

III Conferencia Anual de Usuarios COSMOS/™ 2000



COSMOS/™
España - Portugal

Parque Tecnológico de Zamudio (SPAIN)
29 de Septiembre de 2000

Análise estrutural de um veículo motorizado para deficiente motor

Luis Mesquita¹, Elza M. M. Fonseca², Gil Castro³

RESUMO

Actualmente é tão elevado o nível de exigência da sociedade de consumo no que diz respeito a todos os bens, que todos os produtos têm que satisfazer uma vasta gama de requisitos. No que diz respeito ao mercado automóvel, o que se pretende é que este tenha o mínimo de consumo de combustível, seja confortável, consiga atingir um elevado patamar de velocidade, possuindo assim um perfil aerodinâmico que minimize o coeficiente de arrasto. Dado o destino específico deste veículo, o principal requisito a ter em conta, do ponto de vista estrutural, é o factor peso total. Este factor torna-se o mais importante, pelas razões óbvias que arrasta consigo, necessidade de motores com menos cilindrada para atingir um mesmo patamar de velocidade e como seria de esperar, redução do consumo de combustível. Para se obter uma redução no peso total de um veículo automóvel é necessário que todos os componentes que o constituem estejam a funcionar no limite das suas capacidades mas que, no entanto, garantam uma total segurança para todos os ocupantes.

Existem essencialmente dois métodos para se avaliar o comportamento deste tipo de estruturas: o método dos elementos finitos e o baseado em testes experimentais. Neste trabalho utilizou-se o método dos elementos finitos para o projecto e análise da estrutura, através da utilização do COSMOS/M. Efectuaram-se várias análises atendendo às várias hipóteses de carregamento no veículo de forma a estabelecer uma solução possível para a execução do protótipo.

1 – Introdução

Inicialmente existiam limitações a nível computacional e de técnicas numéricas capazes de solucionar em tempo real um modelo tão grande discretizado por elementos finitos. Por isso começaram a usar-se técnicas que permitiam discretizar modelos mais complexos. Uma dessas técnicas denomina-se por “*substructuring*” segundo Mac Neal e por “*The Bulding Block Aproach*” segundo Klosterman e Lemon. Esta técnica consistia, na modelação de um automóvel, através da divisão do modelo em vários subsistemas. Posteriormente cada subsistema era avaliado individualmente e de seguida efectuada a *assemblagem* dos diversos subsistemas, ^[1-3].

Dados os avanços tecnológicos decorridos em termos de *Hardware* e *Software*, consegue-se modelar o veículo sem fazer a divisão nos diversos subsistemas. A discretização em elementos finitos consiste em modelar um sistema real, neste caso o automóvel, com características estruturais contínuas por um número finito de elementos com a inserção das características geométricas, de rigidez e de massa de cada elemento. Para o veículo em questão, a análise estrutural é baseada em

¹ Laboratório de Estruturas e Resistência dos Materiais, ESTIG – Instituto Politécnico de Bragança, lmesquita@ipb.pt

² Departamento de Mecânica Aplicada, ESTIG – Instituto Politécnico de Bragança, efonseca@ipb.pt

³ ESTIG – Instituto Politécnico de Bragança

elementos tipo Beam3d, Shell4 e Mass, usando um *software* específico de análise por elementos finitos, o COSMOS/M.

2 – Testes experimentais em veículos

Dada a necessidade que está inerente ao uso dos testes experimentais, ou seja, a existência de um protótipo já construído, estes testes são usados mais como uma validação do modelo construído pelo método dos elementos finitos. Existindo então esse protótipo, são efectuados testes para quantificar o efeito que determinadas solicitações provocam no veículo. O que normalmente se pretende quantificar é o nível de vibrações e ruído, no que diz respeito ao conforto dos ocupantes. No que diz respeito à segurança passiva e activa dos ocupantes e comportamento do veículo são efectuados testes como, verificação dos sistemas de retenção dos cintos de segurança, comportamento dos *airbags*, análise do veículo em situações de impacto frontal e lateral, etc. No impacto frontal os estudos que são efectuados é o efeito que este provoca na estrutura do veículo pela quantificação da energia absorvida durante a sua ocorrência, através da instrumentação do veículo com acelerómetros e extensómetros ligados a um *software* para registo de dados, figura 1.1. No impacto lateral pretende-se simular o impacto provocado lateralmente por um outro veículo, como está representado na figura 1.2.



Figura 1.1 – Impacto frontal



Figura 1.2 – Impacto lateral

Um dos estudos que mais se tem desenvolvido recentemente, é o impacto que estes choques provocam nos ocupantes dos veículos. Isto consegue-se através da realização de “*crash tests dummies*”, figura 2.1 ou através da modelação de um modelo humano em elementos finitos figura 2.2.



Figura 2.1 – Bonecos de ensaio ao impacto



Figura 2.2 – Modelo em elementos finitos

3 - Materiais usados na construção automóvel

No início da construção automóvel a estrutura era projectada de forma a que não se deformasse, ideia que prevaleceu durante muitos anos. Hoje, pretende-se que seja a estrutura a

absorver a totalidade dessa energia, evitando assim uma possível situação grave de impacto. De forma a minimizar o choque sofrido pelo passageiro, houve a necessidade de estudar e desenvolver novos materiais, verificando o compromisso óptimo entre peso e custo do veículo. A escolha dos materiais deve ter em conta propriedades tais como resistência mecânica, densidade, ductilidade, bem como considerar-se o comportamento do material no uso e no processamento, onde a plasticidade, maquinabilidade, durabilidade química, custo e disponibilidade do material, são factores importantes a considerar. Os materiais mais utilizados nesta indústria são: os aços ao carbono de baixa liga, o alumínio e os plásticos ^[4-10]. A tabela 1 representa a percentagem dos materiais usados na indústria automóvel em relação ao peso total do veículo.

Tabela 1 - Materiais usados na indústria automóvel

Material	Peso percentual
Chapa de aço	55
Moldes de ferro	10
Plásticos	10
Metais não ferrosos	7
Líquidos	5
Elastómeros	4
Têxteis e produtos celulósicos	2
Materiais isoladores	2
Pinturas e adesivos	2
Vidros	3

O aço utilizado na indústria automóvel deve satisfazer a muitas condições, nomeadamente: ter boa resistência mecânica associada a uma boa ductilidade; ser capaz de, no caso de impacto, absorver uma grande quantidade de energia e ter uma taxa de conformação bastante elevada; a relação peso/resistência deve ser a melhor possível, isto porque, quanto menor o peso da estrutura menor será o consumo e maior será a potência disponível do veículo. O aço escolhido deverá ser facilmente associado, entre si e entre outros materiais, pelo processo de soldadura ou por outro processo de ligação. Este material é facilmente construído e está disponível no mercado para qualquer aplicação, sendo por isso mais barato que materiais equivalentes.

O aumento acentuado da utilização do alumínio na construção automóvel deve-se principalmente a duas excelentes propriedades que são: a baixa densidade, que conduz a uma relação peso da estrutura/resistência bastante boa, e a elevada resistência à corrosão em ambientes hostis, sem necessitar de tratamento superficial de protecção, pois este é feito através da formação de uma película de óxido. A resistência mecânica do alumínio não é elevada, no entanto, com a adição de elementos de liga, como cobre, zinco ou magnésio, associado à aplicação de tratamentos térmicos, permite obter características de resistência para a utilização em determinados componentes estruturais.

Na indústria automóvel, os materiais poliméricos ocupam um lugar de relevo, uma vez que, devido à sua baixa densidade se conseguem obter veículos mais leves. A redução do peso num automóvel é importante, pois pode ser considerada como uma premissa de um objectivo comum a todos os fabricantes de automóveis, ou seja, a diminuição do consumo do combustível. A aplicação dos plásticos na indústria automóvel tem vindo a aumentar ao longo dos anos, principalmente devido à facilidade com que se consegue produzir componentes mecânicos com as mais diversas geometrias, das mais simples às mais complexas, e às suas boas propriedades físicas e mecânicas. Os plásticos distinguem-se de outras substâncias por terem uma densidade reduzida, oscilando entre 0.9g/cm^3 e 2.3g/cm^3 . Os de baixa densidade são os de maior consumo como, por exemplo: o polietileno e o polipropileno. Além destes factores existem outros que condicionaram este crescimento: factores económicos em que a energia envolvida nos processos de produção é mais baixa comparada com a necessária para os metais; a possibilidade de construção de geometrias mais complexas; a redução do peso, actualmente com a utilização dos plásticos na indústria automóvel existe uma redução de cerca de 5% no consumo de combustível; factores estéticos, conseguindo-se otimizar formas e espaços disponíveis; resistência à corrosão.

4 - Modelo do chassi

Os modelos de chassis dividem-se em dois grupos, os chassis monobloco e os de estrutura tubular. O primeiro, é constituído por perfis reforçados com chapa, recorrendo-se a técnicas e mecanismos de conformação plástica, que contribuem para a resistência do veículo. No modelo de estrutura tubular, a resistência do veículo é obtida unicamente pelos perfis, sendo o veículo revestido

por chapa que não interfere na função de suporte de cargas. Dadas as exigibilidades inerentes à construção de um chassi do tipo monobloco, o modelo que é adoptado para a análise é do tipo tubular. Os perfis utilizados serão numa primeira análise, tubo redondo para as longarinas e tubo quadrado nas travessas e restantes componentes do chassi. O material utilizado na concepção do chassi é o aço, com as propriedades apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do aço

Propriedades do material	Aço
Densidade [Kg/mm ³]	7.7E-6
Modulo de elasticidade [N/mm ²]	210E3
Coefficiente de Poisson	0.3
Módulo de rigidez [N/mm ²]	79E3

Neste capítulo pretende-se simular as várias análises em estudo para uma determinada configuração geométrica inicial conforme se observa na tabela 3.

Tabela 3 – Características dos perfis

Características dos perfis	Tubo redondo	Tubo quadrado
	Ø31	□31
Dimensões [mm]	Espessura = 2	Espessura = 2

4.1 - Análise da estrutura sujeita a acções verticais

Neste tipo de análise pretende-se avaliar o comportamento do chassi quando este se encontra sujeito a acções verticais, sejam estas quando o veículo se encontra parado, ou se encontra em movimento, sofrendo acelerações bruscas na vertical.

4.1.1 – Efeito do peso próprio

Para se quantificar o efeito do peso próprio na resistência da estrutura efectuou-se uma simulação através de uma discretização com 3999 elementos do tipo Beam3d. Os resultados obtidos nesta análise estão apresentados nas figuras 3.1 e 3.2 em termos do campo de deslocamentos e tensões equivalentes, respectivamente.

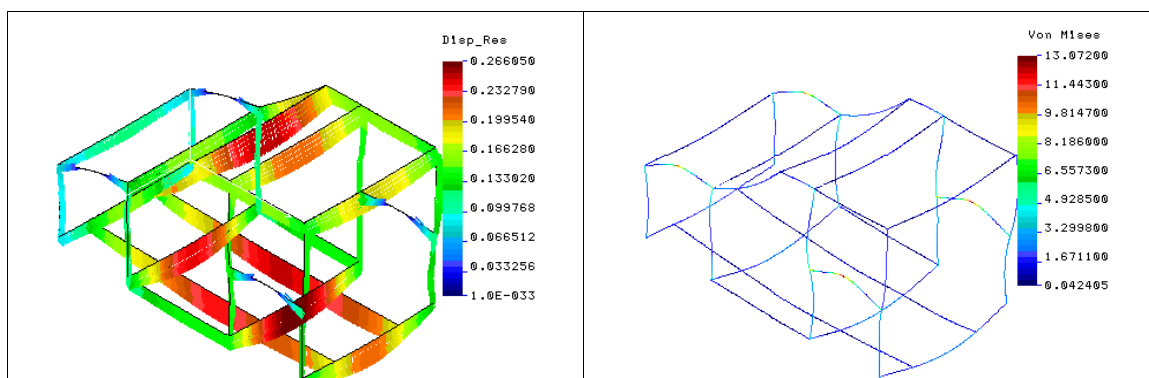


Figura 3.1 – Campo de deslocamentos [mm]

Figura 3.2 – Campo de tensões [MPa]

4.1.2 - Efeito do peso próprio da estrutura, componentes e ocupantes

Nas análises seguintes é considerada, para além da influência do peso próprio da estrutura, a influência do motor, do condutor, passageiro, bancos e mercadoria, conforme as propriedades mássicas representadas na tabela 4.

As análises são efectuadas em função da aceleração da gravidade para o efeito do peso próprio da estrutura (**1G**); para o efeito da aceleração que o veículo atinge quando passa por um piso com uma depressão (**3G**) e ainda o nível de aceleração, em sentido contrário ao da gravidade, atingido pelo veículo quando este passa por uma lomba (**-3G**),^[11].

Como o objectivo deste trabalho é projectar um veículo que possa ser conduzido por um deficiente motor, ou por qualquer outra pessoa não deficiente, é necessário que o banco do condutor seja amovível. A solução adoptada para análise, é que o banco, seja rebatido.

Tabela 4 – Propriedades mássicas

Características	Massa(Kg)
Motor	25
Condutor e cadeira de rodas	100+13
Passageiro e os dois bancos	100+20*2
Mercadoria	100
Massa total	378

Estando o modelo discretizado com elementos viga (Beam3d), é necessário obter o valor das forças dos vários elementos por unidade de comprimento, conforme tabela 5, para o caso da análise a **1G**.

Tabela 5 – Forças aplicadas

Forças aplicadas	1G [N]	Valor das forças [N/mm]
Peso do motor	25x9.8	0.0834
Peso do condutor e cadeira de rodas	100x9.8+13x9.8	0.989
Peso do passageiro e dois bancos	100x9.8+20x2x9.8	1.225
Mercadoria	100x9.8	0.321

Na análise a **3G** existe uma aceleração brusca no veículo o que vai afectar o valor das forças que actuam na estrutura. O cálculo é semelhante ao da análise anterior em que as forças a aplicar são multiplicadas por 3G. Da mesma forma efectuou-se uma análise a **-3G**. A tabela 6 compara os resultados obtidos nas diversas análises efectuadas.

Tabela 6 – Resultados da acção vertical

Tipo de análise acção vertical		Elementos usados	Tensão equivalente máxima[MPa]	Deslocamento Máximo[mm]
Peso próprio da estrutura		Beam3d	13	0.27
Peso próprio e componentes	Análise a 1G	Beam3d	131	5
		Beam3d/Mass	103	3.9
	Análise a 3G	Beam3d	311.5	11.8
		Beam3d/Mass	288.9	11
	Análise a -3G	Beam3d	211.2	9.6
		Beam3d/Mass	312.9	11.9

Como se verifica a análise para uma aceleração de **3G**, impõe valores mais elevados tanto em termos de deslocamento resultante como tensões equivalentes.

4.2 - Análise da estrutura sujeita a acções longitudinais

Para analisar o comportamento do veículo quando este sofre uma acção na longitudinal, por exemplo numa travagem, será feita uma análise com uma aceleração de **2G** na direcção do seu movimento. Será analisada de forma combinada a desaceleração do veículo, **2G** na longitudinal, com a influência dos ocupantes, componentes e mercadoria, com a imposição de **1G** no sentido vertical. A simulação é feita com elementos do tipo Beam3d e de Mass. Os resultados obtidos estão apresentados nas figuras 4.1 e 4.2 em termos de deslocamentos resultantes e de tensões equivalentes, respectivamente.

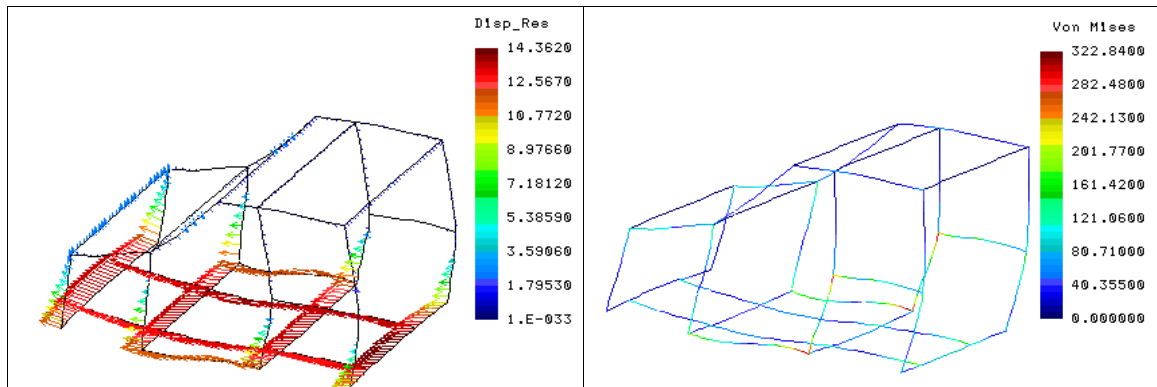


Figura 4.1 – Campo de deslocamentos [mm]

Figura 4.2 – Campo de tensões [MPa]

4.3 - Análise da estrutura sujeita a acções transversais 1G

Quando um veículo começa a descrever uma curva e para que consiga *curvar* completamente, o veículo fica submetido a uma força que o mantém na estrada, como se pode observar na figura 5. Esta força resulta da aceleração centrípeta, e aumenta com a massa do veículo, e com a velocidade com que este faz a curva, diminuindo na razão inversa com o raio de curvatura, como demonstra a equação 1.

$$F = m * \frac{V^2}{r} \quad (1)$$

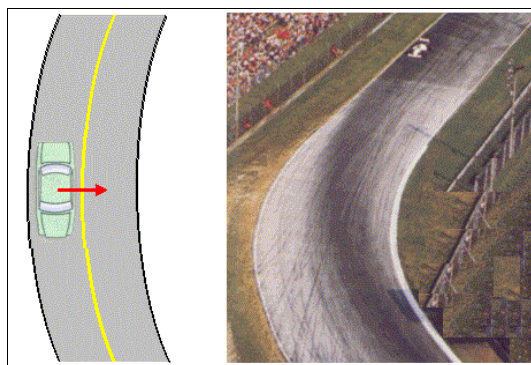


Figura 5 – Acção transversal

Para analisar este efeito, foram efectuadas duas simulações. O efeito da aceleração da gravidade (**1G**) é segundo a transversal do veículo, representando a aceleração centrífuga, actuando ambas as acelerações, no chassi e nas massas. Nas figuras 6.1 e 6.2 estão apresentados os resultados em termos de deslocamentos resultantes e de tensões equivalentes para o caso de o veículo curvar à direita.

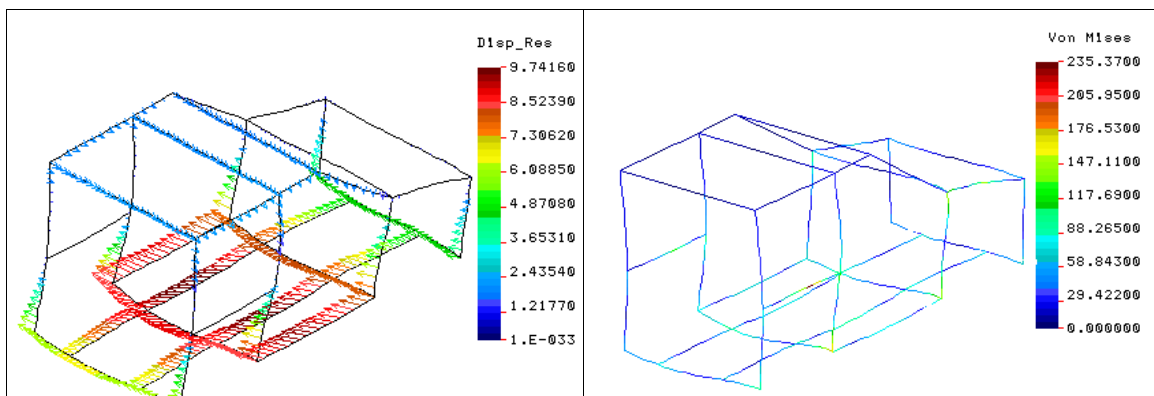


Figura 6.1 – Campo de deslocamentos [mm]

Figura 6.2 – Campo de tensões [MPa]

De forma análoga à simulação anterior, estão representados, nas figuras 7.1 e 7.2, os resultados para o caso de o veículo curvar à esquerda.

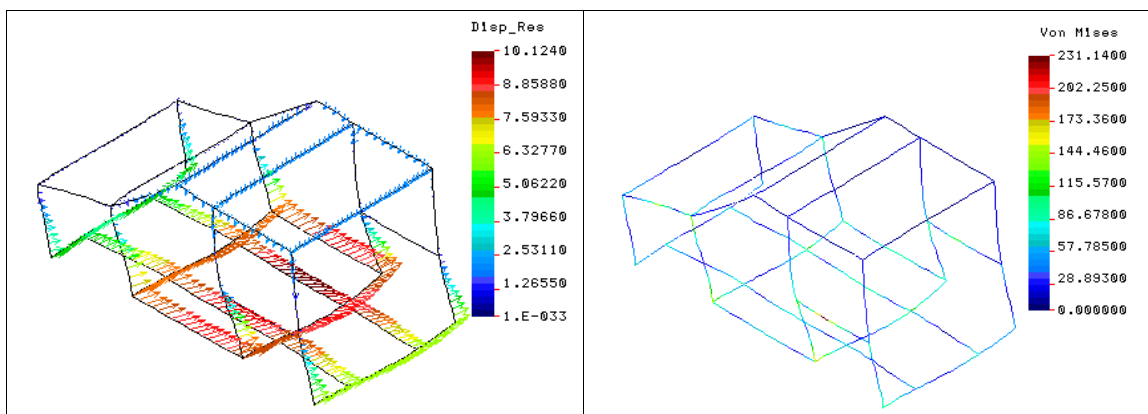


Figura 7.1 – Campo de deslocamentos [mm]

Figura 7.2 – Campo de tensões [MPa]

Na tabela 7 estão apresentados os valores máximos do campo de deslocamentos e tensões equivalentes, para as duas simulações efectuadas.

Tabela 7 - Valores máximos a acções transversais

Valores máximos	Curva à direita	Curva à esquerda
Tensões equivalentes [MPa]	235.4	231.1
Deslocamentos [mm]	9.7	10.1

Como se pode ver pela análise dos dados da tabela 7, os resultados de ambas as análises são aproximadas. A pequena diferença deve-se à diferente distribuição de massas no veículo, ou seja, do lado do condutor, temos a massa do próprio condutor e da cadeira de rodas, o que faz 113Kg, do lado do passageiro, temos a sua massa e a dos dois bancos, o que faz 140 Kg. Desta forma, quando o veículo faz uma curva à esquerda o centro de gravidade do veículo está mais distante do centro de curvatura da curva, e mais próximo quando a curva é à direita.

4.4 - Análise da estrutura sujeita ao impacto

Todos os anos, milhares de pessoas em todo o mundo sofrem colisões com veículos automóveis, quer na posição de passageiros quer como peões. Dado o elevado número de fatalidades que resultam destes acidentes torna-se necessário o estudo de determinados pormenores e constituintes dos veículos de forma a minimizar este problema. Algumas características que influenciam a maior ou menor severidade destas colisões são: o tipo de material usado na construção do veículo, a própria estrutura, por forma a permitir um nível de deformação com vista a baixar a energia do impacto absorvida pelos passageiros, a altura do pára-choques frontal, o peso do veículo, o uso ou não de "air bags", os pré tensores dos cintos de segurança, etc.

Para que um veículo não seja colocado no mercado sem que satisfaça os requisitos mínimos de segurança, existem várias normas e ou testes a serem efectuados. Estas normas e testes são editados nos Estados Unidos da América pela *National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)* num compêndio de documentos denominado por *Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS)* e na Europa pelo *European New Car Assessment Programme (Euro NCAP)*, [12-16].

Várias organizações independentes fazem "crash tests" (testes de impacto) de diferentes modelos e de diferentes produtores.

Em termos de legislação todos os modelos têm que passar a um e um só "crash test" para poderem ser colocados no mercado. Um teste que poderá ser feito é o impacto do veículo contra um bloco de betão a uma velocidade de 56Km/h, sem a necessidade de que no interior estejam sofisticados "crash test dummies" com sensores que mostram o que acontece ao condutor e passageiros ao longo do acidente. A passagem no teste depende essencialmente de dois critérios: quanto é que a roda traseira é deslocada para trás e quanto é deslocada para cima. No que diz respeito à estrutura do veículo esta deverá manter a sua forma na zona que alberga os passageiros: o tejadilho, os pedais, os perfis do tejadilho e a chapa do chão não devem deslocar-se em demasia para o interior. As portas devem manter-se fechadas durante o impacto e devem poder abrir-se após a ocorrência deste de maneira a que permita um resgate rápido. Quanto aos sistemas de retenção estes têm que manter o ocupante com o veículo por forma a protegê-lo de colisões com objectos do veículo. Os "dummies" são pintados para que sejam visíveis os pontos de contacto deste com o veículo. Os "crash test dummies" são projectados para simular o comportamento de um homem

adulto com uma altura média. É colocado um no banco do condutor e outro no lugar do passageiro. Estes são instrumentados com sensores de medida de força e deslocamento. As medidas obtidas fornecem indicação da gravidade do impacto provocado no corpo humano.

Como se pode concluir, as consequências de acidentes devidos ao impacto podem ser fatais, por isso torna-se necessário que, ainda numa fase de projecto o veículo seja estudado de forma a minimizar as consequências de acidentes devidos ao impacto, seja ele frontal ou lateral.

4.4.1 - Análise da estrutura sujeita ao impacto frontal

De todas as colisões o impacto frontal é a que se dá em maior número, como se pode ver na figura 8. Dentro das colisões frontais podemos ver ainda que a maior percentagem deve-se a colisões frontais totais mas a percentagem de colisões frontais com *offset* à esquerda e à direita ainda é considerável.



Figura 8 – Colisões frontais

Para ser avaliado o comportamento do veículo em caso de impacto frontal serão efectuadas duas análises. Uma de impacto frontal total, outra de impacto frontal parcial à direita.

4.4.1.1- Impacto frontal total

O impacto frontal total adoptado pelo *Euro NCAP* está representado na figura 9. O teste consiste na colisão do veículo contra uma barreira rígida de betão a uma velocidade de 56 Km/h.

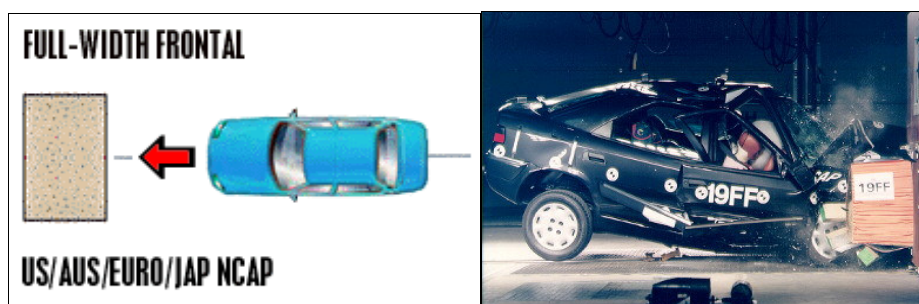


Figura 9 – Impacto frontal

A força a aplicar pode ser obtida através do teorema da variação da quantidade de movimento, representado na equação 2, ^[11].

$$\Delta \dot{Q} = m \left(\frac{\Delta V}{\Delta t} \right) = \sum F_e \quad (2)$$

onde: F_e representam as forças exteriores de impacto, m a massa do veículo; ΔV a variação da velocidade.

Nas figura 10.1 e 10.2 estão apresentados os resultados da simulação efectuada para o impacto frontal total.

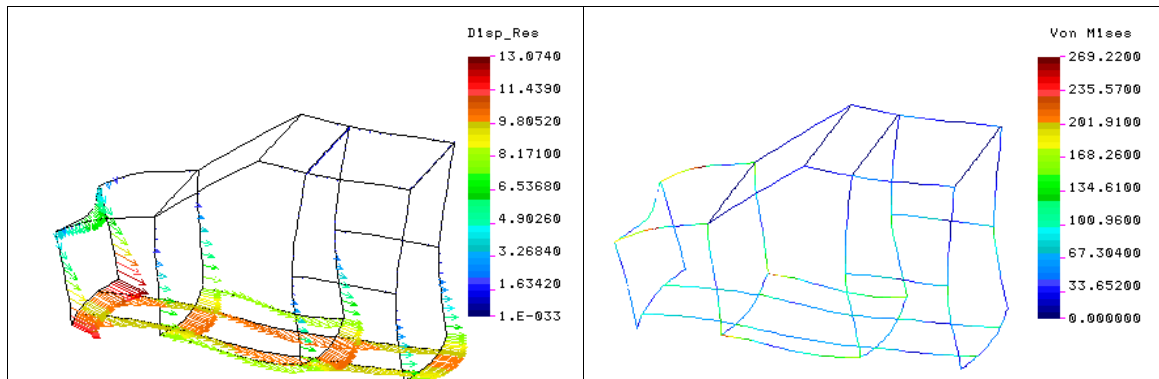


Figura 10.1 – Campo de deslocamentos [mm]

Figura 10.2 – Campo de tensões [MPa]

4.4.1.2- - Impacto frontal parcial

O impacto frontal parcial tem um *offset* de 40% e é efectuado do lado do condutor, que é onde é mais provável haver consequências graves provenientes da colisão, como mostra a figura 11. O teste consiste na colisão do veículo contra uma estrutura deformável a uma velocidade de 64Km/h.

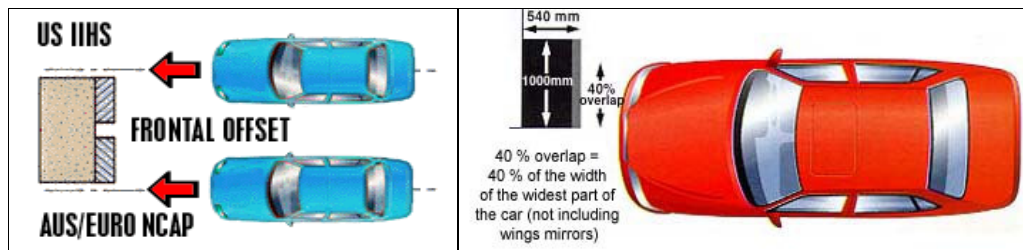


Figura 11 – Impacto frontal parcial

Nas figuras 12.1 e 12.2 estão apresentados os resultados da simulação efectuada para uma colisão frontal com um *offset* de 40% do lado esquerdo.

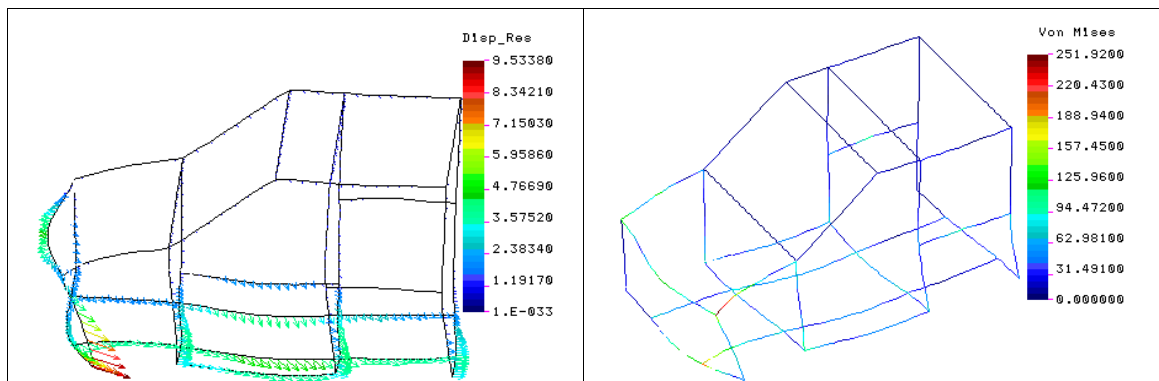


Figura 12.1 – Campo de deslocamentos [mm]

Figura 12.2 – Campo de tensões [MPa]

É de salientar que o nível de deslocamentos é máximo na zona de impacto, mas um deslocamento máximo de aproximadamente 10mm é relativamente baixo para um impacto a esta velocidade, o que leva à conclusão de que a estrutura está muito rígida, logo a energia do impacto absorvida pelo veículo será muito baixa.

4.4.1.3 - Análise da estrutura sujeita ao impacto lateral

O teste ao impacto lateral simula uma colisão equivalente de um veículo a deslocar-se entre 96 a 112Km/h batendo num veículo parado. As colisões laterais são menos frequentes do que as frontais, mas estas não deixam de ser preocupantes, sendo responsáveis por cerca de 30% das fatalidades ocorridas nas colisões. O método de execução do teste está apresentado na figura 13, e consiste na colisão, na porta do condutor, de um veículo (*trolley*) com uma massa igual ao da família

do veículo que se está a testar, possuindo uma estrutura de alumínio deformável na parte frontal, a uma velocidade de 50Km/h.

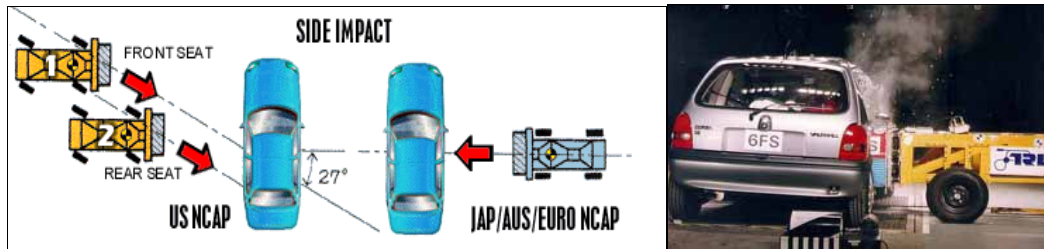


Figura 13 – Impacto lateral

A força aplicada é calculada com base na equação 2 em que a massa para o cálculo do *trolley* é de 1367,6Kg e a velocidade de 50Km/h. Os resultados da simulação do impacto lateral estão apresentadas nas figuras 14.1 e 14.2.

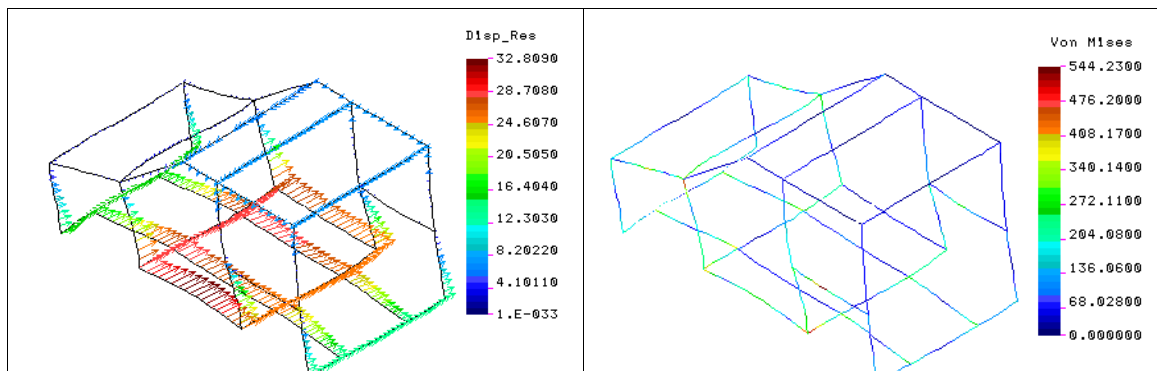


Figura 14.1 – Campo de deslocamentos [mm]

Figura 14.2 – Campo de tensões [MPa]

Como se pode constatar, os valores das tensões equivalentes e dos deslocamentos para o impacto lateral são maiores do que os obtidos nas simulações de impacto frontal. Isto deve-se essencialmente às diferentes massas envolvidas. No impacto frontal o veículo em análise é que está em movimento, no qual entram em jogo as massas do próprio veículo, do condutor e cadeira de rodas, o passageiro e bancos. No impacto lateral o veículo em análise encontra-se parado, sendo responsável pelo impacto o *trolley* que tem uma massa padronizada de 1367.6Kg (3015lb).

Outros testes são efectuados para avaliar a agressividade do veículo no caso de impacto em peões. São usados “*crash test dummies*” que simulam um homem adulto e uma criança. O impacto é feito a 40Km/h e consiste em provocar o impacto de certas partes do *dummie* com o veículo. Assim é feito o impacto de uma perna na zona da tíbia com o pára-choques frontal, a zona do fémur com a frente do capô, e a cabeça no capô, sendo o local do impacto dependente se o *dummie* simula um adulto ou se uma criança, como está representado na figura 15.

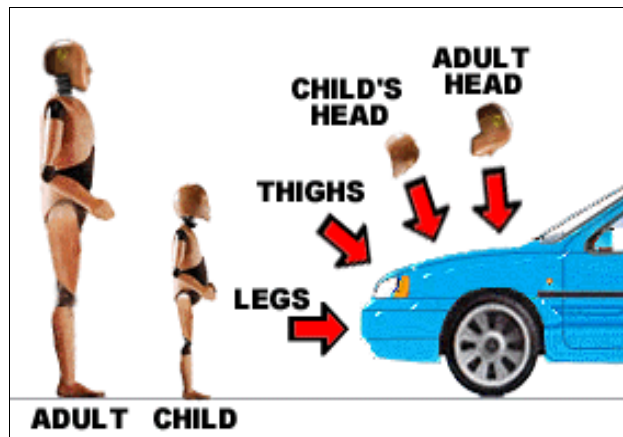


Figura 15 – Impacto de peões

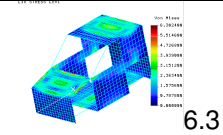
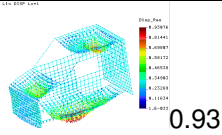
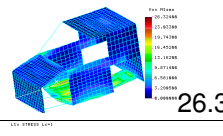
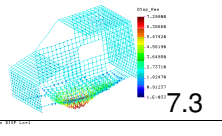
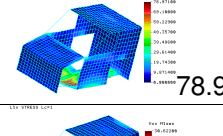
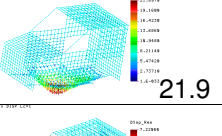
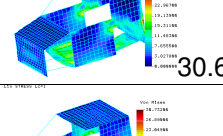
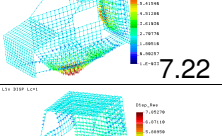
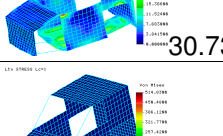
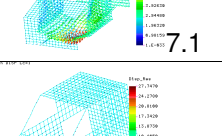
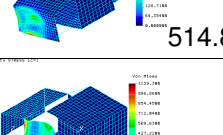
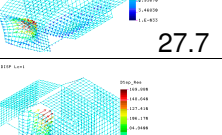
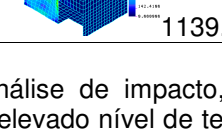
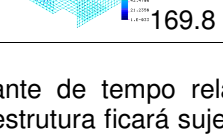
4.5 - Modelação do veículo com a chapa – 1ª simulação

Esta modelação tem por objectivo analisar qual a influência da chapa na resistência e rigidez da estrutura do veículo, sobrepondo-a em conjunto com os perfis. As características da chapa estão apresentadas na tabela 8. Os resultados obtidos nestas simulações apresentam-se na tabela 9.

Tabela 8 – Características da chapa

Características	Chapa
Espessura [mm]	3
Densidade [Kg/mm ³]	7.7E-6
Módulo de Elasticidade [N/mm ²]	210E3
Coefficiente de Poisson	0.3
Módulo de rigidez [N/mm ²]	79E3

Tabela 9 - Resultados das simulações

Tipo de análise		Tensões equivalentes [MPa]	Deslocamento máximo [mm]
Peso próprio da estrutura		 6.3	 0.93
Peso próprio e restantes componentes	Análise a 1G	 26.3	 7.3
	Análise a 3G	 78.9	 21.9
Acção longitudinal		 30.6	 7.22
Acção transversal		 30.73	 7.1
Impacto	frontal	 514.8	 27.7
	lateral	 1139.3	 169.8

Os resultados obtidos na análise de impacto, para um instante de tempo relativamente pequeno, são demonstrativos de um elevado nível de tensões a que a estrutura ficará sujeita. Poder-se-ia aqui verificar com base numa análise não linear o campo de deslocamentos ou nível de deformação atingido. Como nesta fase do projecto, se pretende obter uma estrutura metálica capaz de suportar um nível de tensões dentro do limite elástico, os estudos efectuados são unicamente baseados em análises estruturais lineares.

4.6 - Modelação do veículo com a chapa – 2ª simulação

As simulações que se seguem são executadas para analisar o chassi quando este é constituído unicamente por perfis de tubo quadrado de 30mm e espessura de 2mm e ainda com uma chapa de espessura de 0.9mm em todo o veículo, de forma a que o peso total da estrutura diminua.

Nesta fase de estudo é feita somente a análise que demonstrou ser a mais crítica nas várias simulações efectuadas, isto é, a análise a **3G**, conforme os resultados apresentados na tabela 10.

Tabela 10

Análise a 3G	Tensões equivalentes [MPa]	Deslocamento máximo[mm]
Perfis de tubo quadrado 30 (Beam3d)	436.8	15.3
Perfis de tubo quadrado 30 Chapa de 0.9 mm (Beam3d+shell4)	1139.3	232.6

Com os valores obtidos nesta análise, conclui-se que a estrutura do veículo deve ser reforçada no local de fixação dos bancos, onde se obtém uma elevada tensão e um grande deslocamento. A primeira opção de alteração de projecto é a de alterar a estrutura do chassi e a parte frontal, usando tubo quadrado de 40mm em todo o chassi e aumentar o número de travessas na parte central do veículo, como está representado na figura 16.

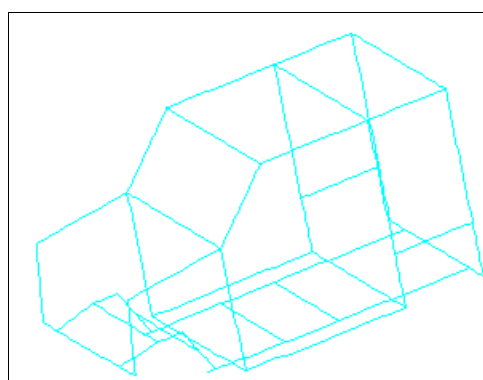


Figura 16 – Nova estrutura do veículo

Efectuaram-se várias análises com espessuras de chapa diferente. Constatou-se que a chapa da base é a que mais influência tem no patamar de tensões atingido, isto porque esta tem a função de suporte de todo o veículo, através dos apoios do sistema de amortecimento, e do suporte directo dos bancos, mercadoria, condutor e passageiro. Na tabela 11 estão apresentadas as várias simulações efectuadas de acordo com as várias hipóteses colocadas.

Tabela 11

Tipo de análise		Tensões equivalentes [MPa]	Deslocamento máximo[mm]
Peso próprio da estrutura	Perfis 40	11.3	0.19
	Perfis 40 e Chapa total com 2mm	167.5	0.222
Peso próprio e restantes componentes	Perfis 40 Chapa total com 0.9mm	535.5	57.4
	Perfis 40 Chapa 0,9mm e a da base com 2mm	116.9	7.4
	Perfis 40 Chapa 0,9mm e a da base com 3mm	48.2	7.1
Análise a 3G	Perfis 40 Chapa 0,9mm e a da base com 3mm	146.4	21.2

Os resultados da análise, com a chapa da base com 3mm, a restante com 0.9mm e os perfis de tubo quadrado de 40mm, estão apresentados nas figuras 17.1 e 17.2, em termos de deslocamentos resultantes e de tensões equivalentes. As simulações são feitas, estando o veículo discretizado com o seu chassi e toda a chapa envolvente, num total de 7700 elementos.

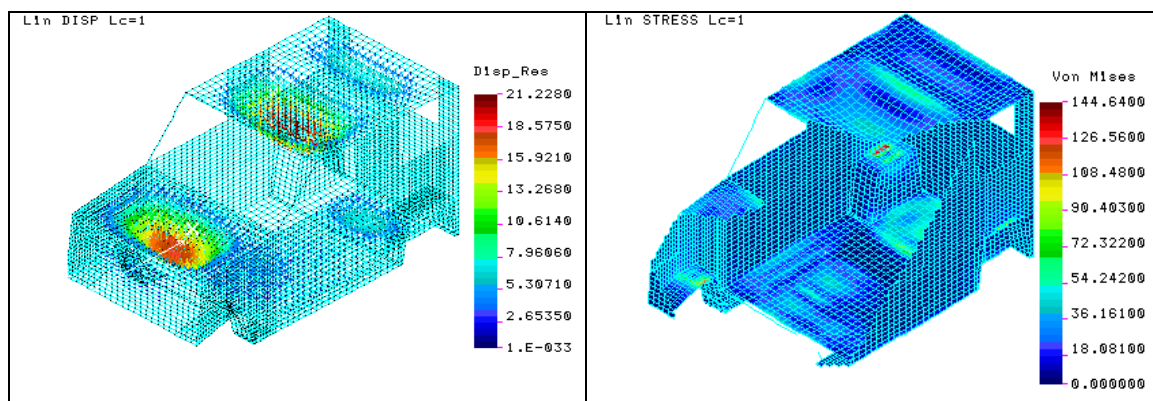


Figura 17.1 – Campo de deslocamentos [mm]

Figura 17.2 – Campo de tensões [MPa]

Com esta simulação chega-se a uma possível geometria em que o nível de tensões atingido pelo veículo, quando está em movimento, estão dentro do admissível. O valor máximo é de aproximadamente 145MPa, isto na zona do apoio do sistema de amortecimento. Como a ligação amortecedor/chassi não é uma ligação rígida, é de esperar que a tensão máxima nessa zona não atinja este valor. A solução que contempla uma construção com perfis quadrados de 40mm, uma chapa de 3mm na base e a restante de 0.9mm tem cerca 260Kg de massa.

4.7 - Modelação do veículo com a chapa – 3ª simulação

Como o peso da estrutura é um factor importante, surgiu a possibilidade de se utilizar uma chapa de 0.9mm na base do veículo com uma geometria ondulada, assim como, perfis de secção rectangular 40x20mm, para que o peso total do chassi fosse reduzido. Com o objectivo de validar a utilização desta nova geometria foram efectuadas as análises para a situação que se demonstrou ser a mais crítica (uma aceleração de **3G** na vertical), sendo os resultados apresentados na tabela 12. A estrutura do chassi é a representada na figura 18.1 com o respectivo carregamento. Foram efectuadas análises com diferentes espessuras da chapa ondulada na base da estrutura, conforme a figura 18.2 . De referir ainda que na ligação chassi/amortecedor se optou por chapas de diferentes espessuras, conforme se evidencia na tabela 12.

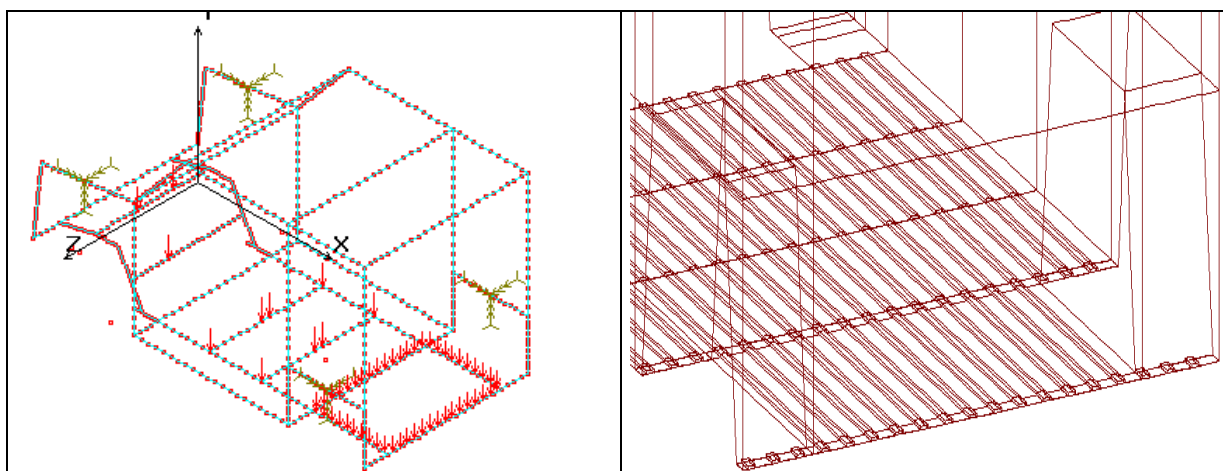


Figura 18.1 - Aplicação do carregamento

Figura 18.2 - Pormenor da chapa ondulada

Tabela 12 – Resultados de várias simulações

Análises efectuadas				Tensão máxima [MPa]	Massa [Kg]
Perfis	Chapa da base [mm]	Chapa lateral dos amortecedores [mm]	Chapa no apoio dos amortecedores [mm]		
Quadrado 40	3 lisa	3	3	145	260
Quadrado 40	0.9 ondulada	3	3	168	220
Quadrado 40	0.9 ondulada	2	2	190	211
Quadrado 40	0.9 ondulada	0.9	3	164	201
Rectangular 40x20 Sem vidro	0.9 ondulada	0.9	3	274	176
Rectangular 40x20 Com vidro 4mm	0.9 ondulada	0.9	3	274	203

As figuras seguintes mostram os resultados da análise da estrutura utilizando perfis rectangulares 40x20 e vidro de 4mm de espessura no pára-brisas e nas janelas.

O valor da tensão máxima é elevada, 274MPa e situa-se na estrutura de fixação do motor, figura 20.1 e 20.2, devendo esta zona frontal ser reforçada.

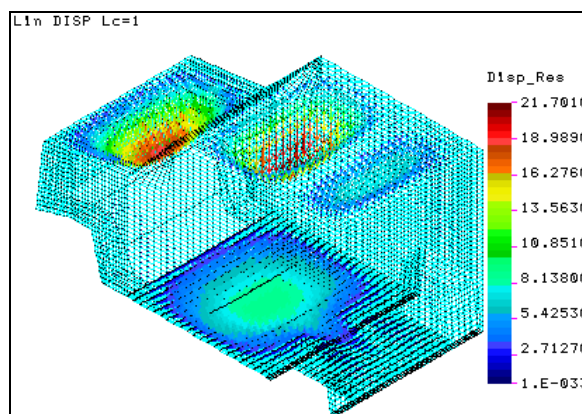


Figura 19 – Campo de deslocamentos [mm]

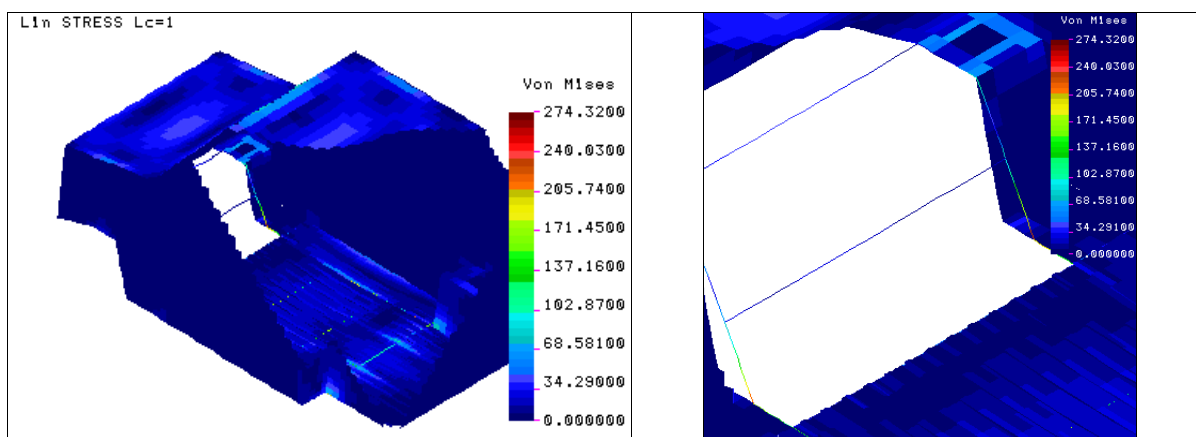


Figura 20.1 - Campo de tensões [MPa]

Figura 20.2 - Pormenor frontal

5 – Conclusões

Como se pode verificar através da exposição deste trabalho, o estudo efectuado a todas as solicitações no veículo, foram importantes para se poder concluir o tipo de estruturas a utilizar na sua concepção. O recurso à técnica de elementos finitos, através da utilização do programa COSMOS/M, mostrou-se uma ferramenta importante no tipo de conclusões durante as várias análises estruturais lineares em estudo. Acrescenta-se no entanto a possibilidade de execução de estudos em regime não linear, com o uso do Cosmos/M e ainda simulações de cinemática e dinâmica do veículo, usando ferramentas neste domínio. Pensamos assim, ter obtido uma possível solução de projecto e contribuir para que o modelo a conceber tenha como referência os aspectos estruturais aqui apresentados.

Agradecimento:

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito de um projecto I & D, no âmbito do programa **CITE IV**, do secretariado nacional para a reabilitação e integração das pessoas com deficiência, pela ESTIG, ASCUDT e empresa Alberto Carvalho Araújo & C^a Lda, intitulado: **SITMOTOR - Sistema Integrado de Transporte do Deficiente Motor.**

6 - Referências

1. Horvath, J. K.; *Structural and System Models*; Society of Automotive Engineers.
2. Davis, R. L.; *Suspension System Modelling and Structural Loading*; Society of Automotive Engineers.
3. ButKunas, A. A.; Bussa, S. L.; *Quantification of Inputs for Vehicle System Analysis*; Society of Automotive Engineers.
4. B. T. Astrom; Chapman & Hall - *Manufacturing of polymer composites* - first edition, 1997.
5. Joseph R. Davis; Kanthleen M. Mills; Steven R. Lampman; Theodore B. Zorc; Heather F. Lampman; George M. Craukovic; Alice W. Ronke; Scott D. Henry; Janice L. Daquila; Janet Jakel; Karen Lynn O. Keef; Robert L. Stedfeld; *Properties and selection: Irons, steels and High performance alloys*; Metals handbook - Volume 1, ASM International.
6. J. R. Carvalho; Paulo Moraes; *Orgãos de Máquinas: Dimensionamento* – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1977.
7. Ettore Brisciani Filho; *Seleção de metais não ferrosos*; UNICAMP, 1997.
8. Eugene A. Avollone; Theodore Baumeister III; *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*, Mc Graw Hill, 1997.
9. Michaeli; Greif; Vossebunger; *Introducción a la tecnologias de los plásticos*; Hanser Editorial, 1992.
10. Jones; Norman; Wierzbicki; Tomasz; *Structural crashworthiness and Failure*; Elsevier Applied Science.
11. Martins, A.H.B.; *Análise Dimensional Veículo Electrico Multi-Usa*, FEUP, 1995
12. *1970 International Automobile Safety Conference Compendium*; Society of Automotive Engineers.
13. *Vehicle Aggressivity- Fleet Characterisation Using Traffic Collision Data*; National Highway Traffic Safety Administration.
14. *Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations*; National Highway Traffic Safety Administration.
15. *Validation of a Non-Linear Finite Element Vehicle Model Using Multiple Impact Data*; National Highway Traffic Safety Administration.
16. *Vehicle Analytical Design for Structural Criteria –An Overview*; Society of Automotive Engineers.