

Trabalho de Formatura

Projeto de um Engate para Trailer

Prof. Orientador: Edson Gomes

Alunos: **Leonardo Bara Menezes** **NUSP 1760664**
João Francisco Uras **NUSP 1737659**
Luciano B. Batista Santos **NUSP 2845859**

Data: 05/12/96

ÍNDICE

Agradecimentos.....	3
Introdução.....	4
Descrição do Produto.....	4
 Parte I Análise de Viabilidade Técnica Estrutural via CAE	
I.1) Descrição de Hardware e Software.....	5
I.2) Análise Inicial e Requisitos do Projeto Engate.....	5
I.3) O Processo GMB / CAE.....	6
I.4) Resumo das Soluções Propostas.....	8
I.5) Análise das Soluções Propostas.....	9
I.6) Validação do Projeto B pela Eng ^a . Experimental	12
I.7) Conclusão da Parte I.....	13
 Parte II Análise de Processos de Fabricação	
II.1) Análise de Sensibilidade.....	13
II.2) Análise do Processo de Fabricação e Custo do Ferramental	16
II.3) Montagem do Sistema.....	24
 Parte III - Custos	
III.1) Custo de Matéria Prima.....	24
III.2) Custo de Mão-de -Obra.....	27
III.3) Custo de Instalação.....	27
III.4) Custo de Fabricação.....	28
III.5) Investimento em Matrizes.....	29
III.6) Custo Total.....	29
III.7) Custo de Peças Tercerizadas.....	29
III.8) Conclusão da Parte III.....	29
Bibliografia.....	30
 Anexos	
Anexo “Descrição do Produto”.	
Anexo “Processo GMB/CAE”	
Anexo “Validação do Modelo pelo CAE”	
Anexo “Resultados do Projeto Alemão”	
Anexo “Locais de Análise de Fadiga”	
Anexo “Resultados do Projeto A”	
Anexo “Resultados do Projeto B”	
Anexo “Validação pela Eng ^a . Experimental”	

AGRADECIMENTOS

General Motors do Brasil Ltda. :

Eng. Arnaldo Marangoni
Eng. Gabriel F. Gueler
Eng. Mauro Gioria



Ifer Estamparia e Ferramentaria Ltda. :

Eng. Antonio Andalafat



Persico Pizzamiglio S.A. :

Eng. Mário A. Pereira



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Prof. Orientador Edson Gomes

INTRODUÇÃO

Este trabalho visa o projeto de um engate para trailer. O estudo está dividido em três partes bem definidas:

Quadro 1. Responsabilidades.

Parte	Responsável	Suporte
I) Análise de Viabilidade Técnica Estrutural via CAE	Leonardo	João e Luciano
II) Análise de Processos de Fabricação	João e Luciano	Leonardo
III) Custos	Luciano, João e Leonardo	

O engate analisado faz parte de um projeto da General Motors do Brasil como um acessório para Pick-Up Corsa Exportação para África do Sul.

Toda parte de Análise de Viabilidade Técnica Estrutural foi feita na General Motors do Brasil em São Caetano do Sul juntamente com o grupo de CAE.

O engate projetado é um projeto evolutivo, tendo como base um engate projetado pela Opel , divisão alemã da GMC.

A parte de Análise de Processos de Fabricação foi feita com auxílio técnico dos engenheiros da Persico Pizzamiglio S.A que produz tubos de aço com solda longitudinal e Ifer Estamparia e Ferramentaria Ltda.

O estudo de custos de produção foi baseado em pesquisa de mercado.

DESCRIÇÃO DO PRODUTO

Descrevemos , a seguir, as dimensões dos componentes do engate analisado:

Utilizou-se Aço SAE 1010. Ver anexo “Descrição do Produto”.

Quadro 2 - Características dos Componentes

Componente	Dimensões	Quantidade
Engate propriamente dito	D = 50mm	1
Suporte do engate	Ver desenho	2
Chapa L de apoio no carroceria	Ver desenho	1
Tubo de seção quadrada	lado= 40mm e = 4mm l = 1038	1
Chapa Posterior	Ver desenho	1
Chapa Longitudinal Inferior	Ver desenho	2
Chapa Longitudinal Superior	Ver desenho	2
Chapa Transversal Central	Ver desenho	1
Parafuso Traseiro da Chapa L	Sext. M10x25	2
Parafuso de fixação nas Longarinas	M 10x100	4
Parafuso Superior da Chapa L	M 10x25	2

PARTE I - ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA ESTRUTURAL VIA CAE

I.1) Descrição de Hardware e Software

O software utilizado para o desenho da peça foi o CGS, que é um CD desenvolvido pela própria GM. O software de pré-processamento é o SUMA, também desenvolvido pela própria GM. Há o software chamado ICES que é o conversor de dados vindos do CAD. O software de processamento é NASTRAN e o de pós-processamento é o PATRAN.

O hardware utilizado é um HP735, com 256 Mb de memória RAM e HardDisk de 4 Gb.

I.2) Análise Inicial e Requisitos do Projeto Engate

Os objetivos principais do trabalho eram de conseguir um engate mais leve, mais resistente e mais barato. Para isso, a diminuição da espessura das chapas usadas foi uma necessidade óbvia, o material teria que ser barato e a resistência maior. Estas condições são paradoxais,

porém trabalhou-se nas características geométricas e propriedade dos materiais das peças até se chegar a uma solução aceita.

O engate original alemão pesava 18.5 Kg, com uso Aço SAE 1010 e SAE 1020.

Os objetivos do projeto eram :

- Reduzir pelo menos 30 % do peso original.
- Vida útil de 40.000 Km simulados para uma carga de 900 Kg (como um trailer) em condições severas de uso, aproximadamente 140.000 Km em condições normais .(Isto significa fazer 140 viagens de 1000Km, isto é, duas viagens mensais de 500km por mais de dez anos.
- Todas as peças principais em Aço SAE 1010, exceto o gancho.
- Atender os limites de resistência do material e fadiga.
- Redução de custos de material e fabricação.

As condições de projeto do engate alemão eram diferentes, principalmente pelas condições das vias de transporte européias, que exigem menos do carro e portanto, do engate.

A análise estrutural do engate foi feita segundo um processo GMB/CAE sigiloso, e, portanto , protegido por segurança de informação, ítem previsto nas normas ISO 9000. Portanto, alguns pontos do trabalho se limitarão à descrição resumida seguida dos resultados efetivamente atingidos.

I.3) O Processo GMB / CAE

O processo GMB/CAE é um procedimento que visa a otimização do uso das ferramentas CAE . Ele descreve as relações entre as engenharias , CAD e CAE no processamento de análise estrutural dos projetos em andamento.

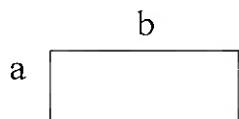
As engenharias solicitam formalmente o processamento estrutural de um projeto através e um formulário específico. Tal requisição gera a necessidade de vários dados que serão fornecidos ao CAE como desenhos em CAD, condições de simulação, dados da Eng^a. Experimental, dados do Campo de Provas, etc..

A área de Desenho do Produto gera as linhas de desenho para o CAD. O Campo de Provas envia arquivos de esforços medidos com strain-gages nas pistas de prova. Estes dados são gerados em pistas específicas que simulam as condições de uso previamente estabelecidas pela engenharia responsável. A Eng^a. Experimental pode mandar testes de laboratório para comparação de resultados ou pós validação de projeto, enfim, o CAE recebe uma série de informações que não só ajudarão o processo, mas validarão o modelo em questão.

Esta validação é importante pois o CAE tendo certeza de que tem um modelo que realmente simula a peça poderá efetuar vários testes com garantia de resultados consistentes. Assim torna-se desnecessários alguns testes em campo e em laboratório, reduzindo os custos do projeto.

Tendo todos os dados e desenhos, procede-se a confecção da malha no software CGS SMUG. Nesta fase procura-se minimizar o número de elementos triangulares tais que sejam no máximo 10 % dos elementos totais. A proporção dos lados dos elementos quadrangulares deve seguir a proporção

$b/a < 5$:



São fornecidas as forças e características dos materiais e peças. Para o cálculo, usamos o NASTRAN, seguindo o critério de Von Mises. Os resultados são processados pelo PATRAN e procura-se neste ponto conseguir as melhores perspectivas que ilustrem as regiões consideradas críticas.

Identificadas as regiões críticas , inicia-se um brainstorming dos engenheiros do CAE para gerar soluções para os problemas . Tais soluções são apresentadas para as engenharias envolvidas, e , com a concordância de todos, autoriza-se formalmente o desenvolvimento ou alteração do projeto.

Ver anexo “Processo GMB/CAE”.

I.4) Resumo das Soluções Propostas

Foram analisadas basicamente quatro opções, o projeto inicial alemão, um projeto A , um projeto B e a tercerização do projeto e sua fabricação.

Projeto Alemão

O projeto alemão, como será visto adiante, não atende aos requisitos de projeto apresentando pontos de tensões inadmissíveis em pontos chaves do engate. Além disso, seu peso de 18.5 Kg está acima do desejado.

Projeto A

O projeto A tem como objetivo mudar as posição do tubo e parafusos, sem diferir nas dimensões das chapas e do tubo que permaneceram iguais às do projeto alemão. Para esta opção, chegou-se à conclusão que havia um super dimensionamento do projeto, elevando desnecessariamente os custos do projeto.

Tercerização

A tercerização do projeto e fabricação do engate foi analisada com cuidado, já que a GM já tinha o projeto alemão em mãos. As possíveis vantagens de preço de um fornecedor externo não foram descartadas. Serão analisados os custos de compra de fornecedor externo mais custos de teste de qualidade do engate e serão comparados com os custos de projeto e fabricação internos à GM e controle de qualidade da peça.

Projeto B

O Projeto B constou da mudança da posição de fixação do tubo de seção quadrada além da posição dos parafusos segundo de diminuição de espessuras das chapas e do tubo. Com esta mudança , foram possíveis algumas mudanças significativas nas espessuras das chapas sem prejuízo da resistência do sistema. Esta foi a solução escolhida tecnicamente pois nela consegue-se ter um engate atendendo a todas especificações técnicas do projeto aliado a um custo de fabricação (estimado) menor. A seguir, será discutido detalhadamente a análise estrutural desta solução, confrontando-a com o projeto original alemão.

I.5) Análise das Soluções Propostas

Projeto Alemão ao Projeto B com o Processo GMB/CAE

Para processamento do engate , foi fornecido ao CAE as linhas de desenho, os objetivos da Eng^a. de Carrocerias (responsável pelo projeto) e dados do Campo de Provas .

As linhas de desenho eram do engate da Projeto Alemão. A Eng^a. de Carrocerias determinou que deveria haver uma redução de peso do engate, e que este devesse ser simulado para condições já descritas. Os dados do Campo de Provas foram arquivos de esforços no tempo medidos no protótipo durante os testes. Tais testes foram feitos em três pistas, gerando os esforços que simulam uma condição severa de uso.

Confeccionamos a malha, inserimos as soldas (elementos rígidos), características dos materiais (Aço SAE 1010, $E = 210 \text{ Gpa}$, $\nu = 0.3$) e espessuras. O engate propriamente dito foi simulado como sendo um elemento rígido. Impusemos uma força de 5000 N e processamos a estrutura com o NASTRAN. Nesta fase procuramos simplesmente verificar uma coerência dos resultados, como uma primeira validação do modelo.

Com a primeira validação feita, procedemos a validação do modelo em relação aos dados do Campo de Provas (FEM VALIDATION) . Com os dados de força e tensões nos strain gages colocados no Painel traseiro da carroceria, concluímos que em certo ponto onde a força longitudinal atuante era de 2500N (ver figura) , a tensão média atuante era de 16 Mpa. Para validação do modelo, impusemos a mesma condição de 2500 N de força longitudinal e, após o cálculo, percebemos que o resultado era de um estado de tensões em uma faixa de 12.50 à 25 Mpa. Com isso validamos completamente o modelo. Ver anexo “Validação do Modelo pelo CAE”.

Com um modelo seguro, procedemos a simulação com as forças abaixo:

Força Longitudinal de aceleração = 9000 N ($a=7.5 \text{ m/s}^2$ 0-100 km/h em 13.3 s)

Força Longitudinal de frenagem = -9000 N

Força Vertical = -3000 N

Força Lateral = -3000 N

Os resultados para o Projeto Alemão foram de regiões com excesso de concentração de tensão conforme anexo “Resultados do Projeto Alemão”.

Procedemos uma análise de fadiga, com um software próprio da GMB, cuja metodologia não foi fornecida por motivos de segurança de informação. Porém, sabemos que este software analisa todos os dados do Campo de Provas, fazendo uma contagem do números de picos de tensão no tempo. Com estes dados pode-se estimar a resistência a fadiga da peça. Foram escolhidos pontos críticos para esta análise, a saber:

Ver anexo “Locais de Análise de Fadiga”.

- 1- Chapa Longitudinal Inferior.
- 2- Tubo de Seção Quadrada.
- 3- Suporte do engate.
- 4- Painel traseiro da carroceria.

O resultado que obtivemos foi:

Projeto Alemão - Análise de Fadiga

Quadro 3 - Resultados de Análise de Fadiga para Projeto Alemão

	Pista 1	Pista2	Pista3	Consumo Total	Vida
Chapa Longitudinal Inf.	7.80%	108.06 %	180.56 %	180.56 %	0.55
Tubo	3.16%	73.36 %	73.56 %	73.56 %	1.36
Suporte do engate	4.77%	80.66 %	81.06 %	81.06 %	1.36
Painel traseiro da carroceria	9.59%	206.33 %	207.06 %	207.06 %	0.48

A porcentagem é um número criado que indica uma suposta porcentagem de danificação da peça. Se chegar a 100 % a peça falha por fadiga, se estiver abaixo de 100% não haverá possibilidade de fadiga.

Concluímos pela tabela acima que haverá problemas nas Chapas Longitudinais e no Painel da Carroceria.

Concluímos também que o Projeto Alemão não resistiria as condições impostas pela Eng^a. de Carrocerias.

Com este resultado, fez-se um brainstorming entre os engenheiros do CAE com a nossa participação onde a idéia de mudança da fixação do tubo e dos parafusos foram rapidamente concluídas como soluções viáveis.

Projeto A

Projetamos um novo modelo com os parafusos traseiros da Chapa L e o tubo de seção quadrada nas posições do Projeto B, porém com as mesmas espessuras do projeto Alemão. Esta solução foi denominada projeto A.

Fizemos os cálculos com o NASTRAN e chegamos a resultados satisfatórios que mostravam até um projeto excessivo em termos de resistência. Tal fato gerou a sugestão de diminuição das espessuras de chapas a fim de diminuirmos o peso e custo do engate atendendo aos requisitos de resistência e fadiga.

Projeto B

Geramos diversas soluções variando as espessuras dos componentes, todos dando bons resultados. A otimização foi conseguida com as mudanças que geraram o Projeto B.

Segue no Anexo “Resultados do Projeto B”, os resultados do projeto B para forças iguais às do projeto Alemão:

Força Longitudinal de aceleração = 9000 N
Força Longitudinal de frenagem = -9000 N
Força Vertical = -3000 N
Força Lateral = -3000 N

Procedemos a análise de fadiga que forneceu :

Quadro 4 - Resultados de Análise de Fadiga para Projeto B

	Pista 1	Pista2	Pista3	Consumo Total	Vida
Chapa Longitudinal	3.28%	75.62 %	75.83 %	75.83 %	1.32
Tubo	1.96%	45.48 %	45.61%	45.61 %	2.19
Peça de fixação do engate propriamente dito	4.82%	81.47 %	81.87 %	81.87 %	1.22
Painel traseiro da carroceria	0.38%	8.25 %	8.28 %	8.28 %	12.07

Concluímos que o projeto B é a melhor solução tecnicamente. Acompanhamos o grupo de CAE apresentando os resultados à Enga. de Carrocerias e a aceitação desta às sugestões feitas.

I.6) Validação do Projeto B pela Eng^a. Experimental

Após o projeto feito pelo CAE há mais um processo de validação feito nos laboratórios da Eng^a. Experimental. Desta vez, monta-se um carro com um protótipo igual à solução do CAE (Projeto B) aprovada pela Eng^a. de Carrocerias.

Com dados do campo de provas um atuador provoca os estados de tensão no carro com engate protótipo. Ao final do teste verifica-se se houve a formação de trincas ou deformações, tanto no engate como na carroceria ou longarinas.

Concluímos não ter havido nenhum desses casos com o protótipo, validando o projeto .

Segue no anexo “Validação pela Eng^a. Experimental” fotos do teste em laboratório e gráficos de comparação da capacidade da aparelhagem experimental em simular a realidade do Campo de Provas.

I.7) Conclusão da Parte I

Tecnicamente o projeto B satisfaz os requisitos de resistência e fadiga com maior eficiência. As mudanças propostas reduziram em 50 % (2 mm) várias chapas e a diminuição global de peso foi de 36.7 %, isto é, de 18.5 kg para 11.7 kg.

Obs : Pelo que percebemos, o CAE e a Eng^a. Experimental se completam. Não há o intuito de fazer o CAE substituir por completo a Eng^a. Experimental. O objetivo é reduzir o número de testes em laboratório a fim de reduzir os custos de projeto. Talvez com o avanço tecnológico o CAE se torne uma ferramenta mais poderosa podendo simular cada vez mais testes experimentais, mas cremos que a curto prazo o conceito de complementação será o mais aceito.

PARTE II) ANÁLISE DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E CUSTOS

II.1) Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade é importante para estabelecer os parâmetros para uma produção otimizada; usaremos esta análise para determinar o melhor processo para a obtenção das peças e como parte suplementar se o processo escolhido tem condições de suportar um aumento ou queda da demanda. Primeiramente analisaremos a estampagem e depois o gancho do engate.

Se a produção mensal fosse muito superior à estipulada, o mais indicado seria uma produção automatizada ou semi, em que uma quantidade imensa de peças seria produzida repetidamente e os custos de maquinário e ferramental necessários seriam diluídos pela produção. No caso dos estampos aqui mencionados eles poderiam ser feitos numa prensa com estampos progressivos com alimentação automática de bobinas.

No outro extremo para lotes pequenos (e até mesmo protótipos) podem ser utilizadas tanto máquinas convencionais de guilhotina, dobra e usinagem ou processos de alta tecnologia como o corte por laser e as viradeiras CNC. O custo por peça neste último caso seria bastante

superior ao processo adotado e a produção por hora seria menor (aproximadamente a metade). Os processos convencionais teriam custo menor que o de laser mas a produção além de pequena envolveriam um grande esforço de produção e mão-de-obra mais especializada e numerosa.

A forma escolhida de produção mesmo com certas limitações consegue atender um aumento da demanda pela otimização do tempo de troca de ferramenta e a locação de mais equipamentos ou utilização de capacidade ociosa. Cumpre observar que a grande tendência mundial pela redução de estoques e produção ‘puxada’ pelas etapas posteriores na fabricação (como exemplo vale citar os sistemas “just in time” e “kanban”). Assim sendo os lotes de produção devem ser pequenos e a troca deve ser feita rapidamente; as máquinas utilizadas podem ser usadas para produções em lotes reduzidos se implementar-se ações para trocas rápidas de ferramentas.

O quadro abaixo apresenta uma divisão dos processos segundo a escala de produção e suas características.

Produção	Baixa	Média	Alta
Tipos	usinagem convencional	estampagem convencional	estampagem progressiva
Característica	uso de serras, guilhotinas, furadeiras e dobradeiras	ferramentas distintas para corte e dobra	mesma ferramenta para corte e dobra
Custo	baixo	elevado	alto
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • baixo custo, • equipamento universal, • pequeno investimento em maquinário 	<ul style="list-style-type: none"> • precisão dimensional, acabamento, • menor número de funcionários que convencional • sem investimento em ferramentas específicas 	<ul style="list-style-type: none"> • investimento em ferramenta menor que progressivo, pessoal não especializado, • precisão e acabamento dentro dos padrões
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • pessoal qualificado, precisão e repetibilidade inferiores, • transporte intermediário de peças 	<ul style="list-style-type: none"> • alto investimento em máquinas, custos de produção elevados, • transporte intermediário de peças 	<ul style="list-style-type: none"> • sistema de alimentação manual, transporte intermediário de peças • lote econômico elevado, • maior investimento em ferramenta que convencional

Para o gancho do engate a análise revela que pode-se variar o processo conforme o nível de produção, desde um protótipo até a produção seriada em massa.

Um protótipo poderia ser construído por usinagem, em que o desperdício de matéria-prima seria compensado por não ter que fazer investimentos em ferramentas, matrizes e prensas, o que seria elevado.

Em pequenas produções usaria-se o forjamento por martelo manual, em que o custo é reduzido embora o resultado dependa bastante da habilidade do operador e a produção seja lenta.

Lotes médios podem ser produzidos por martelos e matrizes abertas com acionamento de potência. Para o nosso caso este é o processo recomendado. Se uma análise computacional for realizada a fim de garantir que a peça projetada atenda aos requisitos do projeto, é possível usar este método mesmo para a construção de um protótipo pois a matriz seria posteriormente usada para a produção. No nosso projeto esta análise foi conduzida e nos permite afirmar que o investimento na matriz para o protótipo será coberto pela produção com esta matriz sem necessidade de retrabalho.

Em grandes lotes existem duas soluções viáveis: o forjamento em matriz fechada e a fundição. Sabe-se que uma peça fundida não teria resistência suficiente, mas se o lote for de proporções imensas pode-se desenvolver um processo de fundição que atenda aos requisitos de projeto em termos de resistência mecânica. Um exemplo típico é o de bielas pela General Motors, que eram feitas por forjamento e desenvolveu-se o processo de fundição das bielas com vantagens técnicas e econômicas.

II.2) Análise do Processo de Fabricação e Custo de Ferramental

Nesta parte faremos uma descrição dos processos de fabricação de cada um dos componentes do gancho-reboque, bem como uma análise deles quanto ao custo, mão-de-obra, capacidade produtiva e detalhes técnicos. Para esta análise e descrição estimou-se a necessidade do mercado em 30.000 conjuntos por ano (2.500 por mês); este dado é importante pois dependendo da quantidade de peças a serem produzidas

podem ser tomadas diferentes decisões quanto ao planejamento dos processos e da produção.

Partindo-se do modelo computacional de análise da estrutura e do desenho de conjunto do equipamento, deve-se preparar um desenho de fabricação das peças, que conterá todas as características da peça, tais como dimensões, tolerâncias, rugosidade, material. Sabendo-se as características pode-se escolher os processos que atendam as estes requisitos.

Peça 1- Gancho de Engate

Esta peça é a de execução mais difícil e trabalhosa, porque tem formato complexo e deve atender a requisitos de resistência elevados.

A princípio, quatro opções de fabricação podem ser analisadas: o forjamento, a fundição, a usinagem e a união. A usinagem oferece uma boa precisão dimensional e flexibilidade, mas desperdiça material; a união de peças simples por solda é uma alternativa que poupa material mas não garante as características de resistência mecânica na peça; a fundição consiste no vazamento de metal fundente em uma matriz (em areia ou metal) sob pressão ou gravidade; o forjamento é a formação de uma peça em bruto pela aplicação de forças compressivas localizadas exercidas no material por martelos no material forçando-o dentro de uma matriz. Após qualquer um dos processos será necessário uma operação de usinagem para atender aos requisitos dimensionais.

A opção de fundição é tecnicamente descartada pois sem grandes investimentos para desenvolver um processo que atendesse aos requisitos de resistência. Como foi visto anteriormente, na análise de sensibilidade, é possível um processo de fundição deste tipo, mas exigiria investimentos só justificados se o volume de produção for elevado.

O processo de fabricação da peça, então, é o de forjamento; com isto definido passa-se a detalhar as fases entre o recebimento do desenho pela área de Processos e sua fabricação.

O primeiro passo é a construção de um modelo em gesso com as dimensões da peça em bruto a ser atingida. Deste modelo constroe-se um molde em areia em duas metades. Aqui a escolha da areia é feita porque

não é possível a execução em Shell Molding: o alumínio traria problemas em fase posterior, a de eletroerosão.

A seguir, para preparar a eletroerosão faz-se vazar uma liga de cobre com características de boa condutividade térmica, p. ex.: latão, para servir de eletrodo.

O último passo é a fabricação da matriz em si por eletroerosão. Esta matriz deve ter 3 steps, sendo uma para dobrar a barra, outra para fazer o perfil retangular e o último, no meio da matriz, já com o perfil da peça.

Além da ferramenta e da geometria da matriz, a Engenharia de Processos definirá os parâmetros necessários para a produção, tais como o material, a forma inicial, a temperatura inicial do processo, lubrificação, velocidade e quantidade de deformação.

A operação não é feita de uma só vez para não ultrapassar o limite de resistência do material; com a mesma matriz faz-se 3 operações. A matriz é aberta (bipartida) e o tipo de forjamento será à quente, ou seja, acima da temperatura de recristalização (para o aço esta temperatura é de aproximadamente 1100°C). Como a operação será feita à quente não haverá tensões residuais no material porque ocorre recristalização. O forjamento à quente necessita de uma matriz resistente a altas temperaturas a que será submetido o material.

Depois do forjamento, faz-se a furação para fixação. Passa-se, então, à usinagem da peça em bruto; neste caso será preciso realizar uma retificação da superfície para retirar as rebarbas do material e colocar a peça nas suas dimensões finais. Para conferir as características finais faz-se um tratamento térmico e de superfície.

Quadro 6 - Processo de Fabricação da Peça 1

Operação	Característica	Ferramenta
Pré-forjamento	definição do processo	
Ferramentaria	construção da matriz	
Forjamento	dobra	matriz de forjamento
	seção retangular	
	perfil da peça	
Furação	Furo para fixação	
Usinagem	retífica	
Tratamento	térmico e de superfície	

Peça 2- Suporte do engate

Para se obter estas chapas (ver desenho em anexo), na quantidade estipulada anteriormente, optou-se por um processo de corte e dobra de uma chapa do material. Ao receber o desenho de fabricação, a Engenharia de Processos define o processo a ser utilizado e a seqüência de fabricação, além da definição da peça em bruto ou matéria-prima para o serviço e define-se que tipos de ferramentas e dispositivos serão usados. No caso a opção escolhida foi a de corte e dobra.

Para preparar a fabricação da peça deve-se calcular o “blank”. Este cálculo é necessário pois a operação de dobra introduz deformação plástica no material ou, em outras palavras, procede-se uma ‘linearização’ da chapa.

Sabendo o tamanho do recorte do material passa-se ao estudo do aproveitamento da matéria-prima, ou seja, busca-se a otimização da matéria-prima para se obter o maior número de peças. Existem softwares que fazem esta otimização. Com a definição da distribuição das peças na chapa, passa-se ao projeto do ferramental necessário e a sua construção.

Especificamente para a peça 2 será usada como matéria-prima uma chapa de aço SAE-1010 de dimensões 1000 x 2000 x 4 mm, já que o lote não é suficientemente grande para uma produção contínua por meio de bobinas. Em virtude do lote é aconselhável realizar a produção com 2 ferramentas: uma específica para o corte e outra para a dobra; não cabendo o uso de uma ferramenta progressiva. Estas ferramentas são orçadas em aproximadamente US\$ 9.000,00, podendo-se obter uma

produção de 600 peças por hora. Uma prensa de 22 toneladas é suficiente para a produção.

Quadro 7 - Processo de Fabricação da Peça 2

Fase	Operação	Ferramenta	Custo(US\$)
Pré-estampo	desenvolvimento do “blank” e otimização de matéria-prima		
Ferramentaria	projeto e construção da ferramenta		
estampo	corte	matriz e punção p/ corte	9.000,00
	dobra	matriz e punção p/ dobra	9.000,00

Peça 3- Chapa L de apoio na carroceria

O procedimento para a obtenção da peça 3 (ver desenho em anexo) a partir de uma chapa com as mesmas dimensões anteriores é semelhante. Existe a alteração de que no corte também são feitos os furos. A precisão dimensional do processo de estampagem é suficiente para garantir que não seja necessário trabalho de usinagem dos furos.

Quadro 8 - Processo de Fabricação da Peça 3

Fase	Operação	Ferramenta	Custo(US\$)
Pré-estampo	desenvolvimento do “blank” e otimização de matéria-prima		
Ferramentaria	projeto e construção da ferramenta		
Estampo	corte	matriz e punção p/ corte e furo	9.000,00
	dobra	matriz e punção p/ dobra	9.000,00

Peça 4- Tubo de seção quadrada

Para a peça 4 (ver desenho em anexo) parte-se de um tubo de seção quadrada 40 x 4 mm com 6 metros de comprimento. A primeira operação consiste do corte do tubo com uma serra, seguida de uma operação de

rebarbamento externo por razões de segurança do pessoal envolvido na fabricação e estéticas.

Tendo-se o tubo nas dimensões necessárias, parte-se para 2 operações de dobra numa viradeira de tubos. Primeiro será dobrado um dos lados, então será virado o tubo para dobrar o outro lado. Estas operações de dobra são feitas em uma passada, não sendo necessário fazer dobrões intermediários até se atingir os 15° da dobra. A produção máxima fica em torno de 200 peças hora em razão das várias operações manuais.

Quadro 9 - Processo de Fabricação da Peça 4

Fase	Operação	Ferramenta	Custo(US\$)
Pré-estampo	desenvolvimento do “blank” e otimização de matéria-prima		
Usinagem	corte	serra	
Estampo	dobra	viradeira	
	dobra	viradeira	

Peça 5- Chapa posterior

Esta peça de forma simples (ver desenho em anexo) é obtida em uma única operação; a ferramenta construída é orçada preliminarmente em US\$ 4.000,00 e a operação de 600 peças por hora.

Quadro 10 - Processo de Fabricação da Peça 5

Fase	Operação	Ferramenta	Custo(US\$)
Pré-estampo	otimização de matéria-prima		
Ferramentaria	projeto e construção da ferramenta		
Estampo	corte	matriz e punção p/ corte	4.000,00

Peça 6- Chapa longitudinal inferior

Esta peça nos permite fazer uma análise da influência do projeto no processo de fabricação. Esta peça é obtida com corte, repuxo e furo,

podendo ser feito todas as 3 operações de uma vez ou em operações separadas, dependendo do nível de repuxo estipulado.

Se o projeto for feito com um rebaixo de grandes dimensões, a área de processos terá que adotar 3 operações distintas (o furo deve ser feito após a dobra porque esta operação deformaria os furos se feitos já no corte), mas se for um rebaixo pequeno tudo poderá ser feito de uma vez.

Em alguns casos, o rebaixo não é um ítem de fundamental importância para as tensões no conjunto de equipamento (embora o seja para a peça), assim sendo o projetista fica com liberdade de escolher o rebaixo; se não houver uma comunicação eficiente entre projeto e processos, com “feedback” deste tipo de informação, uma peça simples pode ser encarecida e ter a fabricação dificultada.

A engenharia simultânea fornece meios de se facilitar a fabricação das peças, aumentar a produção (nesta peça seria de 600 peças hora contra 300 em três operações) e de diminuir o seu custo.

Especificamente nesta peça encontra-se um repuxo de pequenas dimensões (2 mm), o que permite fazer a escolha de uma única operação de corte, repuxo e furo simultaneamente. Esta ferramenta está orçada em US\$ 8.000,00.

Quadro 11 - Processo de Fabricação da Peça 6

Fase	Operação	Ferramenta	Custo(US\$)
Pré-estampo	desenvolvimento do “blank” e otimização de matéria-prima		
Ferramentaria	projeto e construção da ferramenta		
Estampo	corte, repuxo e furo	matriz e punção p/ corte, repuxo e furo	8.000,00

Peça 7- Chapa longitudinal superior

Com características de processo semelhantes a peça anterior (ver desenho em anexo) pode-se fazer o mesmo tipo de considerações que antes. Também no caso desta o repuxo é pequeno (2 mm) possibilitando

a execução de corte, repuxo e furo em uma única operação. Uma ferramenta destas custaria em torno de US\$ 8.000,00.

Quadro 12 - Processo de Fabricação da Peça 7

Fase	Operação	Ferramenta	Custo(US\$)
Pré-estampo	desenvolvimento do “blank” e otimização de matéria-prima		
Ferramentaria	projeto e construção da ferramenta		
Estampo	corte, repuxo e furo	matriz e punção p/ corte, repuxo e furo	8.000,00

Peça 8- Chapa transversal central

Outra peça de forma e fabricação simplificada (ver desenho em anexo) necessitando de uma ferramenta única que executa o corte e o furo simultaneamente. A ferramenta custa em torno de US\$ 4.000,00.

Quadro 12 - Processo de Fabricação da Peça 8

Fase	Operação	Ferramenta	Custo(US\$)
Pré-estampo	otimização de matéria-prima		
Ferramentaria	projeto e construção da ferramenta		
Estampo	corte e furo	matriz e punção p/ corte e furo	4.000,00

Devido ao lote de produção já foi dito que se trabalhará com chapas de 1 x 2 metros, isto provoca que a alimentação das prensas deva ser manual e não automática e contínua por meio de bobinas e facas de passo. Em cada máquina tem de se usar um operário para fazer a alimentação de material e a operar; este operário não precisa ser especializado mas deve ter um bom treinamento e conhecimentos sobre a operação e a segurança do trabalho.

II.3) Montagem do Sistema

A montagem para embalagem deve seguir a seguinte sequência:

- 1) Soldar as chapas longitudinais inferiores (# 6) nas extremidades do tubo de seção quadrada (#4). A soldagem deve ser do tipo MIG , pois oferece maior resistência para suportar esforços.
- 2) Soldar as chapas de suporte do engate (#2) na chapa posterior (#5)
- 3) Soldar as chapas de suporte do engate (#2) + chapa posterior (#5) na chapa L de apoio na carroceria (#3)
- 4) Soldar as chapas de suporte do engate (#2) + chapa posterior (#5) + chapa L de apoio na carroceria (#3) no tubo de seção quadrada (#4)
- 5) Montar Gancho (#1) na estrutura do ítem anterior.
- 6) Embalar o conjunto do ítem 5 mais as duas chapas longitudinais superiores (#7) e chapa transversal (#8).

Parte III. Custos

III.1) Custo de Matéria-Prima

Material :AÇO SAE 1010

ESTIMATIVA 1:

Chapas de Aço:

Para a confecção das peças necessárias ao desenvolvimento do conjunto, serão compradas 270 chapas de aço de 3 mm de espessura (2m x 1m) da empresa 'Aço Carbono Com.' (Este número de chapas já

considera a área não aproveitada da chapa quando da operação de estampagem). Estas chapas serão adquiridas ao preço de US\$45,00 por unidade, o que representará um custo total de **US\$ 12.150,00**. A empresa em questão fornece um mínimo de toneladas de chapas de aço para a venda mínima e a necessidade do projeto é da ordem de 9 toneladas por mês, não implicando em nenhum problema de fornecimento.

Tubos de Aço:

Os tubos de aço (de 6m de comprimento e 40 x 4 mm de seção transversal) serão adquiridos da empresa 'Persico Pizzamiglio S.A.' .

O custo dos tubos fornecidos por esta empresa é de US\$0,90 por kilo, e a necessidade de projeto é de aproximadamente 14 toneladas por mês acarretando num custo total de **US\$12.500,00** mensais. Outra empresa, a 'Aços Oliveira', também foi consultada mas descartada por apresentar um custo 22% maior por kilograma de aço.

Gancho (engate propriamente dito):

Para a peça do engate propriamente dito, esta será produzida por fundição, pela empresa Forjaço (Osasco-SP) . Com aproximadamente 3,5 kilos de peso esta peça terá um custo aproximado de US\$3,00 a US\$3,50 por peça. Como serão fabricados cerca de 2.500 conjuntos por mês, serão fabricadas 2.500 peças a um custo de **US\$8.125,00** mensais.

Parafusos:

O conjunto do engate é composto por 4 parafusos M 10 x 25 (a um custo de US\$0,13 a unidade) e por 4 parafusos M 10 x 100 (a um custo de US\$ 0,35 a unidade), fornecidos pela 'San Siro Parafusos e Metalurgia'. Para a produção de 2.500 conjuntos mensais são necessários um total de 20.000 parafusos a um custo final de **US\$4.800,00**.

Conjunto Total:

O custo total de matéria-prima para o conjunto inteiro é de **US\$15,03 por peça**, dando um total de **US\$37.575,00** para a produção mensal.

ESTIMATIVA 2:

Estimativa de preço em função das áreas das chapas e demais peças, considerando o aproveitamento da matéria-prima.

Quadro 13 - Estimativa de preço em função das áreas das chapas e demais peças

Peça	Característica	Rendimento	Fator	Custo (US\$)
Número 1	P=3,43 Kg	--	0,85 US\$/kg	2,92
Número 2	A=10.005 mm ²	60,0%	US\$ 45/ chapa de 2X1 m	0,38
Número 3	A=63.487mm ²	75,0%		1,90
Número 4	P=4,80 Kg	86,0%	0,90 US\$/kg	5,02
Número 5	A=19.700 mm ²	75,0%		0,59
Número 6	A=18.126 mm ²	55,0%	US\$ 45/ chapa de 2X1 m	0,74
Número 7	A=20.580 mm ²	80,0%		0,58
Número 8	A=19.980 mm ²	80,0%		0,56

Custo da matéria-prima (C):

$$C = P1+P2+P3+P4+P5+2P6+2P7+P8+P_{parafuso}$$

$$C = 15,93.$$

Esta estimativa levou em consideração cada chapa individualmente, considerando o aproveitamento da estampagem, chegando a um resultado bastante próximo da Estimativa 1, que foi uma estimativa preliminar com um rendimento geral e, portanto, aproximado.

Chegamos, então, a um custo mensal, de matéria-prima, de US\$ **39.825,00** para 2.500 peças.

III.2) Custo de Mão-de-Obra

Para a realização de todas as operações envolvidas no processo, serão necessários :

- Fabricação : 4 operadores mais quatro ajudantes.
- Estoque : 1 pessoa
- Montagem : 2 pessoas
- Embalagem : 2 pessoas
- Recebimento e despacho : 1 pessoa.
- Escritório : 3 pessoas .

A movimentação de material interna das operações pode ser reduzida se utilizar-se um esquema de lay-out em células. Mesmo assim será necessário um ajudante para dar conta da movimentação. A equipe de projeto deve ter serviços de um engenheiro de projetos, um de CAE, um de processos e outro de fabricação.

O custo para a empresa, de cada funcionário, é de US\$ 25,00 / hora. Este número inclui todos os gastos administrativos, de material, de encargos, além de estar computado o salário; por ser um valor médio de todos os níveis hierárquicos é uma boa estimativa de quanto a empresa despenderá em mão-de-obra com o reboque, o projeto e a sua fabricação

Com 160 horas de trabalho mensal, o custo destes 10 funcionários será cerca de **US\$ 68.000,00**.

III.3) Custos de Instalação

Para a fabricação e montagem do conjunto de gancho reboque deve-se utilizar obviamente um espaço físico, que deve suportar a colocação das máquinas, dos locais de estoques intermediários e finais, local de montagem e solda, além da parte administrativa, engenharia, recebimento de matéria-prima e almoxarifado, vestiários, refeitório e equipamentos úteis numa fábrica.

Mesmo que o espaço físico seja de propriedade da empresa faz-se necessário contabilizar o custo de oportunidade do aproveitamento deste

espaço com este produto e não com outro ou simplesmente arrendá-lo a terceiros.

Estima-se, que seja preciso ocupar uma área de 1.050 m² com este produto, distribuídos da seguinte forma :

- Fabricação : 400 m².
- Estoque (100 peças) : 150 m²
- Montagem : 200 m²
- Embalagem : 100 m²
- Recebimento e despacho : 50 m².
- Escritório : 150 m².

O preço de aluguel com encargos (segurança, impostos, etc.) do m² útil e construído numa boa região industrial está por volta dos US\$ 8,00, chegando-se ao total de **US\$ 8,400,00** de gasto mensal com aluguel.

III.4) Custos de Fabricação

Aluguel das máquinas :

Quadro 14- Estimativa de Alugueis de Máquinas

Máquina	Qtde.	Aluguel Mensal (US\$)
Martelo para Forjamento	1	750
Retífica (Prod, Ferram)	2	2.000
Forno (Trat. Térmico)	1	750
Prensa	3	2.000
Serra	1	400
Viradeira	1	150
Torno	1	900
Fresa	1	900
HP 735 e Plotter	1	500
	Total	8.350

III.5) Investimento em Matrizes

Somando os valores analisados temos US\$ 60.000,00 de investimento, calculados para 12 parcelas mensais de **US\$ 5.500,00**.

III.6) Custo total

O somatório dos custos acima fornece um custo mensal de US\$ 130.075, ou seja, **US\$ 52,03 por peça**.

Com impostos (IPI, IR, etc.) e pequena margem de segurança (perdas na fabricação e montagem, flutuações de mercado, etc.) teremos **US\$ 65,03 por peça**.

III.7) Custos de Peças Tercerizadas

Em pesquisa com engenheiros das firmas participantes deste trabalho, concluímos que uma opção mais viável seria a tercerização. Neste caso não há a necessidade de investimentos em instalação, maquinaria e mão de obra nem haveria os custos de garantia que seriam de responsabilidade do fornecedor. Um preço oferecido por pequenas estamparias para o engate seria de US\$ 60,00 a US\$ 70,00 para 2.500 peças /mês.

A opção de importação é inviável pois uma pesquisa apontou preços incluindo taxas de importação de US\$ 150,00.

III.8) Conclusão da Parte III

Concluímos que a tercerização da fabricação da peça é mais viável. A diferença de preço é de aproximadamente 7,7 % e toda responsabilidade e possíveis custos adicionais da peça seriam assumidos pelo fornecedor. Nestes custos adicionais estão ainda os problemas trabalhistas, problemas com fornecedores de materiais, custos de inspeção de qualidade , flutuações de mercado, etc.

BIBLIOGRAFIA

DEGARMO,E. PAUL., Materials and Processes in Manufacturing, 7ed., Ed.Macmillan Publishing Company, 1988.

NIEBEL B.W., DRAPER A.B., WYSK R.A., Modern Manufacturing Process Engineering, Ed. MacGraw Hill

ANEXOS

ANEXO

Descrição do Produto

Conteúdo : Vista do engate

Vista do Engate sobre a carroceria

Vista com zoom do Gancho sobre a carroceria

Vista com zoom das placas em contato com a longarina

Vista alternativa do engate

7 desenhos cotados das peças

ANEXO

Processo GMB/CAE

Conteúdo : Fluxograma das Atividades

STRUCTURAL & ENGINEERING ANALYSIS GROUP

ACTIVITY FLUXOGRAM

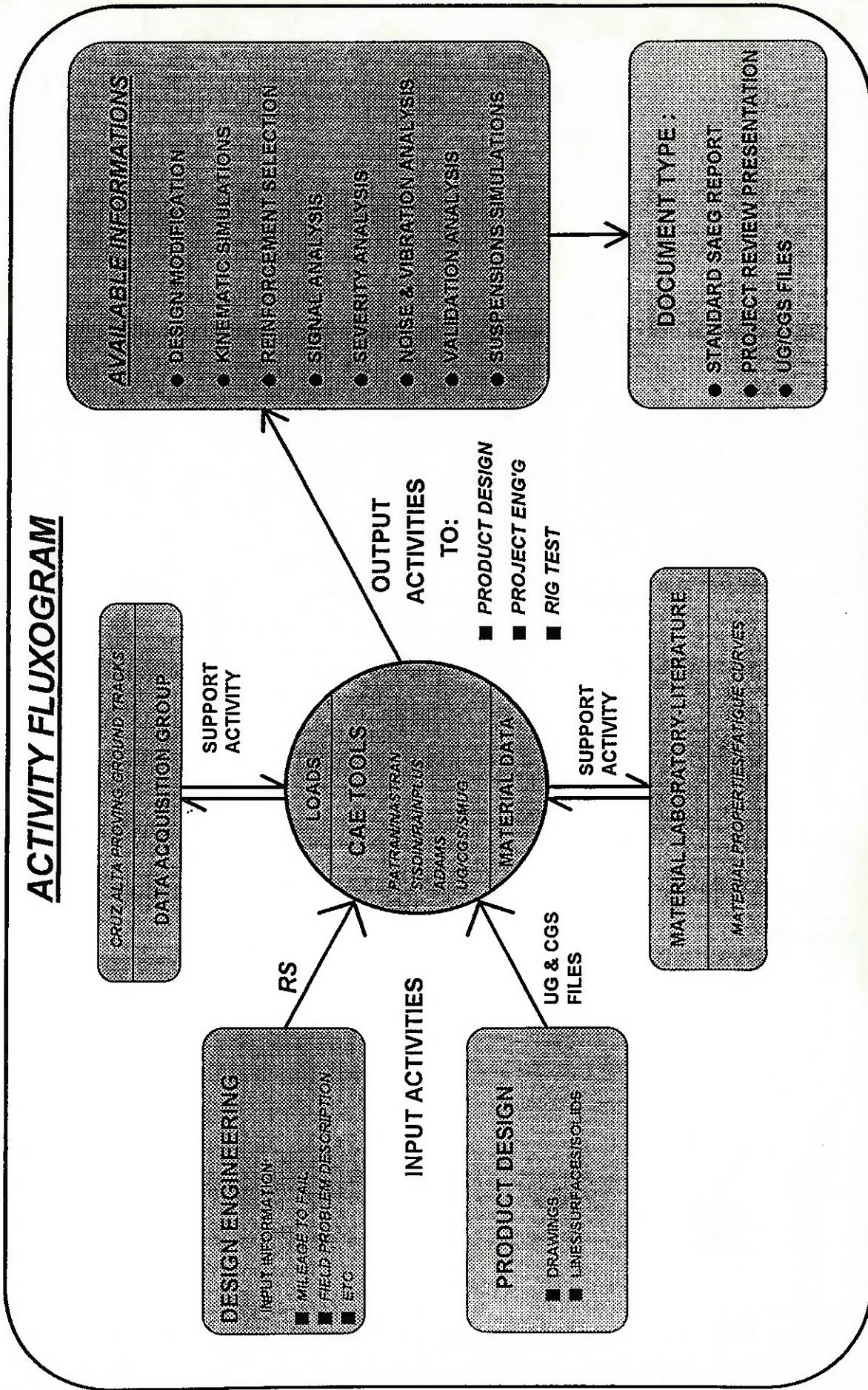


Figura gentilmente cedida pela General Motors do Brasil Ltda.

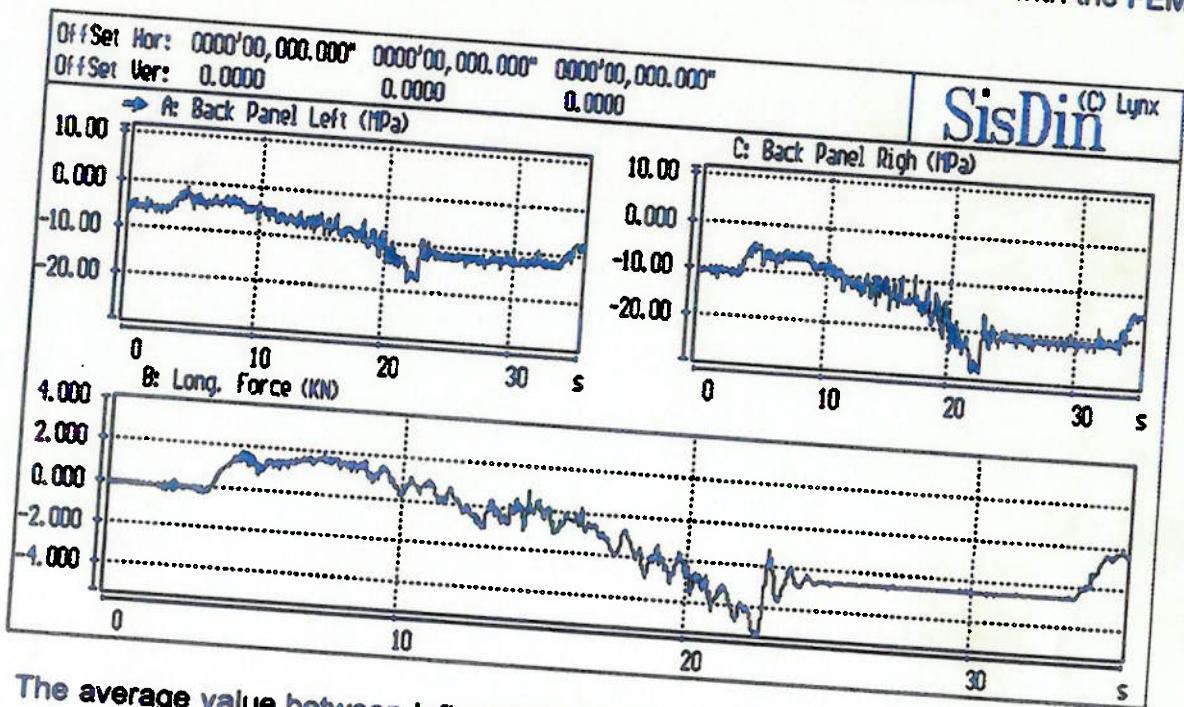
ANEXO

Validação do Modelo pelo CAE

Conteúdo : FEM Validation

FEM VALIDATION

The graphs below show a partial signal measured at CAPG when the car was going down a ramp. Considering the values at 30s we can compare the measured values with the FEM static results.



The average value between left and right side in the Back Panel is 16MPa for a 2500N load. This is the same stress level found in the FEM results as shown in the figure below.

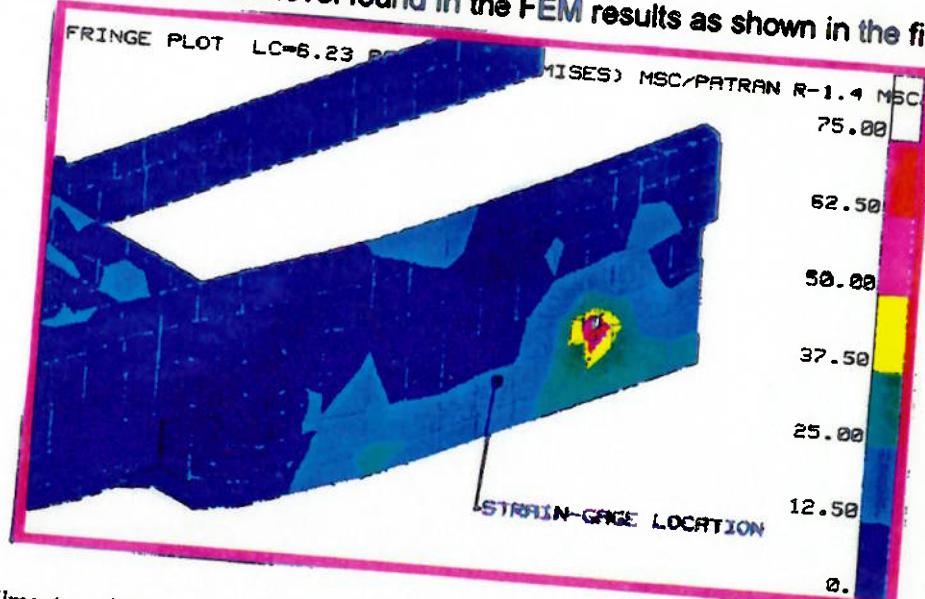


Figura gentilmente cedida pela General Motors do Brasil Ltda.

ANEXO

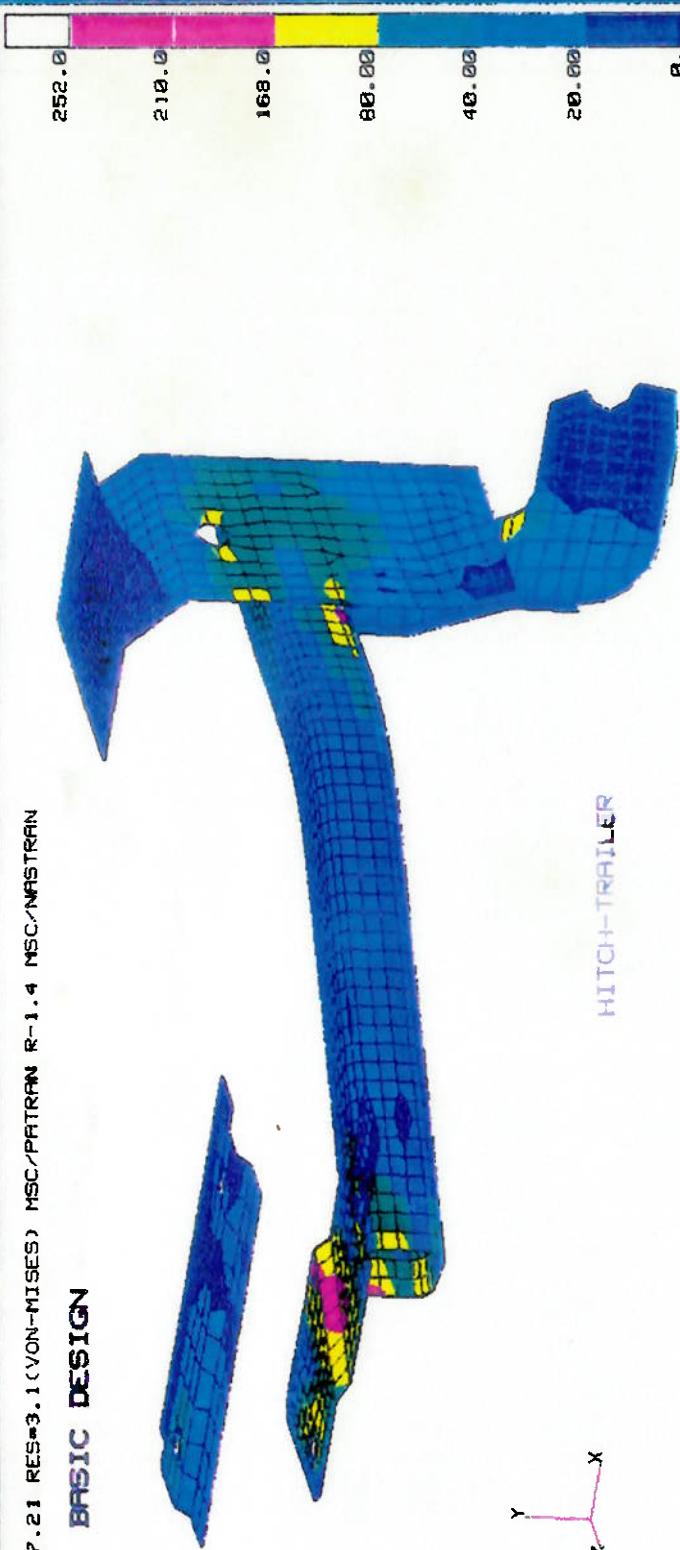
Resultados do Projeto Alemão

Conteúdo : Simulação com Força Longitudinal de Aceleração
Simulação com Força Longitudinal de Frenagem
Simulação com Força Vertical
Simulação com Força Lateral

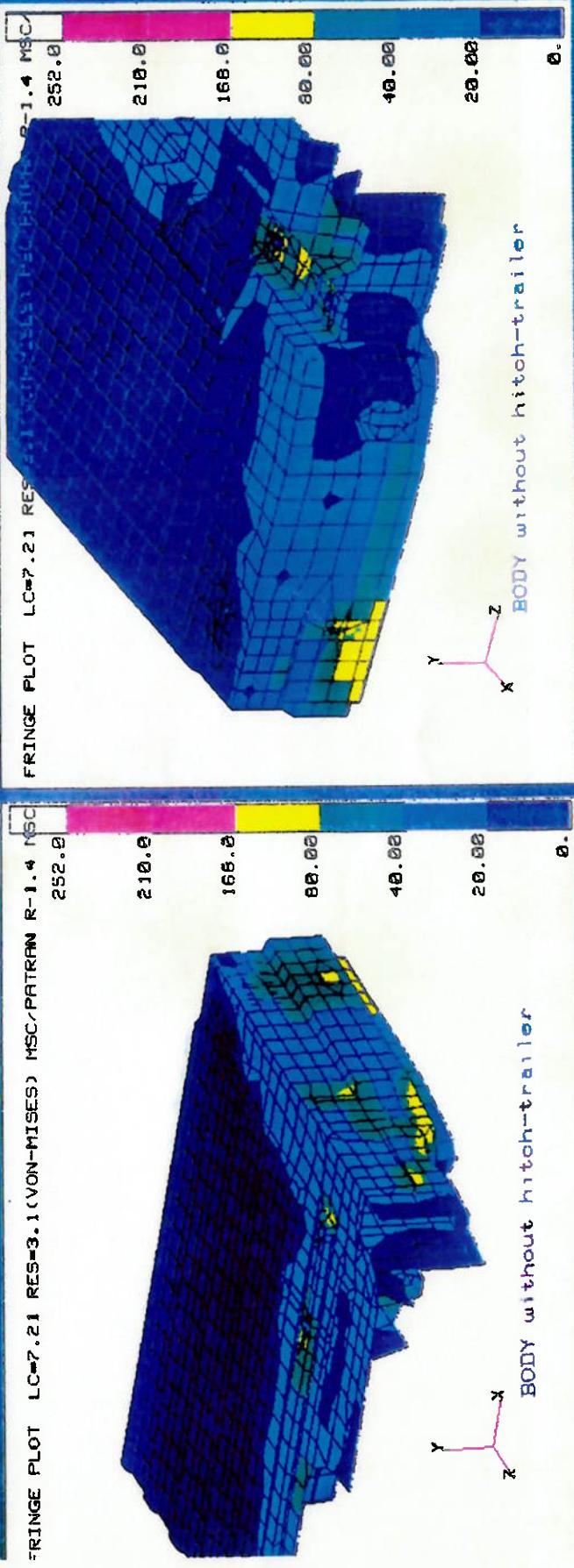
bitch - bitch - bitch - bitch

FRINGE PLOT LC=7.21 RES=3.1 (VON-MISES) MSC/PATRAN R-1.4 NSC/NASTRAN

X-SEEZEN BASIC DESIGN



100



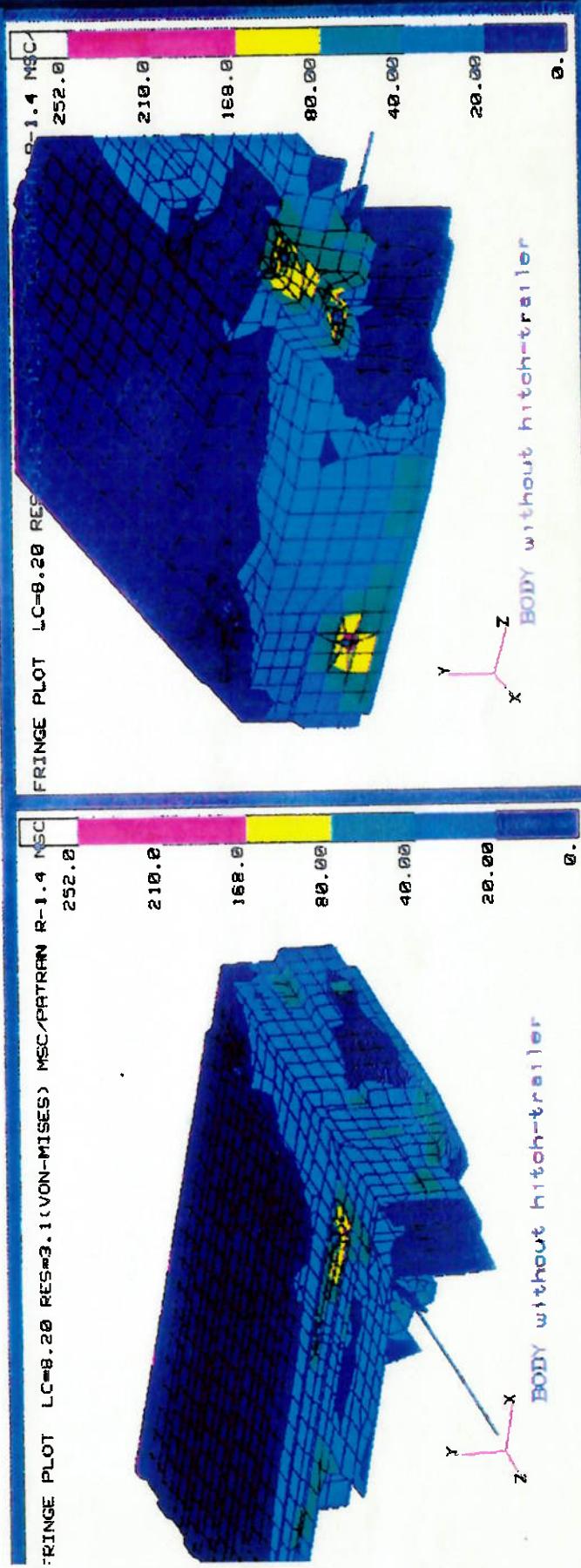
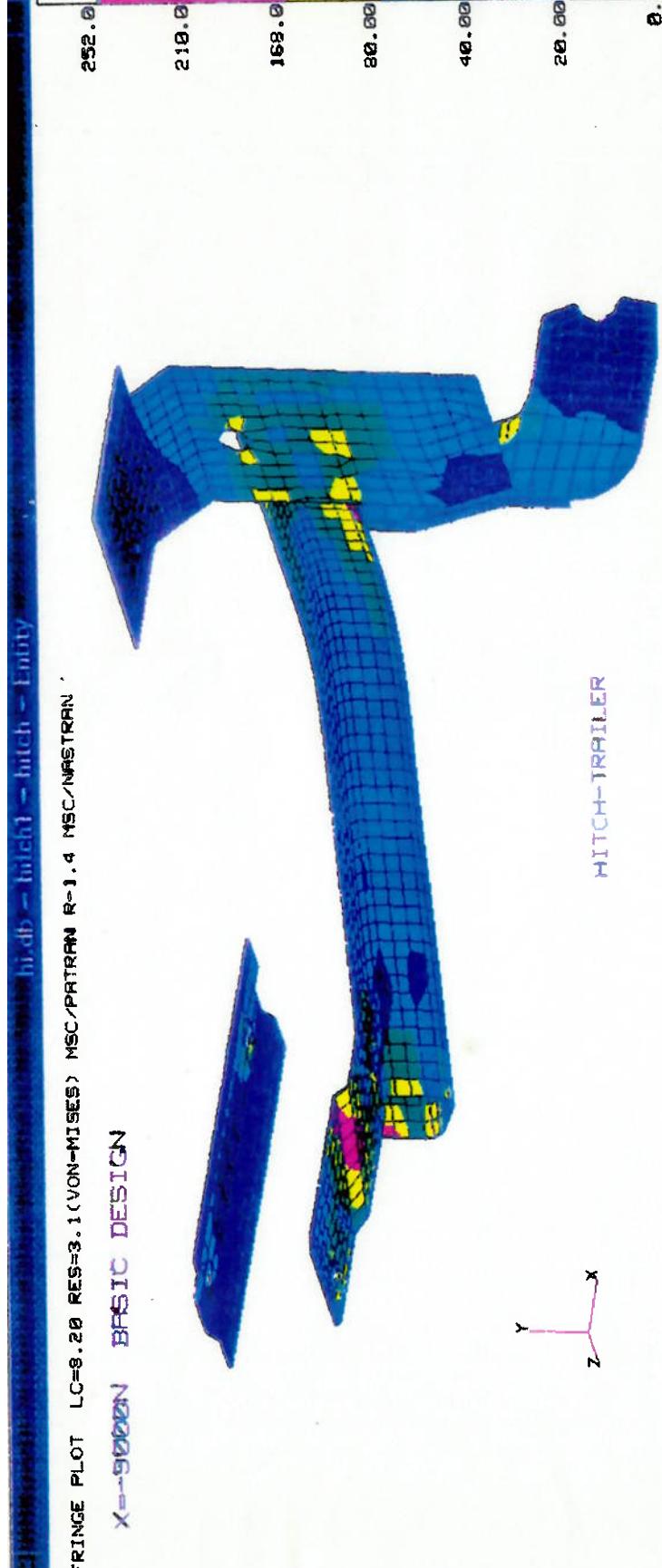


Figura gentilmente cedida pela General Motors do Brasil Ltda.

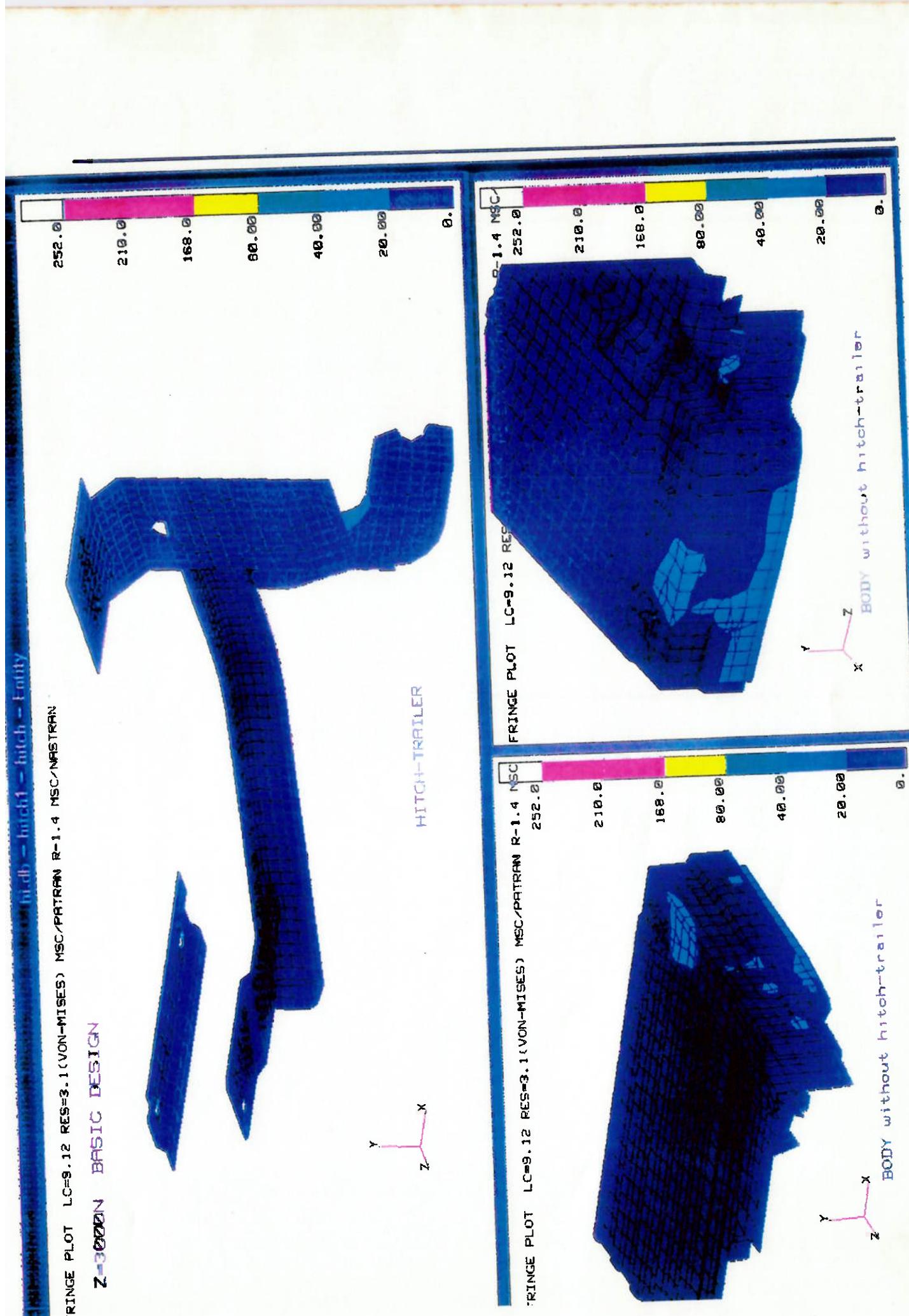
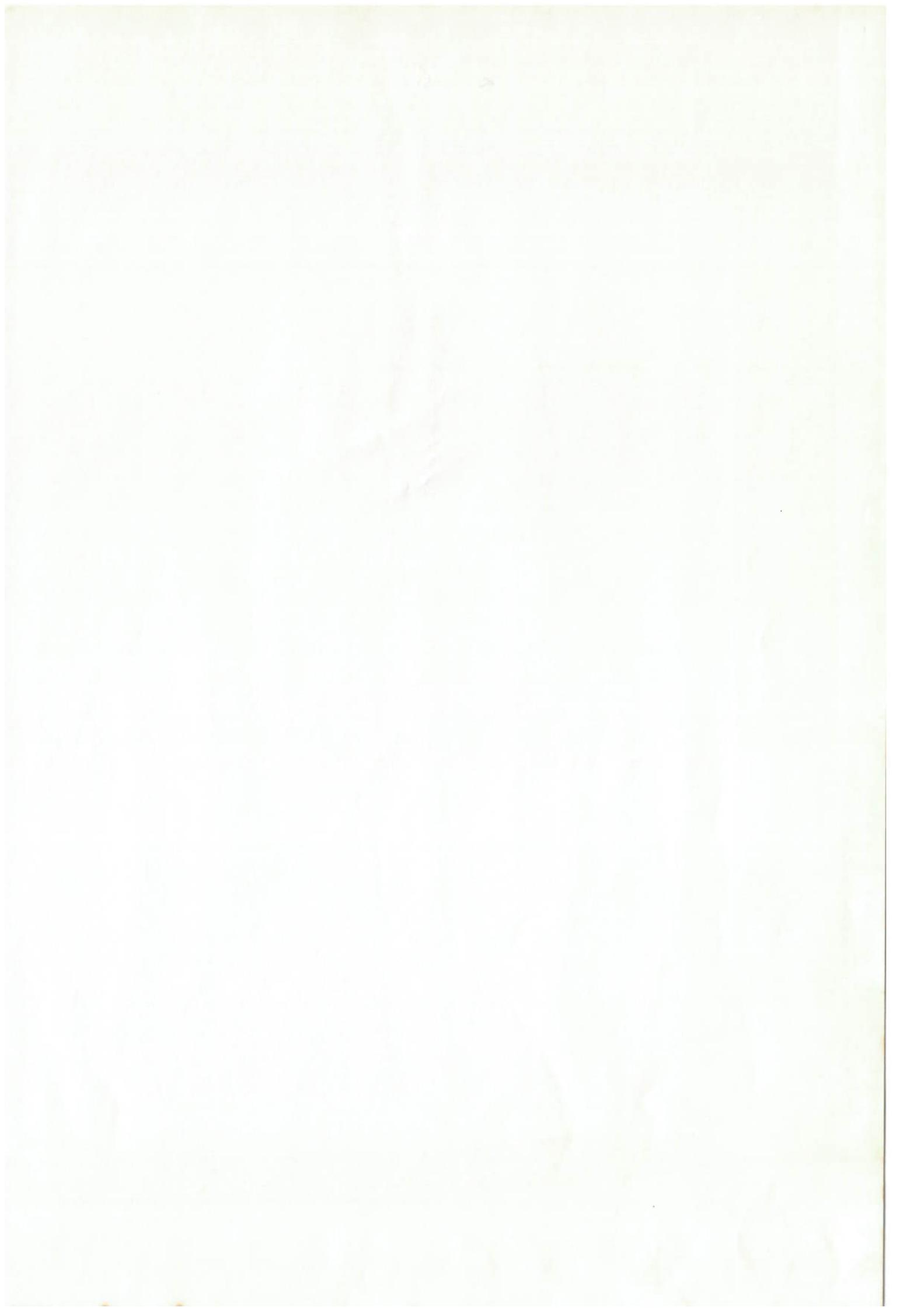


Figura gentilmente cedida pela General Motors do Brasil Ltda.



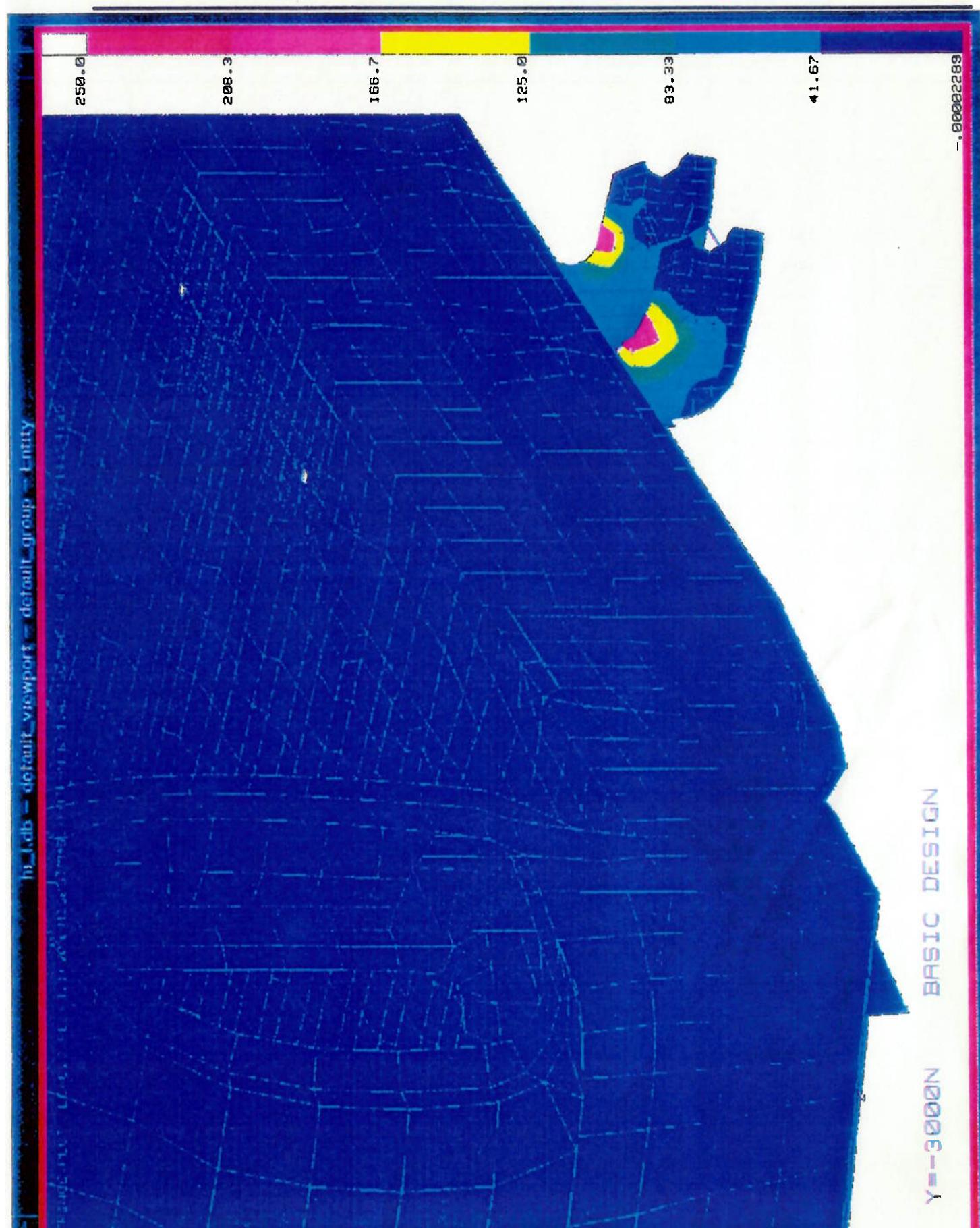
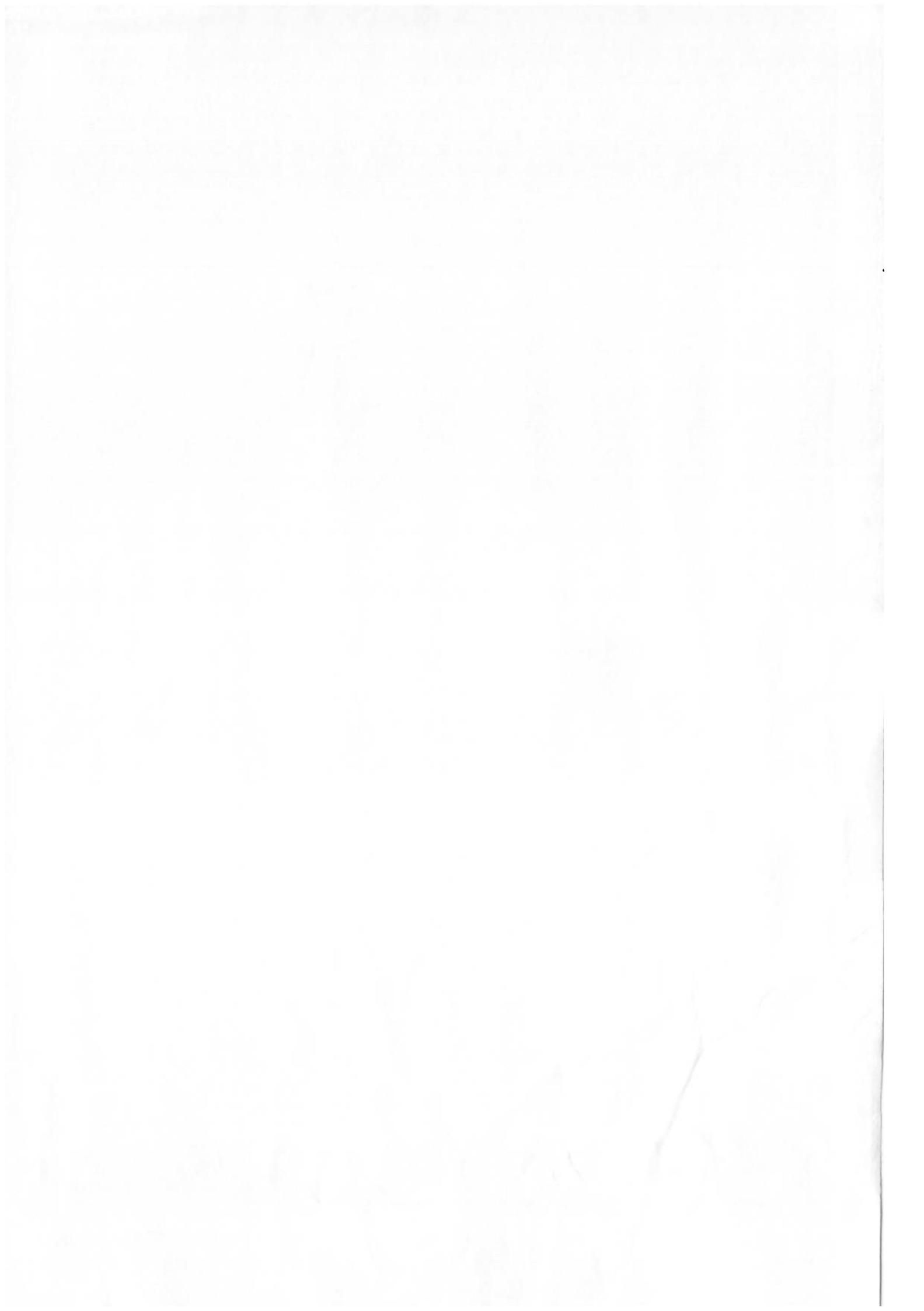


Figura gentilmente cedida pela General Motors do Brasil Ltda.



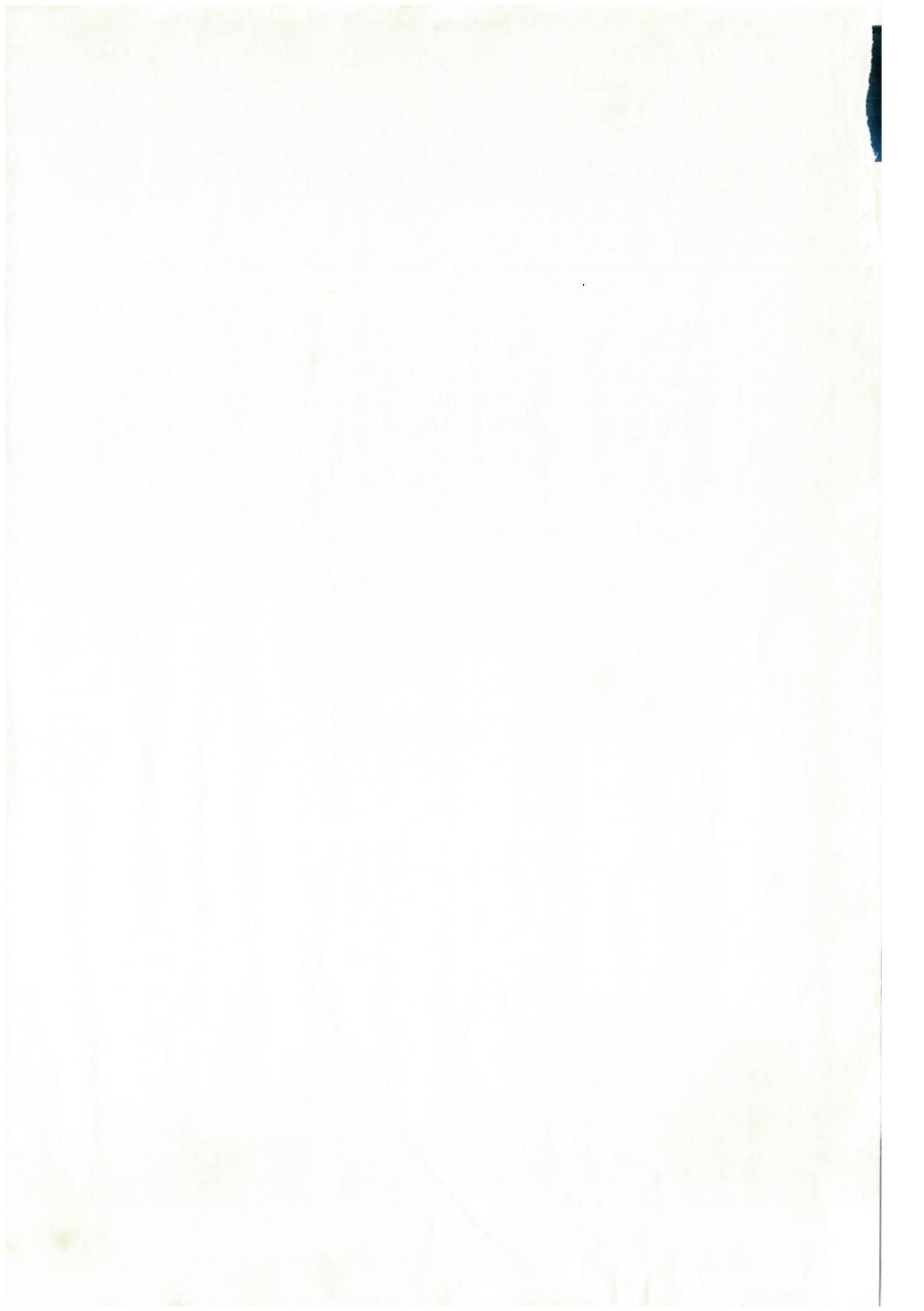
ANEXO

Locais de Análise de Fadiga

Conteúdo : Vista do Engate e Carroceria com a Localização dos Críticos



Figura gentilmente cedida pela General Motors do Brasil Ltda.



ANEXO

Resultados do Projeto A

Conteúdo : Características - 1.) Fixação do Engate **sem** redução de espessuras das chapas
2.) Alteração do Perfil da Carroceria **sem** redução de espessuras das chapas

Simulação com Força Longitudinal de Aceleração
Simulação com Força Longitudinal de Frenagem
Simulação com Força Vertical

X = 900N Proposal without thickness reduction

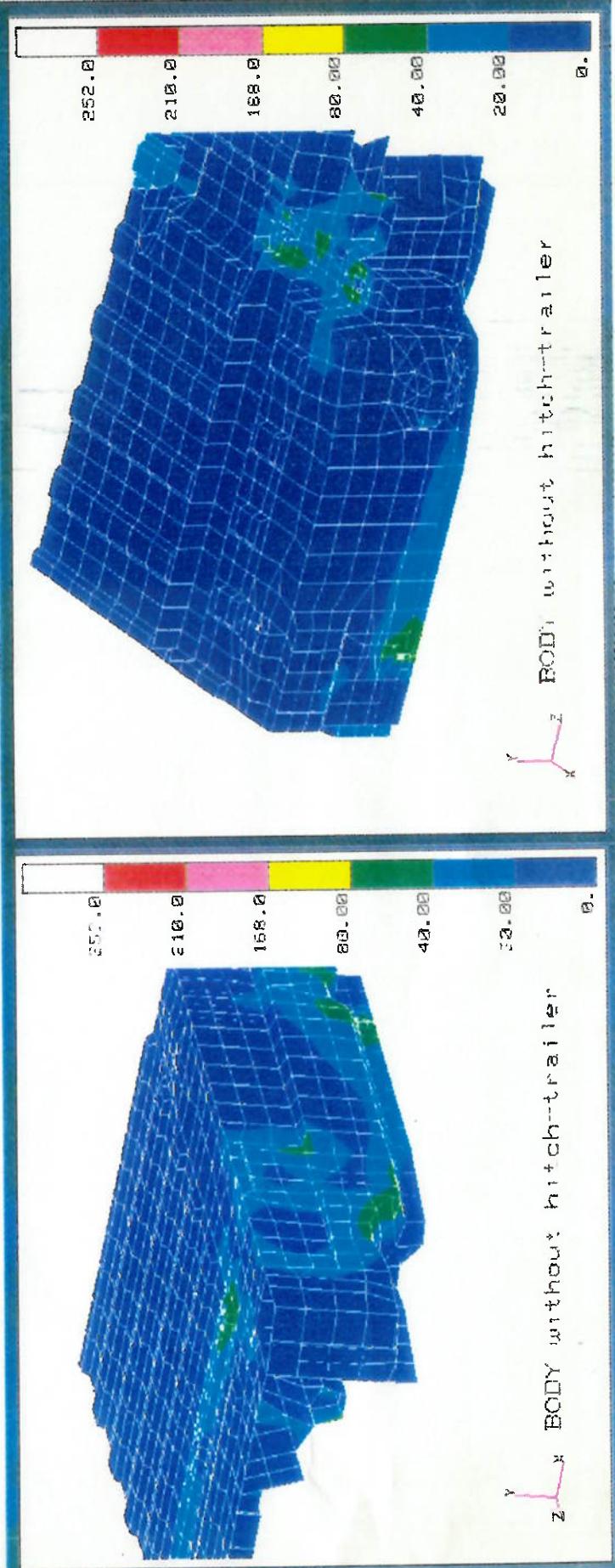
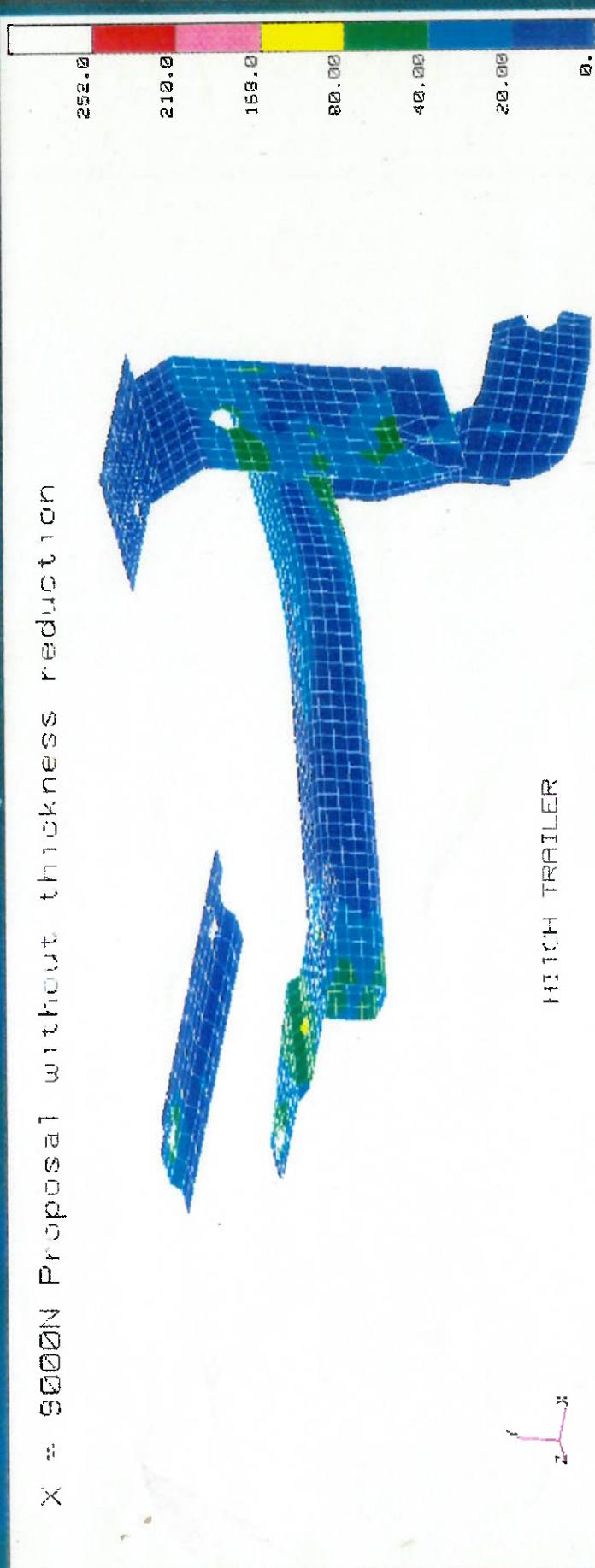
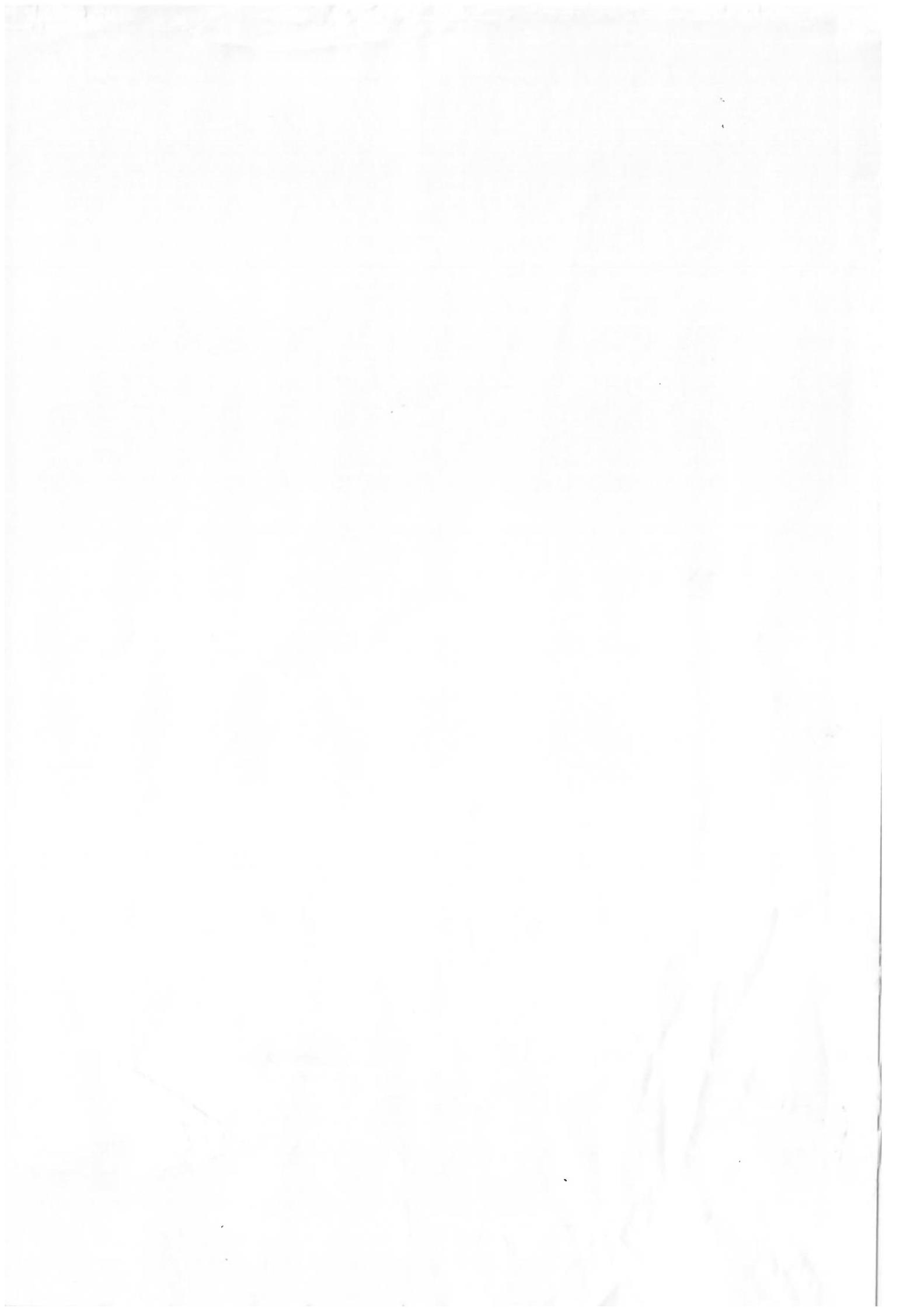
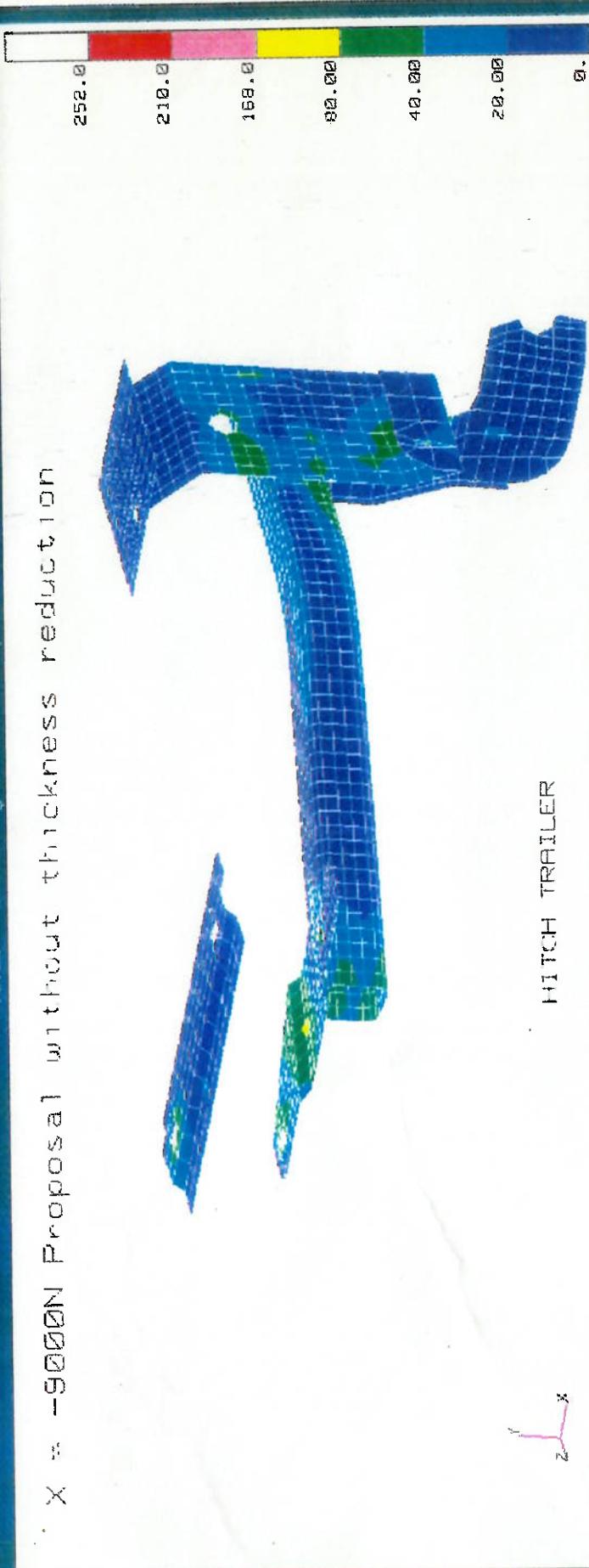


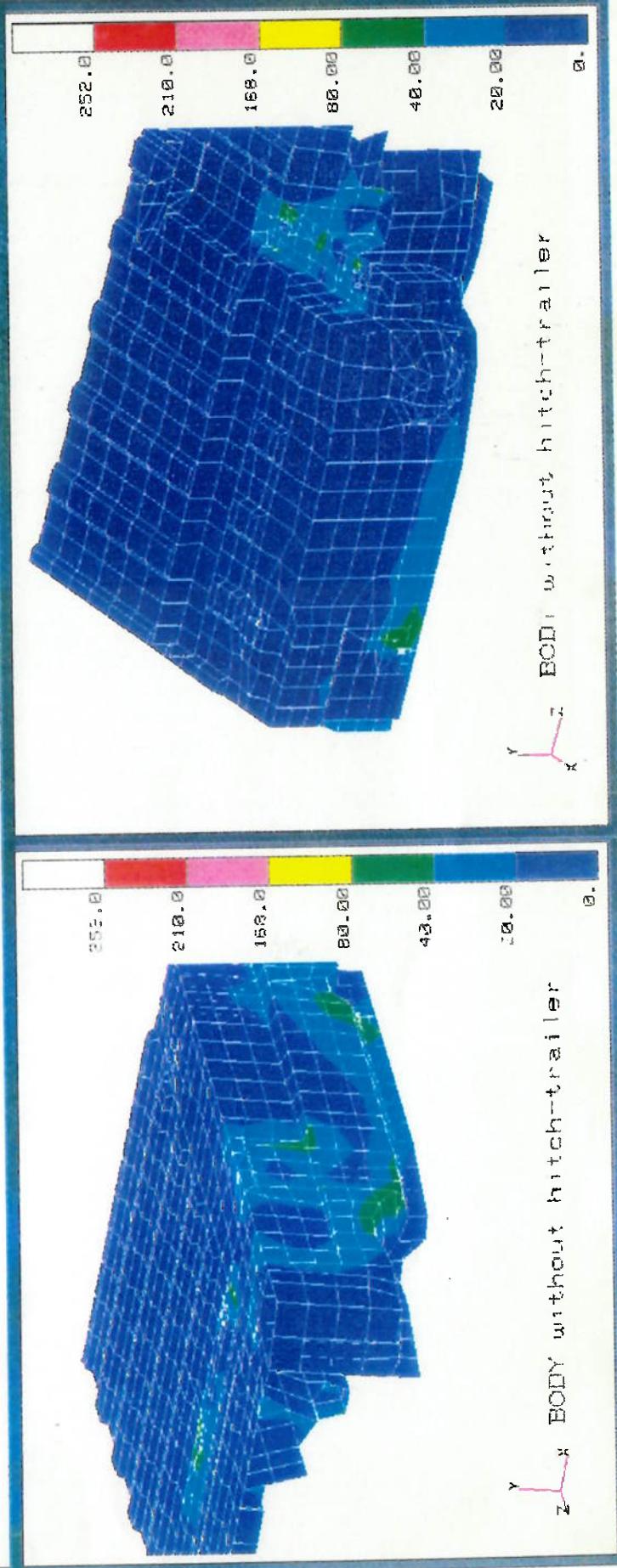
Figura gentilmente cedida pela General Motors do Brasil Ltda.



X = -SIGN Proposal without thickness reduction

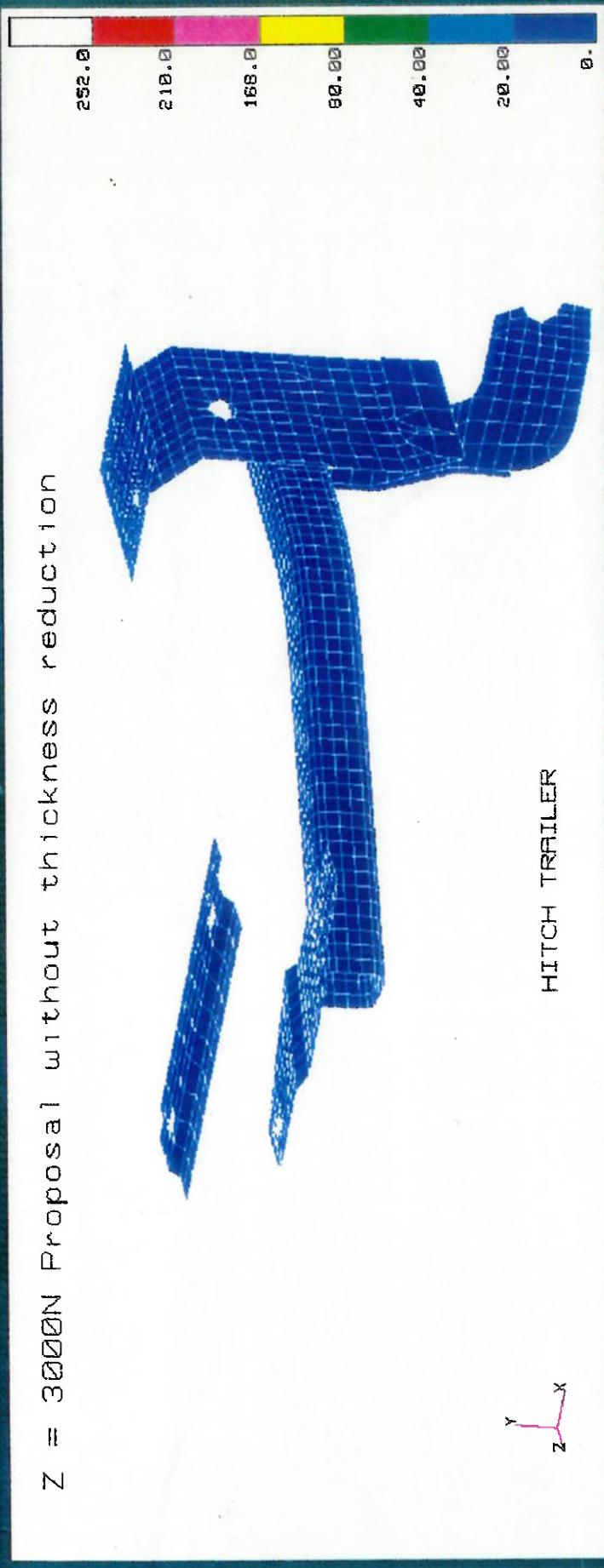


HITCH TRAILER



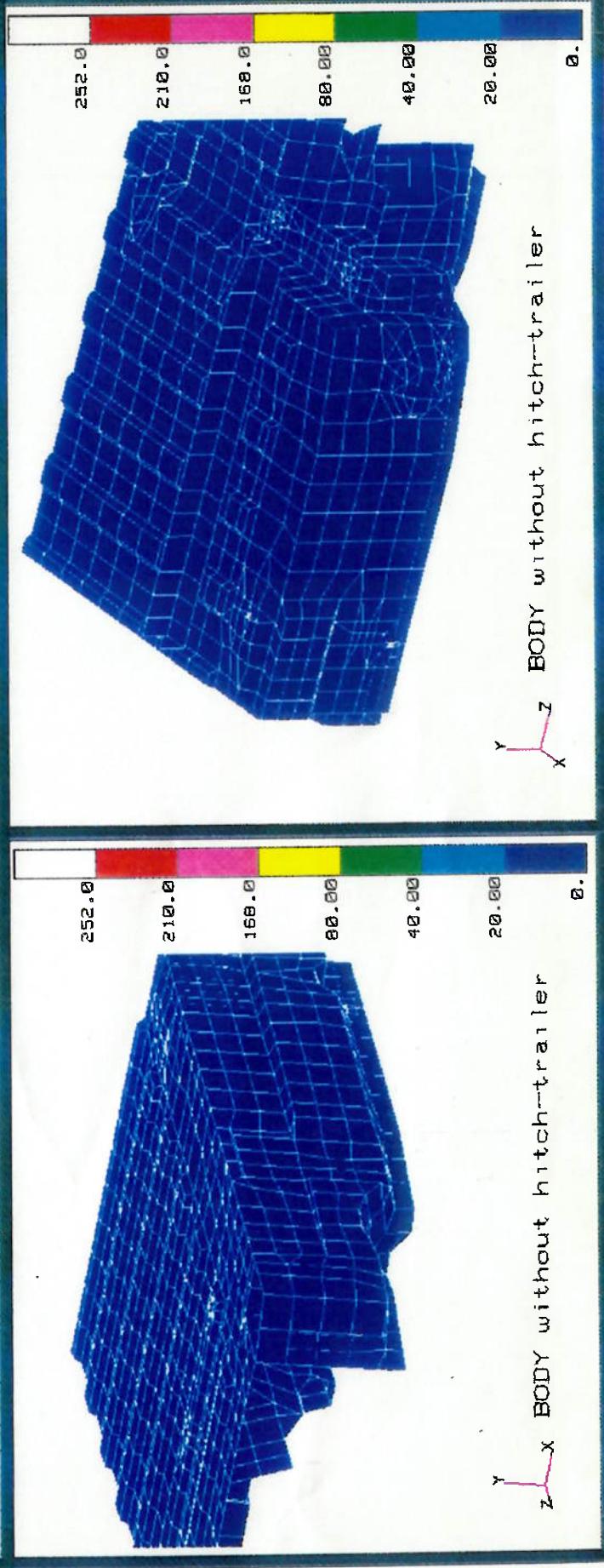
BODY without hitch trailer

Z = 3000N Proposal without thickness reduction



HITCH TRAILER

X
Y
Z



BODY without hitch-trailer

X
Y
Z



ANEXO

Resultados do Projeto B

Conteúdo : Primeira mudança - Fixação do Engate **com** redução de espessuras das chapas

Segunda mudança - Alteração do Perfil da Carroceria **com** redução de espessuras das chapas

Simulação com Força Longitudinal de Aceleração

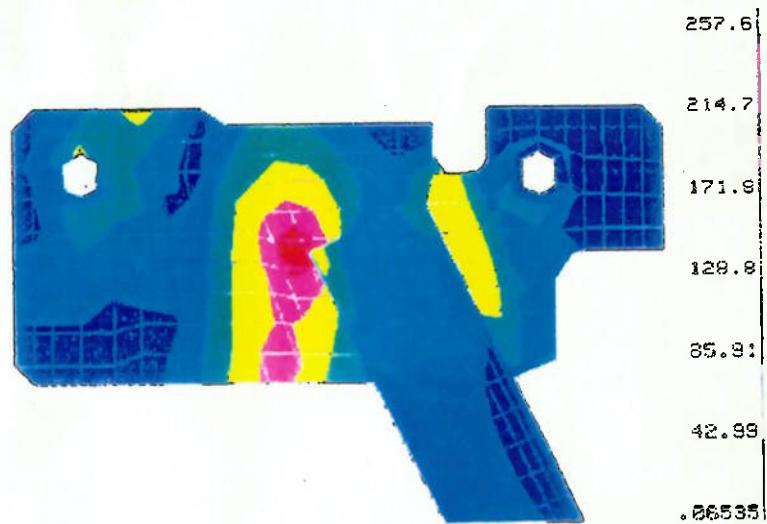
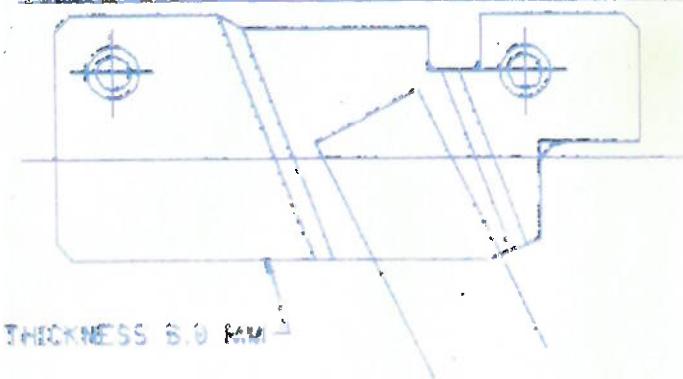
Simulação com Força Longitudinal de Frenagem

Simulação com Força Vertical

Simulação com Força Lateral

FIRST CHANGE

BASIC DESIGN



PROPOSAL

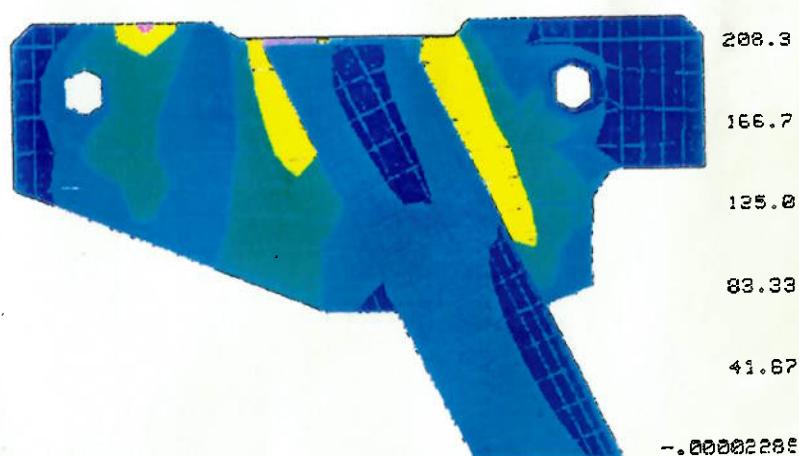
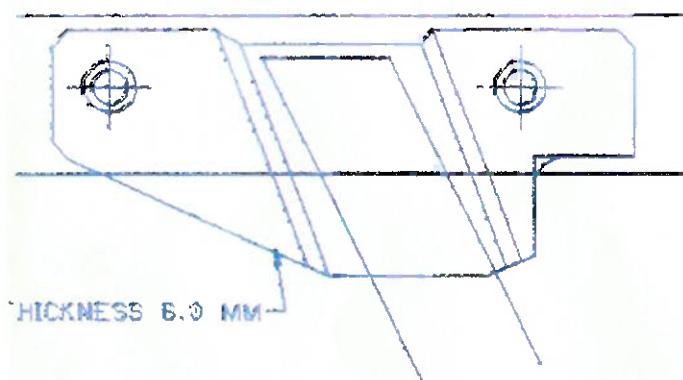
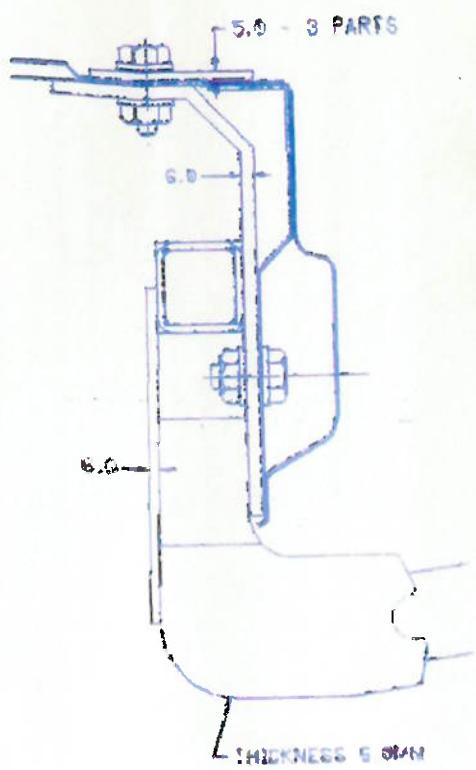
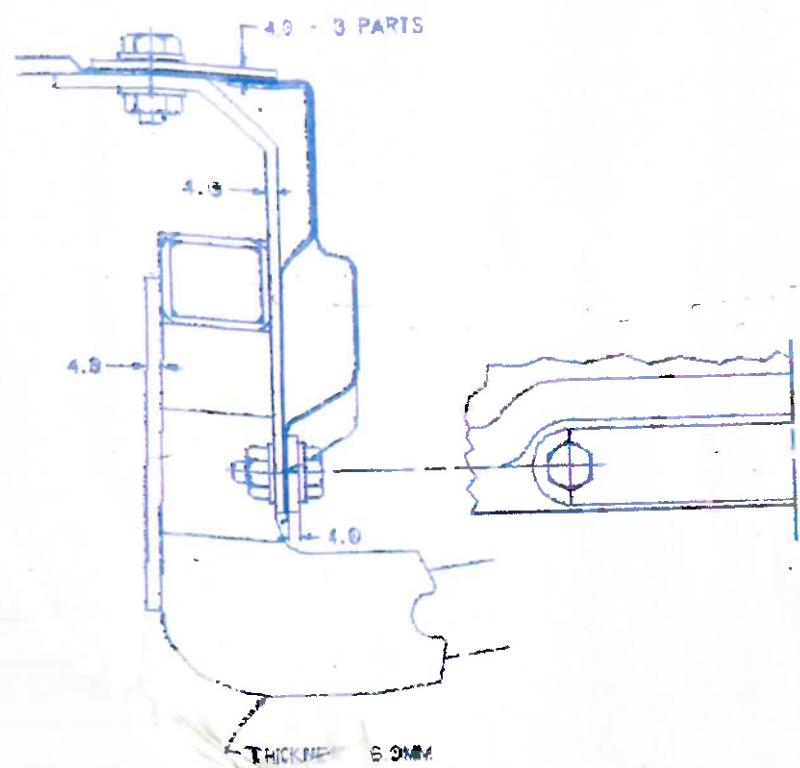
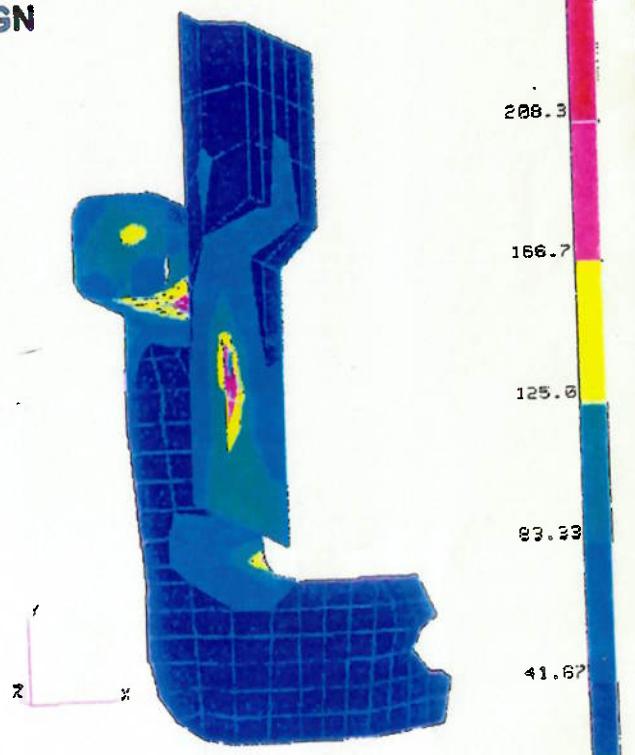


Figura gentilmente cedida pela General Motors do Brasil Ltda.

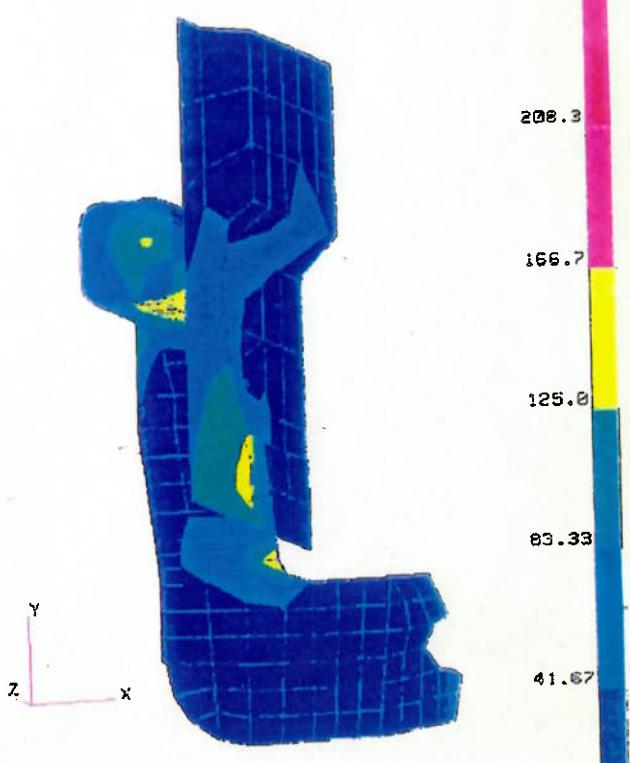
SECOND CHANGE



BASIC DESIGN



PROPOSAL



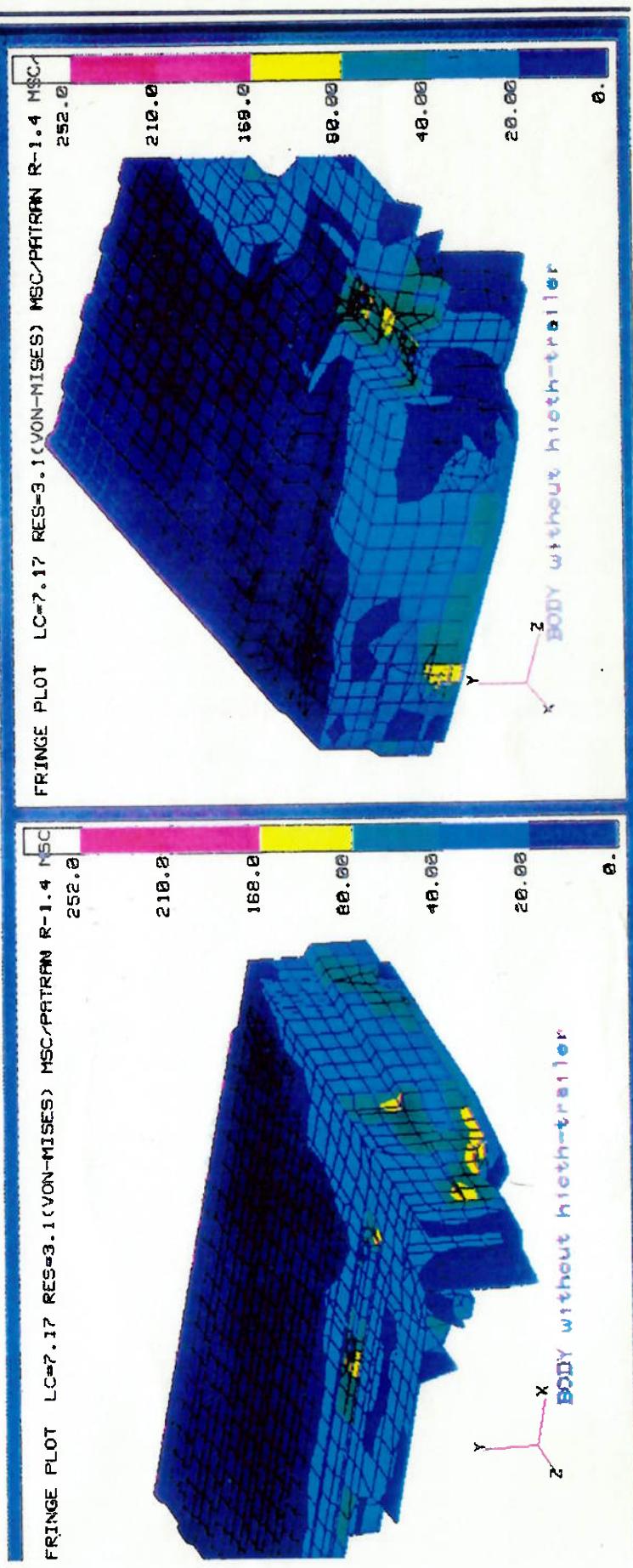
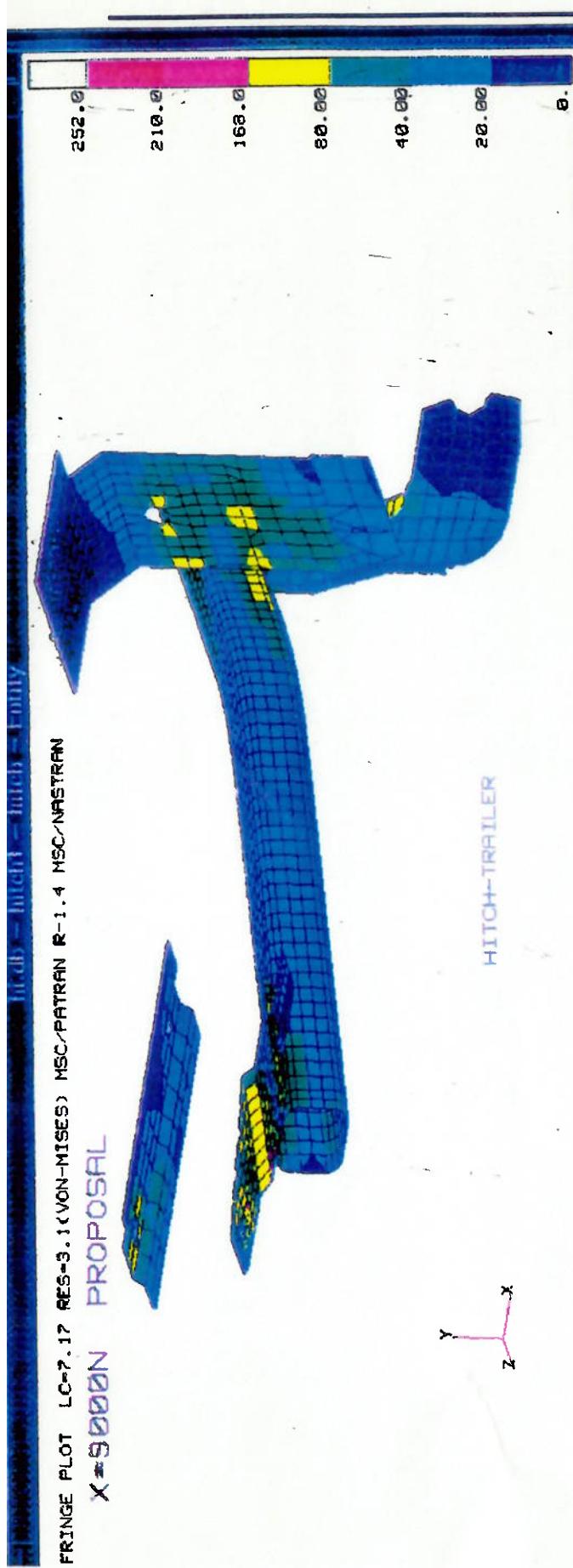


Figura gentilmente cedida pela General Motors do Brasil Ltda.

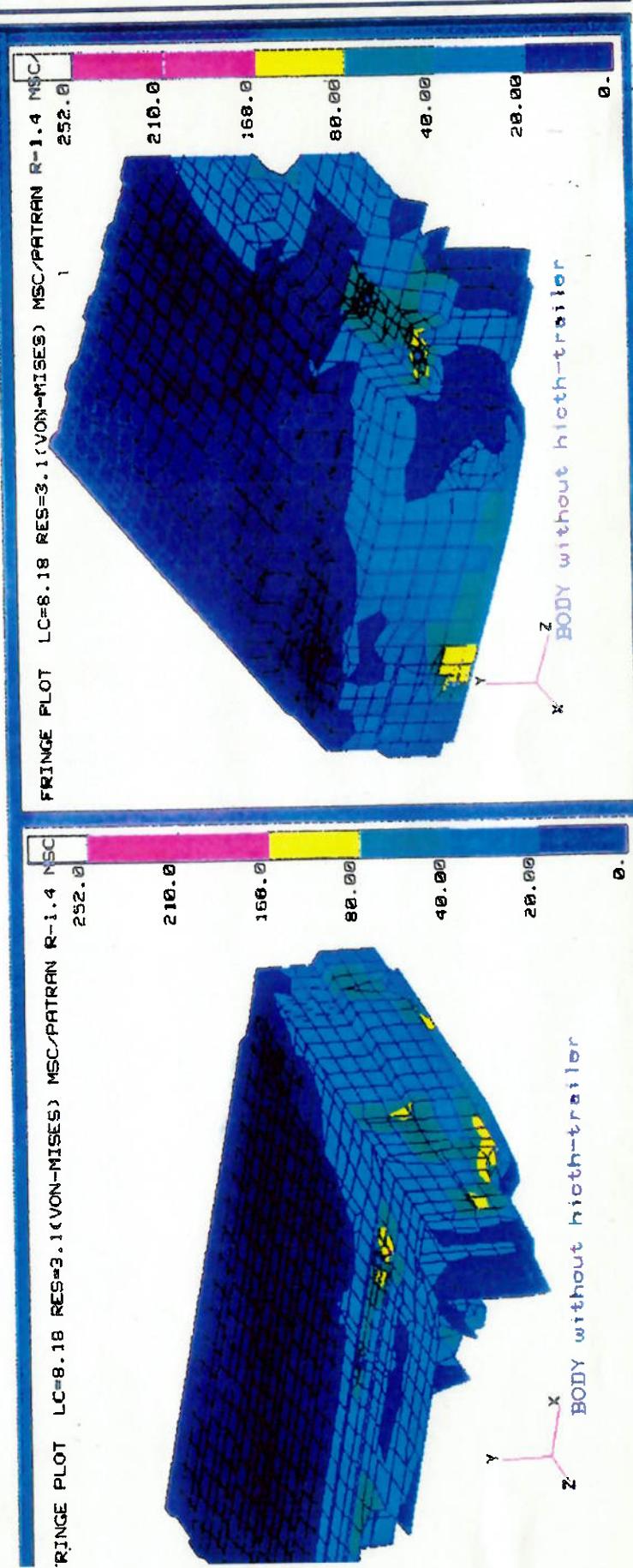
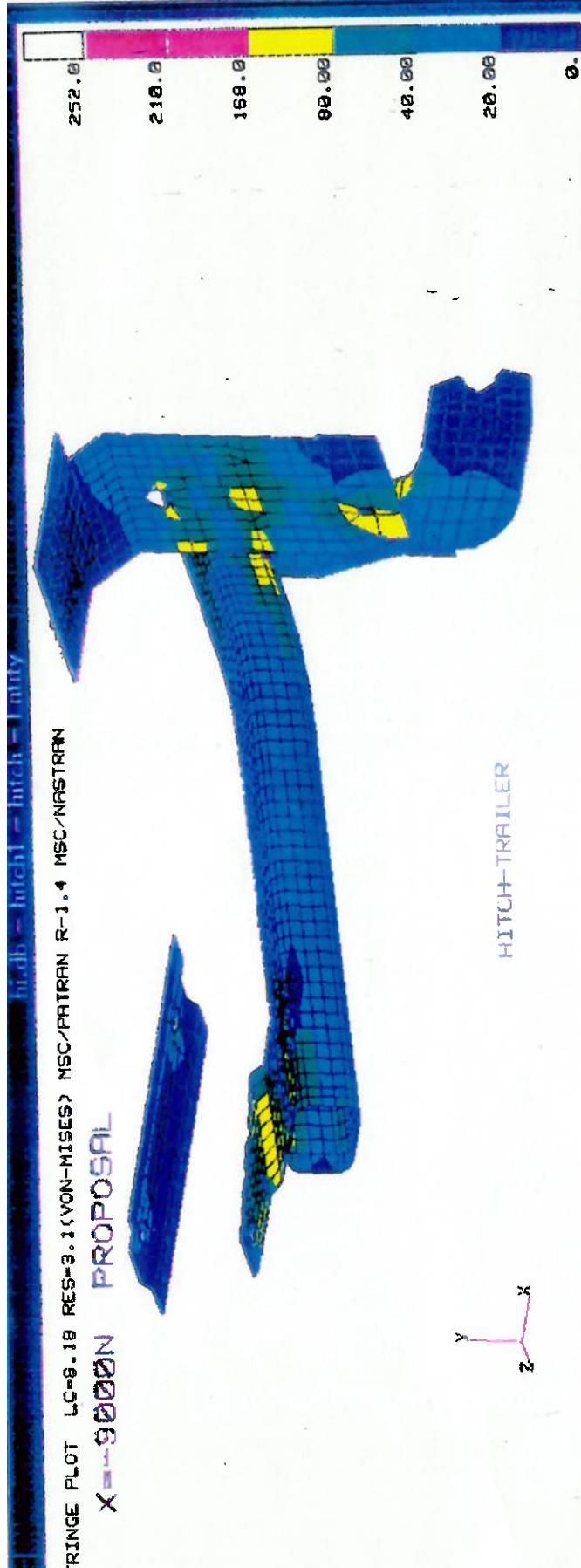
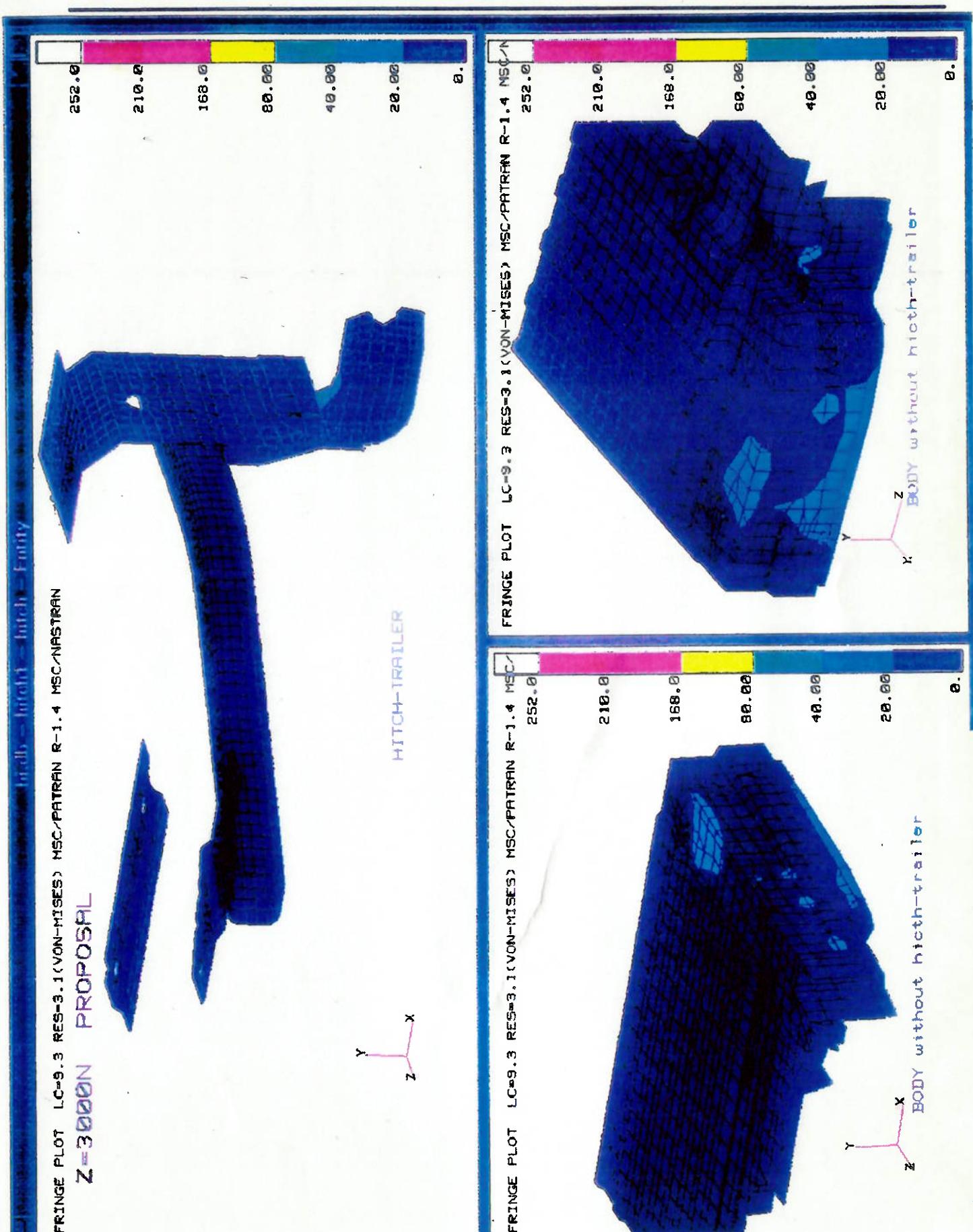


Figura gentilmente cedida pela General Motors do Brasil Ltda.





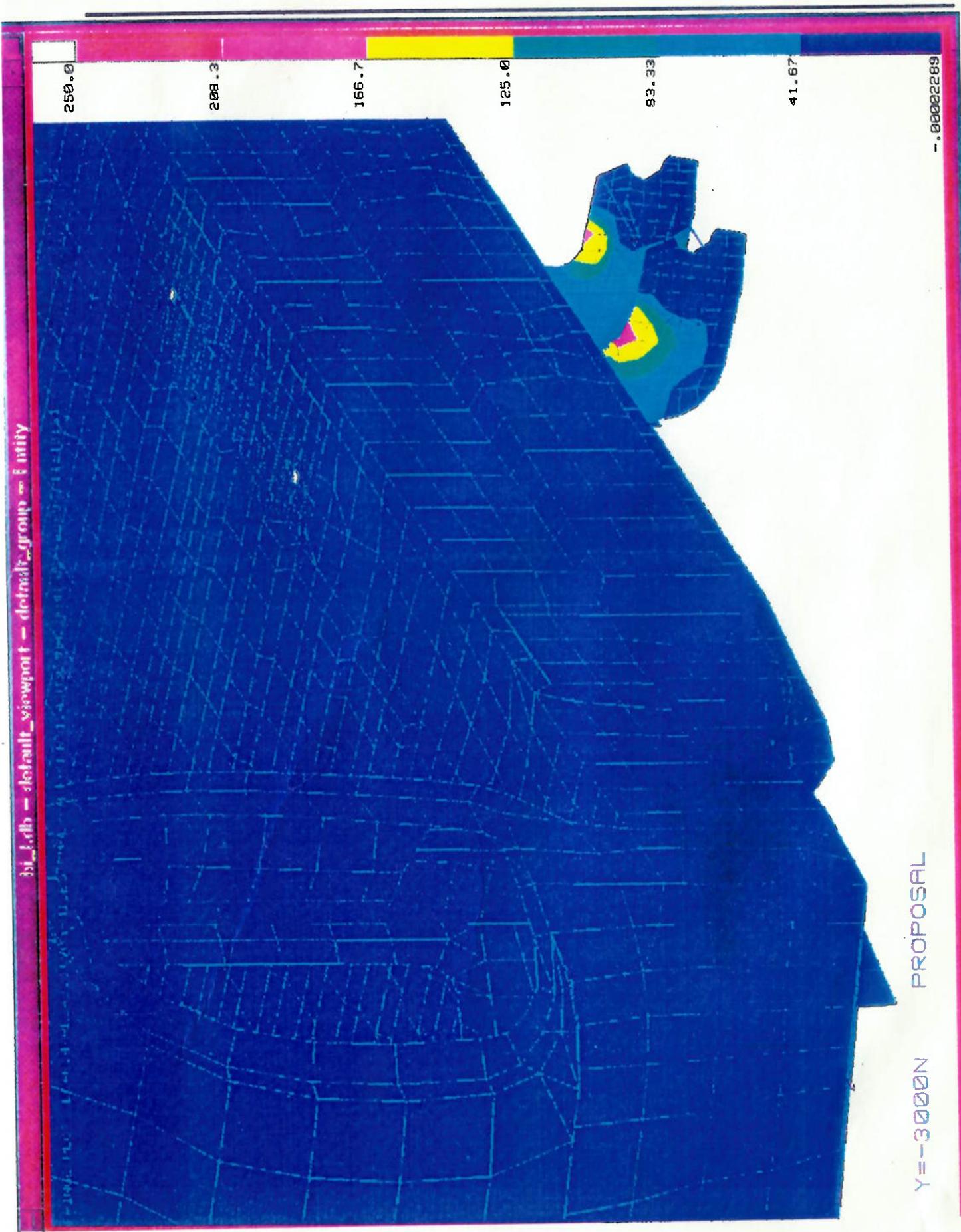


Figura gentilmente cedida pela General Motors do Brasil Ltda.

ANEXO

Validação pela Enga. Experimental

Conteúdo : Foto do Teste

Comparação da Simulação com o Campo de Provas

Test Rig fixtures



Force histograms

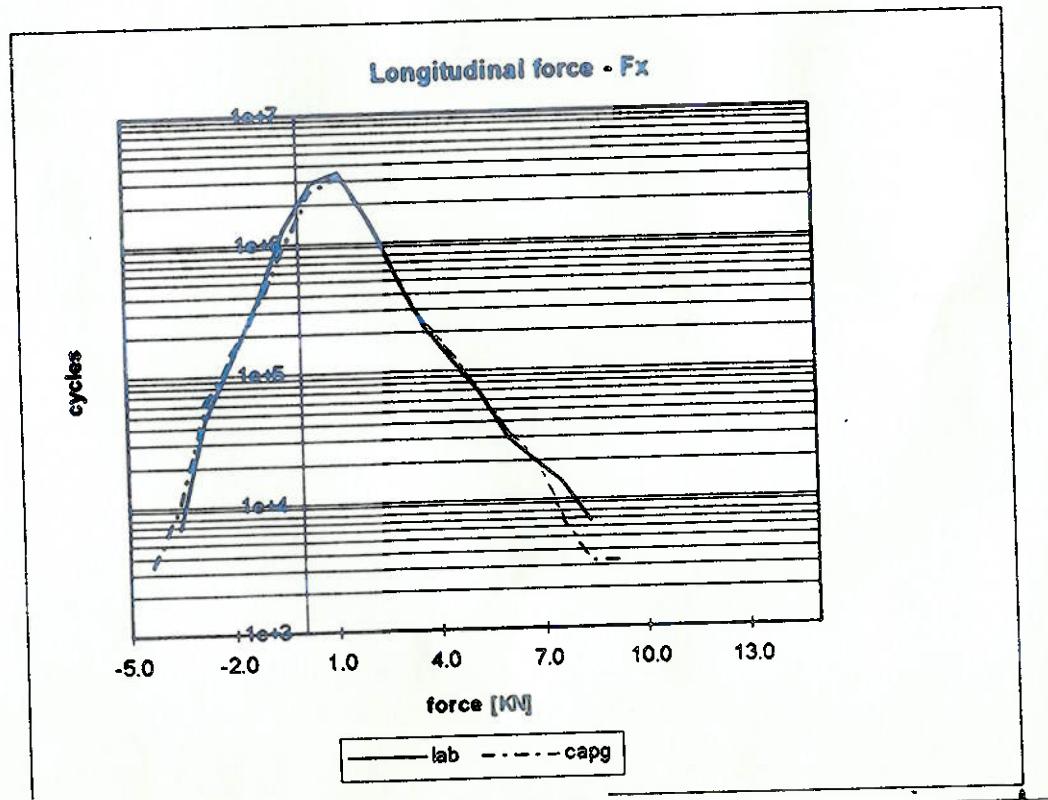


Figura gentilmente cedida pela General Motors do Brasil Ltda.

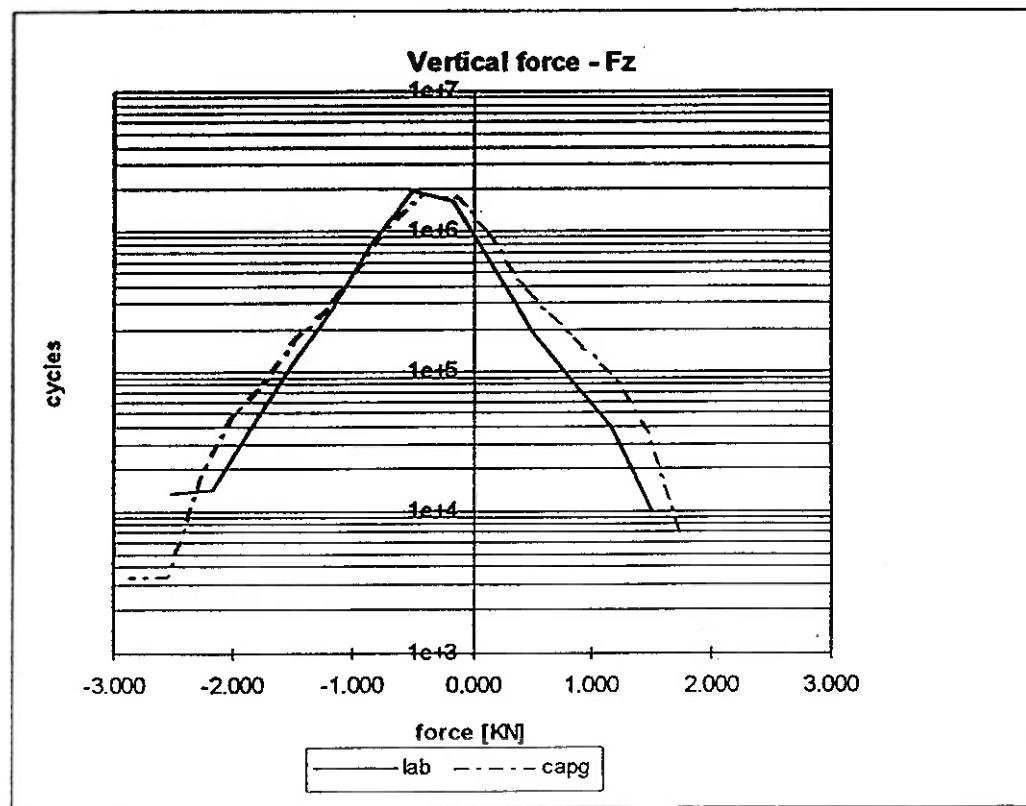
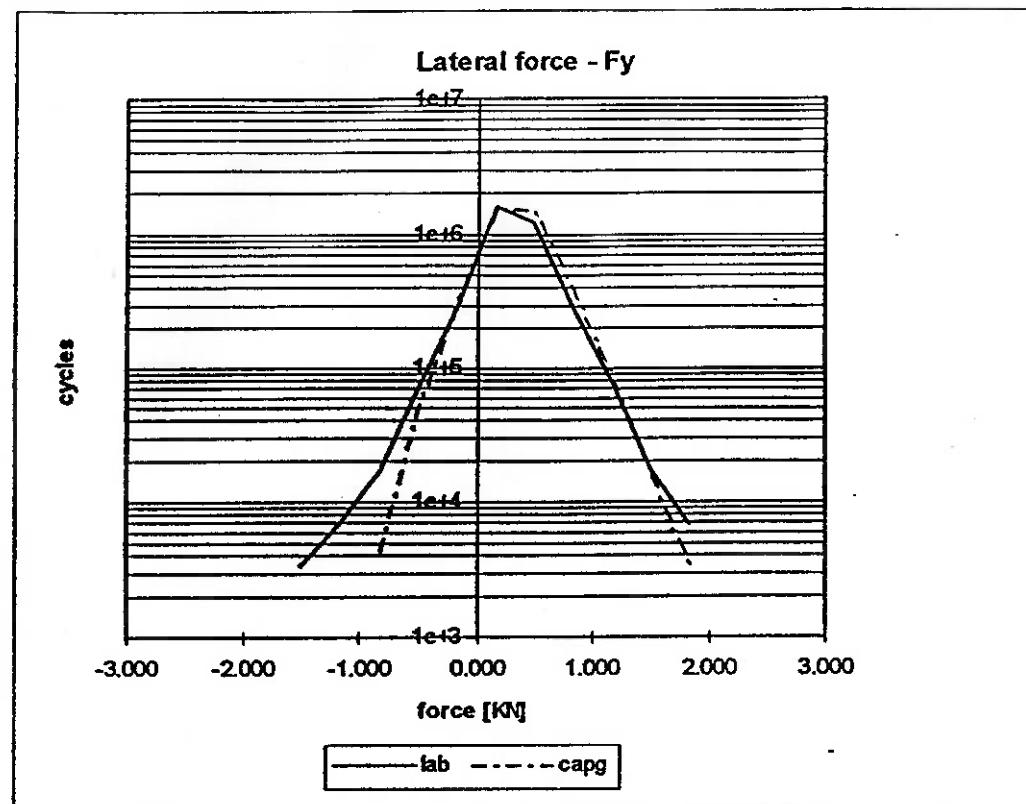
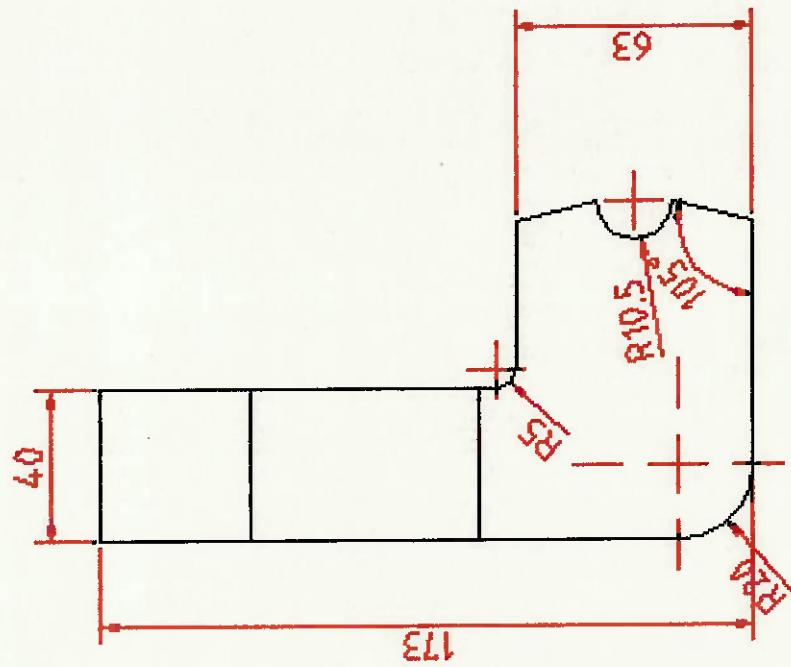
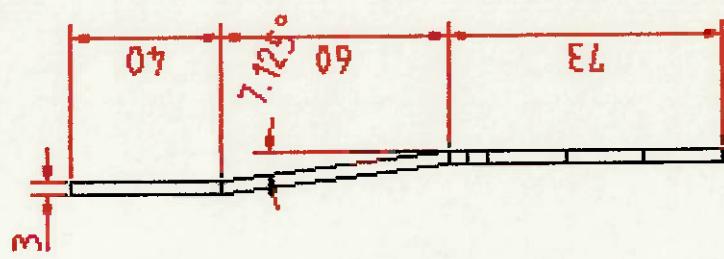
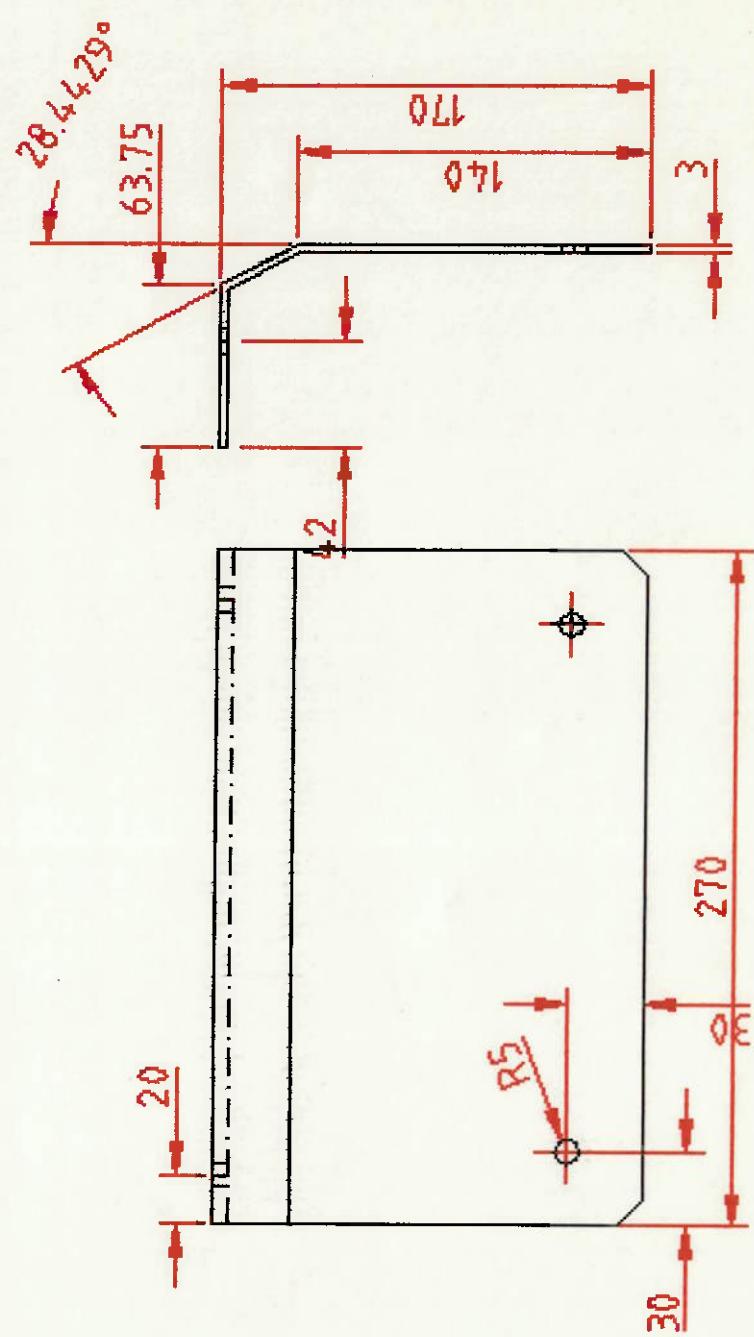


Figura gentilmente cedida pela General Motors do Brasil Ltda.







tubo quadrado 40 x 4 mm

