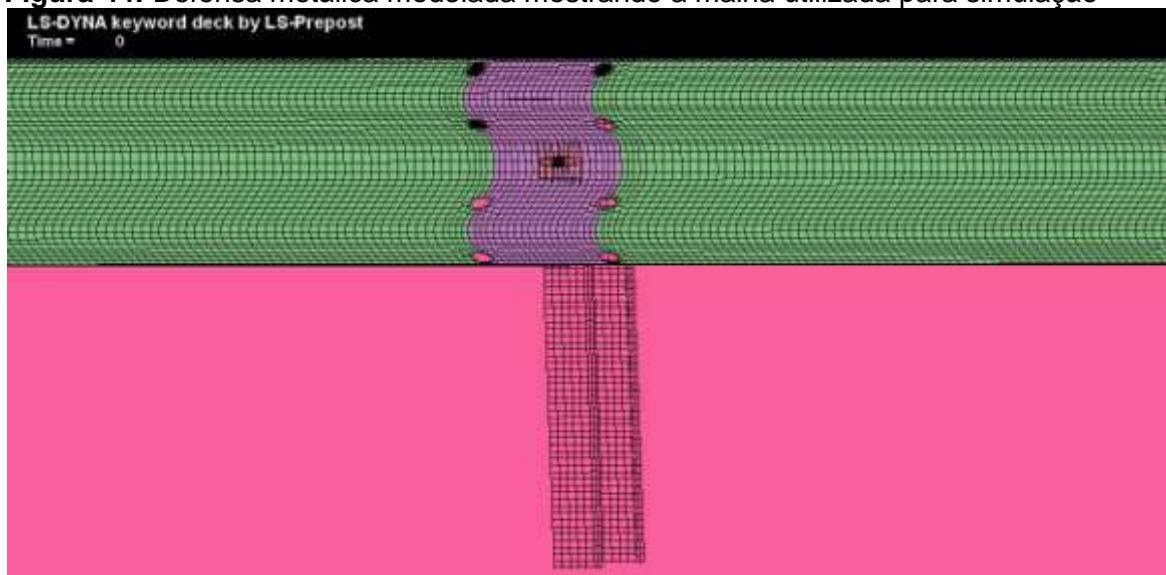


ANEXO D – Característica das Simulações

Nesse anexo estão colocadas as principais características das dos objetos modelados para as simulações numéricas.

D.1 MODELO DE BARREIRA DE PROTEÇÃO

Figura 44: Defensa metálica modelada mostrando a malha utilizada para simulação

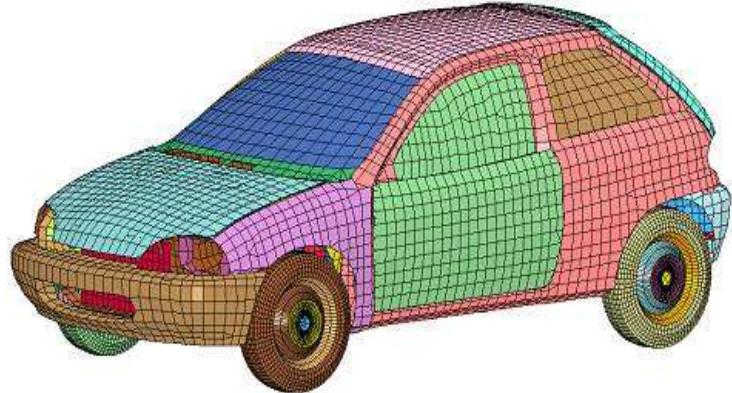


Fonte: Simulação

- Número de nós: 473138
- Número de elementos:
 - 52 (*Beam*)
 - 59360 (*Discrete*)
 - 46640 (*Mass*)
 - 411615 (*Shell*)
- Número de partes: 326
- Tipo de contato: *Contact_Automatic_Singles_Surface*

D.2 MODELO DO VEÍCULO DE 900 kg

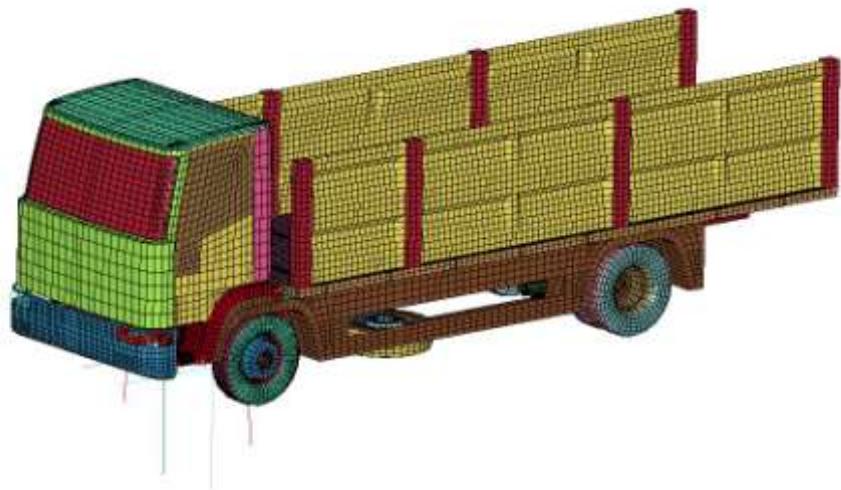
Figura 45: Modelo Geo Metro usado nas simulações



- Número de nós: 28656
- Número de elementos: 24903
- Número de partes: 227
- Tipo de contato: *Contact_Automatic_Singles_Surface*

D.3 MODELO DO CAMINHÃO DE 10 TONELADAS

Figura 46: Modelo do caminhão de 9960kg usado nas simulações

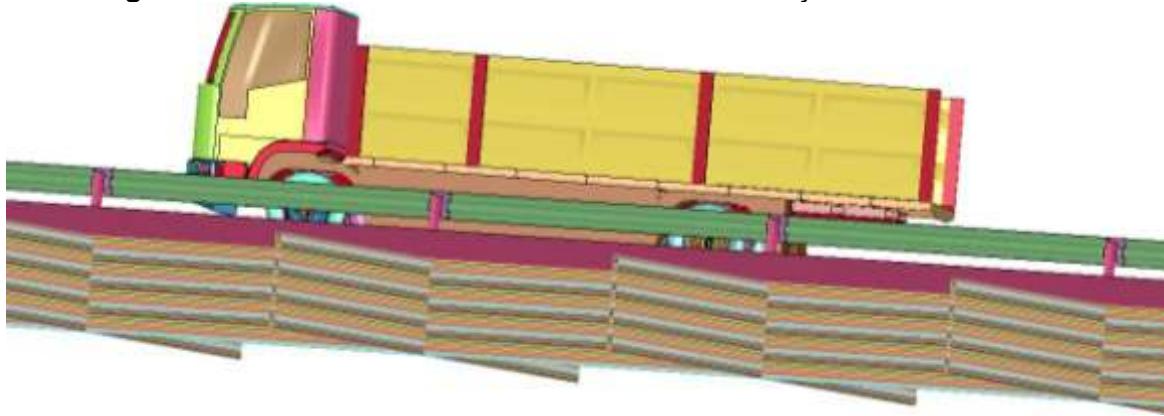


- Número de nós: 38443
- Número de elementos:
 - 28 (*Beam*)
 - 34 (*Discrete*)
 - 58 (*Mass*)
 - 34321 (*Shell*)
 - 1088 (*Solid*)

- Número de partes: 161
- Tipo de contato: *Contact_Automatic_Singles_Surface*

D.5 MODELO DO SOLO

Figura 47: Vista do modelo de solo usado nas simulações numéricas



- O solo foi modelado usando um *equivalent non-linear spring model* com uma restrição para evitar que os postes fossem retirados.
- Os parafusos foram modelados usando elementos tipo spotweld com limites de ruptura determinados de acordo com a classe do parafuso.