



Análise e desenvolvimento de um protótipo de um veículo para desporto motorizado

FÁBIO ANDRÉ COELHO RAPOSO

outubro de 2019

ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE UM VEÍCULO PARA DESPORTO MOTORIZADO

Fábio André Coelho Raposo
1140378

2º Ano do Mestrado em Engenharia Mecânica- Construções Mecânicas
Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE UM VEÍCULO DE COMPETIÇÃO

Fábio André Coelho Raposo
1140378

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Engenheiro Fernando Ferreira.

2018/2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de engenharia mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto

Professor adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Fernando José Ferreira

Professor coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

José Luís Soares Esteves

Professor adjunto, Faculdade de Engenharia do Porto

AGRADECIMENTOS

São várias as pessoas que ao longo destes anos me acompanharam e de certa forma me ajudaram para que tudo isto fosse possível. A todas elas deixo desde já o meu obrigado.

Como tudo na vida, há pessoas que tem mais importância e nos são mais próximas e como tal não posso deixar de agradecer em primeiro lugar aqueles que foram e sempre serão os meus principais pilares, os meus pais e o meu irmão. Agradeço por todo o esforço e dedicação que sempre prestaram para me proporcionar as melhores condições para que tudo isto fosse possível e ainda pelas palavras de consolação nas horas mais difíceis.

Um agradecimento muito especial também à Extreme Raid, empresa onde nos últimos meses tive a oportunidade de estagiar e aprender. Aproveito também para deixar os meus votos de gratidão e admiração ao Sr. Fernando por todos os conhecimentos que me transmitiu e pela forma como sempre foi meu amigo. Resta-me um muito obrigado a toda a equipa e família do restaurante Sapo, pessoas que me acolheram e sempre me apoiaram para que tudo desse certo. Um muito obrigado também ao engenheiro Fernando Ferreira por toda disponibilidade, conhecimentos e pensamentos inculcados.

Por fim, mas não menos importante, vem aqueles que provavelmente mais tempo passavam comigo e com as suas brincadeiras e momentos de alegria me ajudaram a que estes 5 anos passassem a correr. A vocês meus amigos mais próximos, um muito obrigado por me ajudarem a conseguir alcançar esta etapa.

UM MUITO OBRIGADO A TODOS!!

PALAVRAS CHAVE

Método dos Elementos Finitos; *SolidWorks*; *Simulation*; *Lotus Suspension Analysis*; *Space Frame*; Tensões; Suspensão; Modelação;

RESUMO

Com a crescente procura da classe de veículos off-road, mais vulgarmente conhecidos como UTV, a empresa Extreme Raid decidiu criar o seu próprio veículo deste tipo. O mercado predominante espera-se que seja o Europeu. No próximo ano os primeiros três veículos, denominados GPR 20, já foram vendidos para o mercado espanhol e estarão em prova no mítico rali Dakar.

Como esta empresa adota um comportamento de trabalho mais vocacionado para a parte da construção da estrutura, que neste caso será o chamado Space frame, e posteriormente assemblagem dos diferentes componentes, foi-me proposto que realiza-se uma análise à estrutura tubular que dá forma ao veículo como também à geometria de suspensão do mesmo no sentido de identificar possíveis problemas.

Para a análise à estrutura tubular foi usado o Método dos Elementos Finitos, através do módulo *Simulation* do *Solidworks*. Já para a análise da geometria de suspensão foi usado o software *Lotus Suspension Analysis*.

Sendo o aspeto dos veículos atuais cada vez mais importantes, pois cada vez mais o mundo em que vivemos dá mais importância a esse aspeto, foi-me desafiado para modelar as carenagens do veículo. Para essa tarefa foi utilizado mais uma vez o *software SolidWorks*.

KEYWORDS

Finite element method; SolidWorks; Simulation; Lotus Suspension Analysis; Space Frame; Tensions; Suspension; modeling

ABSTRACT

With the growing demand for the class of off-road vehicles, commonly known as UTV, the company Extreme Raid decided to create its own vehicle of this type. The prevailing market is expected to be the European market. Next year the first three vehicles, called GPR 20, have already been sold to the Spanish market and will be in evidence at the mythical Dakar rally.

As this company adopts a work behavior more geared towards the construction of the structure, which in this case will be a structure known as Space Frame, and later assembling the different components, I was proposed to perform an analysis of the tubular structure that forms the vehicle as well as its suspension geometry to identify the possible problems.

For the analysis of the tubular structure the Finite Element Method was used through the Solidworks Simulation module. For suspension geometry analysis, Lotus Suspension Analysis software was used.

As the aspect of today's vehicles becomes increasingly important, as the world we live in emphasizes that aspect, I was challenged to model the vehicle's fairings. For this task, Solidworks software was once again used.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

Termo	Designação
CIR	Centro instantâneo de rotação
LSA	<i>Lotus Suspensions analysis</i>
CG	Centro de gravidade
RC	<i>Roll Center</i>
MEF	Método dos elementos finitos
FIA	<i>Federation Internationale de L'Automobile</i>
FPAK	Federação Portuguesa de Automobilismo e Karting

Lista de Unidades

Termo	Designação
N	Newton
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
$kNm/^\circ$	Kilo Newton metro por grau
$^\circ$	Grau

Lista de Símbolos

Termo	Designação
K_t	Rigidez torsional
M_t	Momento torsor
Θ	Deflexão angular média
Δy	Variação de altura
I	Metade da largura total da estrutura
F	Força exercida na estrutura
P	Peso
F_d	Força distribuída
λ	Esbelteza
l	Comprimento de encurvadura
i	Raio de giração
ξ	Repartição de travagem no eixo dianteiro
l	Distancia entre eixos
h	Altura do CG ao solo
α	Ângulo Alpha
β	Ângulo Beta
γ	Ângulo Gamma

F_x	Força segundo o eixo xx
F_y	Força segundo o eixo yy
F_z	Força segundo o eixo zz

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-QUADRO DE LONGARINAS	30
FIGURA 2- QUADRO EM X	30
FIGURA 3- ESTRUTURA EM MONOCOQUE	31
FIGURA 4- ESTRUTURA SPACE FRAME	32
FIGURA 5- BASE ESTRUTURAL	33
FIGURA 6- ARCO LATERAL	34
FIGURA 7- SEMI-ARCO LATERAL	34
FIGURA 8- ELEMENTO DIAGONAL	35
FIGURA 9- REFORÇO DAS PORTAS	36
FIGURA 10- REFORÇO TRANSVERSAL	36
FIGURA 11- REFORÇO TEJADILHO	37
FIGURA 12- REFORÇO PÁRA-BRISAS	37
FIGURA 13- REFORÇO DE PROLONGAMENTOS LONGITUDINAIS TRASEIROS	38
FIGURA 14- REFORÇO DE JUNÇÃO NO ARO FRONTAL	38
FIGURA 15- REFORÇO DE JUNÇÃO JUNTO AO TEJADILHO	38
FIGURA 16- MASSA SUSPensa VS MASSA NÃO SUSPensa	41
FIGURA 17- SUSPENSÃO DIANTEIRA YAMAHA YXZ 1000R	42
FIGURA 18- SUSPENSÃO DIANTEIRA POLARIS RZR XP1000	43
FIGURA 19- SUSPENSÃO DIANTEIRA CAN AM	44
FIGURA 20- VEÍCULO NA FORMA FINAL	45
FIGURA 21- QUADRO DO VEÍCULO UTV EXTREME RAID	49
FIGURA 22- TORÇÃO NA ESTRUTURA	50
FIGURA 23- PORMENOR DE FIXAÇÃO DO TRIANGULO DE SUSPENSÃO	52
FIGURA 24- ESTRUTURA TUBULAR MODELADA	54
FIGURA 25- ESTRUTURA TUBULAR FINALIZADA	55
FIGURA 26- PORMENOR DE MONTAGEM	55
FIGURA 27- PARTE FRONTAL REMOVÍVEL	56
FIGURA 28- VISTA EXPLODIDA DA ESTRUTURA	57
FIGURA 29- ESTRUTURA TUBULAR EM PERSPETIVA	58
FIGURA 30- ARTICULAÇÃO DOS ELEMENTOS	59
FIGURA 31- CONDIÇÕES DE ENSAIO À RIGIDEZ DA ESTRUTURA	60
FIGURA 32- ENSAIO DE RIGIDEZ	60
FIGURA 33 - RIGIDEZ TORSIONAL PARA CADA CLASSE DE VEÍCULO	62
FIGURA 34- DESLOCAMENTO VERTICAL NA PARTE POSTERIOR DO HABITÁCULO NA VISTA FRONTAL	63
FIGURA 35- DESLOCAMENTO VERTICAL NA PARTE POSTERIOR DO HABITÁCULO NA VISTA LATERAL	63
FIGURA 36- DESLOCAMENTO VERTICAL DA PARTE FRONTAL DE HABITÁCULO NA VISTA FRONTAL	64
FIGURA 37- DESLOCAMENTO VERTICAL DA PARTE FRONTAL DE HABITÁCULO NA VISTA LATERAL	65
FIGURA 38- GRÁFICO DA RIGIDEZ NAS DIFERENTES SECÇÕES DA ESTRUTURA	67
FIGURA 39- CONDIÇÕES NO ENSAIO DE SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO EM CURVA	69

FIGURA 40- TENSÕES NA SIMULAÇÃO EM CURVA	70
FIGURA 41- DETALHE DA TENSÃO INSTALADA COM UM LIMITE DE 460 MPA	71
FIGURA 42- TENSÃO INSTALADA COM TUBO REFORÇADO	72
FIGURA 43- CONDIÇÕES NO ENSAIO DE ACELERAÇÃO	73
FIGURA 44- TENSÕES NO ENSAIO DE ACELERAÇÃO	74
FIGURA 45- ZONAS CRÍTICAS EM ACELERAÇÃO	74
FIGURA 46- ELEMENTO DE PLACA	75
FIGURA 47- REFORÇO ADICIONAL DA ESTRUTURA	76
FIGURA 48- TENSÕES COM ESTRUTURA REFORÇADA	76
FIGURA 49- CONDIÇÕES NO ENSAIO DE TRAVAGEM	77
FIGURA 50- ANÁLISE À TRAVAGEM	78
FIGURA 51- VISTA EM PORMENOR DAS ZONAS CRÍTICAS	78
FIGURA 52- CONDIÇÕES NA ANÁLISE AO SALTO	79
FIGURA 53- ANÁLISE À CONDIÇÃO DE SALTO	80
FIGURA 54- TENSÕES INSTALADAS EM CASO DE SALTO	81
FIGURA 55- LIGAÇÃO APARAFUSADA	82
FIGURA 56- SIMULAÇÃO DO SUPORTE DO TRIÂNGULO DE SUSPENSÃO	83
FIGURA 57- CONDIÇÕES DE FRONTEIRA NA ANÁLISE AO SUPORTE	83
FIGURA 58- CONDIÇÕES DE NÃO PENETRAÇÃO ENTRE CORPOS	84
FIGURA 59- ELEMENTO QUE TRANSMITE FORÇAS AO SUPORTE	84
FIGURA 60- FORÇAS QUE ATUAM NO ELEMENTO	85
FIGURA 61- COMPONENTES RETANGULARES DE UM VETOR CARTESIANO	85
FIGURA 62- DIREÇÃO DO VETOR CARTESIANO	86
FIGURA 63- PROJEÇÕES NOS DIFERENTES EIXOS	86
FIGURA 64- SIMULAÇÃO COM FORÇAS JÁ APLICADAS	87
FIGURA 65- ANÁLISE ÀS TENSÕES INSTALADAS	88
FIGURA 66- DEFORMADA DA TENSÃO	88
FIGURA 67- TENSÕES COM ESPESSURA REFORÇADA	89
FIGURA 68- PONTOS DE FIXAÇÃO DA SUSPENSÃO AO QUADRO E MANGA DE EIXO	90
FIGURA 69- SUSPENSÃO DE TRIÂNGULOS SOBREPOSTOS	91
FIGURA 70- SISTEMA DE COORDENADAS CRIADO	92
FIGURA 71- QUADRO DE INTRODUÇÃO DE PARÂMETROS NO LSA	93
FIGURA 72- ALTURA DO CENTRO DE GRAVIDADE DE VEÍCULOS COMERCIAIS	94
FIGURA 73- SUSPENSÃO DIANTEIRA NA VISTA FRONTAL	95
FIGURA 74- SUSPENSÃO TRASEIRA NA VISTA FRONTAL	95
FIGURA 75- VISTA SUPERIOR DO EIXO TRASEIRO	96
FIGURA 76- VISTA SUPERIOR DO EIXO DIANTEIRO	96
FIGURA 77- VISTA LATERAL	97
FIGURA 78- ESQUEMA DAS FORÇAS QUE ATUAM NO <i>ANTI-DIVE</i> (MILIKEN & MILIKEN, 1995)	98
FIGURA 79- GRÁFICO DOS VALORES DE <i>ANTI-DIVE</i>	99
FIGURA 80- CORREÇÃO DO <i>BUMP STEER</i>	100
FIGURA 81- NOVA COORDENADA	100
FIGURA 82- GRÁFICO <i>BUMP STEER</i> COM GEOMETRIA ORIGINAL	101

FIGURA 83- GRÁFICO <i>BUMP STEER</i> COM CORREÇÃO	101
FIGURA 84- EFEITO DE <i>ANTI-SQUAT</i> (MILIKEN & MILIKEN, 1995)	102
FIGURA 85- GRÁFICO DOS VALORES DE <i>ANTI-SQUAT</i>	103
FIGURA 86- MODELAÇÃO LATERAL DAS CARENAGENS	104
FIGURA 87- VISTA ISOMÉTRICA DA PARTE TRASEIRA DO VEÍCULO	105
FIGURA 88- VISTA ISOMÉTRICA DA PARTE FRONTAL DO VEÍCULO	105

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1- COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO(MATERIAL SPECIFICATION SHEET SAARSTAHL - 25CRMO4, 2019)	53
TABELA 2- PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL(MATERIAL SPECIFICATION SHEET SAARSTAHL - 25CRMO4, 2019)	53
TABELA 3- MASSA DOS DIFERENTES COMPONENTES	68
TABELA 4- MAGNITUDE DAS FORÇAS	69
TABELA 5- MAGNITUDE DAS FORÇAS NO CASO DE SALTO	80

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	25
2	PROJETO DE ESTRUTURA <i>SPACE FRAME</i>	29
2.1	Introdução à temática.....	29
2.2	Principais características	32
2.3	Classificação e definição de veículo de <i>Cross-Country</i>	40
2.4	Suspensão automóvel	41
2.4.1	Massas não suspensas.....	41
2.4.2	Benchmarking.....	42
3	DESENVOLVIMENTO	49
3.1	Rigidez torsional	49
3.1.1	Modelação 3D e análise	50
3.1.1.1	Elementos para simulação do pormenor de ligação.....	52
3.1.1.2	Características do aço	52
3.1.1.3	Modelação	53
3.1.2	Análise à rigidez.....	57
3.1.2.1	Rigidez torsional nas diferentes secções	62
3.1.2.1.1	Zona posterior.....	62
3.1.2.1.2	Zona do habitáculo.....	64
3.1.2.1.3	Zona frontal.....	66
3.1.2.1.4	Análise de resultados	66
3.2	Análise a diferentes momentos de condução.....	68
3.2.1	Comportamento em curva	68
3.2.2	Comportamento em aceleração.....	73
3.2.3	Comportamento em travagem.....	77
3.2.4	Comportamento numa situação de salto	79
3.3	Simulação nos suportes dos triângulos de suspensão	82
3.4	Geometria de suspensão.....	90
3.4.1	Simulação da suspensão no software Lotus suspension analysis	91
3.4.1.1	Efeito Anti-dive	97
3.4.1.2	Bump steer.....	99
3.4.1.3	Efeito anti-squat	102

3.5	Modelação das carenagens.....	104
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	109
4.1	CONCLUSÕES.....	109
4.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....	110
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	115
6	ANEXOS	119
6.1	Valores dos parâmetros da geometria de suspensão.....	119

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Sendo o automobilismo um desporto onde acima de tudo a segurança vem em primeiro lugar, são várias as especificações técnicas que têm de ser seguidas. Estas especificações aliadas a limitações ao nível das infraestruturas, fazem com o projeto de um veículo de competição seja um verdadeiro desafio. Atualmente os componentes estruturais dos automóveis tem verificado inúmeras inovações. Uma estrutura bem conseguida permite elevar os níveis competitivos sem aumentar os custos de produção e de manutenção.

Como tal desenvolveram-se novo métodos de análise de problemas de engenharia que permitem uma abordagem mais simples e rápida para a construção das diferentes estruturas. Dentro deste contexto surge o Método dos Elementos Finitos (MEF). Aliado a isto, com o aparecimento dos recursos computacionais, onde o MEF foi integrado nos mais diversos programas, permitiu uma análise muito mais rápida e simples de problemas, tal como o que serve de base a esta dissertação. Este método servirá de base para grande parte das análises que serão realizadas ao longo desta dissertação.

Sendo assim, proporcionou-se que tivesse como tema de dissertação a análise à estrutura tubular e à geometria de suspensão de um protótipo desenvolvido pela empresa Extreme Raid, empresa onde me foi dada a oportunidade de estágio. Aqui o objetivo é construir um veículo capaz de ter bom rendimento no campeonato nacional de UTV/ Buggy e também dos principais ralis do mundo, o Dakar, competição que irá participar já no próximo ano.

São várias as tensões que são transmitidas para a estrutura do veículo não só devido à elevada velocidade que este veículo circula, mas também ao facto de normalmente circular sob terrenos bastante irregulares. Como tal, serão realizadas inúmeras análises aos diferentes tipos de solicitações que a estrutura possa sofrer para com isto observar quais os pontos onde se localizam as principais tensões. Este estudo é bastante relevante para qualquer construtor deste tipo de estruturas pois caso se verifiquem pontos de rutura, pode-se reforçar essa zona evitando assim danos que possam acontecer. Para estas análises tal como referido, recorreu-se ao método dos elementos finitos através do software *Solidworks*, no módulo *Simulation*. Realiza-se também uma análise à rigidez da estrutura para perceber qual a zona mais fraca em termos de rigidez torsional.

Sendo a suspensão responsável por muitas das características quer ao nível de condução, quer ao nível de segurança, um bom projeto da mesma permite mais uma vez tornar o veículo mais competitivo sem que com isto haja um aumento de custos.

Para avaliar qual o comportamento da geometria de suspensão irá ser usado o software *Lotus Suspension Analysis*, que permite perceber muitos dos parâmetros que o carro irá apresentar.

Posteriormente a isto, serão apresentadas medidas para obter um carro mais fiável e com melhor performance apenas com alguns ajustes tanto ao nível da estrutura tubular como da geometria de suspensão.

Na parte final da dissertação é apresentada uma proposta de modelação das carenagens para o veículo. Para esta modelação foram tidos em conta parâmetros como o curso de suspensão e ergonomia dentro do veículo, mais uma vez através do *Software Solidworks*.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Introdução à temática
- 2.2 Principais características
- 2.3 Classificação e definição de veículo de *Cross-Country*

2 Projeto de estrutura *Space Frame*

Neste capítulo serão apresentados os principais fundamentos teóricos que se encontram na base desta dissertação. Será feita uma abordagem aos vários tipos de estruturas automóveis existentes, assim como todo o desenvolvimento da estrutura que serve de base a esta dissertação.

2.1 Introdução à temática

O *body*, ou estrutura como é designando em português, é como o próprio nome indica o que dá forma ao veículo, ou ainda no meio automobilístico, quadro. É também responsável por ligar os componentes do automóvel de forma durável e resistir aos vários tipos de solicitações quer sejam elas de carácter dinâmico ou estático. Tem de promover igualmente um ambiente seguro aos seus ocupantes e protegê-los em caso de embate.

Devido a tudo isto a estrutura assume um papel fundamental na concepção de um veículo, pois qualquer falha pode ter consequências catastróficas e por isso são constantes as melhorias que se vão fazendo ao longo dos anos para aumentar a segurança do mesmo.

Existem vários tipos de estruturas sendo que estas vão evoluindo com o melhoramento dos processos de fabrico, com novas tecnologias e aparecimento de novos materiais. A aplicação dos diferentes tipos de chassis depende do tipo de veículo que se pretende fazer, sendo que a mais utilizada hoje em dia, nos veículos de turismo, é a estrutura monobloco autoportante.

Quadro de longarinas ou Ladder Frame

O aparecimento deste tipo de quadro baseia-se nas carruagens que haviam no século 19/20, em que estas tinham uma estrutura à base de madeira e com pequenas porções de aço. Por volta de 1900 estes quadros são melhorados com mais elementos em aço e começam a ser aplicados aos automóveis. São os quadros mais utilizados em camiões e autocarros.

Este tipo de quadro tem como base duas longarinas paralelas, Figura 1, que estão ligadas entre si por meio de várias barras transversais (*crossbeam*), que tem como finalidade aumentar a rigidez à torção do conjunto. Após ter esta base criada são colocados elementos específicos, nas longarinas e nas travessas, onde são ligados os componentes mecânicos da suspensão, o motor e sistemas de direcção.



Figura 1-Quadro de longarinas

As principais limitações deste sistema consistem no facto de este não apresentar grande rigidez torsional, provocar uma grande altura de carroceria em relação ao solo e com elevado peso. Por outro lado, este é um chassi que permite transportar cargas elevadas e é adequado para pequenas produções.

Quadro em X ou Backbone

O quadro em X, Figura 2, apresenta um elemento central em aço que suporta tanto os elementos de suspensão como o motor e que no seu interior contém a transmissão. Este tipo de quadro foi criado com o intuito de fazer a conexão entre o eixo dianteiro e o traseiro unicamente através de um elemento tubular capaz de fornecer o espaço suficiente para acoplar a transmissão de veículos com motor dianteiro e tração traseira.

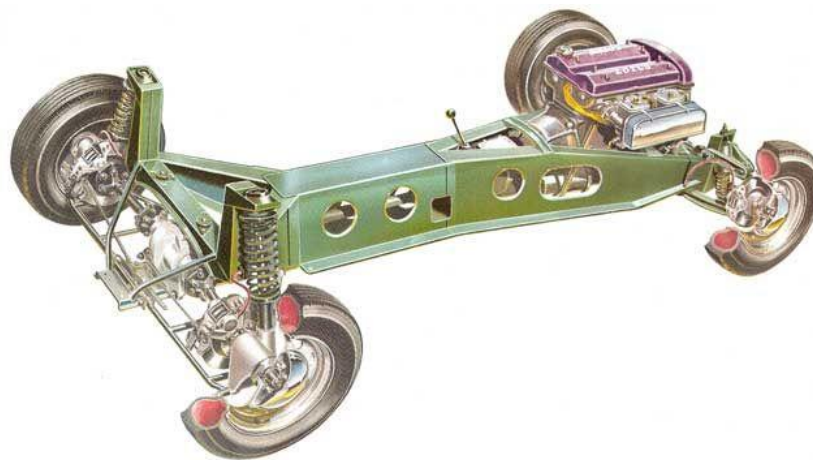


Figura 2- Quadro em X

Quadro monocoque

Tipo de desenho de quadro que foi desenvolvido recentemente e atualmente utiliza materiais compósitos, Figura 3. A sua construção é realizada à base de partes pré-moldadas e posteriormente coladas. Este confere maior rigidez à estrutura do que outras construções, mas que tem como desvantagem uma maior complexidade e custo de construção e de análise.

Os materiais mais utilizados neste tipo de construção foram as chapas de liga de alumínio, chapas de alumínio com núcleo em forma de favo de abelha, atualmente na maior parte da monocoques emprega-se a fibra de carbono.



Figura 3- Estrutura em monocoque

Space Frame

Caracteriza-se como um arranjo lógico de tubos de forma a promover a rigidez da estrutura e ao mesmo tempo baixar o peso da estrutura, sem comprometer a segurança dos seus ocupantes, Figura 4. As suas principais vantagens consiste no facto de não serem precisas ferramentas muito elaboradas nem de grande complexidade para o fabrico da estrutura. Permite assim uma fabricação rápida e simples, e por isso mesmo é a forma mais tradicional de construir carros de competição.

Os quadros produzidos por esta técnica são normalmente fabricados com tubos de aço ou eventualmente ligas de alumínio e quando dimensionados segundo as normas de segurança FIA (*Federacion Internationale de L'Automobile*), apresentam uma grande rigidez e são capazes de resistir a embates de elevadas magnitudes.

São por isso o estilo de chassis predominantes em veículos de competição de pequena produção. Mesmo em campeonatos de rali onde é obrigatório ser um veículo do tipo monobloco a adição de uma gaiola de segurança em estrutura tubular complexa promove uma segurança muito maior que o monobloco original. Este será o tipo de estrutura tratado nesta dissertação.



Figura 4- Estrutura Space Frame

2.2 Principais características

Quando se inicia o processo de construção de uma estrutura automóvel os objetivos principais passam por garantir que a estrutura ofereça a maior segurança possível, seja ergonómica, possua uma elevada rigidez, uma boa performance aliada a uma boa condução.

Sendo a segurança o aspeto principal sobre o qual todos os construtores se regem, no desenvolvimento deste veículo foi adotado o regulamento FIA no que toca a normas a seguir aquando da construção da estrutura tubular, de forma a garantir que todas as normas de segurança eram cumpridas.

Como tal de seguida são apresentadas as normas pelas quais esta estrutura foi contruída, tendo como base o artigo 8 do Anexo J- Artigo 283, Safety Equipment for Cross Country Vehicles (Art, 2004).

Dentro desta regulamentação são abordados vários componentes do veículo, sendo que apenas será referenciada a parte da construção da estrutura tubular.

Art.8.1- Generalidades: a montagem de uma armadura de segurança é obrigatória.

Salvo disposição em contrário dos regulamentos técnicos, ela pode ser:

- a) Construída de acordo com as exigências abaixo (a partir do art. 283-8.2)
- b) Homologada ou certificada por uma ADN de acordo com o regulamento de homologação FIA para armadura de segurança.
- c) Homologada pela FIA de acordo com o regulamento de homologação FIA para armadura de segurança.

Art.8.2- Definições

8.2.1- Armadura de segurança- Estrutura multitubular instalada no habitáculo (cockpit) o mais próximo possível da coque (chassis) e cuja função é a de limitar uma deformação significativa da coque em caso de acidente.

8.2.2- Arco de segurança- estrutura tubular formando um arco, com dois pés de implantação.

8.2.3- Arco de segurança principal (Figura 5) – arco tubular transversal e próximo da vertical constituído por uma só peça, constituído com uma inclinação máxima de +/- 10 em relação à vertical, situado transversalmente na viatura imediatamente atrás dos bancos dianteiros.

O eixo desse tubo terá de estar contido num só plano.



Figura 5- Base estrutural

8.2.4- Arco dianteiro (Figura 5) – idêntico ao arco principal, mas cuja forma segue os montantes para o para-brisas e o seu bordo superior.

8.2.5- Arco lateral (Figura 6) – arco tubular de uma só peça, sensivelmente longitudinal e sensivelmente vertical situado do lado direito ou do lado esquerdo da viatura, cujo montante dianteiro de cada um dos lados acompanha o para-brisas e o montante traseiro é sensivelmente vertical e situado imediatamente atrás dos bancos dianteiros.

O montante traseiro tem de ser retilíneo quando visto de lado.

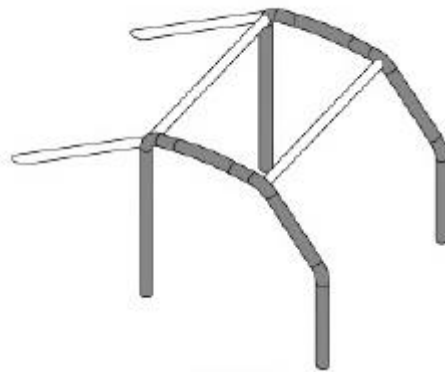


Figura 6- Arco lateral

8.2.6-Semi-arco lateral (Figura 7) – idêntico ao arco lateral, mas sem montante

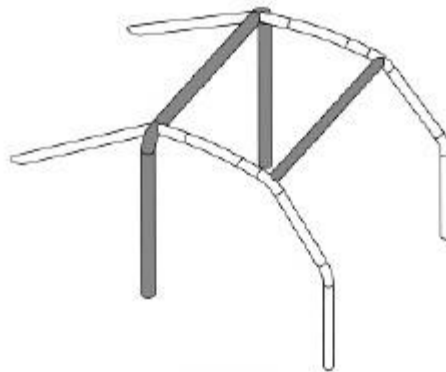


Figura 7- Semi-arco lateral

traseiro.

8.2.7- Elemento longitudinal- tubo único, sensivelmente longitudinal que ligas as partes superiores do arco dianteiro e do arco principal.

8.2.8- Elemento transversal- tubo único sensivelmente transversal que ligas as partes superiores dos semi-arcos laterais ou dos arcos laterais.

8.2.9- Elemento diagonal- tubo transversal que liga um dos cantos superiores do arco principal, ou umas das extremidades do elemento transversal no caso de uma lateral, ao pé de ancoramento inferior oposto do arco.

Art. 8.3- Especificações

8.3.1- Estrutura base (Figura 5)

- 1 arco principal
- 2 Semi arcos laterais
- 1 Membro transversal
- 2 Membros de prolongamento traseiro
- 6 Pontos de fixação

As seguintes ligações ter de estar situadas ao nível do teto:

- Membros longitudinais para as barras laterais dianteira e principal
- Elementos transversais às barras laterais do arco
- Meio-arco lateral em relação ao arco principal

8.3.2.1.1- Elementos na diagonal (Figura 8)

A extremidade superior da diagonal tem de encontrar o arco principal a menos de 100mm da sua junção com os prolongamentos traseiros, ou os prolongamentos traseiros a menos de 100mm da junção com o arco principal. Já a extremidade inferior da diagonal tem de encontrar o arco principal ou prolongamentos traseiros a não mais de 100mm do seu pé de fixação.

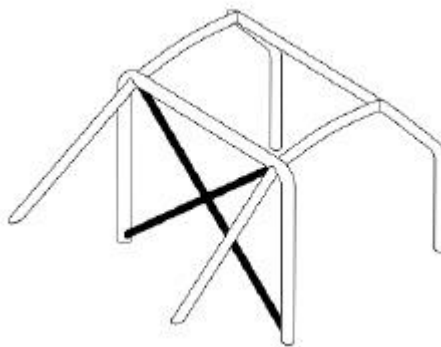


Figura 8- Elemento diagonal

8.3.2.1.2- Elementos das portas (Figura 9)- Um ou mais elementos longitudinais que tem de ser montados de cada lado da viatura, em conformidade com o desenho 253.9.

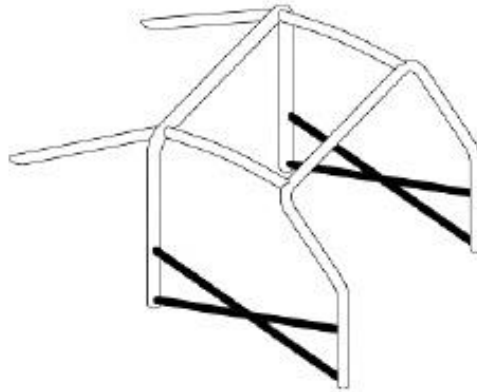


Figura 9- Reforço das portas

8.3.2.1.3-Reforço transversal (Figura 10)

Reforço que terá de ser retilíneo. Pode ser colocado o mais alto possível, mas o seu bordo inferior não pode estar mais alto que p ponto mais superior do tablier. Não pode ser colocado abaixo da coluna de direção.

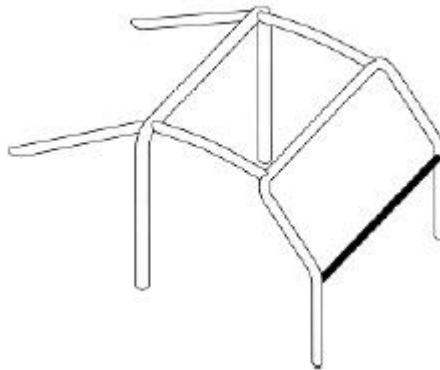


Figura 10- Reforço transversal

8.3.2.1.4-Reforço tejadilho (Figura 11)

A parte superior da armadura tem de estar reforçada em conformidade com a figura que se apresenta de seguida.

A extremidade dos reforços tem de ficar a menos de 100mm das junções do arco principal com os outros elementos.

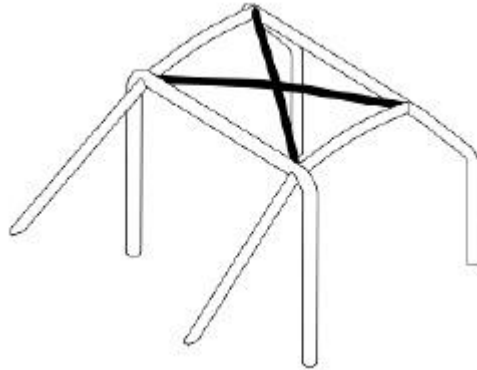


Figura 11- Reforço tejadilho

8.3.2.1.5- Reforço do montante do para-brisas (Figura 12)

Terá de ser montado de cada lado do arco dianteiro.

Este pode ser curvo desde que seja retilíneo quando visto lateralmente, e que o ângulo da sua curva não seja superior a 20°.

A sua junção superior tem de estar situada a menos de 100mm da junção entre o arco dianteiro (lateral) e o elemento longitudinal (transversal).

Já a sua extremidade inferior tem de estar situada a menos de 100mm do pé de fixação (da frente) do arco dianteiro (lateral).

Para viaturas homologadas a partir de 01/01/2018, se existir interseção entre este reforço e os reforços de proteção das portas, ele tem de ser dividido em várias partes.

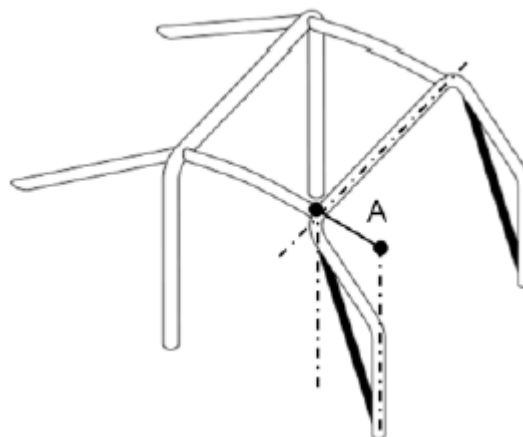


Figura 12- Reforço pára-brisas

8.3.2.2- Elementos e reforços facultativos

Os tubos de reforço terão de ser retilíneos.

Têm de ser soldados ou instalados com conexões amovíveis.

8.3.2.2.1- Diagonais de prolongamentos longitudinais traseiros (Figura 13)

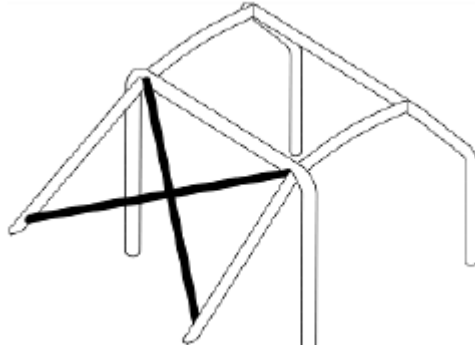


Figura 13- Reforço de prolongamentos longitudinais traseiros

8.3.2.2.4-Reforços de ângulos ou de junções (Figura 14;Figura 15)

Os reforços são feitos de tubos.

A espessura dos componentes que formam o reforço não deve ser inferior a 1 mm.

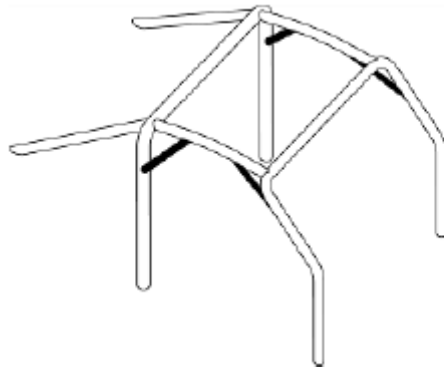


Figura 15- Reforço de junção junto ao tejadilho

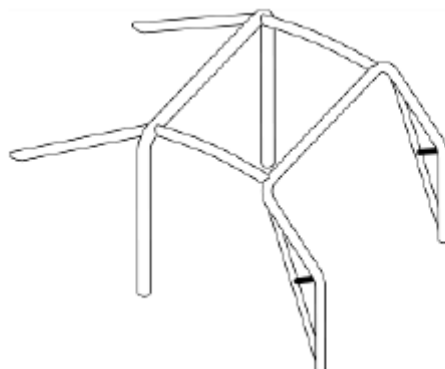


Figura 14- Reforço de junção no aro frontal

8.3.2.5- Obrigações suplementares

As armaduras de segurança completas têm de estar inteiramente situadas, longitudinalmente, entre os limites seguintes:

- 200mm à frente das rodas dianteiras
- Eixo das rodas traseiras

A face traseira do apoio de cabeça que esteja submetido à carga regular, definirá a posição do tubo do arco principal que não poderá ultrapassar em posição vertical.

A distância entre os capacetes dos ocupantes e os tubos da armadura de segurança situados à frente dos encostos dos bancos não pode ser inferior a 80mm.(Art, 2004)

2.3 Classificação e definição de veículo de *Cross-Country*

Os veículos usados em rallies de Cross-Country estão divididos em categorias e em grupos. Existem três categorias e diversos grupos. As categorias estão alinhadas da seguinte forma:

Categoria 1- Grupo T2

Categoria 2- Grupo T1; Grupo T3- Protótipos; Grupo T3- Séries

Categoria 3- Grupo T4

Nenhuma classe pode ser subdividida. (FEDERATION, INTERNATIONALE, & L'AUTOMOBILE, 2016)

Os campeonatos de Todo-Terreno são abertos a viaturas com um peso total em carga inferior ou igual os 3500 kg, para os grupos, T0, T1, T2, T3, e T8 e que estejam por sua vez devidamente matriculadas. Os veículos terão ainda de respeitar as normas de segurança impostas pela convenção internacional para circulação na estrada.

Os veículos que possuam 4 rodas motrizes são designados de 4x4 sendo que os de duas rodas motrizes designam-se por 4x2. (FPAK, 2015)

Em Portugal os veículos estão subdivididos em 3 grupos dependendo do tipo de configuração imposta pelo fabricante.

Grupo T1: Veículos Todo-Terreno modificados

Veículos que podem possuir de 4 a 8 rodas e que tem propulsão mecânica com motores a diesel ou gasolina. Viaturas derivadas de veículos homologados no grupo T2 ou contruídos unidade a unidade. O organizador deverá prever uma categoria de 2 rodas motrizes dentro do grupo T1. (Terreno & Gerais, 2019)

Grupo T2: Veículos de Todo-Terreno de série

Veículos de Todo-Terreno de produção em série. Estes são carros que tem de ser produzido um certo número de exemplares idênticos num certo período de tempo e que são destinados para venda ao público. (FEDERATION et al., 2016)

Grupo T3: Veículos de Todo-Terreno melhorados

Estes veículos podem ser construídos à unidade. (Terreno & Gerais, 2019)

2.4 Suspensão automóvel

A suspensão automóvel tem como finalidade absorver as irregularidades do piso e fazer também a ligação entre o chassi e as massas não suspensas. Este é um elemento fundamental nos veículos pois uma boa suspensão significa uma boa aderência ao solo e um melhor comportamento em curva. Para além dos aspetos já referenciados influencia no conforto dos passageiros e contribui para travagens mais eficientes. (Jornsen Reimpell, 2001)

A suspensão de um veículo é composta por vários elementos, sendo que não existe uma combinação única dos mesmo. Resulta num arranjo entre a mola, amortecedor e articulações, o que permite o movimento relativo, amortece as deformações do terreno e mantém a roda em contacto com o solo.

Hoje em dia grande parte dos veículos utilitários utilizam suspensão independente, que permite que cada roda do mesmo eixo trabalhe de forma independentemente. (Nipane, Khan, & Naikwade, 2018)

2.4.1 Massas não suspensas

À massa dos diferentes componentes ligados ao cubo de roda e que são obrigados a descrever ou contornar o relevo do piso é dado o nome de massas não suspensas. Componentes como os pneus, jantes, discos, maxilas, cubo de roda, amortecedores, rotulas, etc, constituem as massas não suspensas.

Quando o carro passa por uma supressão ou elevação existente no solo, a mola e amortecedor deve obrigá-la a manter em contacto com o solo, porém quanto maior for a sua inércia mais difícil será de consegui-lo. Um dos fatores que faz aumentar a inércia é a massa do corpo, assim um dos principais objetivos dos construtores é tentar que as massas não suspensas sejam tão reduzidas quanto possível. (Ferreira & Ferreira, 2019)



Figura 16- Massa suspensa vs Massa não suspensa

2.4.2 Benchmarking

Hoje em dia cada vez mais o mercado apresenta um maior número de modelos de veículos dentro do mesmo segmento em que este esteja inserido. Como tal a classe dos UTV's não são exceções e cada vez as marcas de referência mundial apostam neste tipo de veículos. Um destes casos é a Yamaha ou a Polaris.

Como tal é necessário realizar uma recolha de informações para ver quais os padrões em que assentam os principais concorrentes diretos ao veículo a ser produzido.

Para ter uma ideia de quais as melhores soluções a aplicar no veículo a ser produzido foi feita uma pesquisa nos diferentes modelos que existem no mercado. Foram reunidos então os dados, relativos a suspensão, de veículos que competem nas diferentes provas reguladas pela FIA.

SUSPENSÃO YAMAHA YXZ 1000R

No caso do veículo produzido pela Yamaha temos uma suspensão do tipo braços duplos independentes (ou triângulos sobrepostos) à frente com barra estabilizadora com um curso de 412 mm. Já na suspensão da parte traseira do veículo, este apresenta uma suspensão muito semelhante à usada na frente, ou seja, triângulos sobrepostos independentes com barra estabilizadora, onde a única mudança é o curso de suspensão que aumenta para os 432 mm, Figura 17. (Shift, 2018)



Figura 17- Suspensão dianteira Yamaha YXZ 1000R

Suspensão Polaris RZR XP1000

No caso do Polaris o tipo de suspensão usado na parte dianteira do veículo é do tipo triângulos sobrepostos, com barra estabilizadora e com um curso de 534 *mm*.

Já na parte traseira é usado um conjunto composto por braço e tirantes biarticulados, com barra estabilizadora e com um curso de 534 *mm*, Figura 18. ^[1]



Figura 18- Suspensão dianteira Polaris RZR XP1000

Suspensão Can Am Maverick X3 Turbo R

Relativamente ao Can Am, que se apresenta como um dos principais produtores a nível mundial deste tipo de veículos, apresenta uma suspensão do tipo duplo triangulo sobreposto com um curso de suspensão 559 *mm*.

No que toca ao eixo traseiro temos uma geometria de suspensão designada pelo fabricante 4-link Torsional Trailing-arm X, que é composta por um braço e dois tirantes biarticulados com eixo de torção com um curso total de 610 *mm*, Figura 19. (Baggeroer, Sperry, Chiu, Miller, & Mikhalevsky, 1994)



Figura 19- Suspensão dianteira Can Am

Suspensão Extreme GPR 20

A Extreme Raid optou por geometria de suspensão de triângulos sobrepostos tanto para o eixo dianteiro como para o eixo traseiro, com curso de suspensão de 420 mm. Na Figura 20, é apresentado o veículo na sua forma final com a geometria de suspensão referida.



Figura 20- Veículo na forma final

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Rigidez torsional
- 3.2 Análise a diferentes momentos de condução
- 3.3 Simulação nos suportes dos triângulos de suspensão
- 3.4 Geometria de suspensão
- 3.5 Modelação das carenagens

3 DESENVOLVIMENTO

No decorrer deste capítulo será realizada uma análise ao quadro do veículo numa abordagem de engenharia inversa. O quadro do veículo em análise, Figura 21, foi projetado e construído pela empresa Extreme Raid, sem influencia do autor, neste trabalho apenas se faz a análise do protótipo existente e sugestões de melhoria.

Foi efetuada uma análise global à estrutura utilizando o método dos elementos finitos para avaliar a sua resistência e rigidez.

Foram efetuadas simulações quer a nível de rigidez torsional da estrutura, quer da análise a diferentes esforços que são transmitidos à estrutura e por fim aos elementos de suspensão que constituem o veículo.

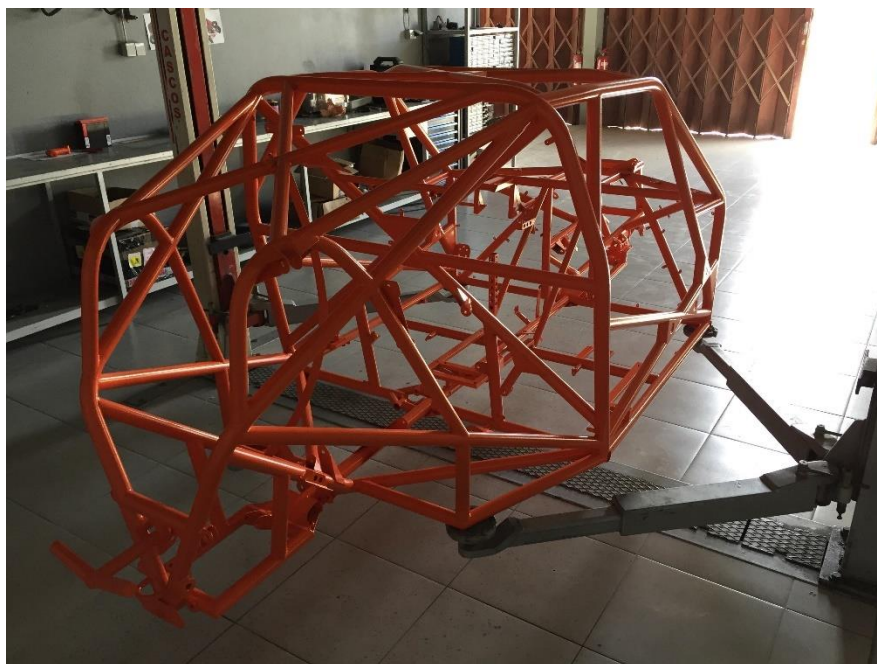


Figura 21- Quadro do veículo UTV Extreme Raid

3.1 Rigidez torsional

A rigidez de uma estrutura ou elemento pode ser avaliada como a deformada que sofre quando submetida a cargas. Quanto menos se deforma a estrutura ou elemento sujeito a uma determinada carga mais rígida ela é. A rigidez de uma estrutura pode ser

medida em flexão ou torção. A rigidez torsional é avaliada como sendo o ângulo de rotação sofrido por unidade de momento torsor.

Imaginando o chassi como um conjunto de elementos flexíveis conectando a suspensão da frente com a suspensão traseira, caso a rigidez do chassi seja fraca, as tentativas de controlar a transferência lateral de carga serão confusas na melhor das hipóteses e impossíveis no pior dos casos.(Miliken & Miliken, 1995)

Deflexões torsionais de um chassi de um veículo resultam de forças induzidas na estrutura pela suspensão. Se o chassi não for suficientemente rígido, as cargas suspensas criam uma tendência para o quadro torcer sobre o eixo longitudinal, tal como é ilustrado na seguinte figura.(Union et al., 2000)

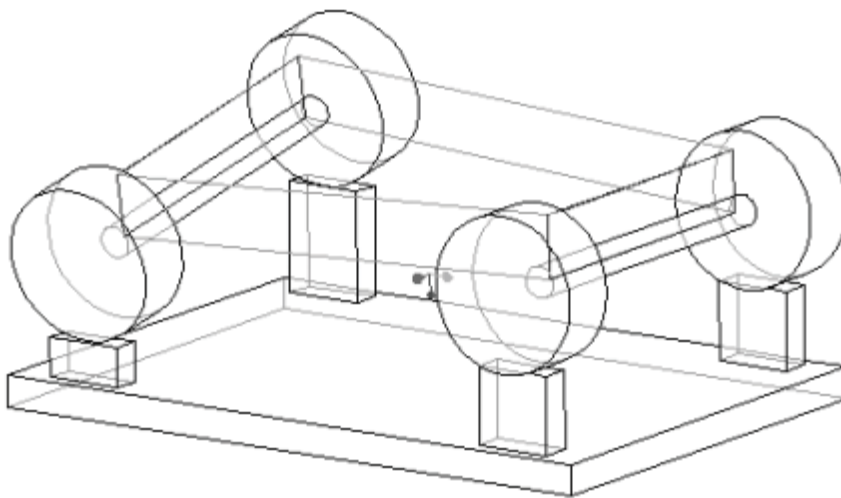


Figura 22- Torção na estrutura

Nos subcapítulos seguintes serão apresentados os métodos de abordagem e resultados de simulações da estrutura submetida à torção. Contudo antes desta análise ser feita é preciso ter alguns conceitos bem presentes para depois ser exposta a análise.

3.1.1 Modelação 3D e análise

Em primeiro lugar é preciso criar uma estrutura num Software de modelação 3D. Para isso, nesta dissertação usou-se o SolidWorks, programa que sendo fundamentalmente de modelação 3D contém também um módulo de simulações através do método dos elementos finitos.

O MEF permite simplificar a análise de estruturas de geometria complexas dividindo-a em pequenas secções e analisando-as individualmente por equações diferenciais já determinadas. Como já foi referido o Método dos Elementos Finitos faz a divisão de um sólido em diferentes partes ao qual se dá o nome de “elementos”. O número de “elementos” é variável e é o utilizador quem o define de acordo com a complexidade com que queira avaliar a estrutura. Para um maior número de elementos resulta uma solução mais aproximada da real, sendo que para um menor número de

elementos regista-se o inverso. Aos pontos de ligação entre os diferentes “elementos” dá-se o nome de “nós”. Ao conjunto formado pelos elementos finitos e pelos nós, dá-se o nome de malha. Existem vários tipos de elementos finitos, sendo que os que se destacam mais são os elementos unidimensionais, bidimensionais, tridimensionais, axisimétricos e elementos de placa e casca. (Duarte & Gomes, 2012)

O software utilizado para o cálculo foi o modo *simulation* do *solidworks*. Este possui elementos de viga para análise de estruturas 3D, elementos sólidos tetraédricos e hexaédricos. Uma vez que no âmbito deste trabalho o autor está interessado numa avaliação global da estrutura quanto à distribuição dos esforços e rigidez e a estrutura para este efeito é bem simulada por elementos de viga, foram estes os elementos utilizados para a análise global da mesma. Este software atribui automaticamente elementos de viga quando a modelação é feita com vigas ou tubos (*weldments*). Os elementos de viga utilizados são de primeira ordem com três deslocamentos e duas rotações em cada nó. Uma vez que são atribuídas as propriedades da secção transversal o software retorna os valores de tensão instalada.

Este é o tipo de elemento usado pelo Software, quando a estrutura é composta unicamente por elementos de viga. Esta geração automática, define também o tamanho do elemento com base no tamanho de elemento global, na tolerância e nas especificações de controle de malha local. Para efetuar alterações ao elemento é necessário aceder ao controlo de malha, e aí modificar os diferentes parâmetros para obter o tamanho pretendido na globalidade da peça ou em zonas específicas, que precisem de uma análise mais concreta ou mais simplista.

Antes de iniciar a modelação de toda a estrutura, é necessário ter todos os recursos que se necessitam para se iniciar a mesma. Para isso é preciso criar os perfis que dão forma à estrutura e escolher o material a usar.

Os perfis usados para este tipo de estrutura são os perfis tubulares. Estes perfis são essencialmente usados neste tipo de construções devido ao seu bom comportamento mecânico e também devido à sua facilidade em serem conformados a frio. Em termos de comportamento mecânico existem três fatores essenciais a analisar, a resistência à torção, tração e compressão.

Quanto à resistência à torção, as secções circulares, são as secções que apresentam maior resistência, graças à configuração da secção transversal. Todo o material está distribuído uniformemente em relação ao eixo polar da secção. Já em relação à resistência à tração, tanto em perfis de secção aberta como fechada, esta é diretamente proporcional à área transversal da secção do perfil, por isso varia de acordo com o tamanho da secção.

A resistência à compressão de um perfil depende da sua esbelteza (λ). Esta por sua vez é o quociente entre o comprimento equivalente de encurvadura (l) pelo raio de giração da secção (i). Tendo os elementos de secção tubular um raio de giração muito elevado, faz com que a esbelteza, para iguais comprimentos de encurvadura, seja menor em perfis tubulares ocos. (Araújo, 2012)

$$\lambda = \frac{l}{i}$$

Estes perfis tubulares usados na estrutura variam a sua espessura assim como o seu diâmetro, dependendo da zona em que fossem ser inseridos na estrutura.

Uma vez que não existiam no programa perfis tubulares com o diâmetros e espessura desejados, estes tiveram de ser criados, aplicando-se logo o tipo de aço que se estava a tratar.

3.1.1.1 Elementos para simulação do pormenor de ligação

No âmbito deste trabalho foi também necessário avaliar o desempenho do desenho das fixações dos triângulos de suspensão ao quadro. Estes são em geral pontos críticos sujeitos a grandes esforços. Na Figura 23, é apresentada uma imagem deste tipo de ligações na estrutura real.

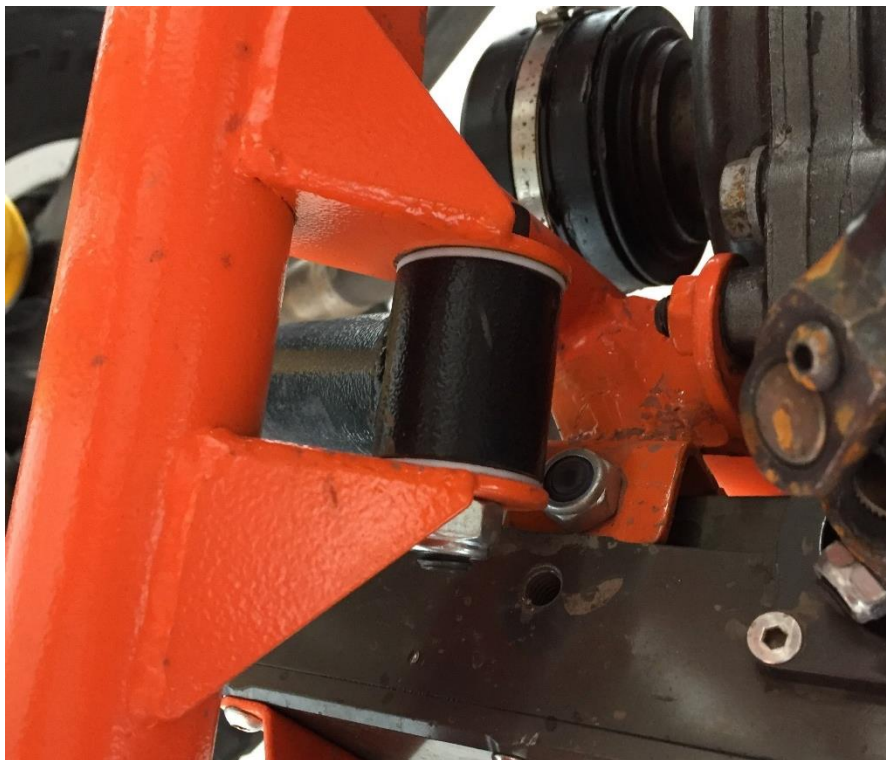


Figura 23- Pormenor de fixação do triangulo de suspensão

Para a análise destes pontos de fixação dos triângulos de suspensão ao quadro foram utilizados elementos sólidos tetraédricos de primeira ordem com uma formulação de contacto em *multi body*.

3.1.1.2 Características do aço

Devido à elevada rigidez e resistência que é preciso fornecer à estrutura tubular assim como realizá-la com o menor peso possível. O material escolhido foi o Aço 25CrMo4 também designado como AISI 4130 segundo a norma americana. Este aço é um standard para este tipo de estrutura pois oferece uma alta resistência mecânica

assim como uma boa soldabilidade. De seguida é apresentada a Tabela 1 onde está especificada a composição química do aço.

Tabela 1- Composição química do aço (Material specification sheet Saerstahl - 25CrMo4, 2019)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.25%	0.25%	0.7%	Max 0.04	Max 0.04	1.05%	0.25%

Olhando para a composição química do aço este apresenta elementos de liga em elevadas concentrações nomeadamente carbono, cromo e molibdénio, elementos que tornam o aço muito resistente

As características mecânicas do aço 25CrMo4 são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2- Propriedades mecânicas do material (Material specification sheet Saerstahl - 25CrMo4, 2019)

Propriedades mecânicas	Valor/Unidades
Tensão de rotura	700-850 (MPa)
Tensão de cedência	450
Alongamento após rutura	Min 15%
Redução de área	Min 60%
Modulo de elasticidade	205 (GPa)

Tal como é possível observar, este aço apresenta valores de tensão de cedência, tensão de rotura e deformação após rotura bastante elevados, características que são de grande importância quando se pretende fazer uma estrutura resistente às mais variadas solicitações que podem receber.

Outro aspeto fundamental na escolha deste material foi o facto de apesar de apresentar elevada resistência são trabalhados com alguma facilidade quando comparados com outros aços.

3.1.1.3 Modelação

Inicialmente foi feito o levantamento de todas as cotas e medidas do quadro. Como já referido a modelação foi realizada com o software Solidworks, o quadro foi modelado em elementos de viga com recurso ao módulo *weldments*.

Para isso, são criadas linhas (no *sketch*) que representam o eixo médio dos perfis tubulares. Para proceder a uma correta modelação, todas as linhas têm de estar corretamente cotadas e com a união entre linhas feita de maneira a que as mesmas se interessem em pontos bem definidos. Com isto pretende-se evitar que a estrutura fique

com defeitos de assimetria ou união incorreta entre linhas. Todas estas linhas são criadas na parte de “Sketch” no *SolidWorks* e devem sempre assentar sobre planos bem definidos.

Com todos os anteriores passos já definidos, atribui-se então, as secções tubulares a cada uma das diferentes linhas. O quadro da Extreme Raid é composto por tubos de secção circular de 45x2.5, 40x2.0 e 40x1.5. Como é de prever, o perfil de 45x2.5 é o perfil usado em zonas onde a resistência ao impacto tem de ser maior. Dai este perfil é usado maioritariamente para a construção do habitáculo, oferecendo assim uma maior segurança a quem tripula o veículo.

Tal como já foi referido, a estrutura é construída de acordo com o regulamento FIA. A Figura 24 que se apresenta de seguida, é o resultado da modelação realizada e que representa fielmente o quadro do UTV da Extreme Raid.

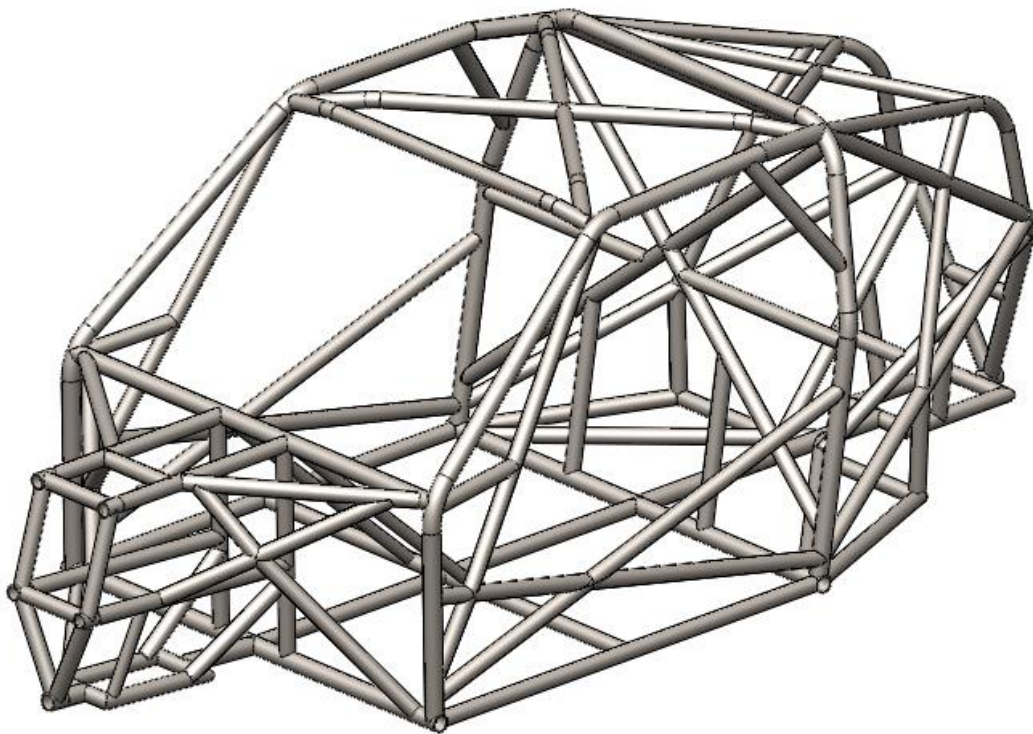


Figura 24- Estrutura tubular modelada

Através desta imagem conseguimos ver que toda a estrutura assenta numa disposição em que todos os elementos tubulares formam triângulos entre si. Este tipo de construção em que a cada ponto de união chegam três elementos tubulares permite que a carga seja distribuída de forma mais uniforme por toda a estrutura a fim de evitar concentrações de tensões.

De seguida é apresentada a Figura 25 que representa estrutura real na integra.



Figura 25- Estrutura tubular finalizada

É de salientar alguns aspetos importantes, como por exemplo a fim de uma maior facilidade na construção não há sobreposição de tubos junto aos nós para não sobrepor soldas. Como exemplo temos o tejadilho do veículo. Nesta zona é dado um espaçamento entre os elementos tubulares em forma de X com os demais elementos que o limitam, de forma a evitar que a solda destes não coincida no mesmo ponto. Na Figura 26, este pormenor aparece representado de forma ampliada para uma melhor visualização do mesmo.

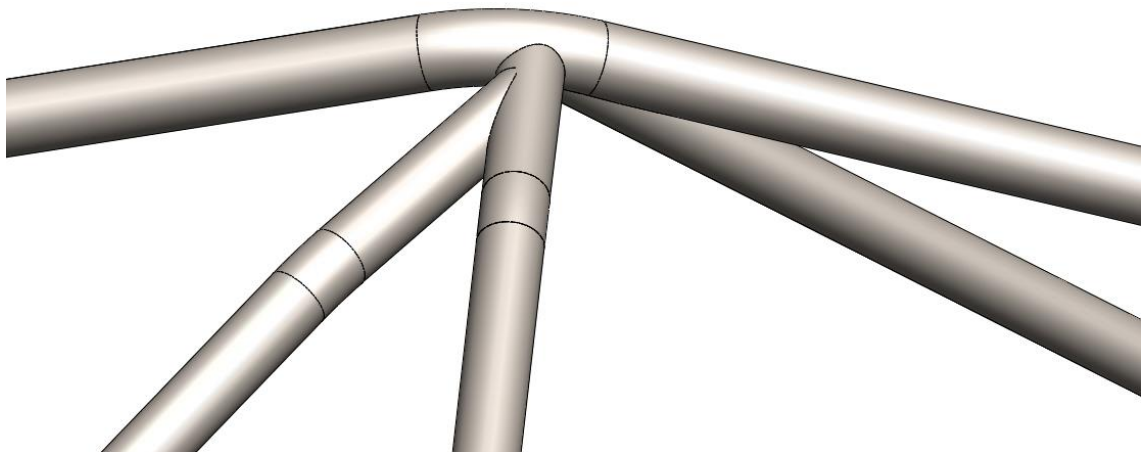


Figura 26- Pormenor de montagem

Outro aspeto fundamental na construção desta estrutura é o facto de na parte frontal da estrutura existir um membro que é removível para promover acesso para

possíveis afinações ou troca dos elementos que estão fixados nessa zona, tais como a caixa de direção ou diferencial frontal. De seguida, na Figura 27, é apresentada a parte removível da estrutura real.



Figura 27- Parte frontal removível

De referir que na estrutura elaborada no *software 3D* na foram inseridos os tubos perfurados como aparece na imagem acima. A razão para a exclusão dos mesmo deve-se ao facto de estes apenas representarem um apoio para as carenagens do veículo.

Para promover à fixação dessa mesma peça, visto que esta não pode ser soldada, são utilizados dos elementos que são previamente soldados, um deles a estrutura principal e o outro à peça amovível e que são por sua vez ligados entre si por meio de uma ligação aparafusada.

De seguida é apresentada a Figura 28 que representa a vista explodida da mesma.

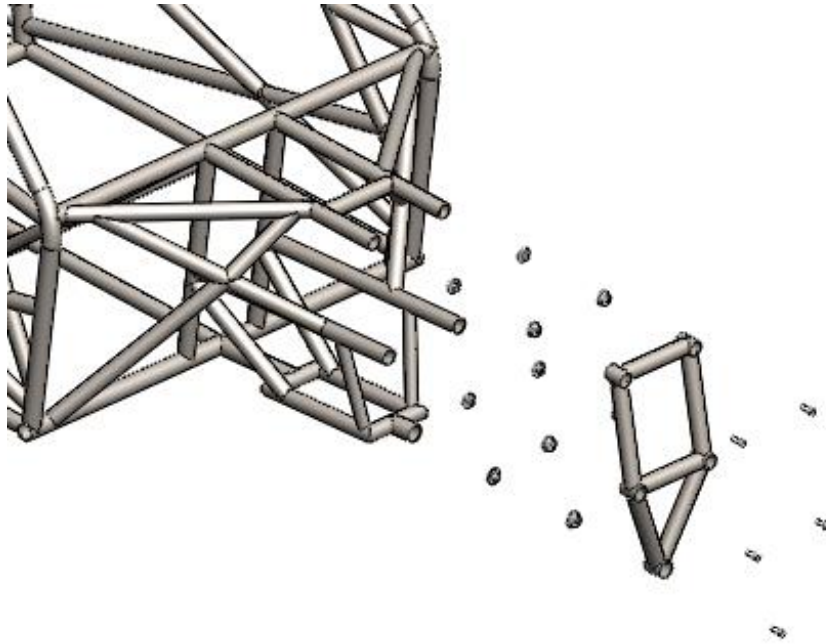


Figura 28- Vista explodida da estrutura

3.1.2 *Análise à rigidez*

Tendo a estrutura completamente modelada é então necessário definir pontos de apoio e carga para a avaliação estrutural. Uma correta definição dos apoios e aplicação de carga obriga a utilizar os pontos de contacto do pneu com o solo, para uma viatura em circulação é através dos pneus que recebe as cargas. Para simular corretamente os casos de carga foi necessário também realizar a modelação dos triângulos de suspensão e a manga de eixo acoplada à roda, em que esta por sua vez se encontra em contacto com o solo. Uma vez simulados esses elementos, há que criar também um elemento que simule a barra de direção e outro que simule os amortecedores. Para isso foram usados mais uma vez elementos de *Beam* com medidas iguais às das peças simuladas.

Na Figura 29 é possível visualizar todos esses elementos.

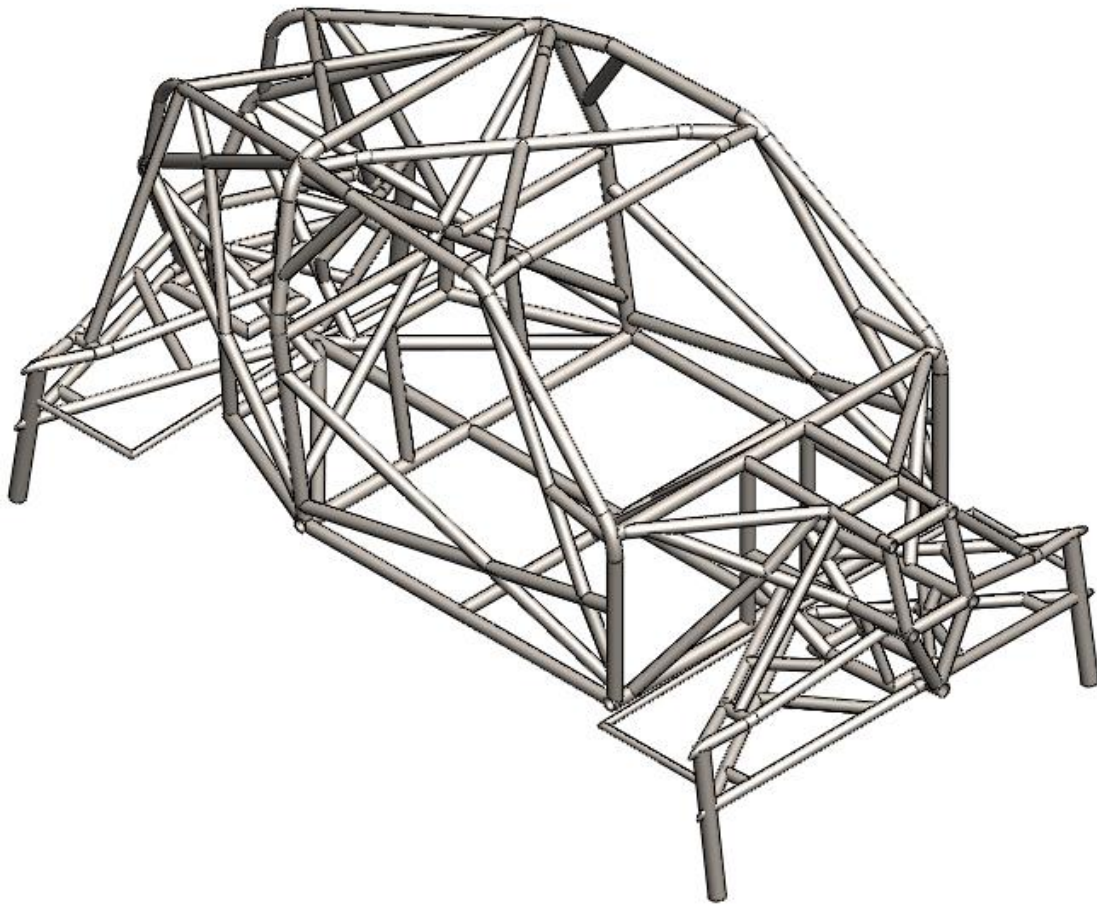


Figura 29- Estrutura tubular em perspectiva

Para a realização do ensaio à rigidez torsional é necessário definir bem as condições em que o mesmo será simulado. Em primeiro lugar definem-se os elementos de fixação. Para que não ocorra um incremento de rigidez, é necessário definir apenas um só apoio encastrado, outro apoio impedido de se deslocar em dois dos eixos, ou seja, um apoio duplo, e o apoio que resta fica impedido de se deslocar apenas num eixo, tratando-se então de um apoio simples, conforme Figura 31. Caso fossem colocados dois apoios encastrados faria com que a estrutura ficasse restringida de se movimentar num dos planos e com isso introduzia uma rigidez torsional com um valor maior que o registado na realidade.

Posteriormente é necessário simular as rótulas que permitem a ligação da estrutura com os triângulos. Para fazer essa simulação é necessário recorrer às definições das *beams* e restringir os movimentos no ponto de ligação do triângulo com o elemento tubular que simula o cubo de roda e restringir também os movimentos na zona em que o triângulo liga à estrutura. A Figura 30, representa a fase de escolha do tipo de ligação a fazer nas extremidades do tubo.

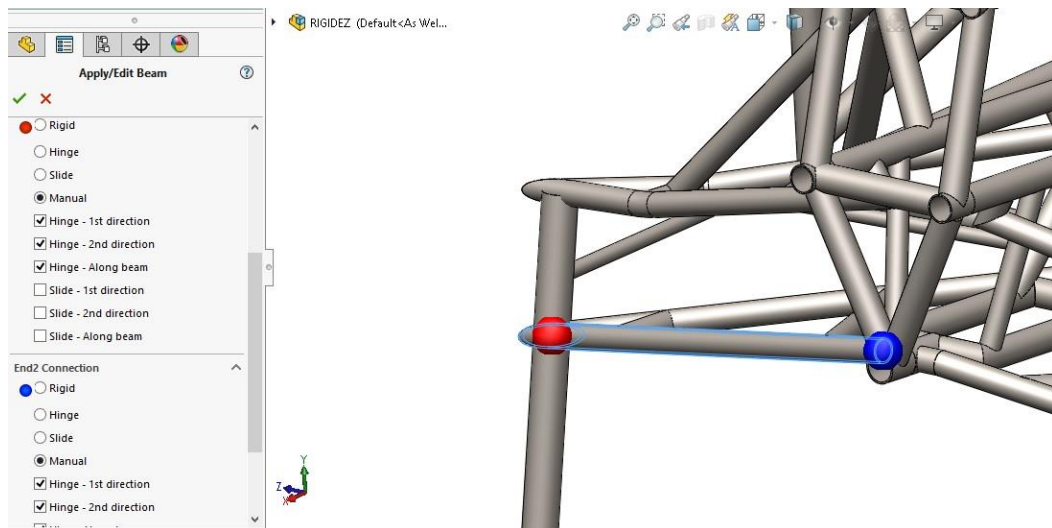


Figura 30- Articulação dos elementos

Ao se ativar a definição de *Hinge* estamos a articular o elemento tubular sem estar a introduzir rótulas, que iam ser elementos que iam criar dificuldades na simulação.

Uma vez definidos os elementos de fixação e as condições de articulações nas barras que simulam os triângulos de suspensão, resta definir a magnitude da força a aplicar à estrutura e o sítio onde aplicar a mesma. Para isso aplicou-se a força num dos apoios da estrutura que simula o contacto com o solo, mais propriamente o elemento tubular que simula a roda dianteira do lado direito. O valor de força aplicado é igual ao valor que se pretende usar no ensaio real que deve ser feito à estrutura. Até este momento ainda não houve oportunidade de realizar o referido ensaio, mas é intenção da Extreme Raid executa-lo. Como para fazer o ensaio dispõe-se de pesos de massa igual a 100 kg, a força a aplicar será de:

$$F = 9.81 * 100 = 981 N$$

De seguida, na Figura 31, são apresentadas as condições em que o ensaio foi simulado.

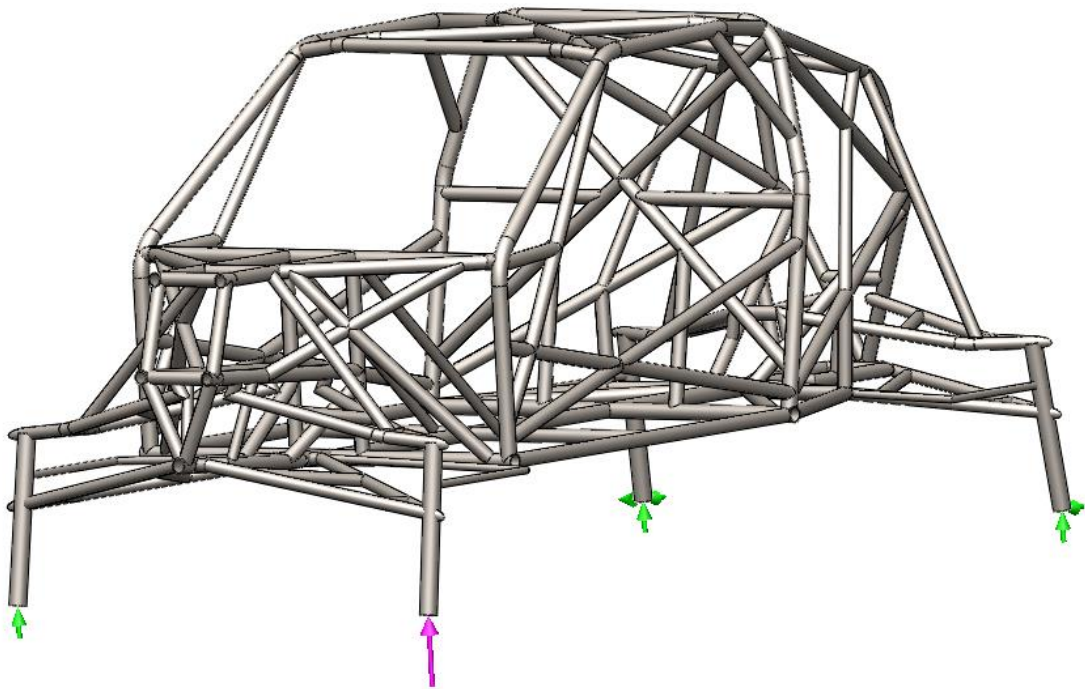


Figura 31- Condições de ensaio à rigidez da estrutura

Tendo todas as condições necessárias à realização do ensaio bem definidas pode-se então avaliar como a estrutura vai deformar quando aplicada a força anteriormente referida. Os resultados desta simulação podem ser observados na Figura 32.

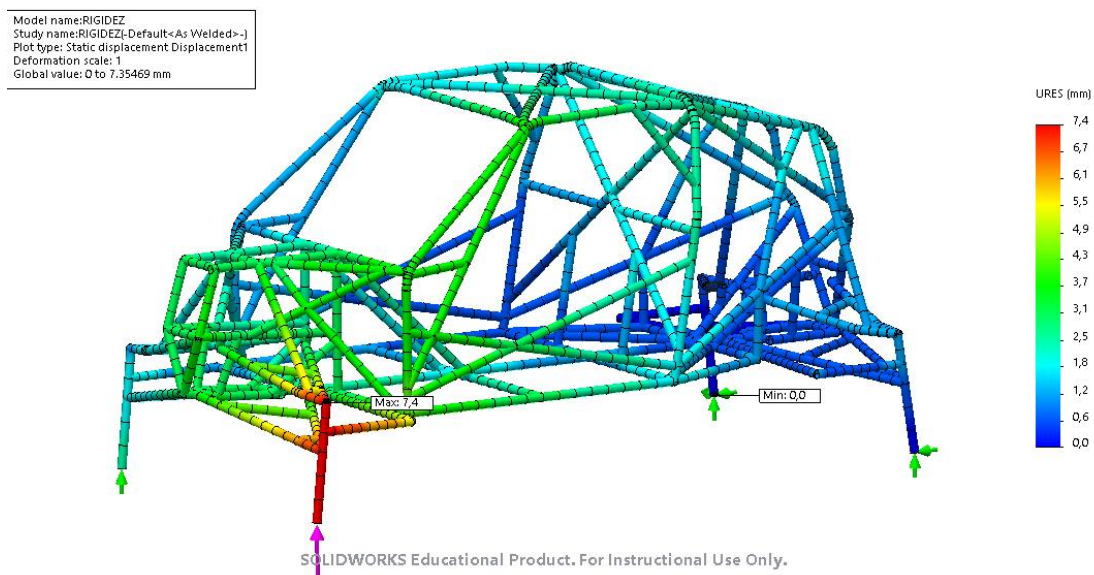


Figura 32- Ensaio de rigidez

Observando então a simulação verifica-se que o deslocamento máximo se situa no elemento tubular onde a força foi aplicada e que tem um valor de 7.4 mm , como seria de esperar.

Obtido este valor pode ser determinada a rigidez torsional da estrutura (K_t).

$$Kt = \frac{Mt}{\theta}$$

Em que:

M_t = Momento torsor (*kNm*)

l = metade da largura total da estrutura (*mm*)

F = Força exercida na estrutura (*N*)

$$Mt = 2 * F * l$$

$$Mt = 2 * 981 * 740.2$$

$$Mt = 1.45 \text{ kNm}$$

θ = Deflexão angular média (°)

Δy = Variação da altura (*mm*)

$$\theta = \tan^{-1} * \left(\frac{\Delta y}{2 * l} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} * \left(\frac{7.4}{1480.4} \right)$$

$$\theta = 0.29^\circ$$

Logo:

$$Kt = \frac{1.45}{0.29} = 5 \text{ kNm}/^\circ$$

Com este resultado sabe-se que para a estrutura deformar 1°, terá de ser aplicado um momento torsor à estrutura de 5 kNm.

A Figura 33 relaciona a rigidez torsional de acordo com a classe em que o veículo esta inserido.

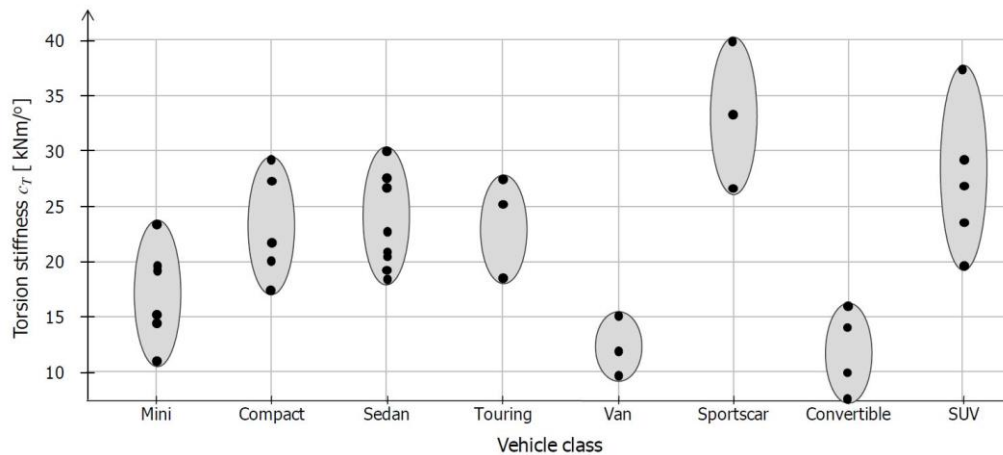


Figura 33 - Rigidez torsional para cada classe de veículo

A classe UTV não está incluída no gráfico apresentado. Esta é a classe em que o veículo a analisar está inserido, podemos aproximar à classe representada na imagem ao *Sportscar*. Assim sendo, comparando o valor obtido com o que é apresentado na imagem verificasse que este está muito abaixo do que é exigido a este tipo de veículos, pois o limite mínimo a comparar é de cerca de 27 kNm/°.

Esta análise mostra que o quadro deve ser melhorado quanto a sua rigidez torsional.

3.1.2.1 Rigidez torsional nas diferentes secções

O valor de rigidez torsional da estrutura foi calculado com apoios na retaguarda e um momento aplicado na parte frontal. O valor obtido de rigidez torsional resultado da torção global da estrutura onde eventualmente alguns troços torcem mais do que outros. Para melhorar a rigidez torsional da estrutura é adequado atuar sobre os troços mais flexíveis.

Para determinar qual é o troço mais flexível foi realizada uma avaliação da rigidez torsional em três partes do quadro. O quadro foi avaliado na zona frontal, na zona do habitáculo e na zona traseira.

3.1.2.1.1 Zona posterior

De seguida é feita uma análise à parte posterior da estrutura. Esta é uma simulação em que todas as condições de fronteira são mantidas em relação à simulação da rigidez global. A única diferença é o ponto onde se vai medir o deslocamento vertical. Este ponto será agora na parte posterior do habitáculo.

A Figura 34 e Figura 35 ilustram todas as condições acima referidas.

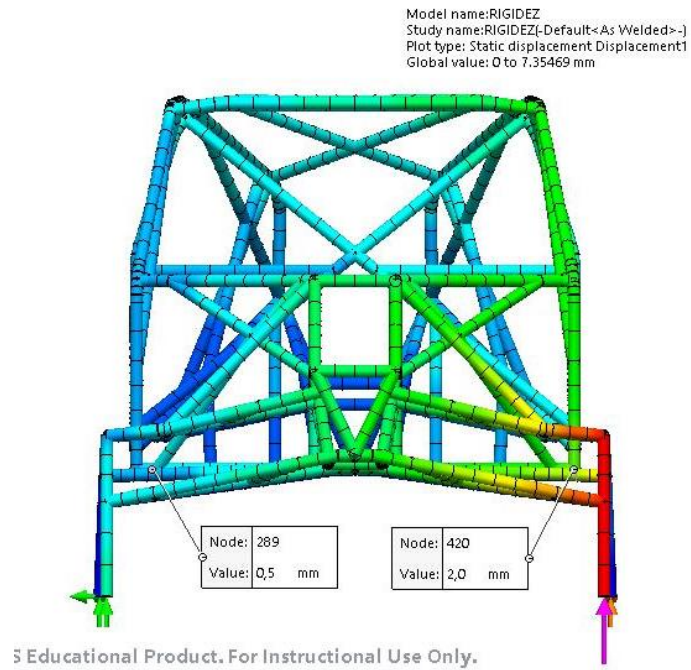


Figura 34- Deslocamento vertical na parte posterior do habitáculo na vista frontal

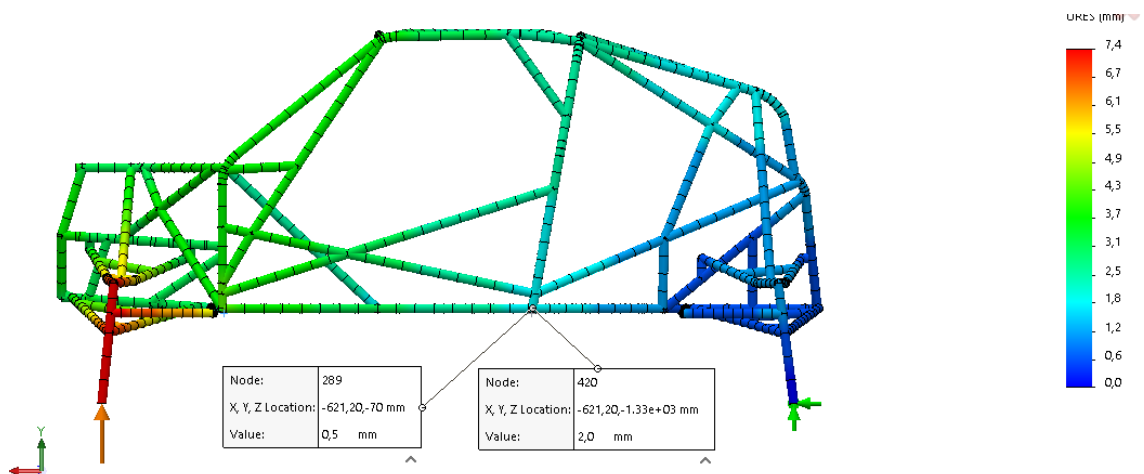


Figura 35- Deslocamento vertical na parte posterior do habitáculo na vista lateral

A força apresenta a magnitude de 981N, logo o valor do momento torsor é igual a:

$$Mt = 2 * F * l$$

$$Mt = 2 * 981 * 675$$

$$Mt = 1.32 \text{ KN}$$

Observando a Figura 34 e a Figura 35 percebe-se que a diferença de alturas é de 1.5 mm, e como tal tem-se que:

$$\theta = \tan^{-1} * \left(\frac{\Delta y}{2 * l} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} * \left(\frac{1.5}{1350} \right) = 0.064^\circ$$

Como na parte posterior da estrutura não se verifica qualquer torção, a deflexão angular média é a obtida na equação acima.

Logo para o cálculo do momento torsor tem-se:

$$Kt = \frac{1.32}{0.064} = 21 \text{ kNm/}^\circ$$

Perante estes resultados, verifica-se que esta zona da estrutura está altamente reforçada.

3.1.2.1.2 Zona do habitáculo

Para saber a rigidez presente no habitáculo foram mantidas todas as condições da simulação anterior, sendo apenas que a única diferença será no ponto onde a deformação será medida.

Este ponto está representado na Figura 36 e na Figura 37.

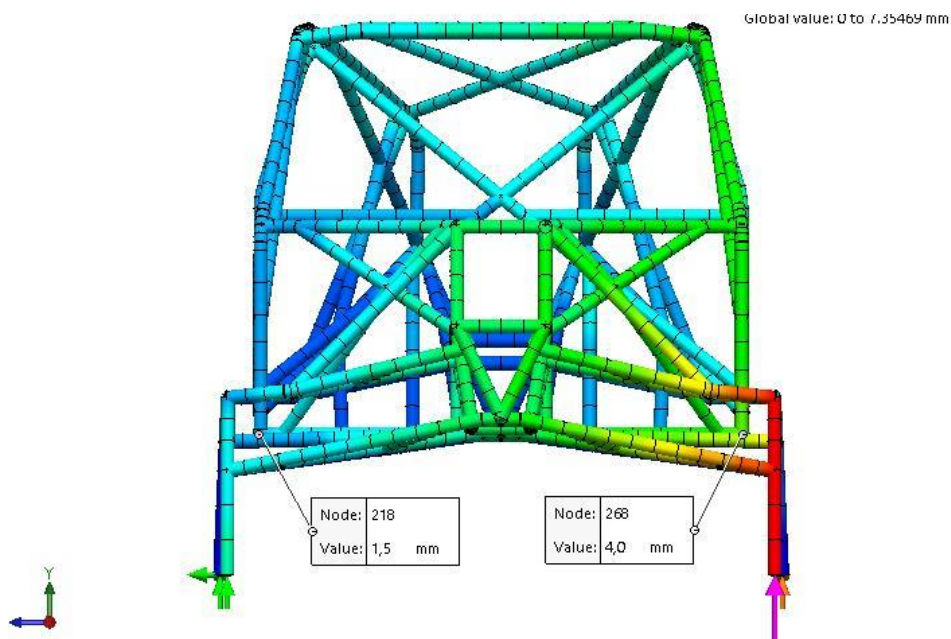


Figura 36- Deslocamento vertical da parte frontal de habitáculo na vista frontal

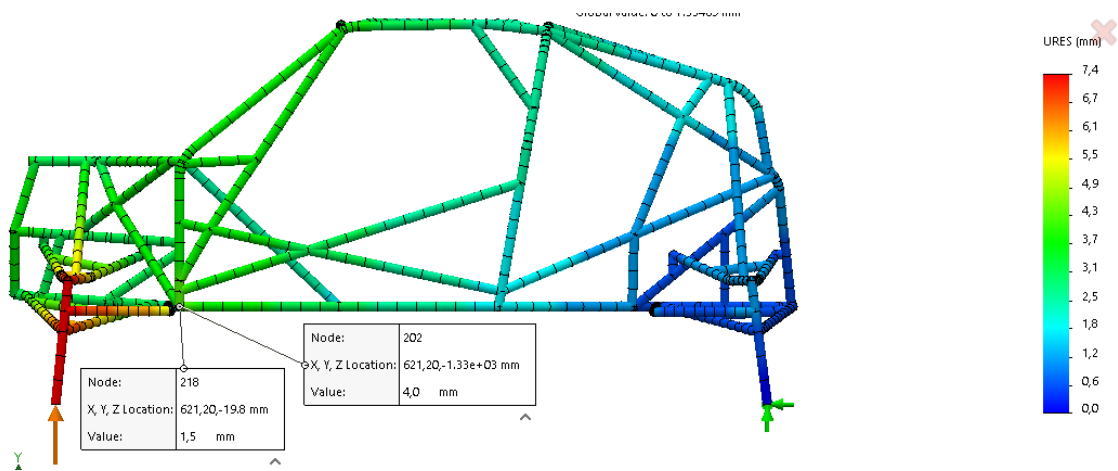


Figura 37- Deslocamento vertical da parte frontal de habitáculo na vista lateral

Tal como é possível observar, o deslocamento vertical da parte frontal do habitáculo é de 1.5 mm no lado contrário à força e 4 mm do lado onde a força é aplicada. Como tal regista-se que a diferença de alturas é de 2.5 mm. Sendo então o deslocamento de 2.5 mm, tem-se que:

$$Mt = 2 * F * l$$

$$Mt = 2 * 981 * 675$$

$$Mt = 1.32 \text{ KN}$$

Já para obter o ângulo vem que:

$$\theta = \tan^{-1} * \left(\frac{\Delta y}{2 * l} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} * \left(\frac{2.5}{1350} \right)$$

$$\theta = 0.11^\circ$$

A rigidez do habitáculo resulta da diferença entre a torção registada na parte frontal e na parte traseira do mesmo.

Como tal deve ser feita a diferença entre os ângulos. De seguida é apresentada esta diferença:

$$\theta = 0.11 - 0.064 = 0.046$$

Logo o valor da rigidez torsional é dado por:

$$Kt = \frac{1.32}{0.046} = 29 \text{ kNm}/^\circ$$

Tal como é possível verificar, esta zona encontra-se com uma rigidez à torção bastante elevada, o que é muito benéfico pois é nesta zona que estão os passageiros.

3.1.2.1.3 Zona frontal

Como se pretende avaliar a rigidez à torção na zona frontal, o ângulo de deflexão angular a considerar será a diferença entre:

$$\theta = 0.29 - 0.11 = 0.18^\circ$$

Esta diferença resulta do ângulo registado na parte frontal da estrutura com o ângulo registado na parte frontal do habitáculo.

Para a rigidez torsional vem então que:

$$Kt = \frac{1.45}{0.18} = 8.1 \text{ kNm}/^\circ$$

Este é o valor que temos de fornecer à estrutura para que ela com isso se deforme 1° .

3.1.2.1.4 Análise de resultados

Através das simulações realizadas é possível observar que a zona que se aconselha a ser rigidificada é a parte frontal da estrutura. Esta zona apresenta uma deflexão angular cerca de 2,5 vezes superior à deflexão angular registada na parte frontal do habitáculo. Como tal a rigidez torsional na parte frontal da estrutura a rigidez torsional é bastante menor que no resto da estrutura.

Para ter uma melhor perceção sobre a diferença entre a rigidez da estrutura nas suas diferentes secções é apresentado um gráfico, na Figura 38, que mostra esta variação.

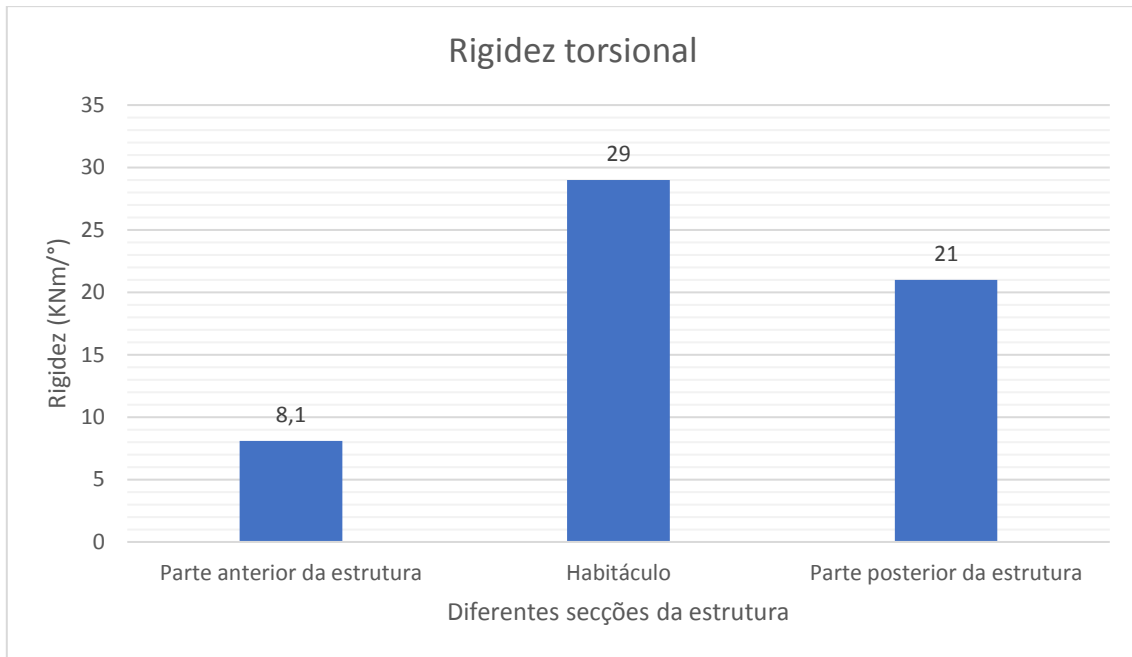


Figura 38- Gráfico da rigidez nas diferentes secções da estrutura

Tal como já tinha sido anteriormente referido a zona da estrutura que apresenta melhor rigidez é a zona do habitáculo. É possível observar também que a zona anterior da estrutura apresenta uma baixa rigidez torsional, cabendo agora ao construtor decidir se deve rigidificar esta zona ou não. O estudo apresentado mostra que sendo a parte frontal a mais flexível é esta que deve em primeiro lugar receber intervenção se houver a intenção de aumentar a rigidez torsional do quadro.

3.2 Análise a diferentes momentos de condução

Todo e qualquer veículo que circule em qualquer tipo de estrada, está sujeito a diferentes condições de condução e irregularidades que o piso apresenta e que são transmitidas ao veículo. Tal como foi referido quer seja por irregularidades do pavimento, quer seja pela própria condução o veículo é submetido a diferentes esforços internos que se dão com o aparecimento destas condições. Ações como acelerar, travar e curvar, fazem com que a estrutura interna do veículo esteja exposta a cargas em determinados sítios. Como tal irão ser feitos testes a simular o comportamento da estrutura a diferentes solicitações.

Para simular estes esforços internos, são colocadas forças distribuídas. Na maior parte dos casos os componentes estão ligados ao quadro por dois ou três apoios. Desta forma, para simplificar a simulação, serão aplicadas ao quadro forças equivalentes às forças inerciais que os componentes exercem no mesmo.

Os pontos de aplicação destas forças, também por questões de simplificação, serão em zonas próximas dos pontos de ancoragem dos componentes, devido à impossibilidade de inserir os mais diversos elementos de fixação presentes na estrutura real.

Foram apenas considerados os pontos de apoio dos maiores componentes, sendo que a Tabela 3 explica como foi efetuada esta distribuição de massas, considerando uma massa total do veículo é de 900 kg.

Tabela 3- Massa dos diferentes componentes

Componente	Massa (kg)
Depósito	130
Motor	72
Bancos	2*75
Diversos componentes da parte posterior do veículo	250
Caixa de redução	50
Diversos componentes da parte anterior do veículo	200
Tablier e consolas	50
Total	902

3.2.1 Comportamento em curva

No primeiro caso será avaliado o comportamento da estrutura tubular quando sujeita a uma curva.

Considerando que a curva acontece para a esquerda, as forças de inércia que são transmitidas à estrutura tem a direção contrária. Estas forças inerciais que se geram são transmitidas à estrutura. Estas encontram-se distribuídas pelo peso dos condutores,

depósito de combustível, motor, diferenciais dianteiros e traseiros, caixa de transferências, tablier e componentes da direção presentes na frente da estrutura. Considerou-se que o veículo é capaz de descrever uma curva a 1,5 Gs, assim, estas forças tem uma magnitude que resulta do produto do peso de cada componente por um fator de 1,5 vezes.

A Tabela 4 representa a distribuição de forças.

Tabela 4- Magnitude das forças

Componente	Força (N)
Depósito	$130 \cdot 9.81 \cdot 1.5 = 1913$
Motor	$72 \cdot 9.81 \cdot 1.5 = 1059.5$
Bancos	$2 \cdot 75 \cdot 9.81 \cdot 1.5 = 2208$
Diversos componentes da parte posterior do veículo	$250 \cdot 9.81 \cdot 1.5 = 3679$
Caixa de redução	$50 \cdot 9.81 \cdot 1.5 = 736$
Diversos componentes da parte anterior do veículo	$200 \cdot 9.81 \cdot 1.5 = 2943$
Tablier e consolas	$50 \cdot 9.81 \cdot 1.5 = 736$
Total	13274.5

Para a simulação, os elementos que foram fixados ao solo foram os elementos tubulares que representam as rodas, tendo o cuidado de deixar apenas um desses apoios como encastrado, para que a estrutura se possa movimentar no plano de forma livre. Desta forma apenas foi limitado o deslocamento no sentido vertical em todos os apoios, tal como se apresenta na Figura 39.

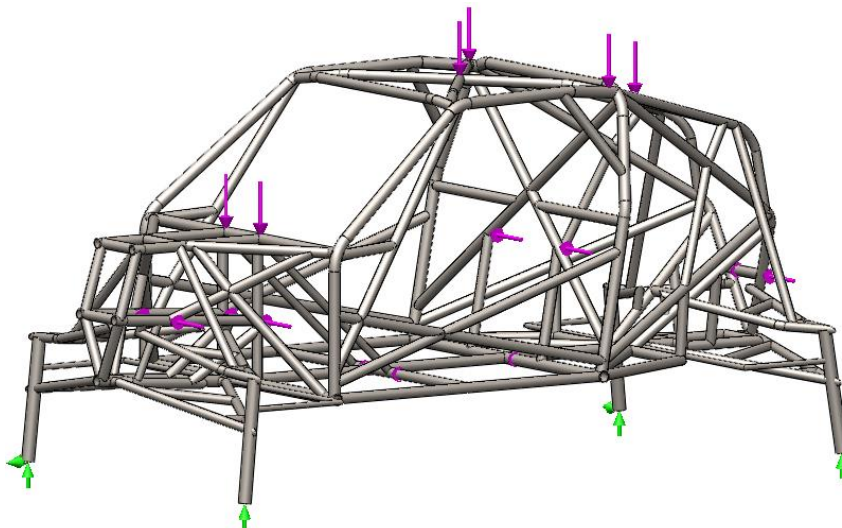


Figura 39- Condições no ensaio de simulação do comportamento em curva

Não esquecer que é sempre necessário colocar o peso da estrutura quando se faz uma simulação deste tipo e semelhantes. Esta força deve ser o mais distribuída possível

e por isso foram usados 6 pontos onde foi aplicada a força. Este peso resulta da multiplicação entre o valor da aceleração da gravidade com a massa do veículo. Tendo o veículo uma massa de 900 kg, tem-se que:

$$Peso = 9.81 * 900 = 8829 N$$

Como esta força será aplicada em seis pontos diferentes, a força é dividida igualmente pelos seis, resultando uma força que atua em cada nó com uma magnitude de 1471.5 N.

Como tal obteve-se a seguinte simulação, presente na Figura 40.

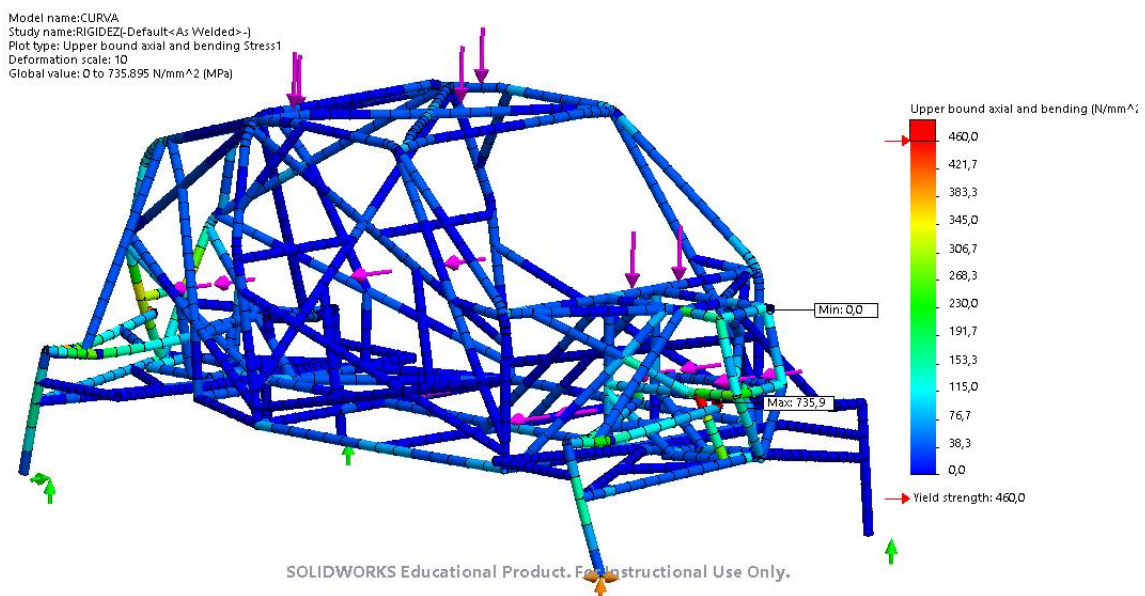


Figura 40- Tensões na simulação em curva

Para uma melhor precessão de como se comporta a estrutura, a tensão máxima a aparecer na escala foi limitada ao valor de 460 MPa. Apesar de este não ser o valor da tensão de cedência do material referido na Tabela 2. Este é o valor que o programa assume na sua base de dados como o valor da tensão de cedência. Todos os valores acima destes ficarão com uma cor vermelha.

Observando a Figura 40, é possível verificar que a tensão instalada ultrapassa o limite de cedência do material. Isto ocorre num elemento que foi simulado para fazer a ligação ao triângulo de suspensão frontal superior esquerdo. Este elemento tubular deve ser excluído desta análise, visto que foi simulado de forma a representar o apoio do triângulo que é muito diferente, porém neste software não é possível misturar diferentes tipos de elementos. Mais à frente será realizada uma análise referente aos apoios dos triângulos de suspensão.

De seguida é apresentada na Figura 41 uma vista aproximada da zona frontal do veículo.

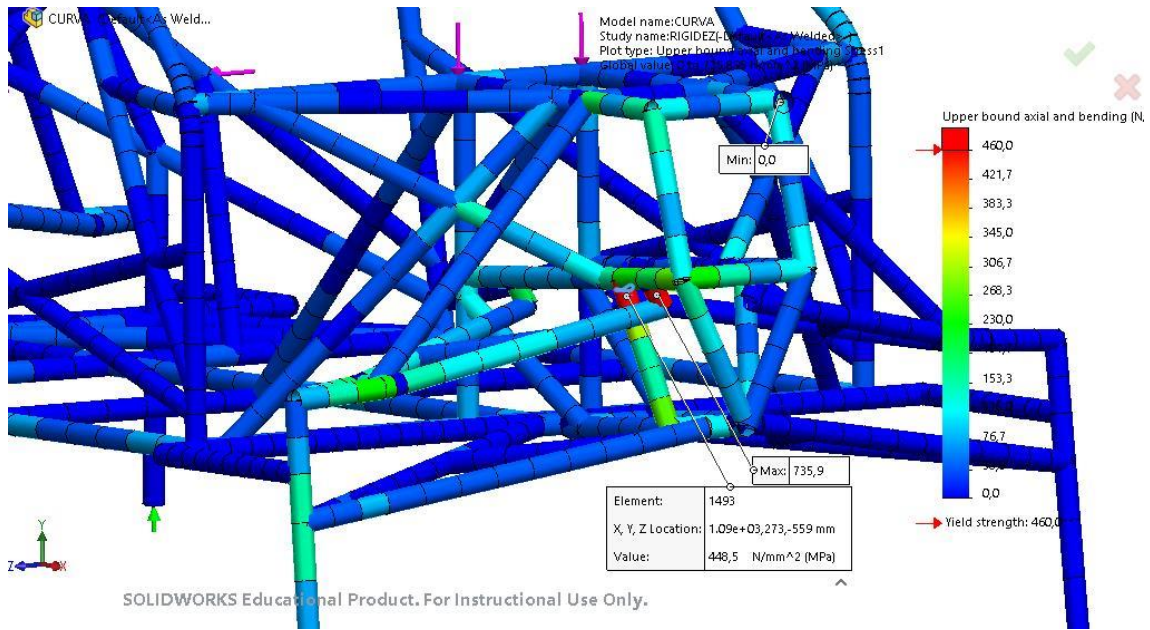


Figura 41- Detalhe da tensão instalada com um limite de 460 MPa

Através da análise da Figura 41 é possível observar que existe uma zona na estrutura, que se encontra perto do limite de cedência do material. Essa zona, mais propriamente esse elemento, é evidenciado na figura acima e tem uma tensão instalada de 448.5 MPa.

Uma possível melhoria a implementar de forma a que a tensão instalada neste elemento baixe, consiste em aumentar a espessura do tubo.

De seguida na

Figura 42 é apresentada esta melhoria já implementada e a nova tensão instalada.

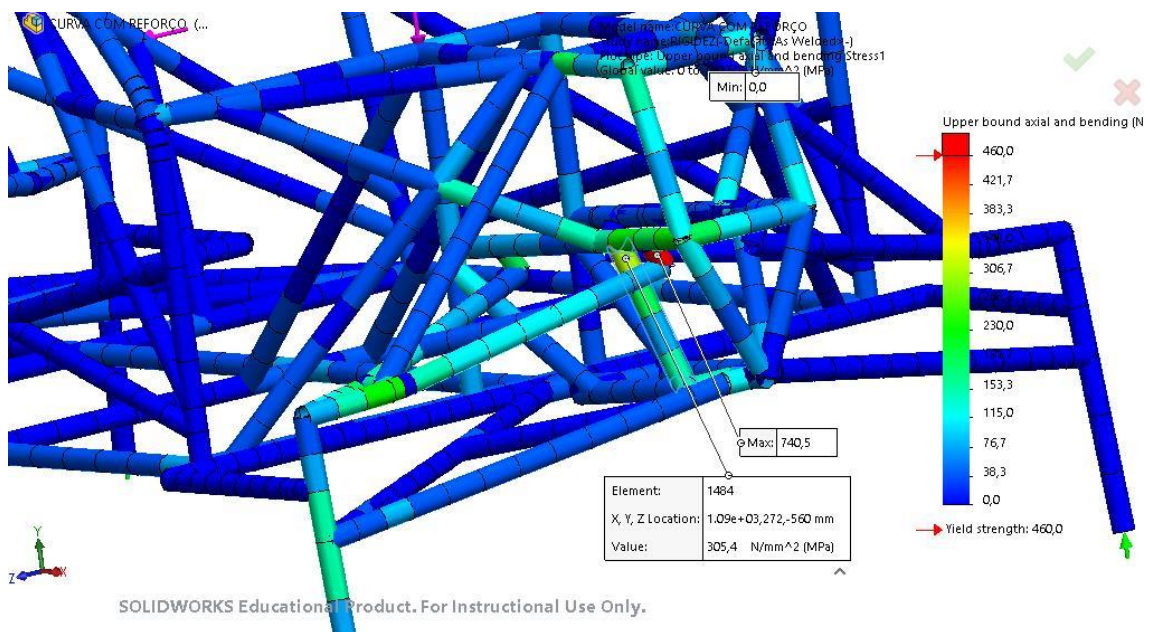


Figura 42- Tensão instalada com tubo reforçado

Através da observação da imagem acima é possível perceber que a tensão instalada é baixa consideravelmente. Cabe ao construtor aplicar esta melhoria para que com isto evitar que as tensões instaladas na estrutura sejam menores.

3.2.2 Comportamento em aceleração

O caso da aceleração é um caso muito comum visto que qualquer veículo o faz regularmente durante o seu movimento. Para fazer uma análise a este fenómeno mais uma vez é preciso redefinir as restrições nos pontos de ligação ao solo assim como a orientação com que a força irá ser aplicada. Para simular este caso de carga em regime linear elástico, a melhor aproximação é aplicar forças de inércia as principais massas fixadas ao quadro, e aplicar apoios ao exterior (restrições) aos pontos de contacto das rodas traseiras com o solo. Pese embora o veículo seja de tração às quatro rodas, esta aproximação é conservativa pondo-nos do lado da segurança.

A força a aplicar terá o sentido da frente do veículo para a parte de trás, visto que o veículo ao acelerar, através da inércia dos diferentes corpos, exerce uma força com essa direção. Considerou-se que o veículo é capaz efetuar uma aceleração a 1,5 Gs, assim, estas forças tem uma magnitude que resulta do produto do peso de cada componente por um fator de 1,5 vezes. A magnitude destas forças encontra-se representada na Tabela 4. Todas estas condições encontram-se representadas na Figura 43.

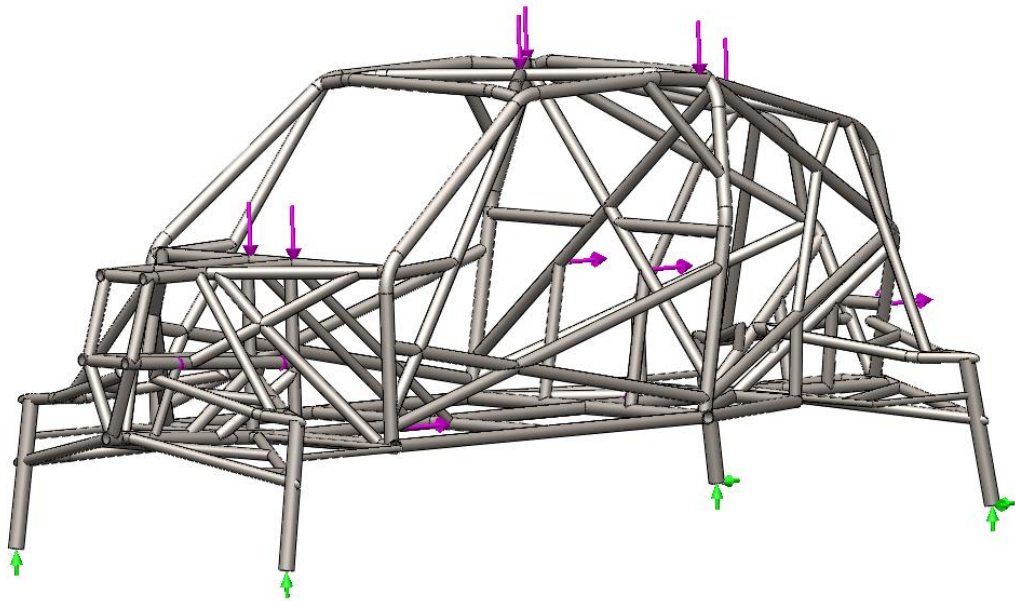


Figura 43- Condições no ensaio de aceleração

Tal como já tinha acontecido no ensaio anterior, o peso da estrutura está novamente representado por uma força que atua em seis pontos distintos da estrutura e que tem a mesma magnitude da análise anterior.

Uma vez definidas todas as condições de fronteira, cargas e apoios, realizou-se a simulação.

Na Figura 44 pode ser observado o resultado desta análise. Verifica-se que os elementos sujeitos a maiores tensões estão na parte posterior do veículo.

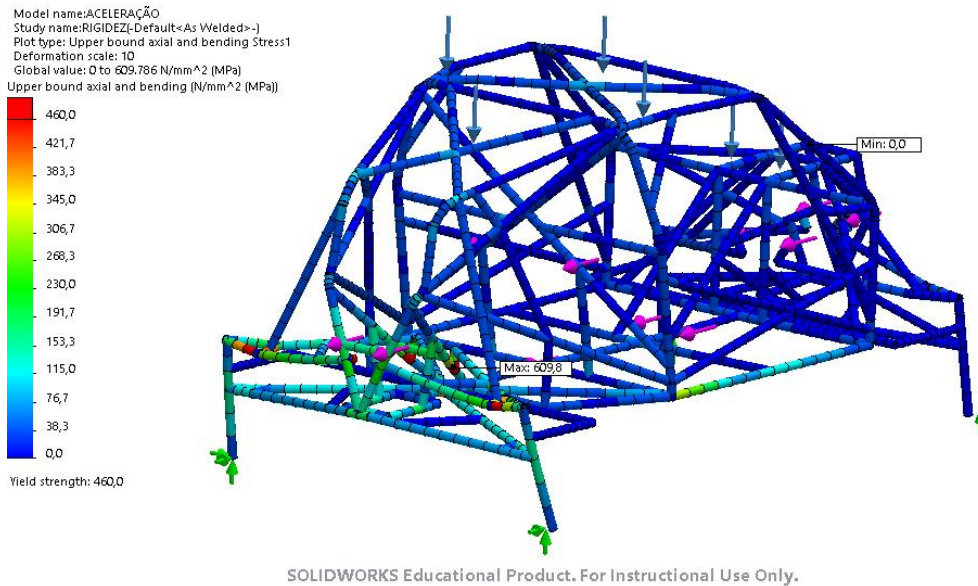


Figura 44- Tensões no ensaio de aceleração

Nesta análise é possível observar que existe pelo menos uma zona em que a tensão lá instalada ultrapassa o limite de tensão de cedência do material, logo essa é uma zona a ser analisada (zona onde é registada a máxima tensão). Mais uma vez a escala de tensões foi limitada a um valor máximo de 460 MPa, Figura 45, para com isto ter a noção real de quais as zonas que estão em risco de rutura.

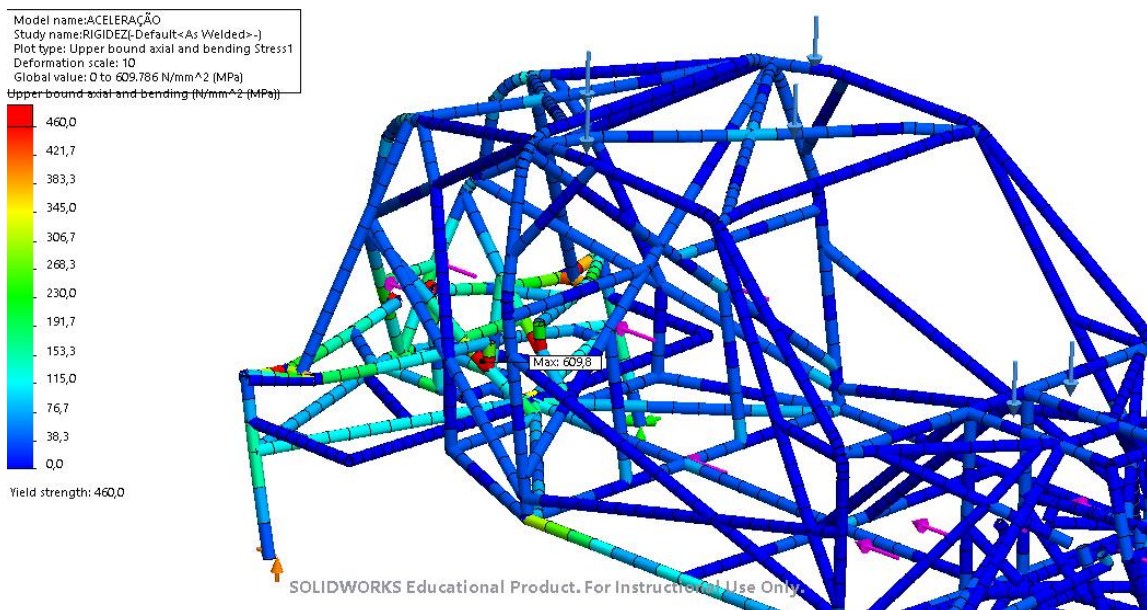


Figura 45- Zonas críticas em aceleração

Observando a figura tem-se uma melhor perceção sobre quais as zonas mais solicitadas na estrutura no caso da aceleração. Verifica-se que a tensão de cedência do material é ultrapassada nos triângulos superiores da parte posterior da estrutura. Uma vez que o desenho real dos triângulos integra chapas de reforço com 3 mm de espessura,

Figura 46, e que não foi possível introduzir na simulação, o autor entende não propor nenhuma alteração aos mesmos. A Figura 46 é uma imagem da estrutura real e permite visualizar o elemento de placa referido.



Figura 46- Elemento de placa

Outra das zonas que ultrapassa o limite de cedência do material, mas que não deve ser considerado para a avaliação, são as zonas de ligação entre a estrutura propriamente dita com os triângulos. Estas zonas foram simuladas por elementos tubulares, mas na realidade representam uma ligação aparafusada entre suportes fixados na estrutura com os triângulos. Aqui também será feita uma análise, num capítulo mais à frente, para perceber melhor o comportamento nesta zona da estrutura.

Resta então olhar para a zona que representa a tensão máxima, presentes na Figura 45, visto que representa a zona onde a tensão instalada é superior à tensão de cedência do material.

Para a zona que representa a tensão máxima, um possível reforço que poderia ser dado era colocar mais dois tubos assinalados, a verde, tal como representado na Figura 47. Juntamente a este reforço é necessário aumentar a espessura da parede do tubo representado a cor azul, assim como o seu diâmetro. Este passa de um tubo de 40x2.0 mm para um tubo de 45x2.5 mm.

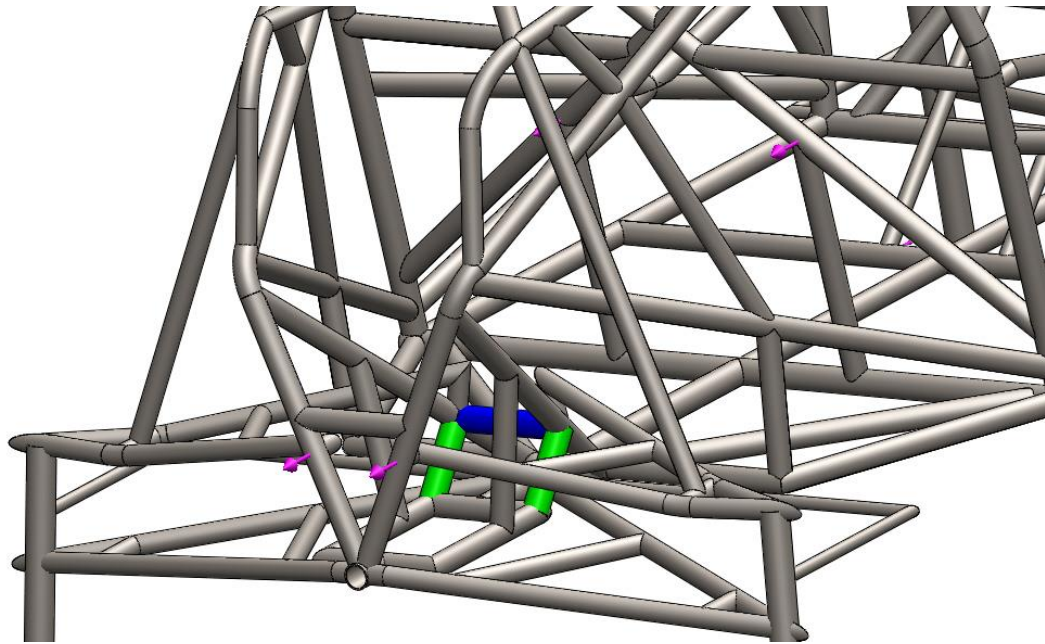


Figura 47- Reforço adicional da estrutura

Uma vez reforçada a estrutura, e mantendo todas as condições anteriores de ensaio, tem-se a distribuição de tensões observada na Figura 48.

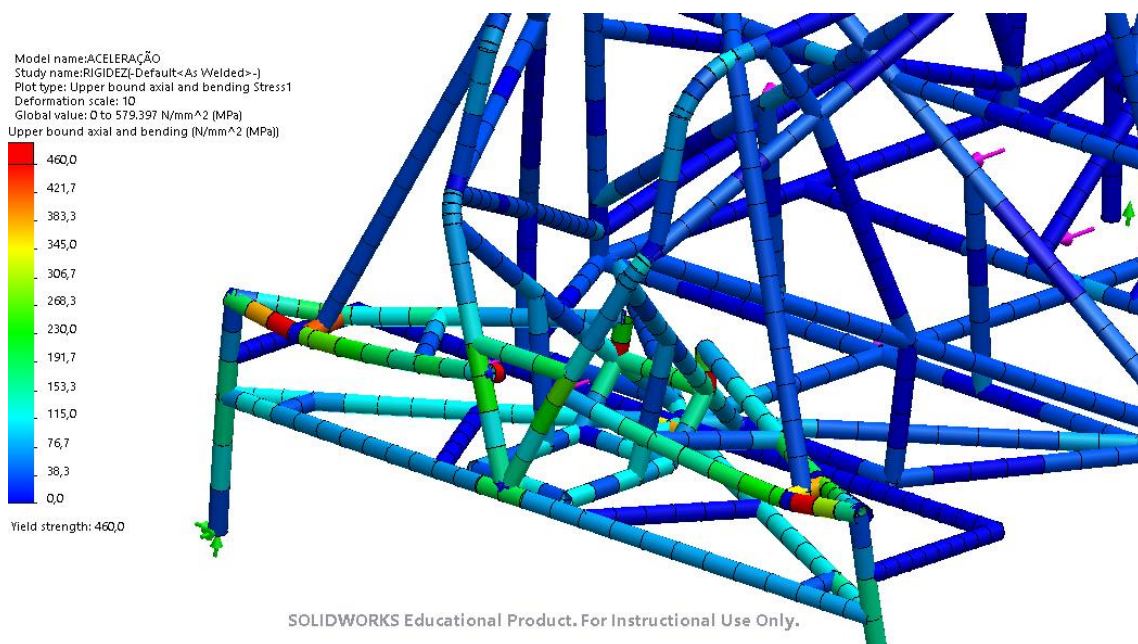


Figura 48- Tensões com estrutura reforçada

Observando a figura verifica-se que as tensões instaladas nos tubos intervencionados diminuíram para valores inferiores à tensão de cedência.

Esta proposta de melhoria foi recomendada ao fabricante por forma a melhorar o desempenho do quadro.

3.2.3 Comportamento em travagem

O comportamento em travagem é muito semelhante à análise já efetuada ao comportamento em aceleração, sendo apenas que a única diferença reside no sentido das forças aplicadas ao quadro. Na travagem a inércia dos corpos tem o sentido contrário do verificado na aceleração. Logo a força tem de tomar o sentido contrário tal como se mostra na Figura 49. Nesta figura estão assinaladas as forças de inércia aplicadas assim como as restrições ao exterior. Estas forças tem a magnitude que se encontra na Tabela 4.

Relativamente aos apoios continua-se com um sistema isostático, sendo que a disposição dos mesmos varia relativamente ao ensaio de aceleração. De uma forma conservativa toda a força de travagem é considerada no eixo anterior. Os apoios da frente são os que tem de ser limitados de se mover no sentido longitudinal da estrutura.

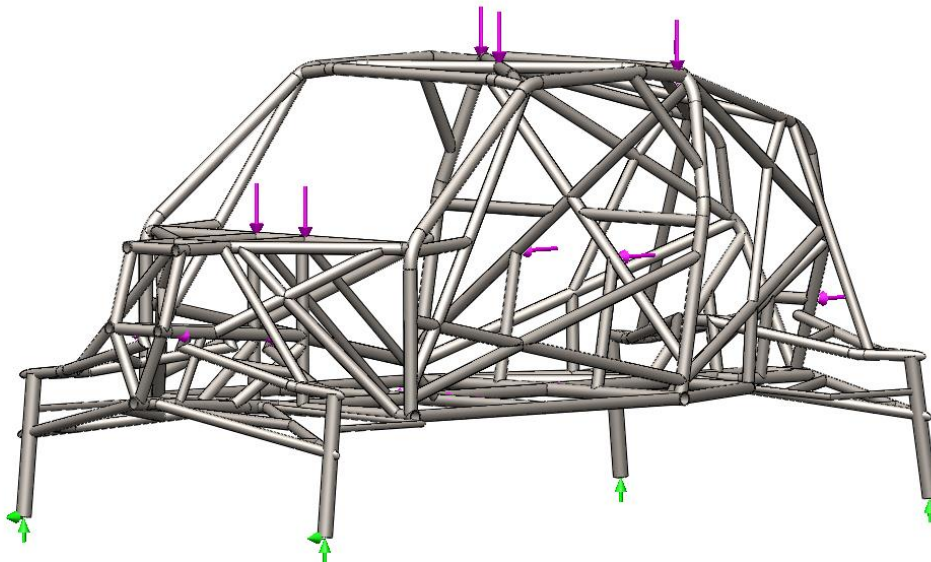


Figura 49- Condições no ensaio de travagem

Uma vez definidas as condições, pode-se realizar a simulação e posterior análise às tensões instaladas no quadro para o caso de carga de travagem.

Nesta análise, já se terá em conta o valor da tensão de cedência do material e por isso a escala já vem limitada a 460 MPa.

Na Figura 50 pode ser observado o resultado da simulação para o caso de carga de travagem, onde é notório o aparecimento de tensões elevadas nos elementos tubulares que constituem a parte frontal do quadro.

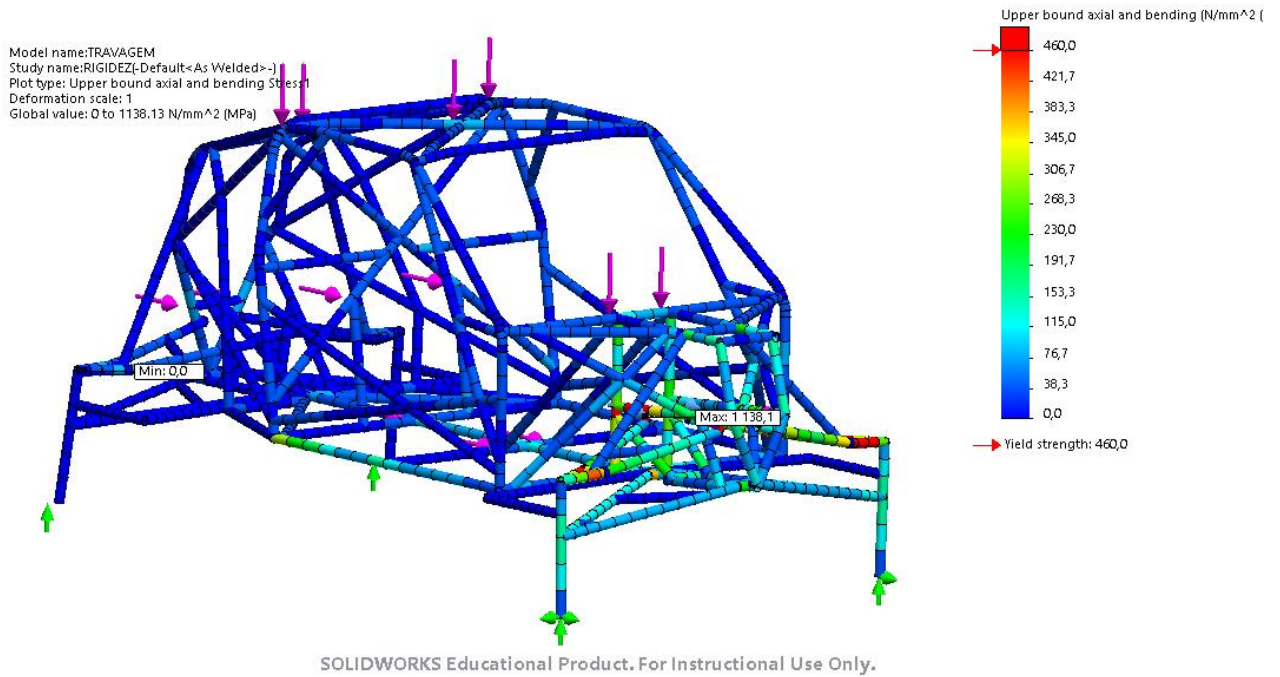


Figura 50- Análise à travagem

Na Figura 51 pode observar-se em detalhe as zonas em que a tensão instalada ultrapassa o limite de cedência do material.

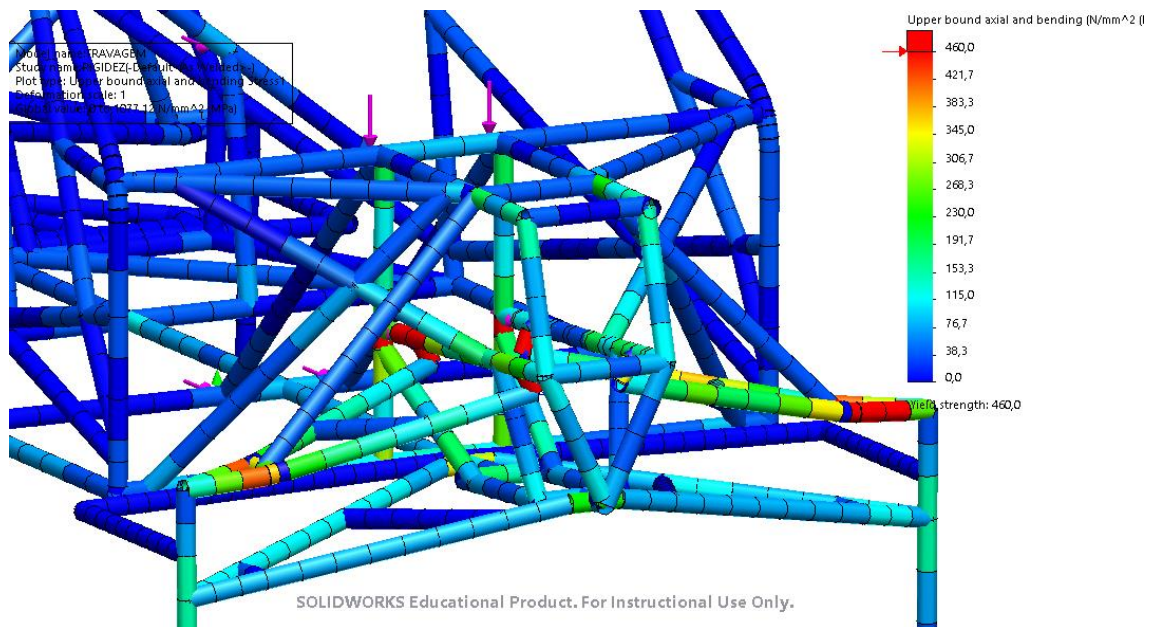


Figura 51- Vista em pormenor das zonas críticas

Observando a figura é possível verificar que mais uma vez um dos elementos que tem uma tensão instalada são os elementos que ligam os triângulos à estrutura, ou seja, os suportes. Nesta análise foi ainda verificada uma ligeira assimetria dos resultados no

que tocas às tensões instaladas. Após verificações não foi encontrada a causa. A única condição não simétrica é a restrição ao movimento lateral em apenas um dos apoios.

Existe ainda uma zona em que a tensão instalada sobe a valores perto do limite de cedência, ou em que esta é mesmo ultrapassada. O elemento mais solicitado é o tubo que suporta o triângulo frontal superior do lado esquerdo, vendo a estrutura numa vista frontal.

O autor recomendou também ao construtor uma melhoria do desenho do quadro nesta zona. No entanto esta ação foi deixada para intervenções futuras uma vez que se prevê complexa por albergar elementos mecânicos que não devem mudar de posição-caixa de direção.

3.2.4 Comportamento numa situação de salto

Tratando-se de um carro de todo-o-terreno a estrutura em análise está exposta a diferentes condições de piso, circulando predominantemente em terrenos de gravilha ou arenosos. Ao circular neste tipo de pavimentos, é normal que as condições dos mesmos sejam bastantes mais onduladas que as de um piso alcatroado como habitualmente circulam os veículos urbanos. Como tal é normal o veículo, e consequentemente a sua estrutura, estarem expostos a saltos, que implicam grandes acelerações verticais no momento da aterragem. Sendo que a energia desse impacto é absorvida pelos componentes da suspensão, e toda a estrutura é solicitada com a ação das forças envolventes. Como tal foi realizada uma simulação para analisar o desempenho do quadro no caso de carga de “salto” para verificar como a estrutura se comporta.

Para isso é necessário, tal como em todos as outras simulações anteriormente realizadas, definir as condições de contacto e as forças a aplicar ao quadro. A Figura 52 seguinte ilustra como essas condições forma impostas.

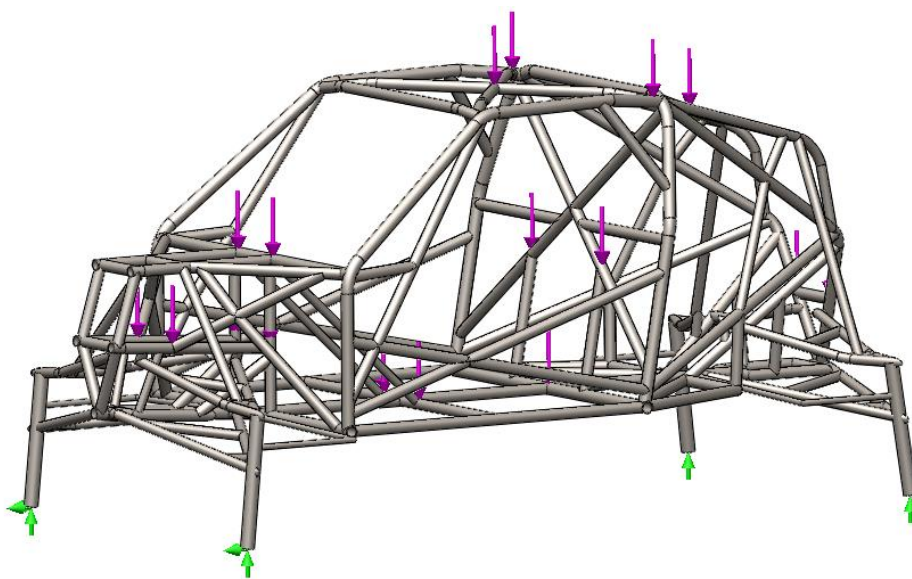


Figura 52- Condições na análise ao salto

Como se trata de um caso em que o veículo está suspenso no ar durante um intervalo de tempo, todas as forças aplicadas nesta análise simplificam-se a forças com o mesmo sentido da força gravítica. Como tal estas forças tem uma magnitude de três vezes o peso da estrutura, que posteriormente é dividida pelos demais componentes. Como tal, tem-se uma força dividida pelos diferentes componentes como se apresenta na Tabela 5.

Tabela 5- Magnitude das forças no caso de salto

Componente	Força (N)
Depósito	$130 \cdot 9.81 \cdot 3 = 3826$
Motor	$72 \cdot 9.81 \cdot 3 = 2119$
Bancos	$2 \cdot 75 \cdot 9.81 \cdot 3 = 4414.5$
Diversos componentes da parte posterior do veículo	$250 \cdot 9.81 \cdot 3 = 7357.5$
Caixa de redução	$50 \cdot 9.81 \cdot 3 = 1471.5$
Diversos componentes da parte anterior do veículo	$200 \cdot 9.81 \cdot 3 = 5886$
Tablier e consolas	$50 \cdot 9.81 \cdot 3 = 1471.5$
Total	26543

Como tal, o resultado obtido é apresentado na Figura 53.

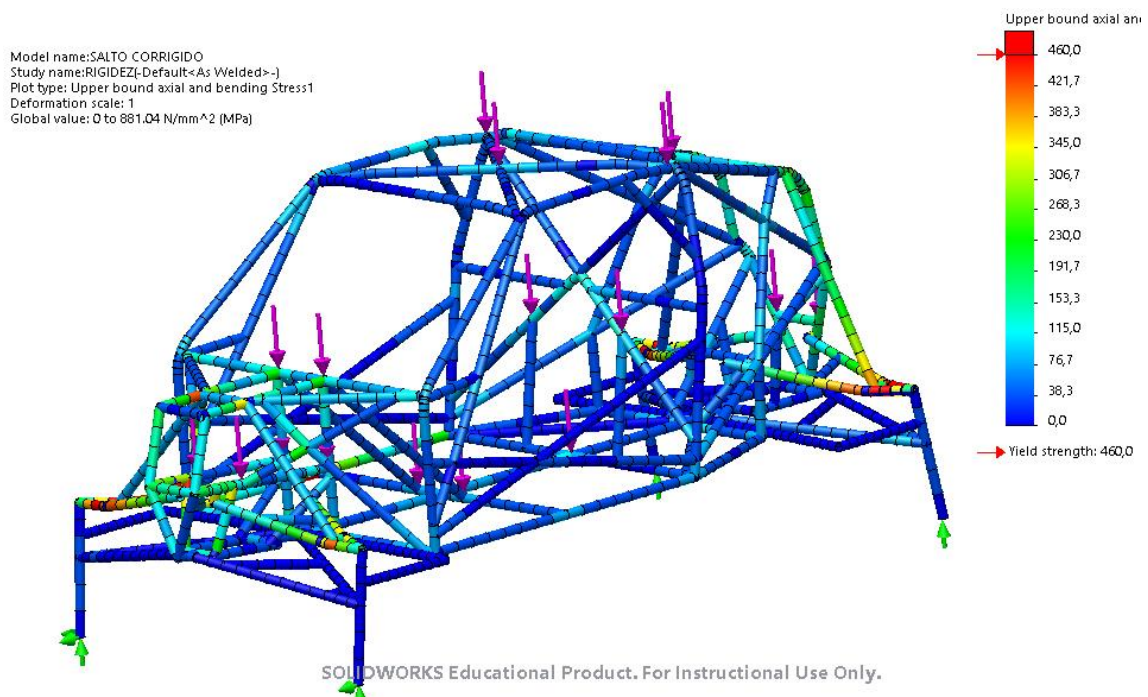


Figura 53- Análise à condição de salto

Mais uma vez limitando o valor máximo da escala ao valor da tensão de cedência do material é possível observar que a zona das junções entre os triângulos e a estrutura são as zonas que têm instaladas tensões iguais ou superiores à tensão de 460 MPa. Tal

como já foi referido anteriormente essas zonas não podem ser avaliadas pois são adaptações feitas para que a simulação seja realizada. A zona de amarração dos amortecedores com os triângulos de suspensão superiores, representam igualmente tensões instaladas acima do limite de cedência. Tal como já foi referido, na simulação estas zonas estão simplificadas para não misturar corpos sólidos com elementos de placa.

De ressaltar que existe uma ligeira assimetria na estrutura.

Existem ainda mais duas zonas na estrutura onde a tensão instalada anda muito próxima da tensão de cedência, ou mesmo ultrapassando o limite desta. Estas duas zonas encontram-se evidenciadas na Figura 54.

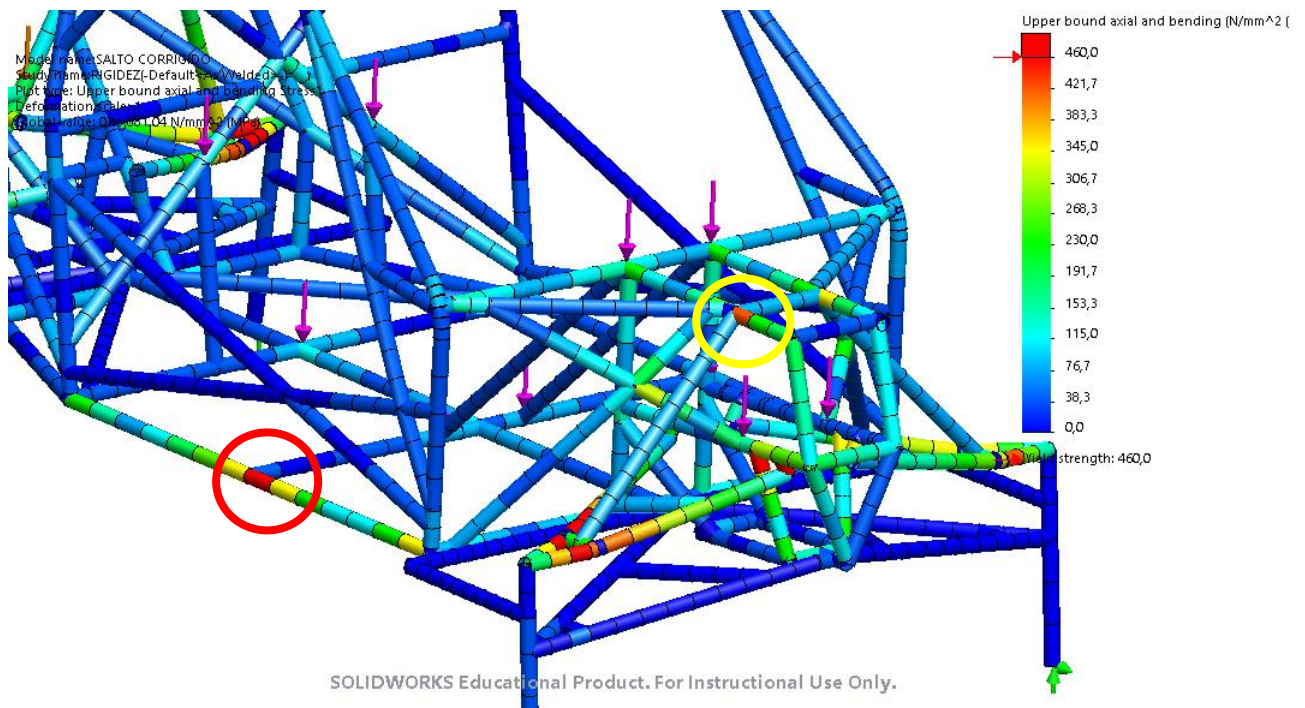


Figura 54- Tensões instaladas em caso de salto

Representado pelo círculo vermelho observa-se uma zona que uma possível melhoria a implementar era o aumento da espessura do tubo e caso necessário proceder também ao aumento do diâmetro. Já o círculo a amarelo representa uma zona que a tensão anda próxima do limite de segurança e que por isso, caso o produtor entenda, deve rigidificar essa mesma zona.

3.3 Simulação nos suportes dos triângulos de suspensão

No subcapítulo anterior foi referenciado que por questões de dificuldade em correr as simulações, devido aos elevados recursos computacionais que eram necessários e à dificuldade em fazer a análise, toda a estrutura foi modelada por elementos tubulares. Sendo que na estrutura, existem zonas em os elementos tubulares estão ligados a corpos sólidos, será mostrada uma análise feita a este tipo de ligação, que consiste numa simplificação na zona de ligação entre a estrutura principal e os triângulos de suspensão. Esta zona, tal como já foi mencionado, consiste numa ligação aparafusada tal como é mostrado na Figura 55.



Figura 55- Ligação aparafusada

Como tal, de forma a ter uma correta avaliação quanto à resistência da estrutura, foi feita uma simplificação de uma secção de tubo, no software SolidWorks mais uma vez, mas em que desta vez toda a construção é feita por corpos rígidos. A Figura 56 representa a simplificação feita.

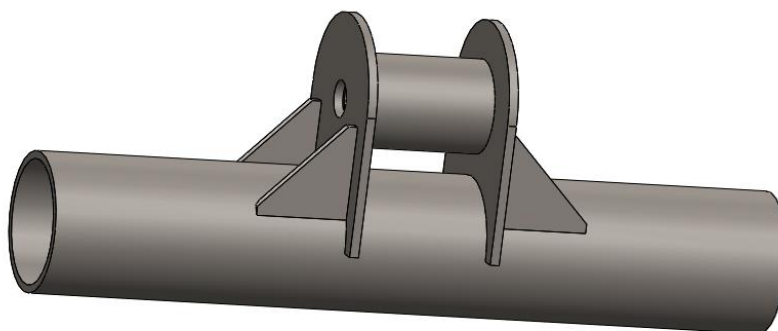


Figura 56- Simulação do suporte do triangulo de suspensão

Uma vez obtida a estrutura que simula a construção real, pode-se então passar para a simulação. Para tal é necessário primeiro definir as condições em que a mesma vai ser efetuada. Em primeiro lugar definiu-se as extremidades do tubo como apoios encastrados. De seguida, e como se trata de uma ligação aparafusada, falta o elemento de ligação. Na montagem real, o elemento de ligação é um parafuso, mas na simulação o elemento usado é um pino virtual, para assim a simulação ficar muito mais fácil de processar. Como na montagem real o parafuso, quando colocado na posição final de aperto, não tem movimento de translação nem de rotação, nesta simulação o pino foi impedido de realizar os mesmos movimentos para assim criar uma simulação o mais próxima possível da realidade. A Figura 57 representa as condições referidas.

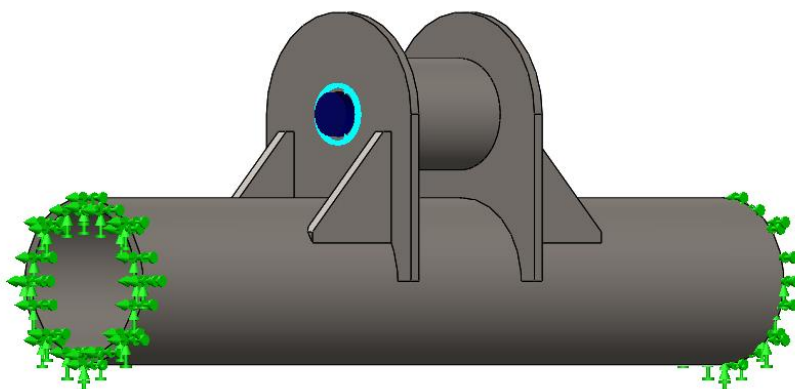


Figura 57- Condições de fronteira na análise ao suporte

É necessário ter em atenção as condições de fronteira entre os corpos para que no momento em que as forças são aplicadas não ocorra a penetração entre os mesmos. Como tal, as condições de fronteira nas extremidades do casquilho foram limitadas de penetrar as paredes dos suportes, ficando com um coeficiente de fricção de 0.05, como é mostrado na Figura 58.

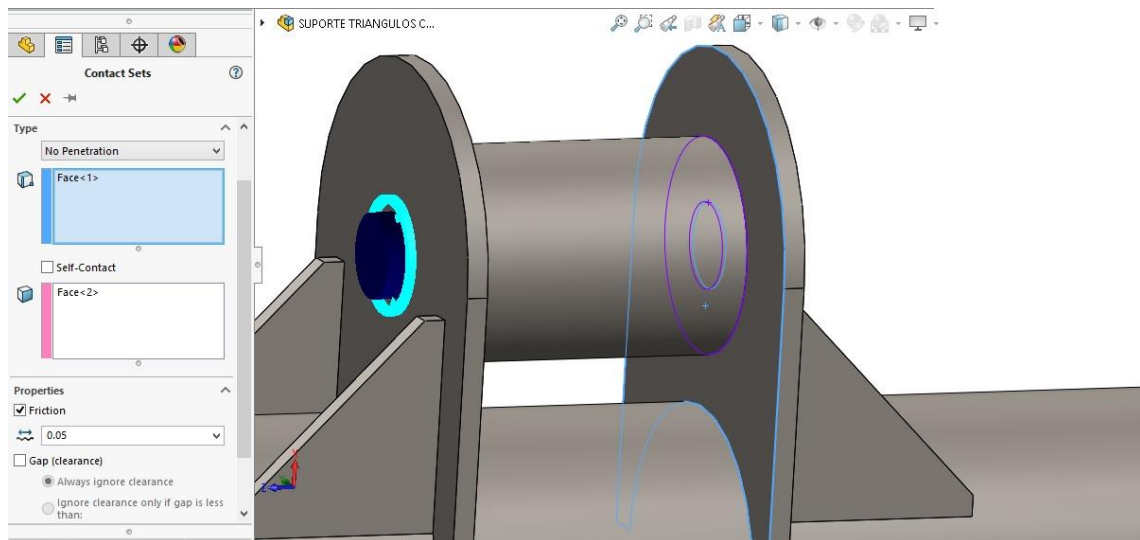


Figura 58- Condições de não penetração entre corpos

Uma vez definidas todas as condições de fronteira entre os diversos corpos, resta então aplicar as forças. A presente simulação apenas irá simular um caso específico dos casos anteriormente feitos, em que a análise escolhida foi a do comportamento em curva. Nesta análise, para saber qual a força que chega ao suporte foi necessário primeiro descobrir qual o número do elemento que está em contacto com o suporte simulado e posteriormente fazer uma pesquisa sobre as forças que aí são transmitidas e quais as suas direções, tal como é mostrado na Figura 59.

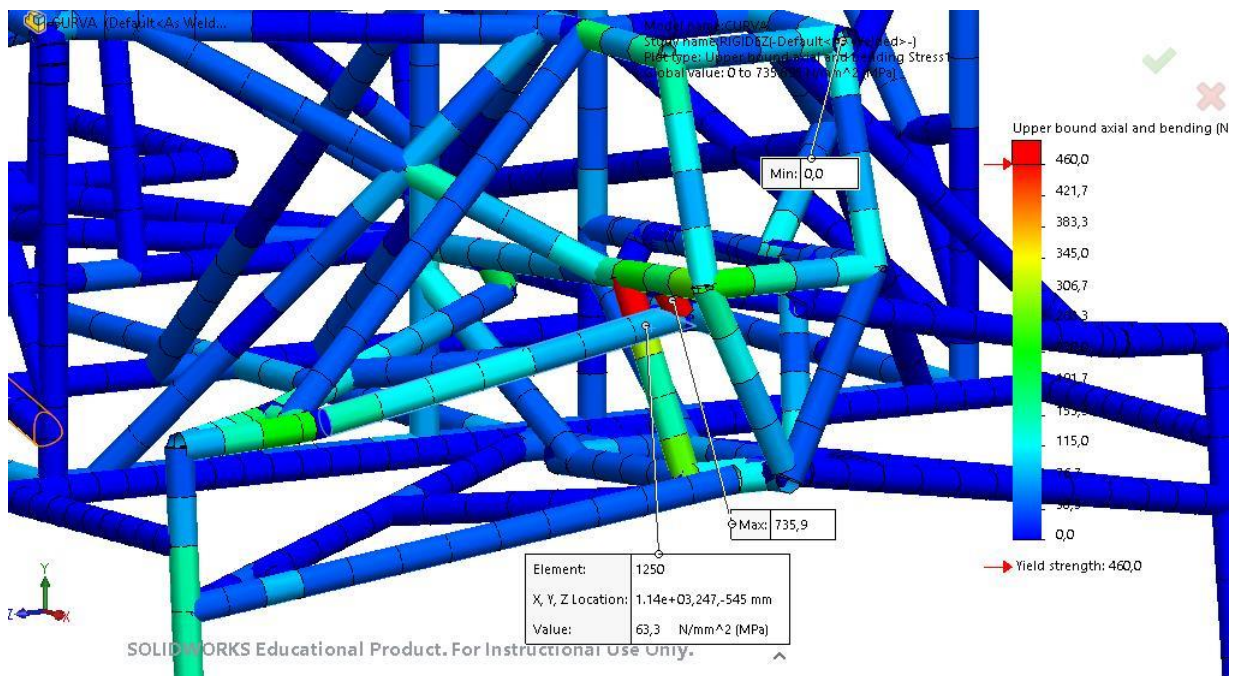


Figura 59- Elemento que transmite forças ao suporte

Uma vez que o elemento que transmite as forças ao suporte está determinado, é necessário determinar qual a magnitude das mesmas. Para isso recorre-se a seguinte tabela fornecida pelo *software*, Figura 60, que indica quais as forças e momentos aplicados.

Beam Name	Element	End	Axial (N)	Shear1 (N)	Shear2 (N)	Moment 1 (N.m)	Moment 2 (N.m)	Torque (N.m)
	1249	1	-12113	428.82	80.539	-10.939	58.251	5.0609e-05
		2	12113	-428.82	-80.539	5.4687	-29.125	-5.0609e-05
	1250	1	-12113	428.82	80.518	-5.4688	29.125	0
		2	12113	-428.82	-80.518	0	0	0

Figura 60- Forças que atuam no elemento

Tal como é possível observar a força axial, força que transmitida ao longo da barra, tem um valor muito mais elevado quando comparado com as outras forças. Devido a esta discrepância, a única força a ser considerada será a força no sentido axial.

Um dos problemas que se colocam quando se quer aplicar a força na simulação dos suportes, reside no facto de a barra que contém o elemento que liga ao suporte encontra-se com diferentes inclinações nos diferentes eixos. Como tal para aplicar a força na simulação dos suportes, sobre os diferentes eixos diretores, é preciso decompor a força nesses mesmo eixos (x , y , z). Para conseguir determinar a magnitude da força que atuava em cada um dos eixos, foi necessário recorrer ao método dos cossenos diretores.

Para se entender o que é o método dos cossenos diretores e como se aplicou à simulação feita, e necessário primeiro perceber que uma força é um vetor. Um vetor caracteriza-se como uma quantidade física que tem direção, sentido e intensidade. Como tal por vezes é necessário decompor uma força em duas componentes para estudar o seu efeito em diferentes direções. (Cunha, 2016)

No caso de se tratar de um problema em 3 dimensões, como é o caso, existe uma abordagem mais fácil do problema quando se representam os vetores na forma de vetor cartesiano, tal como é mostrado na Figura 61.

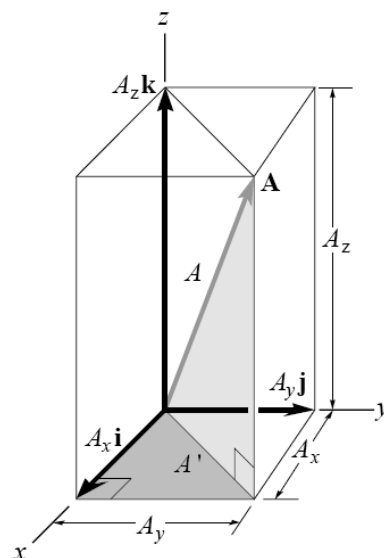


Figura 61- Componentes retangulares de um vetor cartesiano

Em que:

$$A = \sqrt{(Ax)^2 + (Ay)^2 + (Az)^2}$$

A direção de um vetor cartesiano é definida pelos ângulos de direção coordenados α , β e γ , medidos entre a força e os eixos X , Y , Z , desde que sejam concorrentes na origem da força. (Cunha, 2016) Na Figura 62 está ilustrada a direção do vetor.

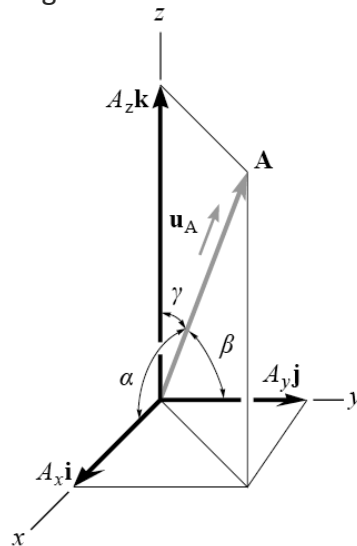


Figura 62- Direção do vetor cartesiano

Para determinar α , β e γ tem de se considerar as projeções sobre os eixos x , y , z , sempre tendo em atenção que os ângulos estão em planos de projeção. A Figura 63 seguinte ilustra estes mesmo ângulos.

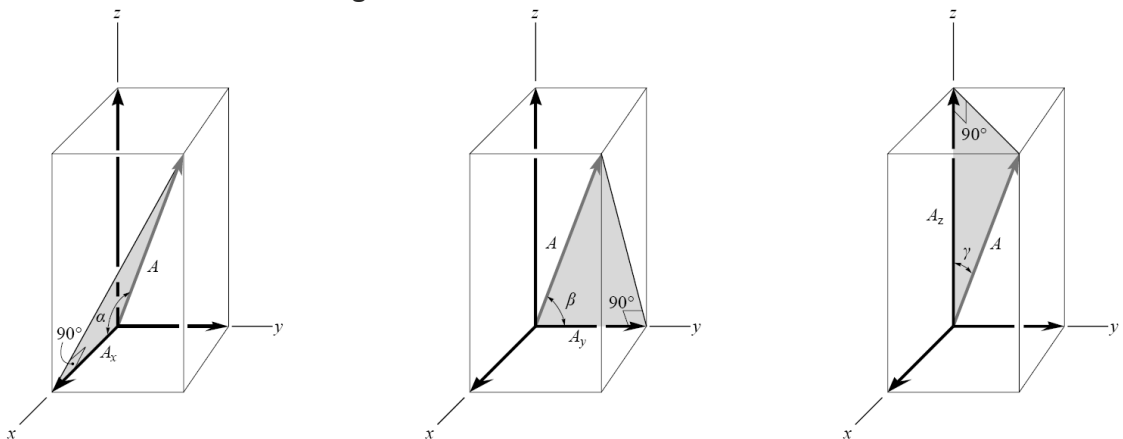


Figura 63- Projeções nos diferentes eixos

Em que os ângulos são determinados através das seguintes equações, para o exemplo dado:

$$\cos \alpha = \frac{A_x}{A}$$

$$\cos \beta = \frac{A_y}{A}$$

$$\cos \gamma = \frac{A_z}{A}$$

A partir destas equações estamos então em condições de determinar quais as forças que atuam em cada um dos eixos. A força a ser considerada será de 12500 N. Tal aproximação deve-se ao facto de como estão a ser desprezadas duas outras forças de menor magnitude, esta força principal leva um acréscimo na sua magnitude de forma a compensar.

Para a determinação dos ângulos, foi elaborado um sistema de eixos na zona onde a força entra em contacto com o suporte, com esse eixo a ter a orientação presente na análise. De seguida são apresentados os valores dos ângulos, e o cálculo das diversas forças.

Força no eixo xx:

$$F_x = \cos \alpha * F$$

Sendo o valor de $\alpha = 82^\circ$ vem que:

$$F_x = \cos(82) * 12500 = 1740 \text{ N}$$

Força no eixo yy:

$$F_y = \cos \beta * F$$

Sendo o valor de $\beta = 78^\circ$ vem que:

$$F_y = \cos(78) * 12500 = 3863 \text{ N}$$

Força para o eixo zz:

$$F_z = \cos \gamma * F$$

Sendo que $\gamma = 15^\circ$ vem que:

$$F_z = \cos(15) * 12500 = 12075 \text{ N}$$

Uma vez determinadas as forças que atuam em cada um dos eixos ortogonais, é necessário colocar as mesmas na simulação para obter os resultados, tal como se apresenta na Figura 64.

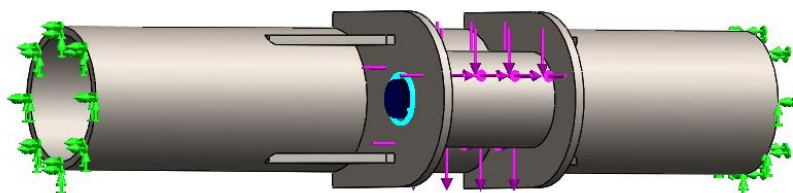


Figura 64- Simulação com forças já aplicadas

Estando então definidas todas as condições para a realização do ensaio, é apresentado de seguida, na Figura 65, a tensão instalada nesta secção.

Model name: SUPORTE TRIANGULOS COMPLETO
 Study name: TESTE AO SALTO(-Default)
 Plot type: Static nodal stress Stress1
 Deformation scale: 10

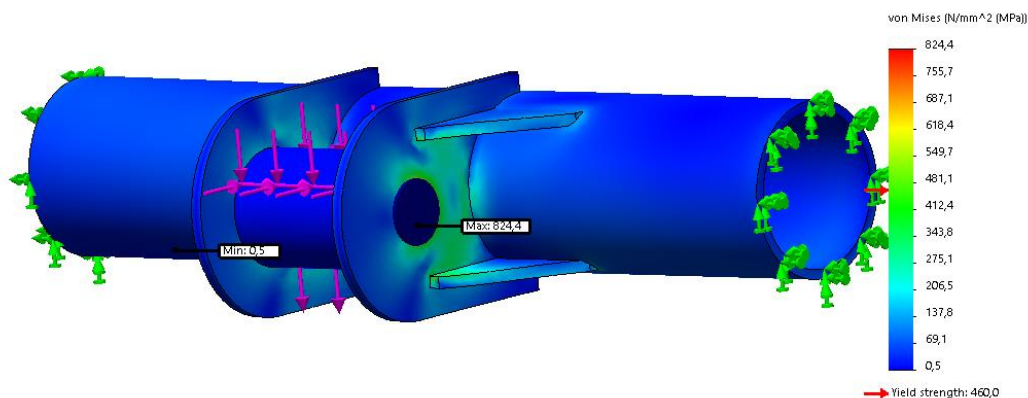


Figura 65- Análise às tensões instaladas

Aqui mais uma vez a escala de tensões será limitada à tensão de cedência do material, para isso ter uma melhor percepção das tensões na zona do furo do suporte., tal como ilustrado na Figura 66.

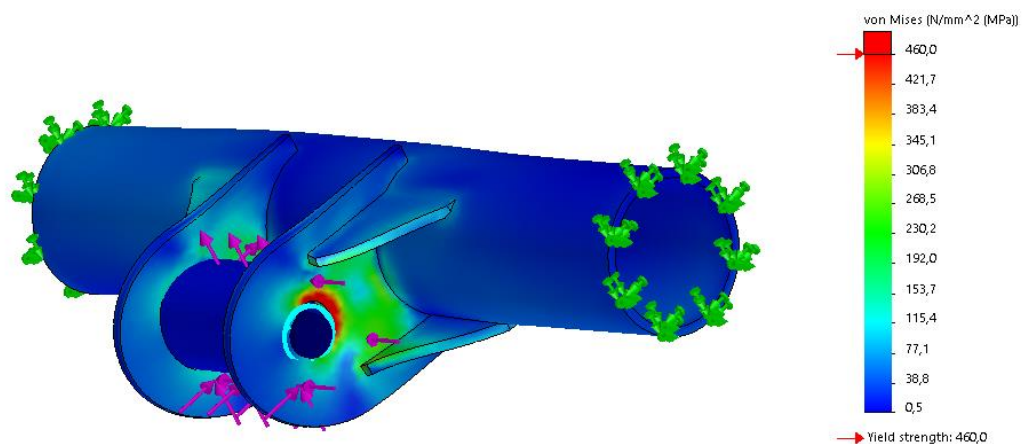


Figura 66- Deformada da tensão

Através da Figura 66, que se encontra com uma escala bastante ampliada, permite perceber que existe uma zona do suporte que se encontra com uma tensão instalada acima da tensão de cedência. Tal região encontra-se a cor vermelha. Como tal é sugerido que esta peça aumente a sua espessura. De seguida é mostrada, na Figura 67, uma simulação com a espessura de 5 mm, para ver quais as tensões agora instaladas, mantendo todas as outras condições de ensaio exatamente iguais.

De referir que como a figura se encontra com uma escala muito ampliada, faz com que o pino que tem um deslocamento mínimo, dê a ideia que está a penetrar outro corpo. Na realidade isto não acontece, pois, o seu deslocamento está ampliado de acordo com a escala e daí vem a ideia de penetração sobre o outro corpo rígido.

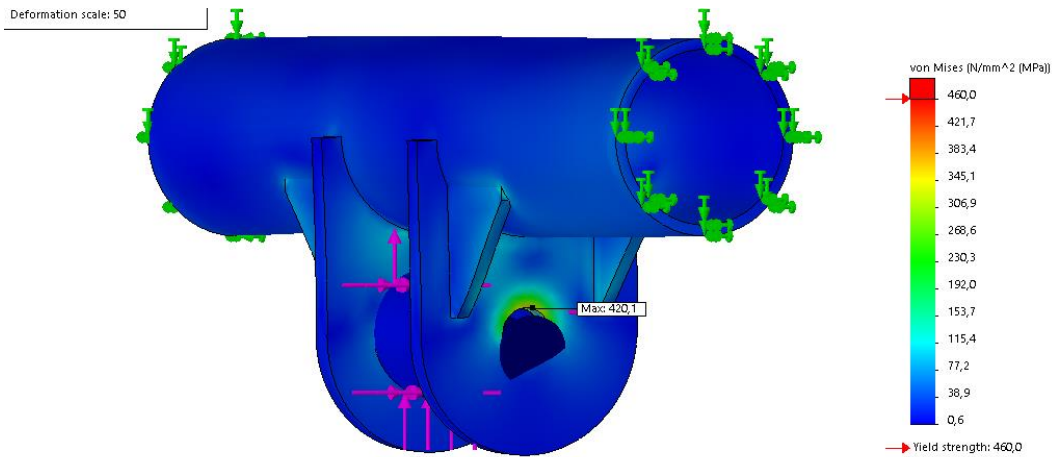


Figura 67- Tensões com espessura reforçada

Através da Figura 67 é possível ver que não existe nenhuma região a vermelha e que a tensão máxima instalada é cerca de 420 MPa, quando o limite de cedência é de 460 MPa. Como tal esta é uma boa opção para reforçar a estrutura evitando assim a fratura da mesma.

3.4 Geometria de suspensão

Desenhar sistemas de suspensão para produção ou carro de corrida requer o conhecimento técnico em várias áreas. Neste capítulo apenas irá abordar uma dessas áreas, o estudo da geometria de suspensão.

Sabe-se que para qualquer corpo que se mova no espaço relativamente a outro corpo, o seu movimento pode ser completamente definido usando três componentes de movimento linear e três componentes do movimento de rotação, ou seja, um corpo tem seis graus de liberdade.

Através do *benchmarking* feito e também pelas características pretendidas para o veículo objeto deste trabalho e tendo em conta o tipo de terreno para que foi projetado, o tipo de suspensão escolhido para equipar o veículo foi a suspensão em triângulos sobrepostos. De seguida são apresentadas algumas características deste tipo de suspensão.

A suspensão de triângulos sobrepostos, ou *double wishbone*, é uma suspensão independente. Todas as suspensões independentes consistem numa ligação cinemática, ou seja, arranjos entre elementos rígidos e juntas articuladas, que garantem a conexão entre o corpo do veículo e o chassi. Todos os elementos individuais que constituem na ligação estão conectados uns com os outros através de rótulas. A suspensão *double wishbone* é um tipo de suspensão que usa três pontos de ligação para cada triângulo, em que uma das ligações é realizada na manga de eixo e as outras duas ligações realizam-se no quadro do veículo. A Figura 68 ilustra o esquema de ligação para suspensões em triângulos sobrepostos. Aparece ainda uma terceira barra para manter a direccionalidade da roda, será fixa num eixo não direccional ou será parte da vara de direcção (tirante da direcção) num eixo não direccional. Desta forma o plano da roda fica definido pelos três pontos da suspensão que ligam à manga de eixo. (Metin Hersoy, 2011)

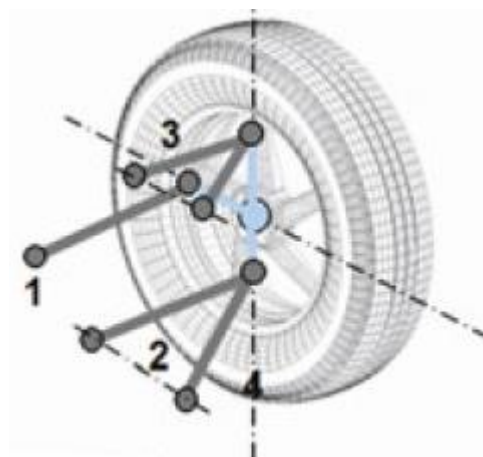


Figura 68- Pontos de fixação da suspensão ao quadro e manga de eixo

Neste tipo de suspensões a manga de eixo (ou porta cubo) está ligada por duas rótulas, a posição delas define o eixo de viragem da roda, conhecido por eixo do cavilhão ou pino mestre (ou ainda *King pin-KP*).

Usualmente a manga de eixo é desenhada e as rótulas são posicionadas nela de forma a ficarem contidas dentro da roda. Para diminuição dos esforços sobre as rótulas e sobre os triângulos é desejável que estas tenham o maior afastamento possível entre si.

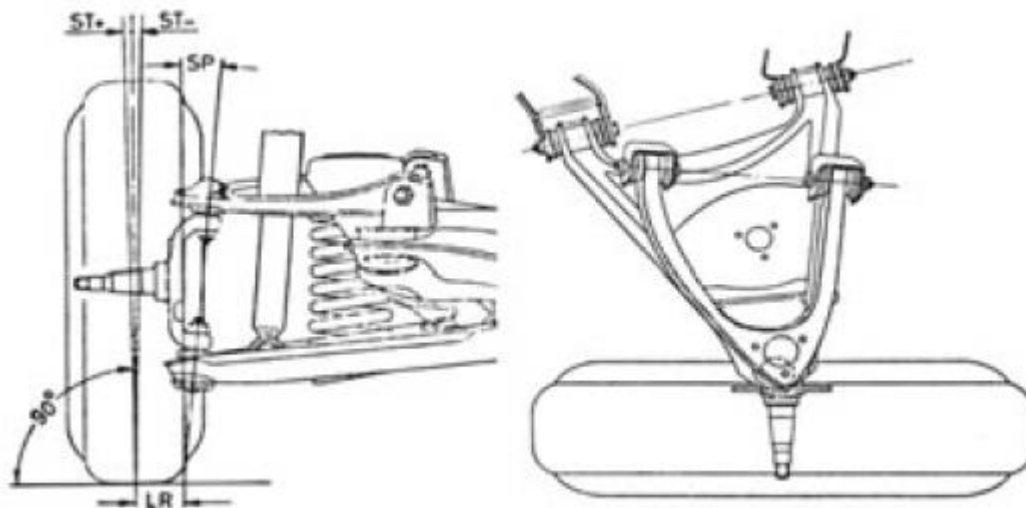


Figura 69- Suspensão de triângulos sobrepostos

São várias as características a ter em conta quando se usa uma suspensão deste tipo, pois tanto a posição dos pontos de ancoragem da suspensão como o tamanho dos braços da mesma interferem com vários princípios que afetam a condução do veículo, tais como o *camber*, o *caster*, *king pin inclination*, ganho de *camber*, posição do CIR importante para os efeitos *anti-dive* e *anti-squat* e também *Roll Center-RC* importante para o comportamento do veículo em curva.

3.4.1 Simulação da suspensão no software Lotus suspension analysis

Para realizar uma análise à geometria de suspensão usada no veículo, foi usado o software *Lotus suspension analysis (LSA)*. Este é um *software* de modelação geométrica e cinemática de suspensões, que facilita a aplicação de alterações na geometria de suspensão e avalia o seu impacto por meio de resultados gráficos.

Para a geometria de suspensão poder ser avaliada no LSA, todas as coordenadas têm de estar definidas. Como tal, todos os pontos de interesse foram cuidadosamente medidos. Para cumprir esta tarefa e mitigar possíveis enganos, foi feita uma modelação no software *SolidWorks*. Com auxílio desta ferramenta também foi mais fácil obter as coordenadas e alterar o seu referencial. A modelação feita é mostrada na Figura 70.

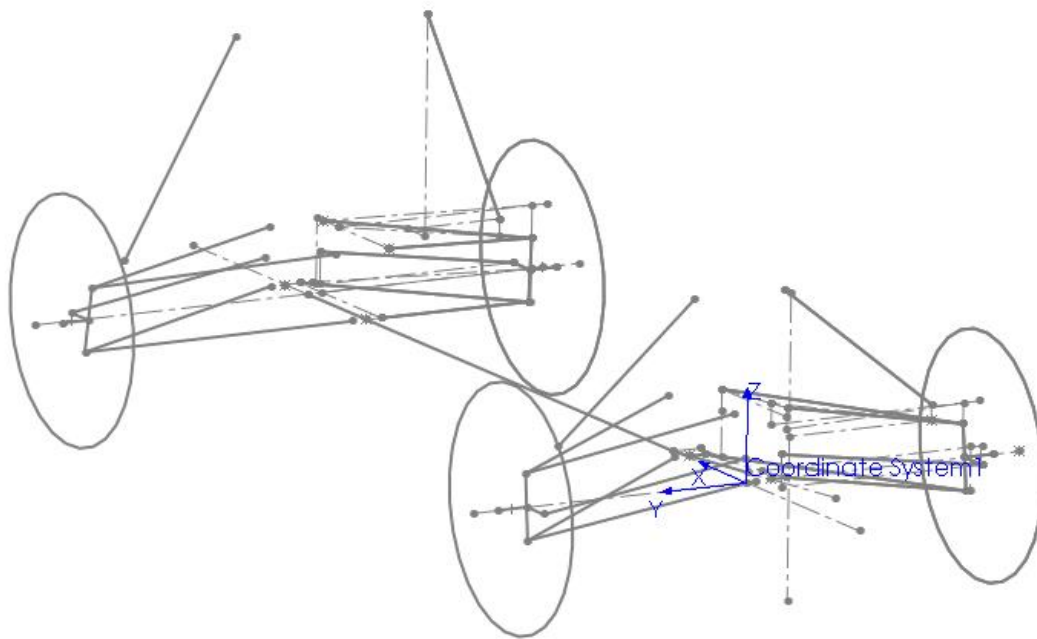


Figura 70- Sistema de coordenadas criado

Nesta modelação todos os elementos como rodas, tirantes de direção, triângulos e amortecedores foram modelados por linhas, foi necessário criar também um novo sistema coordenado de eixos. Este sistema de eixos foi criado para que a origem coincidisse com a origem do sistema de eixos coordenados usado no LSA. Também a orientação dos eixos x , y , z foi mudada para ficar igual à orientação no LSA.

Uma vez realizada a modelação, todas as coordenadas foram identificadas para serem inseridas no programa LSA.

O software LSA possui cerca de 15 tipos de geometrias de suspensões predefinidos para cada eixo. A utilização deste software inicia -se pela escolha de uma das geometrias de suspensão predefinidas para o eixo da frente e para o eixo de trás. Algumas das opções, e algumas das diferenças entre as geometrias de suspensão predefinidas é por exemplo o ponto de ligação do conjunto mola-amortecedor, que para o caso das suspensões em triângulos sobrepostos o software admite que possa ser ligado ao triângulo superior ou inferior.

É ainda necessário definir outros parâmetros tais como, diâmetro dos pneus, largura da jante. De seguida apresenta-se a Figura 71 que ilustra algumas das características predefinidas.



Figura 71- Quadro de introdução de parâmetros no LSA

Tal como é possível observar existem alguns parâmetros que são característicos do próprio veículo, tais como a distância entre eixos, a percentagem de travagem à frente, entre outros. O software possui ainda uma janela de *Help* onde é possível consultar a definição de alguns dos parâmetros necessários.

Muitos dos parâmetros necessários para correr o software, como por exemplo, a altura do CG não estava ainda definida na altura da utilização do *software* uma vez que o veículo ainda não estava finalizado não sendo assim possível medi-lo, mas apenas arbitrar de forma aproximada.

Os parâmetros em que isso se verificou foi na posição do centro de gravidade e no ângulo de rolamento da carroçaria. Quanto à posição do centro de gravidade esta varia entre os 300 *mm* aos 750 *mm*, para veículos de pista e veículo todo-terreno respetivamente. Na Figura 72 são apresentados os valores típicos para superdesportivos e modelos sedan.

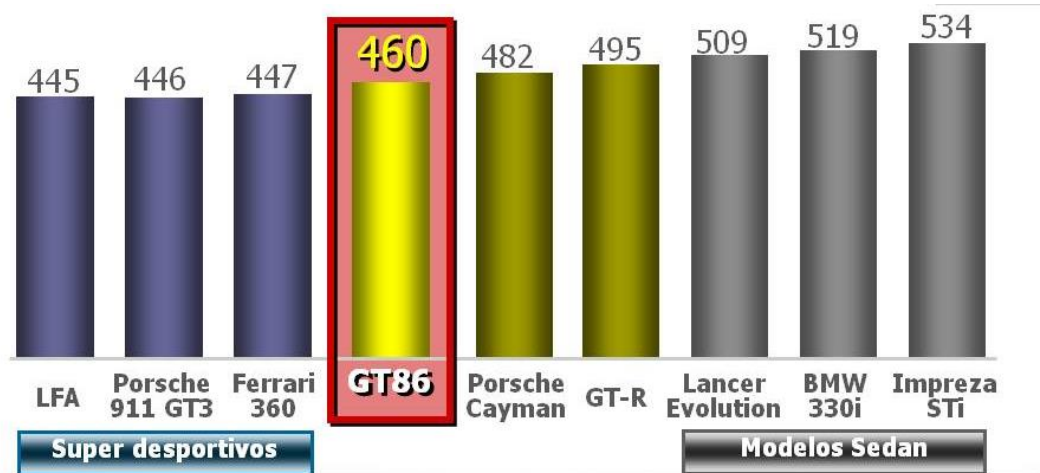


Figura 72- Altura do centro de gravidade de veículos comerciais

Visto que o veículo que está a ser alvo de análise não está inserido em nenhum destes grupos será feita uma aproximação com base na altura de modelos com generes-Can Am, Polaris e Yamaha. Assim a altura do centro de gravidade que foi colocada na simulação foi de 620 mm.

O ângulo de rolamento que deve ser introduzido no LSA apenas serve para definir o limite de alguns gráficos que são traçados pelo software. Uma vez que o desejado é ter o menor ângulo de rolamento possível, é desejável que o veículo esteja munido de uma barra de estabilizadora. Esta opção barra estabilizadora não foi explorada no software.

Uma vez definidos estes parâmetros as coordenadas foram introduzidas no software LSA e a geometria de suspensão gerada.

De seguida são apresentadas algumas figuras da modelação da suspensão no LSA onde é possível perceber algumas características da suspensão.

Na Figura 73 pode ser visualizado o esquema da suspensão dianteira na vista frontal e a posição do CG.

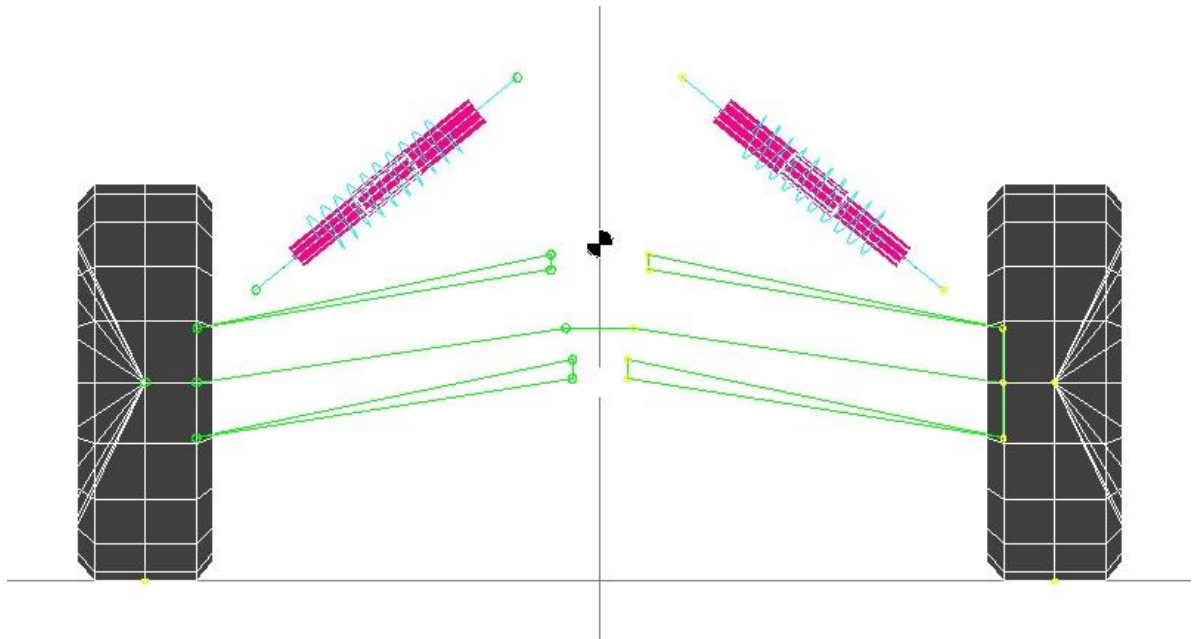


Figura 73- Suspensão dianteira na vista frontal

Já na Figura 74 é possível observar o esquema de suspensão do eixo traseiro na vista frontal e o seu RC.

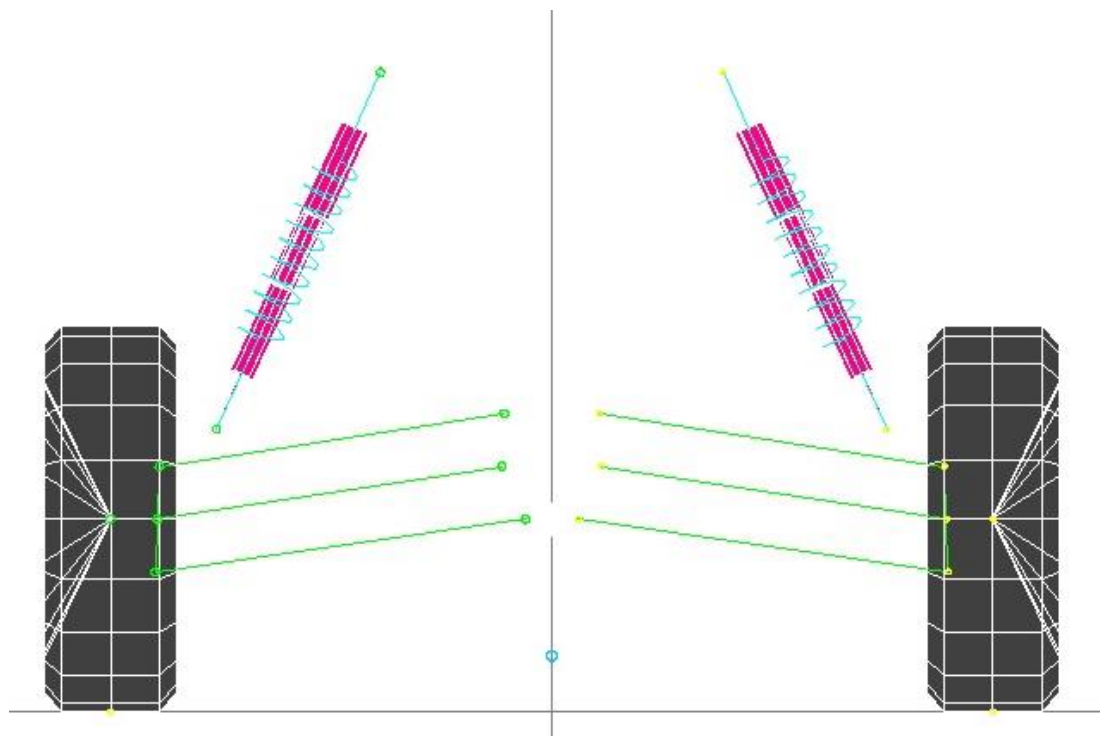


Figura 74- Suspensão traseira na vista frontal

Na Figura 75 pode ser observado o esquema de suspensão do eixo traseiro na vista superior e o RC.

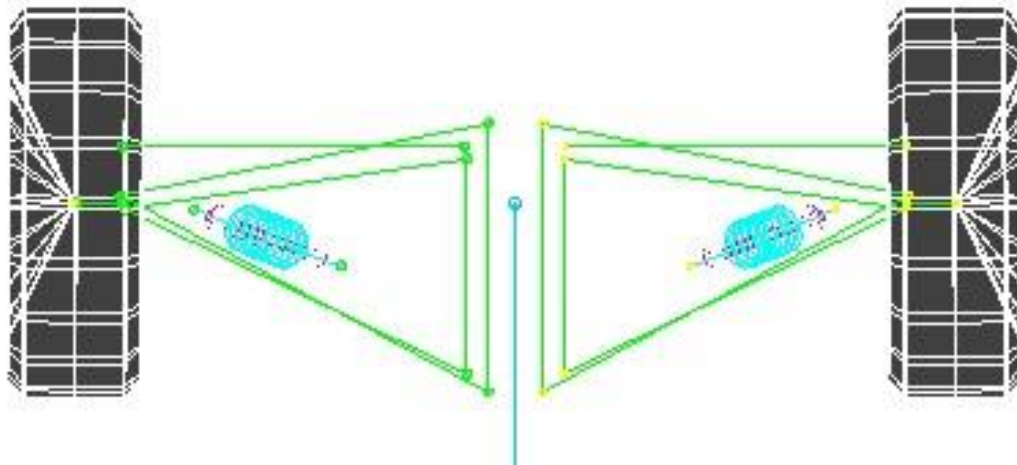


Figura 75-Vista superior do eixo traseiro

Já na Figura 76 é possível visualizar mais uma vez a vista superior, mas desta vez do eixo dianteiro e a posição do RC.

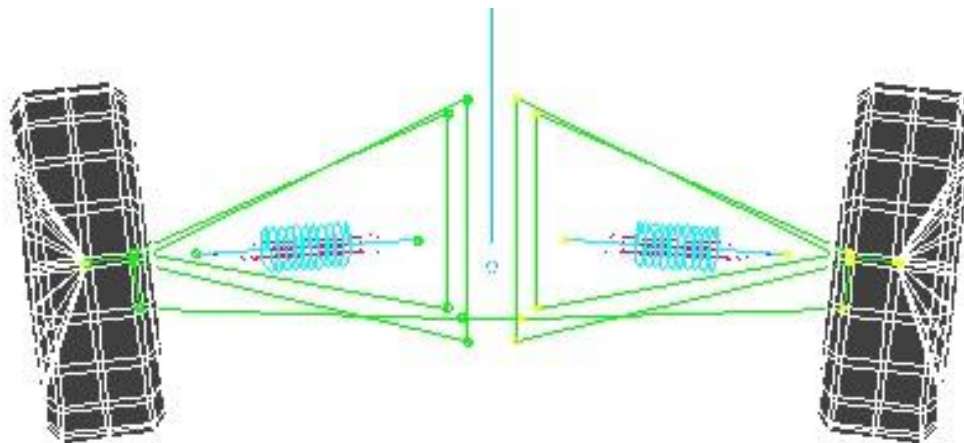


Figura 76- Vista superior do eixo dianteiro

Na Figura 77 é apresentada a vista lateral do eixo anterior e posterior, em que é possível observar a posição do CG e a posição do eixo de rolamento. Como se pode observar na figura o RC traseiro é mais baixo que o RC frontal o que vai induzir na viatura um comportamento, ligeiramente sobrevirador (Gillespie, 1992). Este efeito deverá ser analisado nos testes reais em pista e apenas corrigido se se mostrar pouco adequado.

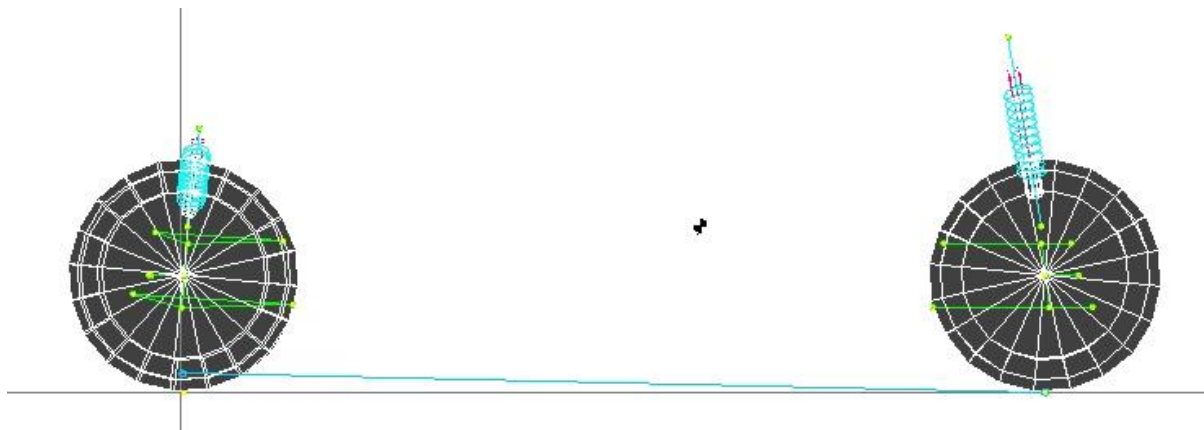


Figura 77- Vista lateral

O RC deve estar sempre acima do solo, se for muito alto resulta em menos rolamento da carroçaria. Já um RC mais baixo, ao nível do solo, resulta num maior rolamento da carroçaria num comportamento em curva.

Assim sendo o veículo em análise tem um comportamento sobrevirador tal como já tinha sido mencionado.

O efeito sobrevirador faz com que o veículo tenha tendência a virar mais do que o imposto pelo condutor, sendo que é no eixo traseiro que ocorre a perda de controlo, daí que este pode ser um aspeto melhorado ou não conforme as características que o produtor queira impor no veículo.

3.4.1.1 Efeito Anti-dive

O feito *anti-dive*, este está relacionado com a travagem. Quando ocorre uma travagem existe uma transferência de carga para o eixo dianteiro. Ao ocorrer esta transferência de carga, a suspensão dianteira suporta uma maior carga, o que faz com que haja mais compressão na mesma.

O *anti-dive* caracteriza-se como sendo a capacidade que o eixo dianteiro de um veículo possui de resistir a este aumento de carga quando sofre uma travagem, sem que haja um mergulho acentuado da parte frontal. O cálculo deste efeito para diferentes suspensões pode ser encontrado (Miliken & Miliken, 1995) e é definido pela seguinte equação:

$$Anti - dive = \frac{\xi L \tan \alpha}{h}$$

Em que:

ξ – Percentagem de travagem no eixo dianteiro

L – Distância entre eixos

α – Ângulo formado entre o ponto de contacto do pneu com o solo com a linha virtual que liga ao CIR

h - Altura do centro de gravidade, a partir do solo

De seguida é apresentada a Figura 78 onde é possível observar todos os parâmetros referidos acima, sempre considerando os travões na roda.

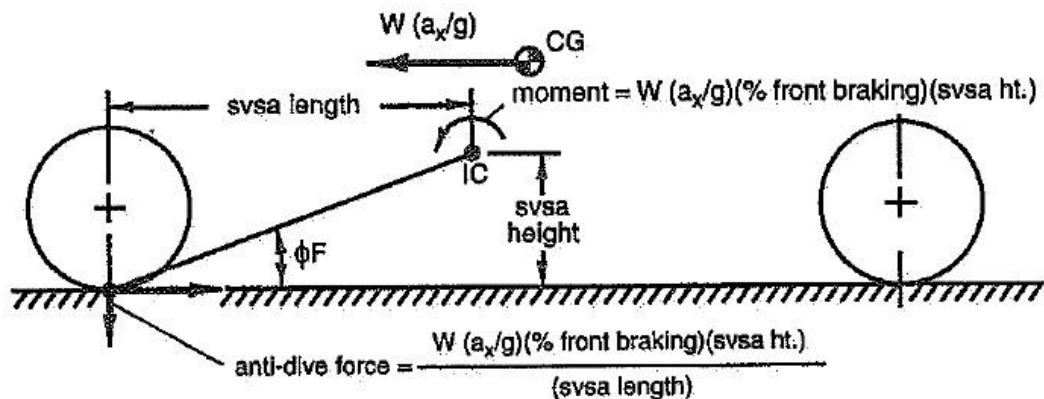


Figura 78- Esquema das forças que atuam no *Anti-dive* (Miliken & Miliken, 1995)

Através da equação presente na Figura 78 é possível perceber que tanto a distância entre eixos, a repartição de travagem no eixo dianteiro assim como a altura do centro de gravidade são parâmetros que são constantes se o veículo a analisar for o mesmo. Logo o valor do *anti-dive* está diretamente relacionado com o centro instantâneo de rotação (CIR). Este tem um papel fundamente pois a sua variação interfere como valor do ângulo α o que faz com que para valores mais elevados do ângulo, se verifique também um aumento do valor do *anti-dive*, e para ângulos mais baixos se verifique o inverso.

Este fenómeno é normalmente evitado pelos construtores, pois uma percentagem baixa ou até mesmo negativa, significa que toda a carga transferida reage com as molas. Com isto a suspensão vai defletir proporcionalmente com o curso de roda e nenhuma carga é transferida para os braços de suspensão, o que pode levar à perda de direção. (Miliken & Miliken, 1995).

De seguida na Figura 79 é apresentado o gráfico que nos indica os valores de *anti-dive* tanto da suspensão dianteira como traseira, sendo que corresponde às cores azul e verde respetivamente. No eixo vertical temos uma escala que nos indica qual a variação em graus, e no eixo horizontal qual a posição em que se encontra.

É de referir que por erro de cálculo o programa assume valores totalmente fora de escala quando passa na coordenada 0. Logo na interpretação dos gráficos seguintes este desvio não deve ser tido em conta visto tratar-se claramente de um valor atípico e fora da linha de convergência.

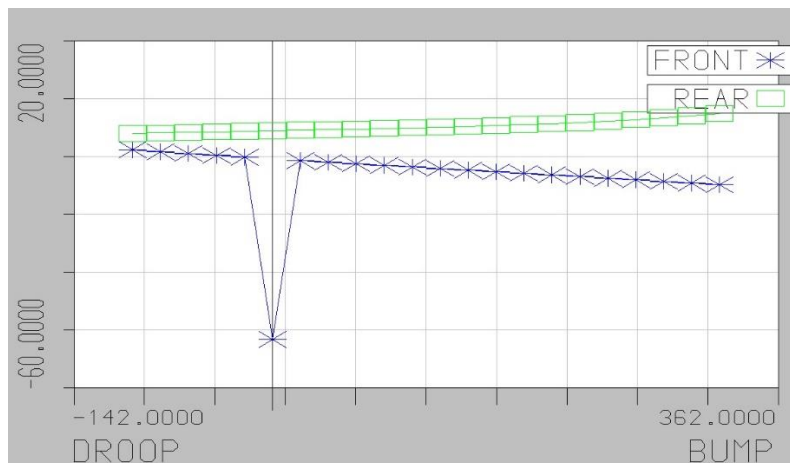


Figura 79- Gráfico dos valores de *Anti-dive*

Como é possível observar pela imagem, apesar da escala estar desadequada, a suspensão dianteira possui um valor de *anti-dive* negativo. Estes variam de -15% até -40%, são valores desajustados para um veículo desta natureza, pelo que a geometria de suspensão deve ser revista. Estes valores são obtidos devido ao desenho da suspensão onde o fabricante pretendeu um movimento de suspensão em compressão (*Bump*) com simultâneo recuo da roda. Esta pretensão tem como objetivo o bom desempenho em velocidade cruzado sobre solo muito irregular. Se simultaneamente o conjunto mola-amortecedor for muito macio e mola de baixa taragem o veículo irá mergulhar em demasia nas travagens, gastando todo o curso de suspensão no mergulho sem reserva para irregularidades do solo durante a travagem.

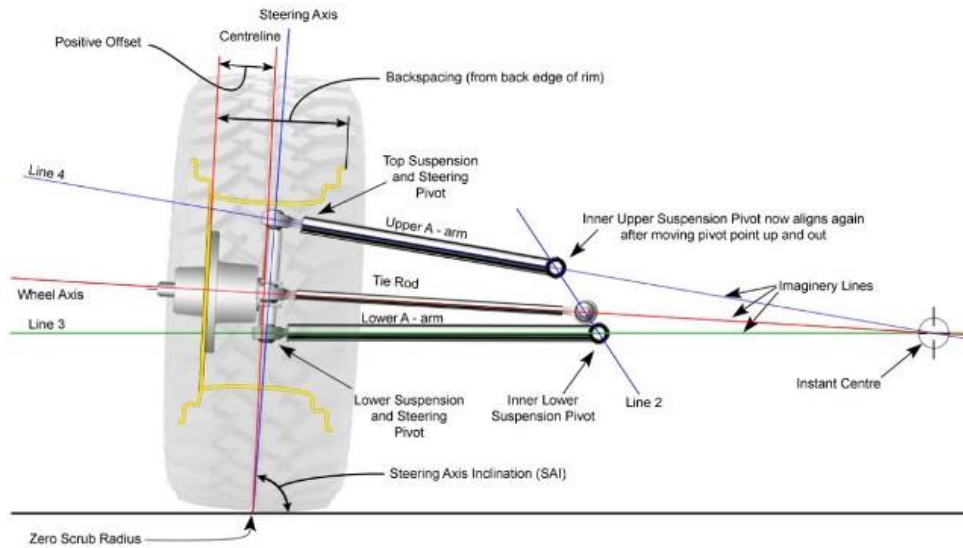
Todos estes valores podem ser vistos com mais pormenor nos ficheiros que seguem em anexo.

3.4.1.2 *Bump steer*

Outros dos aspetos que é facilmente observável na Figura 75 é a convergência, ou como é designado em inglês *Bump Steering*. Este parâmetro apresenta um valor bastante elevado, tal como é possível observar pelos valores apresentados no documento em anexo. A convergência em nenhum caso é favorável ao veículo, logo é um parâmetro que deve ser o mais próximo de zero possível.

A convergência ou a divergência é a diferença de paralelismo de duas rodas do mesmo eixo. A direção diz-se convergente quando a distância medida na parte da frente das rodas é inferior à medida na parte de trás das mesmas rodas. Isto provoca um desgaste anormal dos pneus e promove a mudança repentina de direção quando um veículo, depois de passar por um salto, volta a ter tração no solo.

Para os valores do *bump steer* serem corrigidos, para um valor mais próximo possível do zero, tem de se aplicar uma determinada posição do tirante que liga a caixa de direção ao porta cubos em relação aos triângulos da suspensão. Tal relação aparece evidenciada na Figura 80.

Figura 80- Correção do *Bump steer*

Tal como é possível observar, verifica-se que para amortizar o valor do *bump steer*, deve ser traçada uma linha imaginária com a orientação dos triângulos de suspensão, num plano perpendicular ao eixo da roda, e ver o ponto onde essas linhas se intercetam. A partir desse ponto traçar uma linha começa nesse ponto de interceção e acaba na manga de eixo, sendo que é a inclinação dada por esta nova linha que indica as coordenadas da caixa de direção.

Numa nova modelação, foram criadas essas linhas virtuais para ver qual a nova coordenada a dar ao ponto onde o tirante da direção liga à caixa de direção. Esta modelação é apresentada na Figura 81.

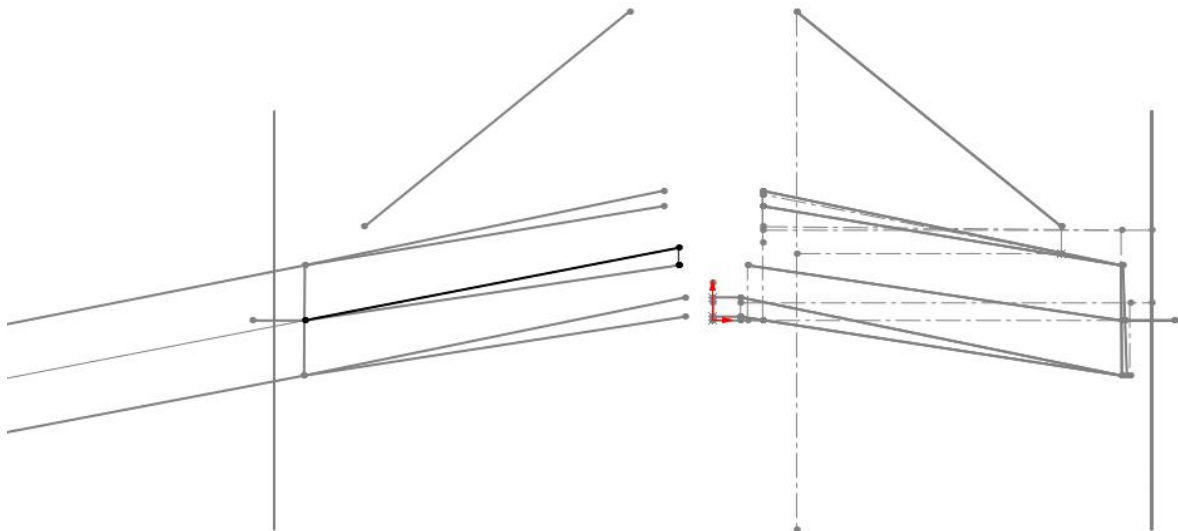


Figura 81- Nova coordenada

Apesar de na Figura 81 não ser visível o ponto imaginário onde as linhas se interceptam, é possível observar que existe uma diferença de 40 mm da nova linha traçada em relação à anterior.

Uma vez feita a correção, esta nova coordenada foi inserida no LSA.

Na Figura 82 é mostrado o gráfico dos valores em graus (°) do *bump steer* com a configuração inicial.

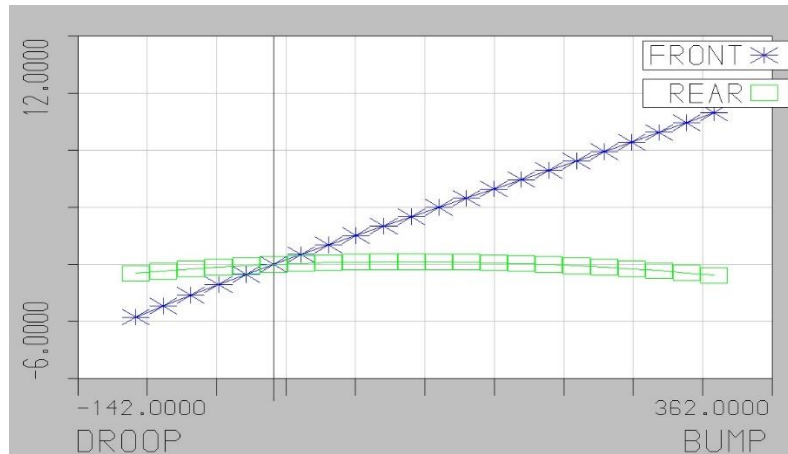


Figura 82- Gráfico *bump steer* com geometria original

Já na Figura 83 é possível observar o gráfico, com os valores em graus (°) mais uma vez, do *bump steer* mas agora com a proposta de melhoria já implementada.

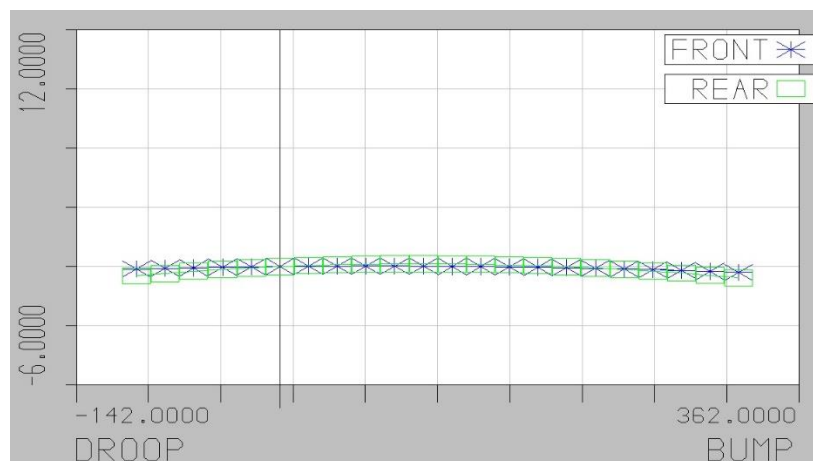


Figura 83- Gráfico *bump steer* com correção

Através da visualização destes dois gráficos, e considerando a mesma escala no eixo *yy*, verifica-se que o *bump steer* no eixo dianteiro diminuiu de forma acentuada com a melhoria implementada. Para ver os valores de uma forma mais concreta, ver anexos.

3.4.1.3 Efeito anti-squat

Outros dos parâmetros que se pretende que o automóvel não tenha é o chamado efeito de *anti-squat*. Este efeito é responsável pelo afundamento da parte traseira quando se verifica uma aceleração. Com este afundamento verificasse uma redução do curso de suspensão traseiro disponível, pois parte dele já serviu para absorver este mergulho da parte posterior do veículo. Como tal este é um parâmetro altamente indesejado.

Através da Figura 84 é possível perceber as variáveis que tem influência no efeito de Anti-squat.

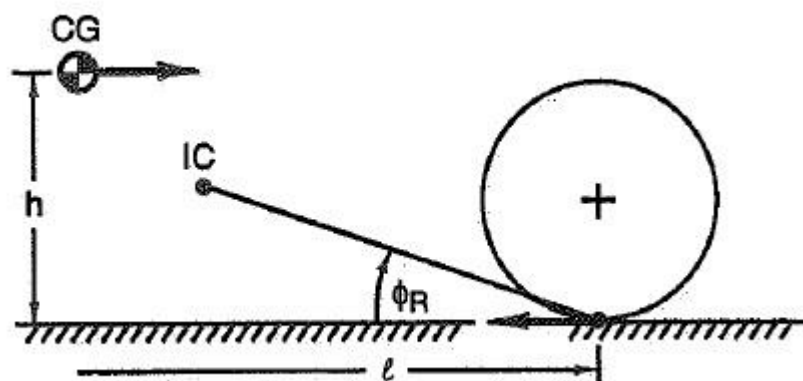


Figura 84- Efeito de *Anti-squat* (Miliken & Miliken, 1995)

Este parâmetro é calculado pela seguinte equação:

$$\text{Anti - squat} = \frac{L \tan \phi R}{h}$$

Tal como é possível perceber tanto pela imagem como pela equação, para o efeito de anti-squat é fortemente influenciado pelo ângulo ϕR , que está ligado diretamente à posição do IC.

Apesar de na Figura 85 estar a azul traçada uma linha que nos indica a variação em graus dos valores de *anti-squat* no eixo dianteiro, esta não deve ser considerada para efeitos desta análise pois na suspensão frontal não se verifica o efeito de *anti-squat*.

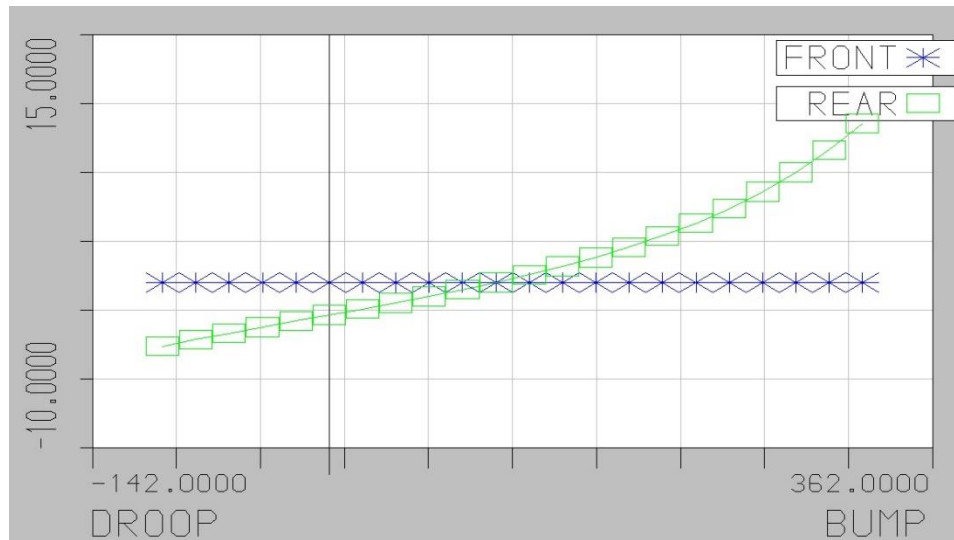


Figura 85- Gráfico dos valores de Anti-squat

Através da visualização da Figura 85 é possível perceber que os valores de *Anti-squat* variam entre um valor de -4 até 10. Estes valores não são de todo o mais desejado, principalmente pelo facto de se registar valores negativos durante o curso de suspensão.

3.5 Modelação das carenagens

Com vista a ter uma ideia visual sobre qual o aspeto a dar ao veículo, foi-me proposto que modelasse um protótipo para as carenagens do veículo. Como tal foi feita uma pesquisa sobre modelos dentro da mesma categoria de veículos, para com isto ter uma linha de orientação sobre quais as principais características presentes neste tipo de veículos. Posteriormente foram dadas orientações sobre as principais características a dar às carenagens para dar a identidade única do veículo com a marca Extreme Raid GPR 20.

Uma vez reunidas as principais características deste tipo de veículos assim como as ideias por parte dos fabricantes deste veículo, projetou-se o veículo que se apresenta na Figura 86.

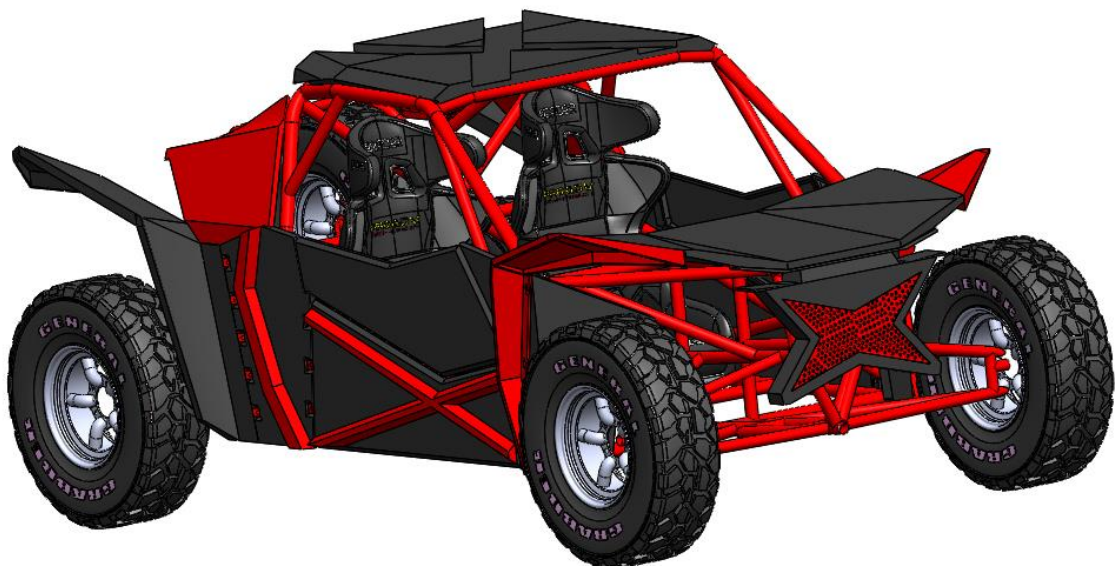


Figura 86- Modelação lateral das carenagens

De referir que apenas as partes estruturais foram modeladas, ou seja, todos os outros elementos como rodas, bancos, linha de escape e motor foram retirados de outras fontes. Estes elementos que foram retirados de outras fontes representam os elementos usados no veículo real.

De seguida nas Figura 87 e Figura 88 apresentam-se as imagens de diferentes vistas para perceber melhor a forma do veículo.

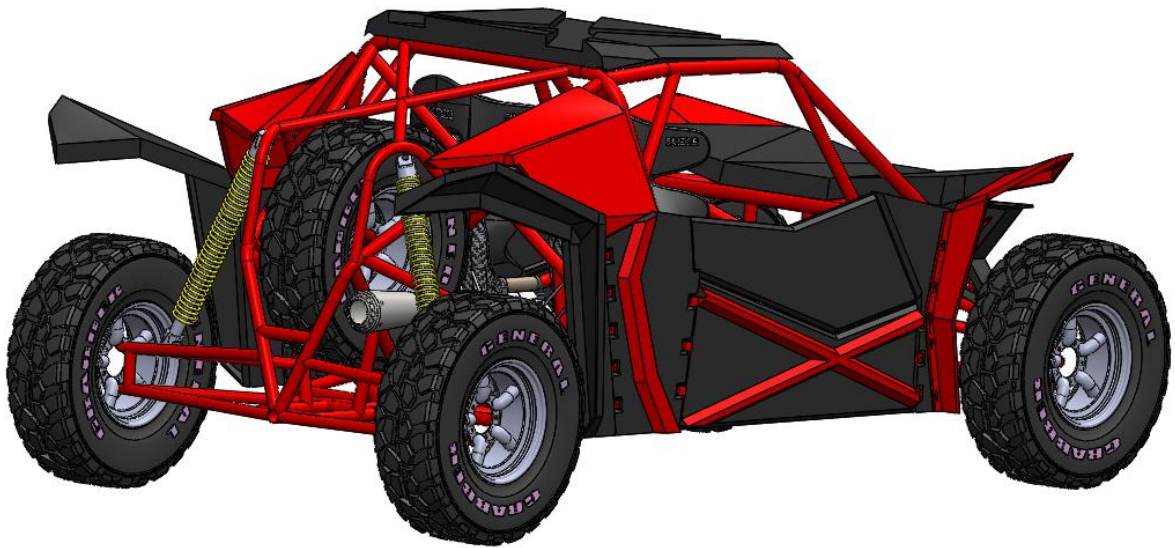


Figura 87- Vista isométrica da parte traseira do veículo



Figura 88- vista isométrica da parte frontal do veículo

Uma vez que já se tem uma imagem de como se pretende o veículo, cabe agora ao construtor decidir quais as alterações que pretende fazer para posteriormente se partir para o processo de obtenção destas partes. Contudo tem de ser feito um estudo quanto ao tolerenciamento e materiais a adotar antes de fabricar as peças, pois o objetivo era te apenas uma perceção visual do que seria.

CONCLUSÕES

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento do quadro de veículo todo-terreno do tipo UTV em diversos casos de carga simulando condições de utilização, quanto à sua resistência e à sua rigidez torsional. Teve também como objetivo avaliar o comportamento da geometria de suspensão. A pedido do construtor foram também modeladas carenagens para efeitos estéticos.

Na primeira parte deste trabalho, concluiu-se que em relação à rigidez torsional a zona frontal da estrutura é a zona menos rígida. Como tal, propõem-se ao construtor reforçar esta zona, pois apresenta um valor muito baixo de rigidez comparado com a restante estrutura. O valor de rigidez torsional encontrado nas simulações foi de 5 kNm/°. Este valor é relativamente baixo para veículo fechados, mas aceitável para todo-terreno.

No que toca às tensões instaladas, nos casos de carga analisados verificou-se que uma das situações mais crítica é em aceleração. Neste caso as tensões instaladas na parte posterior da estrutura são muito elevadas, ultrapassando a tensão de cedência. Como proposta de melhoria foi apresentado um reforço da estrutura nesta região, o que faz baixar a tensão instalada para valores abaixo da tensão de cedência.

O caso de carga da travagem revelou tensões instaladas acima da tensão da cedência em alguns dos elementos. Neste caso não foi ainda proposta nenhuma alteração pelo facto de o construtor querer uma análise conjunta com a direção. O posicionamento da caixa de direção é crítico e afeta o desenho a propor. Uma vez que a caixa de direção ainda não foi definitivamente seleccionada este trabalho ainda não foi realizado.

Outra das análises que se realizou foi aos suportes que fazem a ligação entre a estrutura principal e os triângulos de suspensão. Aqui foram diversas as situações em que as tensões instaladas superavam a tensão de cedência, mas como este elemento tinha sido simplificado, foi realizada uma nova análise em pormenor dessa zona. Nesta nova análise verificou-se que as paredes dos suportes deveriam ser reforçadas e apresenta-se também uma proposta de melhoria para o caso da análise ao comportamento em curva.

No que toca à geometria de suspensão foi utilizado o software LSA da Lotus para a determinação dos principais parâmetros da suspensão. Durante esta análise verificaram-se valores anómalos, principalmente nos valores de *bumpsteer*. Estes valores estão diretamente relacionados com a posição adotada para a caixa de direção, e como tal é apresentada uma proposta de melhoria onde esta assume uma nova posição. Com esta nova posição os valores de *bumpsteer* melhoram muito, aproximando-se de 0.

Foi verificado que o *Roll center* do eixo dianteiro esta ligeiramente acima do traseiro, ambos a cerca de 300 mm de altura. Isto poderá evidenciar uma tendência sobviradora no veículo.

Os valores de *anti-dive* verificados são negativos, variam entre -15% a -40%. Estes valores resultam do posicionamento dos triângulos de suspensão que o construtor optou. Esta opção deve-se a maior facilidade para vencer irregularidades do terreno a altas velocidades. No entanto, durante a travagem o veículo irá mergulhar muito.

Os valores de *anti-squat* mostraram-se adequado variando entre 0 e 10%. No entanto pode ser melhorado após ensaios em pista.

Por fim no que toca à modelação das carenagens, foi feito um protótipo dentro do que foi pedido. Nesta parte do relatório foi dada mais importância à forma a dar ao veículo e não tanto a aspetos de toleranciamento geométrico, materiais escolhidos, entre outros.

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Como proposta para trabalhos futuros são várias as análises que podem ser realizadas. Ao nível da análise estrutural pode ser realizado uma simulação em que se considerem os elementos de placa que estão presentes nos triângulos de suspensão. Outra análise a ser feita é aos suportes dos triângulos nos casos onde se verifique que a tensão instalada seja superior à de cedência e apresentar propostas de melhoria.

No âmbito deste trabalho estava planeado fazer um ensaio de torsão ao quadro do veículo, que por indisponibilidade do mesmo não foi realizado. Propõem-se ensaiar a estrutura real de forma a poder comparar se os resultados obtidos pela simulação estão de acordo com aos registados na avaliação experimental.

Da análise resultante da simulação à travagem verificou-se que alguns elementos da parte frontal do quadro estavam muito solicitados atingindo a tensão de cedência. Foi proposta uma ação de melhoria que deve ser implementada. Tendo em conta que é a zona onde é fixada a caixa de direção esta ação pode ser conjunta para melhorar o *Bump Steering*.

Após a realização de testes em pista e com o testemunho dos pilotos sobre o comportamento do veículo, a geometria de suspensão, pode ser reavaliada mais

detalhadamente, onde se incluem análises à variação da inclinação do *King Pin* e ângulo de avanço.

Na parte da modelação das carenagens, são vários os trabalhos propostos. Para começar era vantajoso fazer uma seleção de materiais.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

NÃO FOI ENCONTRADA NENHUMA ENTRADA DE ÍNDICE.

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- Araújo, A. (2012). *Estudo do comportamento de ligações metálicas entre perfis tubulares e chapas de gousset*.
- Art, A. J. A. J. (2004). *Article 283 Equipements de Sécurité des Véhicules Tout-Terrain Safety Equipment for Cross Country Vehicles*. 1–16.
- Baggeroer, A. B., Sperry, B., Chiu, C., Miller, J. H., & Mikhalevsky, P. N. (1994). $X (R_s) = D \bullet 2 (Z \bullet , R_s)$. *October*, 2018.
- Cunha, B. M. (2016). *Vetores de força*.
- Duarte, R., & Gomes, S. (2012). *Método de Elementos Finitos* (12th–2012th ed.; PUBLINDUSTRIA, Ed.). PORTO: PUBLINDUSTRIA.
- FEDERATION, INTERNATIONALE, & L'AUTOMOBILE, D. (2016). *2016 ANNEXE J / APPENDIX J – ARTICLE 281 Classification et Définitions des Véhicules Tout - Terrain Classification and Definitions of Cross - Country Vehicles*. 1–8. Retrieved from WWW.FIA.COM
- Ferreira, F., & Ferreira, F. (2019). *Sistemas de Suspensão em Veículos Automóveis* (p. 84). p. 84. PORTO.
- Material specification sheet Saerstahl - 25CrMo4* (p. 1). (2019). Saerstahl.
- Miliken, W. F., & Miliken, D. L. (1995). *Milliken & Milliken - Race Car Vehicle Dynamics.pdf*.
- Nipane, Y., Khan, S., & Naikwade, S. (2018). *Design of torsional trailing arm of an atv*. 3052–3054.
- Shift, S. (2018). *Mudamos o seu modo de conduzir YXZ1000R SS* (p. 4). p. 4. Yamaha.
- Terreno, T., & Gerais, E. S. (2019). *Regulamento Técnico do Campeonato de Portugal de Todo o Terreno 2019*. 2007, 1–11.
- Union, T. C., Union, T. C., Union, T. C., Union, C., Hopkins, J., Noise, P., ... Miller, H. M. (2000). *Development of a Test Stand for Determining the Torsional Rigidity of a Formula SAE Space Frame Development of a Test Stand for Determining the Torsional Rigidity of a Formula SAE Space Frame*. 2006–2014.

[1]Consultado a 10/10/2019

<https://www.polarisportugal.com/atv-ranger/rzr/rzr-xp-turbo-eps/>

FPAK. (5 de 10 de 2015). Regulamento técnico do campeonato nacional de todo o terreno. Portugal.

Gillespie. (1992). *Fundamentals of vehicles dynamics*. Sae Intl.

Jornsen Reimpell, H. S. (2001). *The Automotive Chassi* .

Metin Hersoy, B. H. (2011). *Chassis Handbook*. ATZ.

Morais, S. (2012). *Desenho técnico básico*.

ANEXOS

6.1 Valores dos parâmetros da geometria de suspensão

6 ANEXOS

Neste último capítulo serão apresentados todos os valores relativos aos parâmetros da geometria de suspensão que o *software* LSA calcula. Aqui apresenta-se os valores relativos à geometria de suspensão original e os valores relativos à geometria de suspensão já com a melhoria implementada.

São apresentados também os desenhos 2D, seguindo as normas presentes em (Morais, 2012), da estrutura tubular assim como os desenhos relativos a algumas peças que constituem o veículo.

6.1 Valores dos parâmetros da geometria de suspensão

De seguida são apresentados os valores registados pelo LSA para os diferentes parâmetros da geometria de suspensão original.

30/07/19

18:28:50

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

FRONT SUSPENSION FILENAME: CERTO.shk

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
-150.54	50.00	41.85	POINT (1) = Lower wishbone front pivot
348.24	50.00	6.98	POINT (2) = Lower wishbone rear pivot
-5.89	740.91	-102.00	POINT (3) = Lower wishbone outer ball
joint			
-80.71	90.00	235.00	POINT (5) = Upper wishbone front pivot
318.32	90.00	207.00	POINT (6) = Upper wishbone rear pivot
14.06	739.39	100.00	POINT (7) = Upper wishbone outer ball
joint			
14.06	631.48	170.00	POINT (8) = Damper wishbone end
57.65	151.48	560.00	POINT (9) = Damper body end
-101.42	740.15	0.00	POINT (11) = Outer track rod ball joint
-101.42	62.49	100.00	POINT (12) = Inner track rod ball joint
57.65	151.48	560.00	POINT (16) = Upper spring pivot point
14.06	631.48	170.00	POINT (17) = Lower spring pivot point
4.08	740.15	0.00	POINT (18) = Wheel spindle point
4.08	835.10	0.00	POINT (19) = Wheel centre point
4030.00	440.00	195.00	POINT (20) = Part 1 C of G
4170.00	520.00	450.00	POINT (21) = Part 2 C of G
4230.00	525.00	220.00	POINT (22) = Part 3 C of G
4130.00	720.00	275.00	POINT (23) = Part 4 C of G

STATIC VALUES

CAMBER ANGLE (deg):	0.00
TOE ANGLE (SAE) (+ve TOE IN) (deg):	0.00
TOE ANGLE (PLANE OF WHEEL) (deg):	0.00
CASTOR ANGLE (deg):	5.64
CASTOR TRAIL (HUB TRAIL) (mm):	0.10
CASTOR OFFSET (mm):	35.94
KINGPIN ANGLE (deg):	0.43
KINGPIN OFFSET (AT WHEEL) (mm):	94.96
KINGPIN OFFSET (AT GROUND) (mm):	92.21
MECHANICAL TRAIL (mm):	35.77
ROLL CENTRE HEIGHT (mm):	3033.78

GENERAL DATA VALUES

TYRE ROLLING RADIUS (mm):	365.00
WHEELBASE (mm):	2700.00
C OF G HEIGHT (mm):	620.00
BREAKING ON FRONT AXLE (%)	60.00

DRIVE ON FRONT AXLE (%): 0.00
 WEIGHT ON FRONT AXLE (%): 40.00
 OUTBOARD FRONT BRAKES:
 OUTBOARD REAR BRAKES:
 INDEPENDENT FRONT SUSPENSION:
 INDEPENDENT REAR SUSPENSION:
 RACK TYPE STEERING ARTICULATION:

RUN DETAILS
 FULL MODEL:

BUMP TRAVEL (mm):	320.00	INCREMENT (mm):	20.00
REBOUND TRAVEL (mm):	100.00	INCREMENT (mm):	20.00
ROLL ANGLE (deg):	8.00	ROLL INCREMENT (deg):	0.50
STEERING TRAVEL (mm):	50.00	STEERING INCREMENT (mm):	5.00

30/07/19

18:28:50

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

REAR SUSPENSION FILENAME: CERTO.shk

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
2352.11	50.00	0.00	POINT (1) = Lower wishbone front pivot
2852.11	50.00	0.00	POINT (2) = Lower wishbone rear pivot
2717.11	750.12	-100.00	POINT (3) = Lower wishbone outer ball
joint			
2386.04	90.00	200.00	POINT (5) = Upper wishbone front pivot
2786.04	90.00	200.00	POINT (6) = Upper wishbone rear pivot
2691.04	743.13	100.00	POINT (7) = Upper wishbone outer ball
joint			
2691.04	634.39	170.00	POINT (8) = Damper wishbone end
2587.24	324.39	845.00	POINT (9) = Damper body end
2809.58	746.63	0.00	POINT (11) = Outer track rod ball joint
2809.58	94.25	100.00	POINT (12) = Inner track rod ball joint
2587.24	324.39	845.00	POINT (16) = Upper spring pivot point
2691.04	634.39	170.00	POINT (17) = Lower spring pivot point
2704.08	746.63	0.00	POINT (18) = Wheel spindle point
2704.08	835.10	0.00	POINT (19) = Wheel centre point
4064.22	440.00	195.00	POINT (20) = Part 1 C of G
4204.22	520.00	450.00	POINT (21) = Part 2 C of G
4264.22	525.00	220.00	POINT (22) = Part 3 C of G
4164.22	720.00	275.00	POINT (23) = Part 4 C of G

STATIC VALUES

CAMBER ANGLE (deg): 0.00
 TOE ANGLE (SAE) (+ve TOE IN) (deg): 0.00

TOE ANGLE (PLANE OF WHEEL) (deg): 0.00
 CASTOR ANGLE (deg): -7.43
 CASTOR TRAIL (HUB TRAIL) (mm): -0.01
 CASTOR OFFSET (mm): -47.57
 KINGPIN ANGLE (deg): 2.00
 KINGPIN OFFSET (AT WHEEL) (mm): 88.47
 KINGPIN OFFSET (AT GROUND) (mm): 75.72
 MECHANICAL TRAIL (mm): -47.17
 ROLL CENTRE HEIGHT (mm): 106.39

GENERAL DATA VALUES

TYRE ROLLING RADIUS (mm): 365.00
 WHEELBASE (mm): 2700.00
 C OF G HEIGHT (mm): 620.00
 BREAKING ON FRONT AXLE (%): 60.00
 DRIVE ON FRONT AXLE (%): 0.00
 WEIGHT ON FRONT AXLE (%): 40.00
 OUTBOARD FRONT BRAKES:
 OUTBOARD REAR BRAKES:
 INDEPENDENT FRONT SUSPENSION:
 INDEPENDENT REAR SUSPENSION:

RUN DETAILS

FULL MODEL:

BUMP TRAVEL (mm):	320.00	INCREMENT (mm):	20.00
REBOUND TRAVEL (mm):	100.00	INCREMENT (mm):	20.00
ROLL ANGLE (deg):	8.00	ROLL INCREMENT (deg):	0.50
STEERING TRAVEL (mm):	50.00	STEERING INCREMENT (mm):	5.00

30/07/19

18:28:50

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

FRONT SUSPENSION - BUMP TRAVEL
 RHS WHEEL (+ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

BUMP TRAVEL (mm)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-100.00	0.0047	-2.7720	5.6331	0.7006	2.232	2.232
-80.00	0.0272	-2.1843	5.6346	0.6199	2.224	2.224
-60.00	0.0373	-1.6158	5.6360	0.5535	2.216	2.216
-40.00	0.0357	-1.0638	5.6375	0.5005	2.206	2.206

-20.00	0.0232	-0.5260	5.6389	0.4599	2.195	2.195
0.00	0.0000	0.0000	5.6404	4402029514440202951431.000		
20.00	-0.0334	0.5159	5.6418	0.4136	2.171	2.171
40.00	-0.0767	1.0235	5.6433	0.4068	2.158	2.158
60.00	-0.1299	1.5244	5.6447	0.4105	2.144	2.144
80.00	-0.1927	2.0199	5.6462	0.4244	2.129	2.129
100.00	-0.2653	2.5113	5.6477	0.4483	2.114	2.114
120.00	-0.3475	3.0000	5.6491	0.4822	2.098	2.098
140.00	-0.4397	3.4871	5.6506	0.5262	2.081	2.081
160.00	-0.5418	3.9737	5.6520	0.5801	2.064	2.064
180.00	-0.6543	4.4610	5.6535	0.6443	2.047	2.047
200.00	-0.7774	4.9499	5.6550	0.7189	2.029	2.029
220.00	-0.9115	5.4416	5.6565	0.8041	2.010	2.010
240.00	-1.0572	5.9372	5.6579	0.9005	1.991	1.991
260.00	-1.2149	6.4377	5.6594	1.0084	1.972	1.972
280.00	-1.3854	6.9443	5.6609	1.1283	1.952	1.952
300.00	-1.5694	7.4580	5.6625	1.2610	1.932	1.932
320.00	-1.7678	7.9801	5.6640	1.4072	1.912	1.912

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

BUMP SPRING TRAVEL TRAVEL (mm) (mm)	ANTI DIVE (%)	ANTI SQUAT (%)	ROLL CENTRE HEIGHT TO BODY (mm)	ROLL CENTRE HEIGHT TO GRND (mm)	HALF TRACK CHANGE (mm)	WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)
-100.00	-5.07	0.00	186.23	286.23	-27.77	2.41	45.25
45.25							
-80.00	-5.53	0.00	182.77	262.77	-21.00	1.99	36.28
36.28							
-60.00	-5.97	0.00	179.48	239.48	-14.85	1.53	27.27
27.27							
-40.00	-6.39	0.00	176.36	216.36	-9.31	1.04	18.22
18.22							
-20.00	-6.79	0.00	173.37	193.37	-4.37	0.53	9.13
9.13							
0.00	-48.87	0.00	3033.78	3033.78	0.00	0.00	0.00
0.00							
20.00	-7.57	0.00	167.76	147.76	3.80	-0.54	-9.19
-9.19							
40.00	-7.95	0.00	165.10	125.10	7.05	-1.09	-18.43
-18.43							
60.00	-8.32	0.00	162.54	102.54	9.74	-1.64	-27.72
-27.72							
80.00	-8.69	0.00	160.06	80.06	11.90	-2.19	-37.09
-37.09							
100.00	-9.06	0.00	157.66	57.66	13.52	-2.74	-46.51
-46.51							
120.00	-9.42	0.00	155.32	35.32	14.61	-3.28	-56.01

-56.01							
140.00	-9.79	0.00	153.05	13.05	15.17	-3.81	-65.58
-65.58							
160.00	-10.16	0.00	150.83	-9.17	15.21	-4.32	-75.23
-75.23							
180.00	-10.52	0.00	148.68	-31.32	14.72	-4.82	-84.96
-84.96							
200.00	-10.89	0.00	146.57	-53.43	13.71	-5.30	-94.77
-94.77							
220.00	-11.26	0.00	144.52	-75.48	12.18	-5.75	-104.68
-104.68							
240.00	-11.63	0.00	142.52	-97.48	10.12	-6.17	-114.67
-114.67							
260.00	-12.00	0.00	140.56	-119.44	7.53	-6.56	-124.77
-124.77							
280.00	-12.38	0.00	138.66	-141.34	4.40	-6.91	-134.96
-134.96							
300.00	-12.75	0.00	136.81	-163.19	0.73	-7.22	-145.26
-145.26							
320.00	-13.11	0.00	135.02	-184.98	-3.48	-7.47	-155.67
-155.67							

30/07/19

18:28:50

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

FRONT SUSPENSION - BUMP TRAVEL
LHS WHEEL (-ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

BUMP TRAVEL (mm)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-100.00	0.0047	-2.7720	5.6331	0.7006	2.232	2.232
-80.00	0.0272	-2.1843	5.6346	0.6199	2.224	2.224
-60.00	0.0373	-1.6158	5.6360	0.5535	2.216	2.216
-40.00	0.0357	-1.0638	5.6375	0.5005	2.206	2.206
-20.00	0.0232	-0.5260	5.6389	0.4599	2.195	2.195
0.00	0.0000	0.0000	5.6404	4402029514440202951431.000		
20.00	-0.0334	0.5159	5.6418	0.4136	2.171	2.171
40.00	-0.0767	1.0235	5.6433	0.4068	2.158	2.158
60.00	-0.1299	1.5244	5.6447	0.4105	2.144	2.144
80.00	-0.1927	2.0199	5.6462	0.4244	2.129	2.129
100.00	-0.2653	2.5113	5.6477	0.4483	2.114	2.114

120.00	-0.3475	3.0000	5.6491	0.4822	2.098	2.098
140.00	-0.4397	3.4871	5.6506	0.5262	2.081	2.081
160.00	-0.5418	3.9737	5.6520	0.5801	2.064	2.064
180.00	-0.6543	4.4610	5.6535	0.6443	2.047	2.047
200.00	-0.7774	4.9499	5.6550	0.7189	2.029	2.029
220.00	-0.9115	5.4416	5.6565	0.8041	2.010	2.010
240.00	-1.0572	5.9372	5.6579	0.9005	1.991	1.991
260.00	-1.2149	6.4377	5.6594	1.0084	1.972	1.972
280.00	-1.3854	6.9443	5.6609	1.1283	1.952	1.952
300.00	-1.5694	7.4580	5.6625	1.2610	1.932	1.932
320.00	-1.7678	7.9801	5.6640	1.4072	1.912	1.912

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

BUMP SPRING TRAVEL TRAVEL (mm) (mm)	ANTI DIVE (%)	ANTI SQUAT (%)	ROLL CENTRE HEIGHT TO BODY (mm)	ROLL CENTRE HEIGHT TO GRND (mm)	HALF TRACK CHANGE (mm)	WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)
-100.00	-5.07	0.00	186.23	286.23	-27.77	2.41	45.25
45.25							
-80.00	-5.53	0.00	182.77	262.77	-21.00	1.99	36.28
36.28							
-60.00	-5.97	0.00	179.48	239.48	-14.85	1.53	27.27
27.27							
-40.00	-6.39	0.00	176.36	216.36	-9.31	1.04	18.22
18.22							
-20.00	-6.79	0.00	173.37	193.37	-4.37	0.53	9.13
9.13							
0.00	-48.87	0.00	3033.78	3033.78	0.00	0.00	0.00
0.00							
20.00	-7.57	0.00	167.76	147.76	3.80	-0.54	-9.19
-9.19							
40.00	-7.95	0.00	165.10	125.10	7.05	-1.09	-18.43
-18.43							
60.00	-8.32	0.00	162.54	102.54	9.74	-1.64	-27.72
-27.72							
80.00	-8.69	0.00	160.06	80.06	11.90	-2.19	-37.09
-37.09							
100.00	-9.06	0.00	157.66	57.66	13.52	-2.74	-46.51
-46.51							
120.00	-9.42	0.00	155.32	35.32	14.61	-3.28	-56.01
-56.01							
140.00	-9.79	0.00	153.05	13.05	15.17	-3.81	-65.58
-65.58							
160.00	-10.16	0.00	150.83	-9.17	15.21	-4.32	-75.23
-75.23							
180.00	-10.52	0.00	148.68	-31.32	14.72	-4.82	-84.96
-84.96							

200.00	-10.89	0.00	146.57	-53.43	13.71	-5.30	-94.77
-94.77							
220.00	-11.26	0.00	144.52	-75.48	12.18	-5.75	-104.68
-104.68							
240.00	-11.63	0.00	142.52	-97.48	10.12	-6.17	-114.67
-114.67							
260.00	-12.00	0.00	140.56	-119.44	7.53	-6.56	-124.77
-124.77							
280.00	-12.38	0.00	138.66	-141.34	4.40	-6.91	-134.96
-134.96							
300.00	-12.75	0.00	136.81	-163.19	0.73	-7.22	-145.26
-145.26							
320.00	-13.11	0.00	135.02	-184.98	-3.48	-7.47	-155.67
-155.67							

30/07/19

18:28:50

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

REAR SUSPENSION - BUMP TRAVEL
 RHS WHEEL (+ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

BUMP TRAVEL (mm)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-100.00	-0.5368	-0.4675	-7.4290	2.4776	1.380	1.380
-80.00	-0.3943	-0.3431	-7.4284	2.3513	1.378	1.378
-60.00	-0.2706	-0.2354	-7.4278	2.2416	1.375	1.375
-40.00	-0.1644	-0.1430	-7.4273	2.1474	1.371	1.371
-20.00	-0.0745	-0.0648	-7.4270	2.0677	1.366	1.366
0.00	0.0000	0.0000	-7.4267	2.0017	1.360	1.360
20.00	0.0599	0.0521	-7.4264	1.9486	1.354	1.354
40.00	0.1058	0.0919	-7.4262	1.9079	1.347	1.347
60.00	0.1381	0.1200	-7.4261	1.8792	1.339	1.339
80.00	0.1572	0.1366	-7.4260	1.8623	1.331	1.331
100.00	0.1633	0.1419	-7.4260	1.8569	1.322	1.322
120.00	0.1566	0.1361	-7.4261	1.8628	1.313	1.313
140.00	0.1370	0.1191	-7.4261	1.8802	1.303	1.303
160.00	0.1045	0.0908	-7.4262	1.9090	1.292	1.292
180.00	0.0589	0.0512	-7.4264	1.9494	1.281	1.281
200.00	0.0000	0.0000	-7.4267	2.0017	1.270	1.270
220.00	-0.0727	-0.0632	-7.4269	2.0661	1.258	1.258
240.00	-0.1595	-0.1386	-7.4273	2.1431	1.246	1.246

260.00	-0.2612	-0.2270	-7.4277	2.2333	1.233	1.233
280.00	-0.3784	-0.3287	-7.4283	2.3372	1.221	1.221
300.00	-0.5120	-0.4447	-7.4289	2.4557	1.207	1.207
320.00	-0.6629	-0.5756	-7.4297	2.5897	1.194	1.194

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

BUMP SPRING TRAVEL TRAVEL (mm) (mm)	ANTI DIVE (%)	ANTI SQUAT (%)	ROLL CENTRE HEIGHT TO BODY (mm)	ROLL CENTRE HEIGHT TO GRND (mm)	HALF WHEELBASE TRACK CHANGE (mm)	DAMPER WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)
-100.00	-1.33	-3.85	114.55	214.55	-19.42	0.75	72.89
72.89							
-80.00	-1.19	-3.45	112.77	192.77	-14.44	0.54	58.39
58.39							
-60.00	-1.05	-3.06	111.07	171.07	-10.02	0.37	43.85
43.85							
-40.00	-0.92	-2.69	109.44	149.44	-6.15	0.22	29.29
29.29							
-20.00	-0.80	-2.32	107.88	127.88	-2.81	0.10	14.67
14.67							
0.00	-0.67	-1.96	106.39	106.39	0.00	0.00	0.00
0.00							
20.00	-0.55	-1.59	104.96	84.96	2.29	-0.08	-14.74
-14.74							
40.00	-0.42	-1.22	103.59	63.59	4.06	-0.14	-29.54
-29.54							
60.00	-0.28	-0.83	102.27	42.27	5.32	-0.18	-44.43
-44.43							
80.00	-0.14	-0.42	101.01	21.01	6.07	-0.21	-59.41
-59.41							
100.00	0.00	0.01	99.80	-0.20	6.32	-0.22	-74.49
-74.49							
120.00	0.16	0.48	98.65	-21.35	6.06	-0.21	-89.67
-89.67							
140.00	0.34	0.98	97.55	-42.45	5.30	-0.18	-104.96
-104.96							
160.00	0.53	1.54	96.50	-63.50	4.04	-0.14	-120.37
-120.37							
180.00	0.74	2.15	95.50	-84.50	2.27	-0.08	-135.92
-135.92							
200.00	0.97	2.83	94.57	-105.43	0.00	0.00	-151.59
-151.59							
220.00	1.24	3.61	93.69	-126.31	-2.78	0.10	-167.41
-167.41							
240.00	1.54	4.49	92.88	-147.12	-6.07	0.22	-183.39
-183.39							
260.00	1.89	5.50	92.14	-167.86	-9.88	0.36	-199.52

-199.52								
280.00	2.29	6.67	91.47	-188.53	-14.21	0.52	-215.82	
-215.82								
300.00	2.76	8.03	90.89	-209.11	-19.07	0.71	-232.29	
-232.29								
320.00	3.32	9.64	90.40	-229.60	-24.47	0.93	-248.95	
-248.95								

30/07/19

18:28:50

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

REAR SUSPENSION - BUMP TRAVEL
LHS WHEEL (-ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

BUMP TRAVEL (mm)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-100.00	-0.5368	-0.4675	-7.4290	2.4776	1.380	1.380
-80.00	-0.3943	-0.3431	-7.4284	2.3513	1.378	1.378
-60.00	-0.2706	-0.2354	-7.4278	2.2416	1.375	1.375
-40.00	-0.1644	-0.1430	-7.4273	2.1474	1.371	1.371
-20.00	-0.0745	-0.0648	-7.4270	2.0677	1.366	1.366
0.00	0.0000	0.0000	-7.4267	2.0017	1.360	1.360
20.00	0.0599	0.0521	-7.4264	1.9486	1.354	1.354
40.00	0.1058	0.0919	-7.4262	1.9079	1.347	1.347
60.00	0.1381	0.1200	-7.4261	1.8792	1.339	1.339
80.00	0.1572	0.1366	-7.4260	1.8623	1.331	1.331
100.00	0.1633	0.1419	-7.4260	1.8569	1.322	1.322
120.00	0.1566	0.1361	-7.4261	1.8628	1.313	1.313
140.00	0.1370	0.1191	-7.4261	1.8802	1.303	1.303
160.00	0.1045	0.0908	-7.4262	1.9090	1.292	1.292
180.00	0.0589	0.0512	-7.4264	1.9494	1.281	1.281
200.00	0.0000	0.0000	-7.4267	2.0017	1.270	1.270
220.00	-0.0727	-0.0632	-7.4269	2.0661	1.258	1.258
240.00	-0.1595	-0.1386	-7.4273	2.1431	1.246	1.246
260.00	-0.2612	-0.2270	-7.4277	2.2333	1.233	1.233
280.00	-0.3784	-0.3287	-7.4283	2.3372	1.221	1.221
300.00	-0.5120	-0.4447	-7.4289	2.4557	1.207	1.207
320.00	-0.6629	-0.5756	-7.4297	2.5897	1.194	1.194

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

BUMP SPRING TRAVEL TRAVEL (mm) (mm)	ANTI DIVE (%)	ANTI SQUAT (%)	ROLL CENTRE HEIGHT TO BODY (mm)	ROLL CENTRE HEIGHT TO GRND (mm)	HALF TRACK CHANGE (mm)	WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)
-100.00	-1.33	-3.85	114.55	214.55	-19.42	0.75	72.89
72.89							
-80.00	-1.19	-3.45	112.77	192.77	-14.44	0.54	58.39
58.39							
-60.00	-1.05	-3.06	111.07	171.07	-10.02	0.37	43.85
43.85							
-40.00	-0.92	-2.69	109.44	149.44	-6.15	0.22	29.29
29.29							
-20.00	-0.80	-2.32	107.88	127.88	-2.81	0.10	14.67
14.67							
0.00	-0.67	-1.96	106.39	106.39	0.00	0.00	0.00
0.00							
20.00	-0.55	-1.59	104.96	84.96	2.29	-0.08	-14.74
-14.74							
40.00	-0.42	-1.22	103.59	63.59	4.06	-0.14	-29.54
-29.54							
60.00	-0.28	-0.83	102.27	42.27	5.32	-0.18	-44.43
-44.43							
80.00	-0.14	-0.42	101.01	21.01	6.07	-0.21	-59.41
-59.41							
100.00	0.00	0.01	99.80	-0.20	6.32	-0.22	-74.49
-74.49							
120.00	0.16	0.48	98.65	-21.35	6.06	-0.21	-89.67
-89.67							
140.00	0.34	0.98	97.55	-42.45	5.30	-0.18	-104.96
-104.96							
160.00	0.53	1.54	96.50	-63.50	4.04	-0.14	-120.37
-120.37							
180.00	0.74	2.15	95.50	-84.50	2.27	-0.08	-135.92
-135.92							
200.00	0.97	2.83	94.57	-105.43	0.00	0.00	-151.59
-151.59							
220.00	1.24	3.61	93.69	-126.31	-2.78	0.10	-167.41
-167.41							
240.00	1.54	4.49	92.88	-147.12	-6.07	0.22	-183.39
-183.39							
260.00	1.89	5.50	92.14	-167.86	-9.88	0.36	-199.52
-199.52							
280.00	2.29	6.67	91.47	-188.53	-14.21	0.52	-215.82
-215.82							
300.00	2.76	8.03	90.89	-209.11	-19.07	0.71	-232.29
-232.29							
320.00	3.32	9.64	90.40	-229.60	-24.47	0.93	-248.95
-248.95							

30/07/19

18:28:50

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

FRONT SUSPENSION - ROLL
 RHS WHEEL (+ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

ROLL ANGLE (deg)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-8.00	5.3006	7.5914	5.4053	-5.5820	2.106	2.106
-7.50	4.9674	7.1352	5.4363	-5.2103	2.111	2.111
-7.00	4.6347	6.6768	5.4651	-4.8381	2.115	2.115
-6.50	4.3025	6.2161	5.4917	-4.4655	2.119	2.119
-6.00	3.9708	5.7531	5.5162	-4.0923	2.124	2.124
-5.50	3.6394	5.2878	5.5385	-3.7187	2.128	2.128
-5.00	3.3084	4.8201	5.5587	-3.3445	2.133	2.133
-4.50	2.9776	4.3500	5.5766	-2.9697	2.137	2.137
-4.00	2.6470	3.8774	5.5925	-2.5944	2.142	2.142
-3.50	2.3165	3.4022	5.6061	-2.2184	2.147	2.147
-3.00	1.9860	2.9245	5.6176	-1.8419	2.152	2.152
-2.50	1.6555	2.4441	5.6269	-1.4648	2.157	2.157
-2.00	1.3249	1.9609	5.6340	-1.0870	2.162	2.162
-1.50	0.9941	1.4750	5.6389	-0.7085	2.167	2.167
-1.00	0.6631	0.9863	5.6416	-0.3294	2.173	2.173
-0.50	0.3318	0.4946	5.6421	0.0505	2.178	2.178
0.00	0.0000	0.0000	5.6404	4402029514440202951431	2.183	2.183
0.50	-0.3323	-0.4977	5.6364	0.8125	2.189	2.189
1.00	-0.6651	-0.9986	5.6302	1.1947	2.195	2.195
1.50	-0.9986	-1.5026	5.6217	1.5777	2.201	2.201
2.00	-1.3328	-2.0101	5.6109	1.9615	2.207	2.207
2.50	-1.6679	-2.5209	5.5978	2.3463	2.213	2.213
3.00	-2.0039	-3.0352	5.5824	2.7320	2.219	2.219
3.50	-2.3409	-3.5532	5.5646	3.1186	2.226	2.226
4.00	-2.6791	-4.0749	5.5444	3.5063	2.232	2.232
4.50	-3.0185	-4.6004	5.5219	3.8949	2.239	2.239
5.00	-3.3592	-5.1299	5.4969	4.2847	2.246	2.246
5.50	-3.7014	-5.6635	5.4694	4.6756	2.253	2.253
6.00	-4.0451	-6.2014	5.4394	5.0677	2.260	2.260
6.50	-4.3905	-6.7436	5.4069	5.4609	2.267	2.267
7.00	-4.7377	-7.2904	5.3719	5.8555	2.275	2.275
7.50	-5.0868	-7.8419	5.3342	6.2514	2.282	2.282

8.00 -5.4381 -8.3982 5.2938 6.6486 2.290 2.290

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

ROLL ANGLE (deg)	ROLL CENTRE POSITION (mm)			HALF TRACK CHANGE (mm)	WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)	SPRING TRAVEL (mm)
	X	Y	Z				
	(+ve Y to outer wheel: Z r1 to Grnd) (mm)						
-8.00	4.08	-322.35	186.83	-277.15	67.54	-30.78	-30.78
-7.50	4.08	-302.51	184.84	-259.53	64.26	-29.19	-29.19
-7.00	4.08	-282.62	182.99	-241.94	60.86	-27.55	-27.55
-6.50	4.08	-262.68	181.26	-224.39	57.34	-25.87	-25.87
-6.00	4.08	-242.69	179.66	-206.88	53.68	-24.14	-24.14
-5.50	4.08	-222.65	178.20	-189.40	49.90	-22.37	-22.37
-5.00	4.08	-202.56	176.86	-171.96	46.00	-20.55	-20.55
-4.50	4.08	-182.44	175.65	-154.55	41.96	-18.69	-18.69
-4.00	4.08	-162.27	174.57	-137.19	37.80	-16.78	-16.78
-3.50	4.08	-142.07	173.62	-119.88	33.52	-14.83	-14.83
-3.00	4.08	-121.83	172.79	-102.61	29.11	-12.84	-12.84
-2.50	4.08	-101.57	172.09	-85.38	24.57	-10.80	-10.80
-2.00	4.08	-81.29	171.52	-68.20	19.90	-8.73	-8.73
-1.50	4.08	-60.98	171.08	-51.07	15.12	-6.61	-6.61
-1.00	4.08	-40.66	170.76	-33.99	10.20	-4.44	-4.44
-0.50	4.08	-20.33	170.57	-16.97	5.16	-2.24	-2.24
0.00	4.08	0.00	3033.78	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	4.08	20.33	170.57	16.91	-5.29	2.28	2.28
1.00	4.08	40.66	170.76	33.76	-10.70	4.61	4.61
1.50	4.08	60.98	171.08	50.56	-16.23	6.97	6.97
2.00	4.08	81.29	171.52	67.28	-21.89	9.37	9.37
2.50	4.08	101.57	172.09	83.94	-27.67	11.80	11.80
3.00	4.08	121.83	172.79	100.54	-33.57	14.28	14.28
3.50	4.08	142.07	173.62	117.06	-39.59	16.79	16.79
4.00	4.08	162.27	174.57	133.51	-45.73	19.34	19.34
4.50	4.08	182.44	175.65	149.89	-51.99	21.93	21.93
5.00	4.08	202.56	176.86	166.18	-58.37	24.55	24.55
5.50	4.08	222.65	178.20	182.40	-64.87	27.20	27.20
6.00	4.08	242.69	179.66	198.54	-71.49	29.89	29.89
6.50	4.08	262.68	181.26	214.58	-78.22	32.61	32.61
7.00	4.08	282.62	182.99	230.54	-85.07	35.37	35.37
7.50	4.08	302.51	184.84	246.41	-92.04	38.16	38.16
8.00	4.08	322.35	186.83	262.19	-99.12	40.98	40.98

30/07/19

18:28:50

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

FRONT SUSPENSION - ROLL

LHS WHEEL (-ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

ROLL ANGLE (deg)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-8.00	-5.4381	-8.3982	5.2938	6.6486	2.290	2.290
-7.50	-5.0868	-7.8419	5.3342	6.2514	2.282	2.282
-7.00	-4.7377	-7.2904	5.3719	5.8555	2.275	2.275
-6.50	-4.3905	-6.7436	5.4069	5.4609	2.267	2.267
-6.00	-4.0451	-6.2014	5.4394	5.0677	2.260	2.260
-5.50	-3.7014	-5.6635	5.4694	4.6756	2.253	2.253
-5.00	-3.3592	-5.1299	5.4969	4.2847	2.246	2.246
-4.50	-3.0185	-4.6004	5.5219	3.8949	2.239	2.239
-4.00	-2.6791	-4.0749	5.5444	3.5063	2.232	2.232
-3.50	-2.3409	-3.5532	5.5646	3.1186	2.226	2.226
-3.00	-2.0039	-3.0352	5.5824	2.7320	2.219	2.219
-2.50	-1.6679	-2.5209	5.5978	2.3463	2.213	2.213
-2.00	-1.3328	-2.0101	5.6109	1.9615	2.207	2.207
-1.50	-0.9986	-1.5026	5.6217	1.5777	2.201	2.201
-1.00	-0.6651	-0.9986	5.6302	1.1947	2.195	2.195
-0.50	-0.3323	-0.4977	5.6364	0.8125	2.189	2.189
0.00	0.0000	0.0000	5.6404	4402029514440202951431.000		
0.50	0.3318	0.4946	5.6421	0.0505	2.178	2.178
1.00	0.6631	0.9863	5.6416	-0.3294	2.173	2.173
1.50	0.9941	1.4750	5.6389	-0.7085	2.167	2.167
2.00	1.3249	1.9609	5.6340	-1.0870	2.162	2.162
2.50	1.6555	2.4441	5.6269	-1.4648	2.157	2.157
3.00	1.9860	2.9245	5.6176	-1.8419	2.152	2.152
3.50	2.3165	3.4022	5.6061	-2.2184	2.147	2.147
4.00	2.6470	3.8774	5.5925	-2.5944	2.142	2.142
4.50	2.9776	4.3500	5.5766	-2.9697	2.137	2.137
5.00	3.3084	4.8201	5.5587	-3.3445	2.133	2.133
5.50	3.6394	5.2878	5.5385	-3.7187	2.128	2.128
6.00	3.9708	5.7531	5.5162	-4.0923	2.124	2.124
6.50	4.3025	6.2161	5.4917	-4.4655	2.119	2.119
7.00	4.6347	6.6768	5.4651	-4.8381	2.115	2.115
7.50	4.9674	7.1352	5.4363	-5.2103	2.111	2.111
8.00	5.3006	7.5914	5.4053	-5.5820	2.106	2.106

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

ROLL ANGLE (deg)	ROLL CENTRE POSITION X (mm)	ROLL CENTRE POSITION Y (mm)	ROLL CENTRE POSITION Z (mm)	HALF WHEELBASE TRACK CHANGE (mm)	WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)	SPRING TRAVEL (mm)
-8.00	4.08	-322.35	186.83	262.19	-99.12	40.98	40.98

(+ve Y to outer wheel: Z r1 to Grnd) (mm)

-7.50	4.08	-302.51	184.84	246.41	-92.04	38.16	38.16
-7.00	4.08	-282.62	182.99	230.54	-85.07	35.37	35.37
-6.50	4.08	-262.68	181.26	214.58	-78.22	32.61	32.61
-6.00	4.08	-242.69	179.66	198.54	-71.49	29.89	29.89
-5.50	4.08	-222.65	178.20	182.40	-64.87	27.20	27.20
-5.00	4.08	-202.56	176.86	166.18	-58.37	24.55	24.55
-4.50	4.08	-182.44	175.65	149.89	-51.99	21.93	21.93
-4.00	4.08	-162.27	174.57	133.51	-45.73	19.34	19.34
-3.50	4.08	-142.07	173.62	117.06	-39.59	16.79	16.79
-3.00	4.08	-121.83	172.79	100.54	-33.57	14.28	14.28
-2.50	4.08	-101.57	172.09	83.94	-27.67	11.80	11.80
-2.00	4.08	-81.29	171.52	67.28	-21.89	9.37	9.37
-1.50	4.08	-60.98	171.08	50.56	-16.23	6.97	6.97
-1.00	4.08	-40.66	170.76	33.76	-10.70	4.61	4.61
-0.50	4.08	-20.33	170.57	16.91	-5.29	2.28	2.28
0.00	4.08	0.00	3033.78	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	4.08	20.33	170.57	-16.97	5.16	-2.24	-2.24
1.00	4.08	40.66	170.76	-33.99	10.20	-4.44	-4.44
1.50	4.08	60.98	171.08	-51.07	15.12	-6.61	-6.61
2.00	4.08	81.29	171.52	-68.20	19.90	-8.73	-8.73
2.50	4.08	101.57	172.09	-85.38	24.57	-10.80	-10.80
3.00	4.08	121.83	172.79	-102.61	29.11	-12.84	-12.84
3.50	4.08	142.07	173.62	-119.88	33.52	-14.83	-14.83
4.00	4.08	162.27	174.57	-137.19	37.80	-16.78	-16.78
4.50	4.08	182.44	175.65	-154.55	41.96	-18.69	-18.69
5.00	4.08	202.56	176.86	-171.96	46.00	-20.55	-20.55
5.50	4.08	222.65	178.20	-189.40	49.90	-22.37	-22.37
6.00	4.08	242.69	179.66	-206.88	53.68	-24.14	-24.14
6.50	4.08	262.68	181.26	-224.39	57.34	-25.87	-25.87
7.00	4.08	282.62	182.99	-241.94	60.86	-27.55	-27.55
7.50	4.08	302.51	184.84	-259.53	64.26	-29.19	-29.19
8.00	4.08	322.35	186.83	-277.15	67.54	-30.78	-30.78

30/07/19

18:28:50

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

REAR SUSPENSION - ROLL
RHS WHEEL (+ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

ROLL ANGLE (deg)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
------------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------------	------------------------	------------------------

-8.00	5.6012	6.0358	-7.4789	-2.7970	1.322	1.322
-7.50	5.2550	5.6618	-7.4599	-2.5028	1.324	1.324
-7.00	4.9084	5.2876	-7.4428	-2.2079	1.327	1.327
-6.50	4.5615	4.9129	-7.4278	-1.9122	1.329	1.329
-6.00	4.2141	4.5380	-7.4149	-1.6157	1.331	1.331
-5.50	3.8662	4.1626	-7.4041	-1.3184	1.334	1.334
-5.00	3.5179	3.7869	-7.3953	-1.0203	1.336	1.336
-4.50	3.1690	3.4107	-7.3887	-0.7215	1.338	1.338
-4.00	2.8196	3.0340	-7.3842	-0.4219	1.341	1.341
-3.50	2.4696	2.6568	-7.3819	-0.1215	1.343	1.343
-3.00	2.1189	2.2792	-7.3817	0.1796	1.346	1.346
-2.50	1.7676	1.9009	-7.3836	0.4814	1.348	1.348
-2.00	1.4156	1.5220	-7.3878	0.7840	1.350	1.350
-1.50	1.0629	1.1426	-7.3942	1.0874	1.353	1.353
-1.00	0.7094	0.7624	-7.4027	1.3914	1.355	1.355
-0.50	0.3551	0.3816	-7.4136	1.6962	1.358	1.358
0.00	0.0000	0.0000	-7.4267	2.0017	1.360	1.360
0.50	-0.3560	-0.3823	-7.4420	2.3079	1.363	1.363
1.00	-0.7129	-0.7655	-7.4597	2.6147	1.365	1.365
1.50	-1.0708	-1.1494	-7.4796	2.9223	1.368	1.368
2.00	-1.4297	-1.5343	-7.5019	3.2306	1.370	1.370
2.50	-1.7896	-1.9201	-7.5265	3.5395	1.373	1.373
3.00	-2.1506	-2.3068	-7.5535	3.8492	1.376	1.376
3.50	-2.5128	-2.6945	-7.5829	4.1594	1.378	1.378
4.00	-2.8761	-3.0832	-7.6147	4.4704	1.381	1.381
4.50	-3.2406	-3.4730	-7.6490	4.7820	1.383	1.383
5.00	-3.6063	-3.8639	-7.6856	5.0942	1.386	1.386
5.50	-3.9734	-4.2560	-7.7248	5.4071	1.389	1.389
6.00	-4.3418	-4.6492	-7.7665	5.7207	1.391	1.391
6.50	-4.7116	-5.0437	-7.8106	6.0348	1.394	1.394
7.00	-5.0828	-5.4395	-7.8574	6.3496	1.396	1.396
7.50	-5.4555	-5.8366	-7.9067	6.6650	1.399	1.399
8.00	-5.8298	-6.2351	-7.9585	6.9810	1.402	1.402

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

ROLL ANGLE (deg)	ROLL CENTRE POSITION			HALF WHEELBASE TRACK CHANGE (mm)	DAMPER WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)	SPRING TRAVEL (mm)
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)				
-8.00	2704.08	-45.51	106.54	-4.52	-84.28	-58.85	-58.85
-7.50	2704.08	-42.64	106.52	-3.99	-79.13	-55.13	-55.13
-7.00	2704.08	-39.78	106.50	-3.48	-73.96	-51.42	-51.42
-6.50	2704.08	-36.92	106.48	-3.01	-68.78	-47.72	-47.72
-6.00	2704.08	-34.07	106.47	-2.57	-63.58	-44.02	-44.02
-5.50	2704.08	-31.22	106.45	-2.17	-58.36	-40.32	-40.32
-5.00	2704.08	-28.37	106.44	-1.80	-53.13	-36.63	-36.63
-4.50	2704.08	-25.53	106.43	-1.46	-47.88	-32.94	-32.94
-4.00	2704.08	-22.68	106.42	-1.16	-42.62	-29.26	-29.26
-3.50	2704.08	-19.84	106.42	-0.89	-37.34	-25.58	-25.58
-3.00	2704.08	-17.00	106.41	-0.65	-32.04	-21.91	-21.91
-2.50	2704.08	-14.17	106.40	-0.46	-26.74	-18.24	-18.24

-2.00	2704.08	-11.33	106.40	-0.29	-21.42	-14.58	-14.58
-1.50	2704.08	-8.50	106.40	-0.16	-16.08	-10.93	-10.93
-1.00	2704.08	-5.67	106.39	-0.07	-10.73	-7.28	-7.28
-0.50	2704.08	-2.83	106.39	-0.02	-5.37	-3.64	-3.64
0.00	2704.08	0.00	106.39	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	2704.08	2.83	106.39	-0.02	5.39	3.63	3.63
1.00	2704.08	5.67	106.39	-0.07	10.78	7.25	7.25
1.50	2704.08	8.50	106.40	-0.17	16.19	10.87	10.87
2.00	2704.08	11.33	106.40	-0.30	21.61	14.47	14.47
2.50	2704.08	14.17	106.40	-0.46	27.04	18.07	18.07
3.00	2704.08	17.00	106.41	-0.67	32.48	21.67	21.67
3.50	2704.08	19.84	106.42	-0.91	37.93	25.25	25.25
4.00	2704.08	22.68	106.42	-1.20	43.39	28.83	28.83
4.50	2704.08	25.53	106.43	-1.52	48.86	32.40	32.40
5.00	2704.08	28.37	106.44	-1.88	54.34	35.96	35.96
5.50	2704.08	31.22	106.45	-2.28	59.83	39.51	39.51
6.00	2704.08	34.07	106.47	-2.72	65.33	43.06	43.06
6.50	2704.08	36.92	106.48	-3.20	70.83	46.59	46.59
7.00	2704.08	39.78	106.50	-3.72	76.34	50.12	50.12
7.50	2704.08	42.64	106.52	-4.28	81.86	53.64	53.64
8.00	2704.08	45.51	106.54	-4.88	87.39	57.15	57.15

30/07/19

18:28:51

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

REAR SUSPENSION - ROLL
LHS WHEEL (-ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

ROLL ANGLE (deg)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-8.00	-5.8298	-6.2351	-7.9585	6.9810	1.402	1.402
-7.50	-5.4555	-5.8366	-7.9067	6.6650	1.399	1.399
-7.00	-5.0828	-5.4395	-7.8574	6.3496	1.396	1.396
-6.50	-4.7116	-5.0437	-7.8106	6.0348	1.394	1.394
-6.00	-4.3418	-4.6492	-7.7665	5.7207	1.391	1.391
-5.50	-3.9734	-4.2560	-7.7248	5.4071	1.389	1.389
-5.00	-3.6063	-3.8639	-7.6856	5.0942	1.386	1.386
-4.50	-3.2406	-3.4730	-7.6490	4.7820	1.383	1.383
-4.00	-2.8761	-3.0832	-7.6147	4.4704	1.381	1.381
-3.50	-2.5128	-2.6945	-7.5829	4.1594	1.378	1.378
-3.00	-2.1506	-2.3068	-7.5535	3.8492	1.376	1.376

-2.50	-1.7896	-1.9201	-7.5265	3.5395	1.373	1.373
-2.00	-1.4297	-1.5343	-7.5019	3.2306	1.370	1.370
-1.50	-1.0708	-1.1494	-7.4796	2.9223	1.368	1.368
-1.00	-0.7129	-0.7655	-7.4597	2.6147	1.365	1.365
-0.50	-0.3560	-0.3823	-7.4420	2.3079	1.363	1.363
0.00	0.0000	0.0000	-7.4267	2.0017	1.360	1.360
0.50	0.3551	0.3816	-7.4136	1.6962	1.358	1.358
1.00	0.7094	0.7624	-7.4027	1.3914	1.355	1.355
1.50	1.0629	1.1426	-7.3942	1.0874	1.353	1.353
2.00	1.4156	1.5220	-7.3878	0.7840	1.350	1.350
2.50	1.7676	1.9009	-7.3836	0.4814	1.348	1.348
3.00	2.1189	2.2792	-7.3817	0.1796	1.346	1.346
3.50	2.4696	2.6568	-7.3819	-0.1215	1.343	1.343
4.00	2.8196	3.0340	-7.3842	-0.4219	1.341	1.341
4.50	3.1690	3.4107	-7.3887	-0.7215	1.338	1.338
5.00	3.5179	3.7869	-7.3953	-1.0203	1.336	1.336
5.50	3.8662	4.1626	-7.4041	-1.3184	1.334	1.334
6.00	4.2141	4.5380	-7.4149	-1.6157	1.331	1.331
6.50	4.5615	4.9129	-7.4278	-1.9122	1.329	1.329
7.00	4.9084	5.2876	-7.4428	-2.2079	1.327	1.327
7.50	5.2550	5.6618	-7.4599	-2.5028	1.324	1.324
8.00	5.6012	6.0358	-7.4789	-2.7970	1.322	1.322

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

ROLL ANGLE (deg)	ROLL CENTRE POSITION			HALF WHEELBASE TRACK CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)	SPRING TRAVEL (mm)	
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)				
	(+ve Y to outer wheel: Z r1 to Grnd)						
-8.00	2704.08	-45.51	106.54	-4.88	87.39	57.15	57.15
-7.50	2704.08	-42.64	106.52	-4.28	81.86	53.64	53.64
-7.00	2704.08	-39.78	106.50	-3.72	76.34	50.12	50.12
-6.50	2704.08	-36.92	106.48	-3.20	70.83	46.59	46.59
-6.00	2704.08	-34.07	106.47	-2.72	65.33	43.06	43.06
-5.50	2704.08	-31.22	106.45	-2.28	59.83	39.51	39.51
-5.00	2704.08	-28.37	106.44	-1.88	54.34	35.96	35.96
-4.50	2704.08	-25.53	106.43	-1.52	48.86	32.40	32.40
-4.00	2704.08	-22.68	106.42	-1.20	43.39	28.83	28.83
-3.50	2704.08	-19.84	106.42	-0.91	37.93	25.25	25.25
-3.00	2704.08	-17.00	106.41	-0.67	32.48	21.67	21.67
-2.50	2704.08	-14.17	106.40	-0.46	27.04	18.07	18.07
-2.00	2704.08	-11.33	106.40	-0.30	21.61	14.47	14.47
-1.50	2704.08	-8.50	106.40	-0.17	16.19	10.87	10.87
-1.00	2704.08	-5.67	106.39	-0.07	10.78	7.25	7.25
-0.50	2704.08	-2.83	106.39	-0.02	5.39	3.63	3.63
0.00	2704.08	0.00	106.39	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	2704.08	2.83	106.39	-0.02	-5.37	-3.64	-3.64
1.00	2704.08	5.67	106.39	-0.07	-10.73	-7.28	-7.28
1.50	2704.08	8.50	106.40	-0.16	-16.08	-10.93	-10.93
2.00	2704.08	11.33	106.40	-0.29	-21.42	-14.58	-14.58
2.50	2704.08	14.17	106.40	-0.46	-26.74	-18.24	-18.24
3.00	2704.08	17.00	106.41	-0.65	-32.04	-21.91	-21.91

3.50	2704.08	19.84	106.42	-0.89	-37.34	-25.58	-25.58
4.00	2704.08	22.68	106.42	-1.16	-42.62	-29.26	-29.26
4.50	2704.08	25.53	106.43	-1.46	-47.88	-32.94	-32.94
5.00	2704.08	28.37	106.44	-1.80	-53.13	-36.63	-36.63
5.50	2704.08	31.22	106.45	-2.17	-58.36	-40.32	-40.32
6.00	2704.08	34.07	106.47	-2.57	-63.58	-44.02	-44.02
6.50	2704.08	36.92	106.48	-3.01	-68.78	-47.72	-47.72
7.00	2704.08	39.78	106.50	-3.48	-73.96	-51.42	-51.42
7.50	2704.08	42.64	106.52	-3.99	-79.13	-55.13	-55.13
8.00	2704.08	45.51	106.54	-4.52	-84.28	-58.85	-58.85

30/07/19

18:28:51

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

FRONT SUSPENSION - STEERING TRAVEL

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

RACK TRAVEL (mm)	TOE ANGLE RHS (deg)	TOE ANGLE LHS (deg)	CAMBER ANGLE RHS (deg)	CAMBER ANGLE LHS (deg)	ACKERMANN (%)	TURNING CIRCLE RADIUS (mm)
-50.00	28.39	-28.02	-3.00	3.07	-4.34	5035.26
-45.00	25.30	-25.03	-2.63	2.69	-3.91	5747.31
-40.00	22.30	-22.11	-2.29	2.34	-3.56	6615.47
-35.00	19.37	-19.24	-1.97	2.00	-3.26	7708.33
-30.00	16.50	-16.41	-1.66	1.69	-3.02	9139.84
-25.00	13.68	-13.63	-1.37	1.39	-2.82	11114.64
-20.00	10.90	-10.87	-1.08	1.10	-2.67	14041.68
-15.00	8.15	-8.13	-0.81	0.81	-2.55	18874.66
-10.00	5.42	-5.41	-0.54	0.54	-2.47	28474.17
-5.00	2.71	-2.70	-0.27	0.27	-2.42	57142.08
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.34	0.00
5.00	-2.70	2.71	0.27	-0.27	-2.42	57142.08
10.00	-5.41	5.42	0.54	-0.54	-2.47	28474.17
15.00	-8.13	8.15	0.81	-0.81	-2.55	18874.66
20.00	-10.87	10.90	1.10	-1.08	-2.67	14041.68
25.00	-13.63	13.68	1.39	-1.37	-2.82	11114.64
30.00	-16.41	16.50	1.69	-1.66	-3.02	9139.84
35.00	-19.24	19.37	2.00	-1.97	-3.26	7708.33
40.00	-22.11	22.30	2.34	-2.29	-3.56	6615.47
45.00	-25.03	25.30	2.69	-2.63	-3.91	5747.31
50.00	-28.02	28.39	3.07	-3.00	-4.34	5035.26

De seguida apresentam-se os dados da geometria de suspensão, mas com a melhoria no posicionamento da caixa de direção já implementado.

30/07/19

18:23:38

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

FRONT SUSPENSION FILENAME: CAIXA REFORMO.shk

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
-150.54	50.00	41.85	POINT (1) = Lower wishbone front pivot
348.24	50.00	6.98	POINT (2) = Lower wishbone rear pivot
-5.89	740.91	-102.00	POINT (3) = Lower wishbone outer ball
joint			
-80.71	90.00	235.00	POINT (5) = Upper wishbone front pivot
318.32	90.00	207.00	POINT (6) = Upper wishbone rear pivot
14.06	739.39	100.00	POINT (7) = Upper wishbone outer ball
joint			
14.06	631.48	170.00	POINT (8) = Damper wishbone end
57.65	151.48	560.00	POINT (9) = Damper body end
-101.42	740.15	0.00	POINT (11) = Outer track rod ball joint
-101.42	62.49	131.70	POINT (12) = Inner track rod ball joint
57.65	151.48	560.00	POINT (16) = Upper spring pivot point
14.06	631.48	170.00	POINT (17) = Lower spring pivot point
4.08	740.15	0.00	POINT (18) = Wheel spindle point
4.08	835.10	0.00	POINT (19) = Wheel centre point
4030.00	440.00	195.00	POINT (20) = Part 1 C of G
4170.00	520.00	450.00	POINT (21) = Part 2 C of G
4230.00	525.00	220.00	POINT (22) = Part 3 C of G
4130.00	720.00	275.00	POINT (23) = Part 4 C of G

STATIC VALUES

CAMBER ANGLE (deg):	0.00
TOE ANGLE (SAE) (+ve TOE IN) (deg):	0.00
TOE ANGLE (PLANE OF WHEEL) (deg):	0.00
CASTOR ANGLE (deg):	5.64
CASTOR TRAIL (HUB TRAIL) (mm):	0.10
CASTOR OFFSET (mm):	35.94
KINGPIN ANGLE (deg):	0.43
KINGPIN OFFSET (AT WHEEL) (mm):	94.96
KINGPIN OFFSET (AT GROUND) (mm):	92.21
MECHANICAL TRAIL (mm):	35.77
ROLL CENTRE HEIGHT (mm):	3033.77

GENERAL DATA VALUES

TYRE ROLLING RADIUS (mm):	365.00
WHEELBASE (mm):	2700.00
C OF G HEIGHT (mm):	620.00
BREAKING ON FRONT AXLE (%)	60.00

DRIVE ON FRONT AXLE (%): 0.00
 WEIGHT ON FRONT AXLE (%): 40.00
 OUTBOARD FRONT BRAKES:
 OUTBOARD REAR BRAKES:
 INDEPENDENT FRONT SUSPENSION:
 INDEPENDENT REAR SUSPENSION:
 RACK TYPE STEERING ARTICULATION:

RUN DETAILS
 FULL MODEL:

BUMP TRAVEL (mm):	320.00	INCREMENT (mm):	20.00
REBOUND TRAVEL (mm):	100.00	INCREMENT (mm):	20.00
ROLL ANGLE (deg):	8.00	ROLL INCREMENT (deg):	0.50
STEERING TRAVEL (mm):	50.00	STEERING INCREMENT (mm):	5.00

30/07/19

18:23:38

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

REAR SUSPENSION FILENAME: CAIXA REFORMO.shk

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
2352.11	50.00	0.00	POINT (1) = Lower wishbone front pivot
2852.11	50.00	0.00	POINT (2) = Lower wishbone rear pivot
2717.11	750.12	-100.00	POINT (3) = Lower wishbone outer ball
joint			
2386.04	90.00	200.00	POINT (5) = Upper wishbone front pivot
2786.04	90.00	200.00	POINT (6) = Upper wishbone rear pivot
2691.04	743.13	100.00	POINT (7) = Upper wishbone outer ball
joint			
2691.04	634.39	170.00	POINT (8) = Damper wishbone end
2587.24	324.39	845.00	POINT (9) = Damper body end
2809.58	746.63	0.00	POINT (11) = Outer track rod ball joint
2809.58	94.25	100.00	POINT (12) = Inner track rod ball joint
2587.24	324.39	845.00	POINT (16) = Upper spring pivot point
2691.04	634.39	170.00	POINT (17) = Lower spring pivot point
2704.08	746.63	0.00	POINT (18) = Wheel spindle point
2704.08	835.10	0.00	POINT (19) = Wheel centre point
4064.22	440.00	195.00	POINT (20) = Part 1 C of G
4204.22	520.00	450.00	POINT (21) = Part 2 C of G
4264.22	525.00	220.00	POINT (22) = Part 3 C of G
4164.22	720.00	275.00	POINT (23) = Part 4 C of G

STATIC VALUES

CAMBER ANGLE (deg): 0.00
 TOE ANGLE (SAE) (+ve TOE IN) (deg): 0.00

TOE ANGLE (PLANE OF WHEEL) (deg): 0.00
 CASTOR ANGLE (deg): -7.43
 CASTOR TRAIL (HUB TRAIL) (mm): -0.01
 CASTOR OFFSET (mm): -47.57
 KINGPIN ANGLE (deg): 2.00
 KINGPIN OFFSET (AT WHEEL) (mm): 88.47
 KINGPIN OFFSET (AT GROUND) (mm): 75.72
 MECHANICAL TRAIL (mm): -47.17
 ROLL CENTRE HEIGHT (mm): 106.39

GENERAL DATA VALUES

TYRE ROLLING RADIUS (mm): 365.00
 WHEELBASE (mm): 2700.00
 C OF G HEIGHT (mm): 620.00
 BREAKING ON FRONT AXLE (%): 60.00
 DRIVE ON FRONT AXLE (%): 0.00
 WEIGHT ON FRONT AXLE (%): 40.00
 OUTBOARD FRONT BRAKES:
 OUTBOARD REAR BRAKES:
 INDEPENDENT FRONT SUSPENSION:
 INDEPENDENT REAR SUSPENSION:

RUN DETAILS

FULL MODEL:

BUMP TRAVEL (mm):	320.00	INCREMENT (mm):	20.00
REBOUND TRAVEL (mm):	100.00	INCREMENT (mm):	20.00
ROLL ANGLE (deg):	8.00	ROLL INCREMENT (deg):	0.50
STEERING TRAVEL (mm):	50.00	STEERING INCREMENT (mm):	5.00

30/07/19

18:23:38

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

FRONT SUSPENSION - BUMP TRAVEL
 RHS WHEEL (+ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

BUMP TRAVEL (mm)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-100.00	-0.2588	-0.1280	5.6331	0.7025	2.222	2.222
-80.00	-0.1810	-0.0919	5.6346	0.6211	2.214	2.214
-60.00	-0.1171	-0.0615	5.6360	0.5543	2.206	2.206
-40.00	-0.0662	-0.0362	5.6375	0.5009	2.197	2.197

-20.00	-0.0274	-0.0159	5.6389	0.4601	2.186	2.186
0.00	0.0000	0.0000	5.6404	4402029514440202951431.000		
20.00	0.0165	0.0116	5.6418	0.4135	2.162	2.162
40.00	0.0225	0.0190	5.6433	0.4068	2.149	2.149
60.00	0.0183	0.0225	5.6448	0.4106	2.135	2.135
80.00	0.0043	0.0221	5.6462	0.4247	2.120	2.120
100.00	-0.0196	0.0180	5.6477	0.4489	2.105	2.105
120.00	-0.0531	0.0101	5.6492	0.4832	2.089	2.089
140.00	-0.0963	-0.0016	5.6506	0.5276	2.072	2.072
160.00	-0.1493	-0.0170	5.6521	0.5821	2.055	2.055
180.00	-0.2122	-0.0362	5.6536	0.6469	2.037	2.037
200.00	-0.2853	-0.0594	5.6550	0.7223	2.019	2.019
220.00	-0.3687	-0.0865	5.6565	0.8084	2.000	2.000
240.00	-0.4630	-0.1178	5.6580	0.9058	1.980	1.980
260.00	-0.5685	-0.1534	5.6595	1.0149	1.961	1.961
280.00	-0.6859	-0.1936	5.6610	1.1362	1.941	1.941
300.00	-0.8156	-0.2385	5.6626	1.2704	1.920	1.920
320.00	-0.9586	-0.2886	5.6641	1.4184	1.899	1.899

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

BUMP SPRING TRAVEL TRAVEL (mm) (mm)	ANTI DIVE (%)	ANTI SQUAT (%)	ROLL CENTRE HEIGHT TO BODY (mm)	ROLL CENTRE HEIGHT TO GRND (mm)	HALF TRACK CHANGE (mm)	WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)
-100.00	-15.05	0.00	172.15	272.15	-26.15	6.82	45.45
45.45							
-80.00	-15.58	0.00	169.04	249.04	-19.72	5.47	36.43
36.43							
-60.00	-16.12	0.00	166.07	226.07	-13.91	4.11	27.39
27.39							
-40.00	-16.69	0.00	163.23	203.23	-8.69	2.75	18.30
18.30							
-20.00	-17.29	0.00	160.50	180.50	-4.06	1.38	9.17
9.17							
0.00	-48.87	0.00	3033.77	3033.77	0.00	0.00	0.00
0.00							
20.00	-18.60	0.00	155.36	135.36	3.50	-1.38	-9.22
-9.22							
40.00	-19.31	0.00	152.92	112.92	6.45	-2.77	-18.50
-18.50							
60.00	-20.08	0.00	150.56	90.56	8.86	-4.17	-27.84
-27.84							
80.00	-20.90	0.00	148.28	68.28	10.73	-5.57	-37.24
-37.24							
100.00	-21.78	0.00	146.06	46.06	12.07	-6.97	-46.71
-46.71							
120.00	-22.73	0.00	143.91	23.91	12.88	-8.38	-56.25

-56.25							
140.00	-23.76	0.00	141.82	1.82	13.17	-9.80	-65.86
-65.86							
160.00	-24.88	0.00	139.79	-20.21	12.94	-11.22	-75.55
-75.55							
180.00	-26.10	0.00	137.81	-42.19	12.18	-12.64	-85.33
-85.33							
200.00	-27.45	0.00	135.89	-64.11	10.90	-14.08	-95.19
-95.19							
220.00	-28.93	0.00	134.02	-85.98	9.10	-15.51	-105.15
-105.15							
240.00	-30.57	0.00	132.21	-107.79	6.77	-16.96	-115.20
-115.20							
260.00	-32.40	0.00	130.45	-129.55	3.92	-18.41	-125.35
-125.35							
280.00	-34.45	0.00	128.75	-151.25	0.53	-19.87	-135.60
-135.60							
300.00	-36.77	0.00	127.11	-172.89	-3.39	-21.33	-145.96
-145.96							
320.00	-39.40	0.00	125.53	-194.47	-7.86	-22.81	-156.43
-156.43							

30/07/19

18:23:38

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

FRONT SUSPENSION - BUMP TRAVEL
 LHS WHEEL (-ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

BUMP TRAVEL (mm)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-100.00	-0.2588	-0.1280	5.6331	0.7025	2.222	2.222
-80.00	-0.1810	-0.0919	5.6346	0.6211	2.214	2.214
-60.00	-0.1171	-0.0615	5.6360	0.5543	2.206	2.206
-40.00	-0.0662	-0.0362	5.6375	0.5009	2.197	2.197
-20.00	-0.0274	-0.0159	5.6389	0.4601	2.186	2.186
0.00	0.0000	0.0000	5.6404	4402029514440202951431.000		
20.00	0.0165	0.0116	5.6418	0.4135	2.162	2.162
40.00	0.0225	0.0190	5.6433	0.4068	2.149	2.149
60.00	0.0183	0.0225	5.6448	0.4106	2.135	2.135
80.00	0.0043	0.0221	5.6462	0.4247	2.120	2.120
100.00	-0.0196	0.0180	5.6477	0.4489	2.105	2.105

120.00	-0.0531	0.0101	5.6492	0.4832	2.089	2.089
140.00	-0.0963	-0.0016	5.6506	0.5276	2.072	2.072
160.00	-0.1493	-0.0170	5.6521	0.5821	2.055	2.055
180.00	-0.2122	-0.0362	5.6536	0.6469	2.037	2.037
200.00	-0.2853	-0.0594	5.6550	0.7223	2.019	2.019
220.00	-0.3687	-0.0865	5.6565	0.8084	2.000	2.000
240.00	-0.4630	-0.1178	5.6580	0.9058	1.980	1.980
260.00	-0.5685	-0.1534	5.6595	1.0149	1.961	1.961
280.00	-0.6859	-0.1936	5.6610	1.1362	1.941	1.941
300.00	-0.8156	-0.2385	5.6626	1.2704	1.920	1.920
320.00	-0.9586	-0.2886	5.6641	1.4184	1.899	1.899

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

BUMP SPRING TRAVEL TRAVEL (mm) (mm)	ANTI DIVE (%)	ANTI SQUAT (%)	ROLL CENTRE HEIGHT TO BODY (mm)	ROLL CENTRE HEIGHT TO GRND (mm)	HALF TRACK CHANGE (mm)	WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)
-100.00	-15.05	0.00	172.15	272.15	-26.15	6.82	45.45
45.45							
-80.00	-15.58	0.00	169.04	249.04	-19.72	5.47	36.43
36.43							
-60.00	-16.12	0.00	166.07	226.07	-13.91	4.11	27.39
27.39							
-40.00	-16.69	0.00	163.23	203.23	-8.69	2.75	18.30
18.30							
-20.00	-17.29	0.00	160.50	180.50	-4.06	1.38	9.17
9.17							
0.00	-48.87	0.00	3033.77	3033.77	0.00	0.00	0.00
0.00							
20.00	-18.60	0.00	155.36	135.36	3.50	-1.38	-9.22
-9.22							
40.00	-19.31	0.00	152.92	112.92	6.45	-2.77	-18.50
-18.50							
60.00	-20.08	0.00	150.56	90.56	8.86	-4.17	-27.84
-27.84							
80.00	-20.90	0.00	148.28	68.28	10.73	-5.57	-37.24
-37.24							
100.00	-21.78	0.00	146.06	46.06	12.07	-6.97	-46.71
-46.71							
120.00	-22.73	0.00	143.91	23.91	12.88	-8.38	-56.25
-56.25							
140.00	-23.76	0.00	141.82	1.82	13.17	-9.80	-65.86
-65.86							
160.00	-24.88	0.00	139.79	-20.21	12.94	-11.22	-75.55
-75.55							
180.00	-26.10	0.00	137.81	-42.19	12.18	-12.64	-85.33
-85.33							

200.00	-27.45	0.00	135.89	-64.11	10.90	-14.08	-95.19
-95.19							
220.00	-28.93	0.00	134.02	-85.98	9.10	-15.51	-105.15
-105.15							
240.00	-30.57	0.00	132.21	-107.79	6.77	-16.96	-115.20
-115.20							
260.00	-32.40	0.00	130.45	-129.55	3.92	-18.41	-125.35
-125.35							
280.00	-34.45	0.00	128.75	-151.25	0.53	-19.87	-135.60
-135.60							
300.00	-36.77	0.00	127.11	-172.89	-3.39	-21.33	-145.96
-145.96							
320.00	-39.40	0.00	125.53	-194.47	-7.86	-22.81	-156.43
-156.43							

30/07/19

18:23:38

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

REAR SUSPENSION - BUMP TRAVEL
 RHS WHEEL (+ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

BUMP TRAVEL (mm)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-100.00	-0.5368	-0.4675	-7.4290	2.4776	1.380	1.380
-80.00	-0.3943	-0.3431	-7.4284	2.3513	1.378	1.378
-60.00	-0.2706	-0.2354	-7.4278	2.2416	1.375	1.375
-40.00	-0.1644	-0.1430	-7.4273	2.1474	1.371	1.371
-20.00	-0.0745	-0.0648	-7.4270	2.0677	1.366	1.366
0.00	0.0000	0.0000	-7.4267	2.0017	1.360	1.360
20.00	0.0599	0.0521	-7.4264	1.9486	1.354	1.354
40.00	0.1058	0.0919	-7.4262	1.9079	1.347	1.347
60.00	0.1381	0.1200	-7.4261	1.8792	1.339	1.339
80.00	0.1572	0.1366	-7.4260	1.8623	1.331	1.331
100.00	0.1633	0.1419	-7.4260	1.8569	1.322	1.322
120.00	0.1566	0.1361	-7.4261	1.8628	1.313	1.313
140.00	0.1370	0.1191	-7.4261	1.8802	1.303	1.303
160.00	0.1045	0.0908	-7.4262	1.9090	1.292	1.292
180.00	0.0589	0.0512	-7.4264	1.9494	1.281	1.281
200.00	0.0000	0.0000	-7.4267	2.0017	1.270	1.270
220.00	-0.0727	-0.0632	-7.4269	2.0661	1.258	1.258
240.00	-0.1595	-0.1386	-7.4273	2.1431	1.246	1.246

260.00	-0.2612	-0.2270	-7.4277	2.2333	1.233	1.233
280.00	-0.3784	-0.3287	-7.4283	2.3372	1.221	1.221
300.00	-0.5120	-0.4447	-7.4289	2.4557	1.207	1.207
320.00	-0.6629	-0.5756	-7.4297	2.5897	1.194	1.194

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

BUMP SPRING TRAVEL TRAVEL (mm) (mm)	ANTI DIVE (%)	ANTI SQUAT (%)	ROLL CENTRE HEIGHT TO BODY (mm)	ROLL CENTRE HEIGHT TO GRND (mm)	HALF WHEELBASE TRACK CHANGE (mm)	DAMPER WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)
-100.00	-1.33	-3.85	114.55	214.55	-19.42	0.75	72.89
72.89							
-80.00	-1.19	-3.45	112.77	192.77	-14.44	0.54	58.39
58.39							
-60.00	-1.05	-3.06	111.07	171.07	-10.02	0.37	43.85
43.85							
-40.00	-0.92	-2.69	109.44	149.44	-6.15	0.22	29.29
29.29							
-20.00	-0.80	-2.32	107.88	127.88	-2.81	0.10	14.67
14.67							
0.00	-0.67	-1.96	106.39	106.39	0.00	0.00	0.00
0.00							
20.00	-0.55	-1.59	104.96	84.96	2.29	-0.08	-14.74
-14.74							
40.00	-0.42	-1.22	103.59	63.59	4.06	-0.14	-29.54
-29.54							
60.00	-0.28	-0.83	102.27	42.27	5.32	-0.18	-44.43
-44.43							
80.00	-0.14	-0.42	101.01	21.01	6.07	-0.21	-59.41
-59.41							
100.00	0.00	0.01	99.80	-0.20	6.32	-0.22	-74.49
-74.49							
120.00	0.16	0.48	98.65	-21.35	6.06	-0.21	-89.67
-89.67							
140.00	0.34	0.98	97.55	-42.45	5.30	-0.18	-104.96
-104.96							
160.00	0.53	1.54	96.50	-63.50	4.04	-0.14	-120.37
-120.37							
180.00	0.74	2.15	95.50	-84.50	2.27	-0.08	-135.92
-135.92							
200.00	0.97	2.83	94.57	-105.43	0.00	0.00	-151.59
-151.59							
220.00	1.24	3.61	93.69	-126.31	-2.78	0.10	-167.41
-167.41							
240.00	1.54	4.49	92.88	-147.12	-6.07	0.22	-183.39
-183.39							
260.00	1.89	5.50	92.14	-167.86	-9.88	0.36	-199.52

-199.52							
280.00	2.29	6.67	91.47	-188.53	-14.21	0.52	-215.82
-215.82							
300.00	2.76	8.03	90.89	-209.11	-19.07	0.71	-232.29
-232.29							
320.00	3.32	9.64	90.40	-229.60	-24.47	0.93	-248.95
-248.95							

30/07/19

18:23:38

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

REAR SUSPENSION - BUMP TRAVEL
LHS WHEEL (-ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

BUMP TRAVEL (mm)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-100.00	-0.5368	-0.4675	-7.4290	2.4776	1.380	1.380
-80.00	-0.3943	-0.3431	-7.4284	2.3513	1.378	1.378
-60.00	-0.2706	-0.2354	-7.4278	2.2416	1.375	1.375
-40.00	-0.1644	-0.1430	-7.4273	2.1474	1.371	1.371
-20.00	-0.0745	-0.0648	-7.4270	2.0677	1.366	1.366
0.00	0.0000	0.0000	-7.4267	2.0017	1.360	1.360
20.00	0.0599	0.0521	-7.4264	1.9486	1.354	1.354
40.00	0.1058	0.0919	-7.4262	1.9079	1.347	1.347
60.00	0.1381	0.1200	-7.4261	1.8792	1.339	1.339
80.00	0.1572	0.1366	-7.4260	1.8623	1.331	1.331
100.00	0.1633	0.1419	-7.4260	1.8569	1.322	1.322
120.00	0.1566	0.1361	-7.4261	1.8628	1.313	1.313
140.00	0.1370	0.1191	-7.4261	1.8802	1.303	1.303
160.00	0.1045	0.0908	-7.4262	1.9090	1.292	1.292
180.00	0.0589	0.0512	-7.4264	1.9494	1.281	1.281
200.00	0.0000	0.0000	-7.4267	2.0017	1.270	1.270
220.00	-0.0727	-0.0632	-7.4269	2.0661	1.258	1.258
240.00	-0.1595	-0.1386	-7.4273	2.1431	1.246	1.246
260.00	-0.2612	-0.2270	-7.4277	2.2333	1.233	1.233
280.00	-0.3784	-0.3287	-7.4283	2.3372	1.221	1.221
300.00	-0.5120	-0.4447	-7.4289	2.4557	1.207	1.207
320.00	-0.6629	-0.5756	-7.4297	2.5897	1.194	1.194

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

BUMP SPRING TRAVEL TRAVEL (mm) (mm)	ANTI DIVE (%)	ANTI SQUAT (%)	ROLL CENTRE HEIGHT TO BODY (mm)	ROLL CENTRE HEIGHT TO GRND (mm)	HALF TRACK CHANGE (mm)	WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)
-100.00	-1.33	-3.85	114.55	214.55	-19.42	0.75	72.89
72.89							
-80.00	-1.19	-3.45	112.77	192.77	-14.44	0.54	58.39
58.39							
-60.00	-1.05	-3.06	111.07	171.07	-10.02	0.37	43.85
43.85							
-40.00	-0.92	-2.69	109.44	149.44	-6.15	0.22	29.29
29.29							
-20.00	-0.80	-2.32	107.88	127.88	-2.81	0.10	14.67
14.67							
0.00	-0.67	-1.96	106.39	106.39	0.00	0.00	0.00
0.00							
20.00	-0.55	-1.59	104.96	84.96	2.29	-0.08	-14.74
-14.74							
40.00	-0.42	-1.22	103.59	63.59	4.06	-0.14	-29.54
-29.54							
60.00	-0.28	-0.83	102.27	42.27	5.32	-0.18	-44.43
-44.43							
80.00	-0.14	-0.42	101.01	21.01	6.07	-0.21	-59.41
-59.41							
100.00	0.00	0.01	99.80	-0.20	6.32	-0.22	-74.49
-74.49							
120.00	0.16	0.48	98.65	-21.35	6.06	-0.21	-89.67
-89.67							
140.00	0.34	0.98	97.55	-42.45	5.30	-0.18	-104.96
-104.96							
160.00	0.53	1.54	96.50	-63.50	4.04	-0.14	-120.37
-120.37							
180.00	0.74	2.15	95.50	-84.50	2.27	-0.08	-135.92
-135.92							
200.00	0.97	2.83	94.57	-105.43	0.00	0.00	-151.59
-151.59							
220.00	1.24	3.61	93.69	-126.31	-2.78	0.10	-167.41
-167.41							
240.00	1.54	4.49	92.88	-147.12	-6.07	0.22	-183.39
-183.39							
260.00	1.89	5.50	92.14	-167.86	-9.88	0.36	-199.52
-199.52							
280.00	2.29	6.67	91.47	-188.53	-14.21	0.52	-215.82
-215.82							
300.00	2.76	8.03	90.89	-209.11	-19.07	0.71	-232.29
-232.29							
320.00	3.32	9.64	90.40	-229.60	-24.47	0.93	-248.95
-248.95							

30/07/19

18:23:38

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

FRONT SUSPENSION - ROLL
 RHS WHEEL (+ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

ROLL ANGLE (deg)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-8.00	5.4580	5.9212	5.4053	-5.5819	2.100	2.100
-7.50	5.1176	5.5504	5.4363	-5.2102	2.104	2.104
-7.00	4.7773	5.1799	5.4651	-4.8381	2.108	2.108
-6.50	4.4372	4.8097	5.4917	-4.4654	2.113	2.113
-6.00	4.0972	4.4396	5.5162	-4.0923	2.117	2.117
-5.50	3.7571	4.0697	5.5385	-3.7186	2.121	2.121
-5.00	3.4171	3.6999	5.5587	-3.3445	2.126	2.126
-4.50	3.0769	3.3302	5.5766	-2.9697	2.130	2.130
-4.00	2.7365	2.9605	5.5925	-2.5944	2.135	2.135
-3.50	2.3959	2.5909	5.6061	-2.2185	2.139	2.139
-3.00	2.0551	2.2212	5.6176	-1.8420	2.144	2.144
-2.50	1.7138	1.8514	5.6269	-1.4648	2.149	2.149
-2.00	1.3722	1.4815	5.6340	-1.0870	2.154	2.154
-1.50	1.0300	1.1115	5.6389	-0.7086	2.159	2.159
-1.00	0.6873	0.7412	5.6416	-0.3294	2.164	2.164
-0.50	0.3440	0.3708	5.6421	0.0505	2.169	2.169
0.00	0.0000	0.0000	5.6404	4402029514440202951431	2.174	2.174
0.50	-0.3448	-0.3711	5.6364	0.8125	2.180	2.180
1.00	-0.6904	-0.7425	5.6302	1.1947	2.185	2.185
1.50	-1.0370	-1.1144	5.6217	1.5778	2.191	2.191
2.00	-1.3845	-1.4868	5.6109	1.9617	2.197	2.197
2.50	-1.7331	-1.8596	5.5978	2.3465	2.203	2.203
3.00	-2.0829	-2.2330	5.5824	2.7323	2.209	2.209
3.50	-2.4340	-2.6071	5.5646	3.1190	2.215	2.215
4.00	-2.7863	-2.9818	5.5444	3.5068	2.221	2.221
4.50	-3.1401	-3.3572	5.5218	3.8956	2.227	2.227
5.00	-3.4955	-3.7334	5.4968	4.2855	2.234	2.234
5.50	-3.8524	-4.1104	5.4693	4.6766	2.240	2.240
6.00	-4.2111	-4.4883	5.4393	5.0688	2.247	2.247
6.50	-4.5716	-4.8672	5.4068	5.4623	2.254	2.254
7.00	-4.9340	-5.2471	5.3717	5.8571	2.261	2.261
7.50	-5.2985	-5.6280	5.3340	6.2533	2.268	2.268

8.00 -5.6652 -6.0102 5.2936 6.6509 2.275 2.275

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

ROLL ANGLE (deg)	ROLL CENTRE POSITION (mm)			HALF TRACK CHANGE (mm)	WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)	SPRING TRAVEL (mm)
	X	Y	Z				
	(+ve Y to outer wheel: Z r1 to Grnd) (mm)						
-8.00	4.08	-322.57	173.79	-278.03	65.64	-30.86	-30.86
-7.50	4.08	-302.76	171.86	-260.36	62.41	-29.27	-29.27
-7.00	4.08	-282.89	170.05	-242.73	59.07	-27.63	-27.63
-6.50	4.08	-262.96	168.36	-225.13	55.60	-25.95	-25.95
-6.00	4.08	-242.98	166.81	-207.57	52.02	-24.22	-24.22
-5.50	4.08	-222.94	165.38	-190.04	48.32	-22.44	-22.44
-5.00	4.08	-202.85	164.07	-172.55	44.50	-20.62	-20.62
-4.50	4.08	-182.71	162.90	-155.10	40.57	-18.75	-18.75
-4.00	4.08	-162.53	161.84	-137.69	36.52	-16.84	-16.84
-3.50	4.08	-142.30	160.91	-120.32	32.35	-14.88	-14.88
-3.00	4.08	-122.04	160.11	-102.99	28.07	-12.89	-12.89
-2.50	4.08	-101.75	159.43	-85.71	23.68	-10.84	-10.84
-2.00	4.08	-81.44	158.87	-68.47	19.17	-8.76	-8.76
-1.50	4.08	-61.10	158.44	-51.28	14.54	-6.63	-6.63
-1.00	4.08	-40.74	158.13	-34.13	9.81	-4.46	-4.46
-0.50	4.08	-20.37	157.94	-17.04	4.96	-2.25	-2.25
0.00	4.08	0.00	3033.77	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	4.08	20.37	157.94	16.99	-5.07	2.29	2.29
1.00	4.08	40.74	158.13	33.92	-10.25	4.63	4.63
1.50	4.08	61.10	158.44	50.80	-15.54	7.00	7.00
2.00	4.08	81.44	158.87	67.62	-20.94	9.41	9.41
2.50	4.08	101.75	159.43	84.38	-26.45	11.86	11.86
3.00	4.08	122.04	160.11	101.08	-32.07	14.35	14.35
3.50	4.08	142.30	160.91	117.72	-37.79	16.88	16.88
4.00	4.08	162.53	161.84	134.29	-43.62	19.44	19.44
4.50	4.08	182.71	162.90	150.79	-49.55	22.04	22.04
5.00	4.08	202.85	164.07	167.23	-55.58	24.68	24.68
5.50	4.08	222.94	165.38	183.59	-61.72	27.35	27.35
6.00	4.08	242.98	166.81	199.88	-67.96	30.06	30.06
6.50	4.08	262.96	168.36	216.10	-74.30	32.80	32.80
7.00	4.08	282.89	170.05	232.24	-80.74	35.57	35.57
7.50	4.08	302.76	171.86	248.30	-87.27	38.38	38.38
8.00	4.08	322.57	173.79	264.29	-93.91	41.23	41.23

30/07/19

18:23:38

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

FRONT SUSPENSION - ROLL

LHS WHEEL (-ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

ROLL ANGLE (deg)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-8.00	-5.6652	-6.0102	5.2936	6.6509	2.275	2.275
-7.50	-5.2985	-5.6280	5.3340	6.2533	2.268	2.268
-7.00	-4.9340	-5.2471	5.3717	5.8571	2.261	2.261
-6.50	-4.5716	-4.8672	5.4068	5.4623	2.254	2.254
-6.00	-4.2111	-4.4883	5.4393	5.0688	2.247	2.247
-5.50	-3.8524	-4.1104	5.4693	4.6766	2.240	2.240
-5.00	-3.4955	-3.7334	5.4968	4.2855	2.234	2.234
-4.50	-3.1401	-3.3572	5.5218	3.8956	2.227	2.227
-4.00	-2.7863	-2.9818	5.5444	3.5068	2.221	2.221
-3.50	-2.4340	-2.6071	5.5646	3.1190	2.215	2.215
-3.00	-2.0829	-2.2330	5.5824	2.7323	2.209	2.209
-2.50	-1.7331	-1.8596	5.5978	2.3465	2.203	2.203
-2.00	-1.3845	-1.4868	5.6109	1.9617	2.197	2.197
-1.50	-1.0370	-1.1144	5.6217	1.5778	2.191	2.191
-1.00	-0.6904	-0.7425	5.6302	1.1947	2.185	2.185
-0.50	-0.3448	-0.3711	5.6364	0.8125	2.180	2.180
0.00	0.0000	0.0000	5.6404	4402029514440202951431	0.000	0.000
0.50	0.3440	0.3708	5.6421	0.0505	2.169	2.169
1.00	0.6873	0.7412	5.6416	-0.3294	2.164	2.164
1.50	1.0300	1.1115	5.6389	-0.7086	2.159	2.159
2.00	1.3722	1.4815	5.6340	-1.0870	2.154	2.154
2.50	1.7138	1.8514	5.6269	-1.4648	2.149	2.149
3.00	2.0551	2.2212	5.6176	-1.8420	2.144	2.144
3.50	2.3959	2.5909	5.6061	-2.2185	2.139	2.139
4.00	2.7365	2.9605	5.5925	-2.5944	2.135	2.135
4.50	3.0769	3.3302	5.5766	-2.9697	2.130	2.130
5.00	3.4171	3.6999	5.5587	-3.3445	2.126	2.126
5.50	3.7571	4.0697	5.5385	-3.7186	2.121	2.121
6.00	4.0972	4.4396	5.5162	-4.0923	2.117	2.117
6.50	4.4372	4.8097	5.4917	-4.4654	2.113	2.113
7.00	4.7773	5.1799	5.4651	-4.8381	2.108	2.108
7.50	5.1176	5.5504	5.4363	-5.2102	2.104	2.104
8.00	5.4580	5.9212	5.4053	-5.5819	2.100	2.100

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

ROLL ANGLE (deg)	ROLL CENTRE POSITION X Y Z (mm) (mm) (mm)			HALF WHEELBASE TRACK CHANGE (mm)	WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)	SPRING TRAVEL (mm)
	(+ve Y to outer wheel: Z r1 to Grnd) (mm)						
-8.00	4.08	-322.57	173.79	264.29	-93.91	41.23	41.23

-7.50	4.08	-302.76	171.86	248.30	-87.27	38.38	38.38
-7.00	4.08	-282.89	170.05	232.24	-80.74	35.57	35.57
-6.50	4.08	-262.96	168.36	216.10	-74.30	32.80	32.80
-6.00	4.08	-242.98	166.81	199.88	-67.96	30.06	30.06
-5.50	4.08	-222.94	165.38	183.59	-61.72	27.35	27.35
-5.00	4.08	-202.85	164.07	167.23	-55.58	24.68	24.68
-4.50	4.08	-182.71	162.90	150.79	-49.55	22.04	22.04
-4.00	4.08	-162.53	161.84	134.29	-43.62	19.44	19.44
-3.50	4.08	-142.30	160.91	117.72	-37.79	16.88	16.88
-3.00	4.08	-122.04	160.11	101.08	-32.07	14.35	14.35
-2.50	4.08	-101.75	159.43	84.38	-26.45	11.86	11.86
-2.00	4.08	-81.44	158.87	67.62	-20.94	9.41	9.41
-1.50	4.08	-61.10	158.44	50.80	-15.54	7.00	7.00
-1.00	4.08	-40.74	158.13	33.92	-10.25	4.63	4.63
-0.50	4.08	-20.37	157.94	16.99	-5.07	2.29	2.29
0.00	4.08	0.00	3033.77	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	4.08	20.37	157.94	-17.04	4.96	-2.25	-2.25
1.00	4.08	40.74	158.13	-34.13	9.81	-4.46	-4.46
1.50	4.08	61.10	158.44	-51.28	14.54	-6.63	-6.63
2.00	4.08	81.44	158.87	-68.47	19.17	-8.76	-8.76
2.50	4.08	101.75	159.43	-85.71	23.68	-10.84	-10.84
3.00	4.08	122.04	160.11	-102.99	28.07	-12.89	-12.89
3.50	4.08	142.30	160.91	-120.32	32.35	-14.88	-14.88
4.00	4.08	162.53	161.84	-137.69	36.52	-16.84	-16.84
4.50	4.08	182.71	162.90	-155.10	40.57	-18.75	-18.75
5.00	4.08	202.85	164.07	-172.55	44.50	-20.62	-20.62
5.50	4.08	222.94	165.38	-190.04	48.32	-22.44	-22.44
6.00	4.08	242.98	166.81	-207.57	52.02	-24.22	-24.22
6.50	4.08	262.96	168.36	-225.13	55.60	-25.95	-25.95
7.00	4.08	282.89	170.05	-242.73	59.07	-27.63	-27.63
7.50	4.08	302.76	171.86	-260.36	62.41	-29.27	-29.27
8.00	4.08	322.57	173.79	-278.03	65.64	-30.86	-30.86

30/07/19

18:23:38

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

REAR SUSPENSION - ROLL
 RHS WHEEL (+ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

ROLL ANGLE (deg)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
------------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------------	------------------------	------------------------

-8.00	5.6012	6.0358	-7.4789	-2.7970	1.322	1.322
-7.50	5.2550	5.6618	-7.4599	-2.5029	1.324	1.324
-7.00	4.9084	5.2875	-7.4428	-2.2079	1.327	1.327
-6.50	4.5615	4.9129	-7.4278	-1.9122	1.329	1.329
-6.00	4.2141	4.5380	-7.4149	-1.6157	1.331	1.331
-5.50	3.8662	4.1626	-7.4041	-1.3184	1.334	1.334
-5.00	3.5179	3.7869	-7.3953	-1.0204	1.336	1.336
-4.50	3.1690	3.4107	-7.3887	-0.7215	1.338	1.338
-4.00	2.8196	3.0340	-7.3842	-0.4219	1.341	1.341
-3.50	2.4696	2.6568	-7.3819	-0.1215	1.343	1.343
-3.00	2.1189	2.2792	-7.3817	0.1796	1.346	1.346
-2.50	1.7676	1.9009	-7.3836	0.4814	1.348	1.348
-2.00	1.4156	1.5220	-7.3878	0.7840	1.350	1.350
-1.50	1.0629	1.1426	-7.3942	1.0874	1.353	1.353
-1.00	0.7094	0.7624	-7.4027	1.3914	1.355	1.355
-0.50	0.3551	0.3816	-7.4136	1.6962	1.358	1.358
0.00	0.0000	0.0000	-7.4267	2.0017	1.360	1.360
0.50	-0.3560	-0.3823	-7.4420	2.3079	1.363	1.363
1.00	-0.7129	-0.7655	-7.4597	2.6147	1.365	1.365
1.50	-1.0708	-1.1494	-7.4796	2.9223	1.368	1.368
2.00	-1.4297	-1.5343	-7.5019	3.2306	1.370	1.370
2.50	-1.7896	-1.9200	-7.5265	3.5395	1.373	1.373
3.00	-2.1506	-2.3068	-7.5535	3.8492	1.376	1.376
3.50	-2.5128	-2.6945	-7.5829	4.1594	1.378	1.378
4.00	-2.8761	-3.0832	-7.6147	4.4704	1.381	1.381
4.50	-3.2406	-3.4730	-7.6490	4.7820	1.383	1.383
5.00	-3.6063	-3.8639	-7.6856	5.0942	1.386	1.386
5.50	-3.9734	-4.2559	-7.7248	5.4071	1.389	1.389
6.00	-4.3418	-4.6492	-7.7665	5.7207	1.391	1.391
6.50	-4.7116	-5.0437	-7.8106	6.0348	1.394	1.394
7.00	-5.0828	-5.4395	-7.8574	6.3496	1.396	1.396
7.50	-5.4555	-5.8366	-7.9067	6.6650	1.399	1.399
8.00	-5.8298	-6.2351	-7.9585	6.9810	1.402	1.402

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

ROLL ANGLE (deg)	ROLL CENTRE POSITION			HALF WHEELBASE TRACK CHANGE (mm)	WHEELBASE CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)	SPRING TRAVEL (mm)
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)				
-8.00	2704.08	-45.51	106.54	-4.52	-84.28	-58.85	-58.85
-7.50	2704.08	-42.64	106.52	-3.99	-79.13	-55.13	-55.13
-7.00	2704.08	-39.78	106.50	-3.48	-73.96	-51.42	-51.42
-6.50	2704.08	-36.92	106.48	-3.01	-68.78	-47.72	-47.72
-6.00	2704.08	-34.07	106.47	-2.57	-63.58	-44.02	-44.02
-5.50	2704.08	-31.22	106.45	-2.17	-58.36	-40.32	-40.32
-5.00	2704.08	-28.37	106.44	-1.80	-53.13	-36.63	-36.63
-4.50	2704.08	-25.53	106.43	-1.46	-47.88	-32.94	-32.94
-4.00	2704.08	-22.68	106.42	-1.16	-42.62	-29.26	-29.26
-3.50	2704.08	-19.84	106.42	-0.89	-37.34	-25.58	-25.58
-3.00	2704.08	-17.00	106.41	-0.65	-32.04	-21.91	-21.91
-2.50	2704.08	-14.17	106.40	-0.46	-26.74	-18.24	-18.24

-2.00	2704.08	-11.33	106.40	-0.29	-21.42	-14.58	-14.58
-1.50	2704.08	-8.50	106.40	-0.16	-16.08	-10.93	-10.93
-1.00	2704.08	-5.67	106.39	-0.07	-10.73	-7.28	-7.28
-0.50	2704.08	-2.83	106.39	-0.02	-5.37	-3.64	-3.64
0.00	2704.08	0.00	106.39	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	2704.08	2.83	106.39	-0.02	5.39	3.63	3.63
1.00	2704.08	5.67	106.39	-0.07	10.78	7.25	7.25
1.50	2704.08	8.50	106.40	-0.17	16.19	10.87	10.87
2.00	2704.08	11.33	106.40	-0.30	21.61	14.47	14.47
2.50	2704.08	14.17	106.40	-0.46	27.04	18.07	18.07
3.00	2704.08	17.00	106.41	-0.67	32.48	21.67	21.67
3.50	2704.08	19.84	106.42	-0.91	37.93	25.25	25.25
4.00	2704.08	22.68	106.42	-1.20	43.39	28.83	28.83
4.50	2704.08	25.53	106.43	-1.52	48.86	32.40	32.40
5.00	2704.08	28.37	106.44	-1.88	54.34	35.96	35.96
5.50	2704.08	31.22	106.45	-2.28	59.83	39.51	39.51
6.00	2704.08	34.07	106.47	-2.72	65.33	43.06	43.06
6.50	2704.08	36.92	106.48	-3.20	70.83	46.59	46.59
7.00	2704.08	39.78	106.50	-3.72	76.34	50.12	50.12
7.50	2704.08	42.64	106.52	-4.28	81.86	53.64	53.64
8.00	2704.08	45.51	106.54	-4.88	87.39	57.15	57.15

30/07/19

18:23:38

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

REAR SUSPENSION - ROLL
LHS WHEEL (-ve Y)

TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

ROLL ANGLE (deg)	CAMBER ANGLE (deg)	TOE ANGLE (deg)	CASTOR ANGLE (deg)	KINGPIN ANGLE (deg)	DAMPER RATIO [-]	SPRING RATIO [-]
-8.00	-5.8298	-6.2351	-7.9585	6.9810	1.402	1.402
-7.50	-5.4555	-5.8366	-7.9067	6.6650	1.399	1.399
-7.00	-5.0828	-5.4395	-7.8574	6.3496	1.396	1.396
-6.50	-4.7116	-5.0437	-7.8106	6.0348	1.394	1.394
-6.00	-4.3418	-4.6492	-7.7665	5.7207	1.391	1.391
-5.50	-3.9734	-4.2559	-7.7248	5.4071	1.389	1.389
-5.00	-3.6063	-3.8639	-7.6856	5.0942	1.386	1.386
-4.50	-3.2406	-3.4730	-7.6490	4.7820	1.383	1.383
-4.00	-2.8761	-3.0832	-7.6147	4.4704	1.381	1.381
-3.50	-2.5128	-2.6945	-7.5829	4.1594	1.378	1.378
-3.00	-2.1506	-2.3068	-7.5535	3.8492	1.376	1.376

-2.50	-1.7896	-1.9200	-7.5265	3.5395	1.373	1.373
-2.00	-1.4297	-1.5343	-7.5019	3.2306	1.370	1.370
-1.50	-1.0708	-1.1494	-7.4796	2.9223	1.368	1.368
-1.00	-0.7129	-0.7655	-7.4597	2.6147	1.365	1.365
-0.50	-0.3560	-0.3823	-7.4420	2.3079	1.363	1.363
0.00	0.0000	0.0000	-7.4267	2.0017	1.360	1.360
0.50	0.3551	0.3816	-7.4136	1.6962	1.358	1.358
1.00	0.7094	0.7624	-7.4027	1.3914	1.355	1.355
1.50	1.0629	1.1426	-7.3942	1.0874	1.353	1.353
2.00	1.4156	1.5220	-7.3878	0.7840	1.350	1.350
2.50	1.7676	1.9009	-7.3836	0.4814	1.348	1.348
3.00	2.1189	2.2792	-7.3817	0.1796	1.346	1.346
3.50	2.4696	2.6568	-7.3819	-0.1215	1.343	1.343
4.00	2.8196	3.0340	-7.3842	-0.4219	1.341	1.341
4.50	3.1690	3.4107	-7.3887	-0.7215	1.338	1.338
5.00	3.5179	3.7869	-7.3953	-1.0204	1.336	1.336
5.50	3.8662	4.1626	-7.4041	-1.3184	1.334	1.334
6.00	4.2141	4.5380	-7.4149	-1.6157	1.331	1.331
6.50	4.5615	4.9129	-7.4278	-1.9122	1.329	1.329
7.00	4.9084	5.2875	-7.4428	-2.2079	1.327	1.327
7.50	5.2550	5.6618	-7.4599	-2.5029	1.324	1.324
8.00	5.6012	6.0358	-7.4789	-2.7970	1.322	1.322

INCREMENTAL SUSPENSION PARAMETER VALUES

ROLL ANGLE (deg)	ROLL CENTRE POSITION			HALF WHEELBASE TRACK CHANGE (mm)	DAMPER TRAVEL (mm)	SPRING TRAVEL (mm)	
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)				
	(+ve Y to outer wheel: Z r1 to Grnd)						
-8.00	2704.08	-45.51	106.54	-4.88	87.39	57.15	57.15
-7.50	2704.08	-42.64	106.52	-4.28	81.86	53.64	53.64
-7.00	2704.08	-39.78	106.50	-3.72	76.34	50.12	50.12
-6.50	2704.08	-36.92	106.48	-3.20	70.83	46.59	46.59
-6.00	2704.08	-34.07	106.47	-2.72	65.33	43.06	43.06
-5.50	2704.08	-31.22	106.45	-2.28	59.83	39.51	39.51
-5.00	2704.08	-28.37	106.44	-1.88	54.34	35.96	35.96
-4.50	2704.08	-25.53	106.43	-1.52	48.86	32.40	32.40
-4.00	2704.08	-22.68	106.42	-1.20	43.39	28.83	28.83
-3.50	2704.08	-19.84	106.42	-0.91	37.93	25.25	25.25
-3.00	2704.08	-17.00	106.41	-0.67	32.48	21.67	21.67
-2.50	2704.08	-14.17	106.40	-0.46	27.04	18.07	18.07
-2.00	2704.08	-11.33	106.40	-0.30	21.61	14.47	14.47
-1.50	2704.08	-8.50	106.40	-0.17	16.19	10.87	10.87
-1.00	2704.08	-5.67	106.39	-0.07	10.78	7.25	7.25
-0.50	2704.08	-2.83	106.39	-0.02	5.39	3.63	3.63
0.00	2704.08	0.00	106.39	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	2704.08	2.83	106.39	-0.02	-5.37	-3.64	-3.64
1.00	2704.08	5.67	106.39	-0.07	-10.73	-7.28	-7.28
1.50	2704.08	8.50	106.40	-0.16	-16.08	-10.93	-10.93
2.00	2704.08	11.33	106.40	-0.29	-21.42	-14.58	-14.58
2.50	2704.08	14.17	106.40	-0.46	-26.74	-18.24	-18.24
3.00	2704.08	17.00	106.41	-0.65	-32.04	-21.91	-21.91

3.50	2704.08	19.84	106.42	-0.89	-37.34	-25.58	-25.58
4.00	2704.08	22.68	106.42	-1.16	-42.62	-29.26	-29.26
4.50	2704.08	25.53	106.43	-1.46	-47.88	-32.94	-32.94
5.00	2704.08	28.37	106.44	-1.80	-53.13	-36.63	-36.63
5.50	2704.08	31.22	106.45	-2.17	-58.36	-40.32	-40.32
6.00	2704.08	34.07	106.47	-2.57	-63.58	-44.02	-44.02
6.50	2704.08	36.92	106.48	-3.01	-68.78	-47.72	-47.72
7.00	2704.08	39.78	106.50	-3.48	-73.96	-51.42	-51.42
7.50	2704.08	42.64	106.52	-3.99	-79.13	-55.13	-55.13
8.00	2704.08	45.51	106.54	-4.52	-84.28	-58.85	-58.85

30/07/19

18:23:38

LOTUS SUSPENSION ANALYSIS v4.03

FRONT SUSPENSION - STEERING TRAVEL

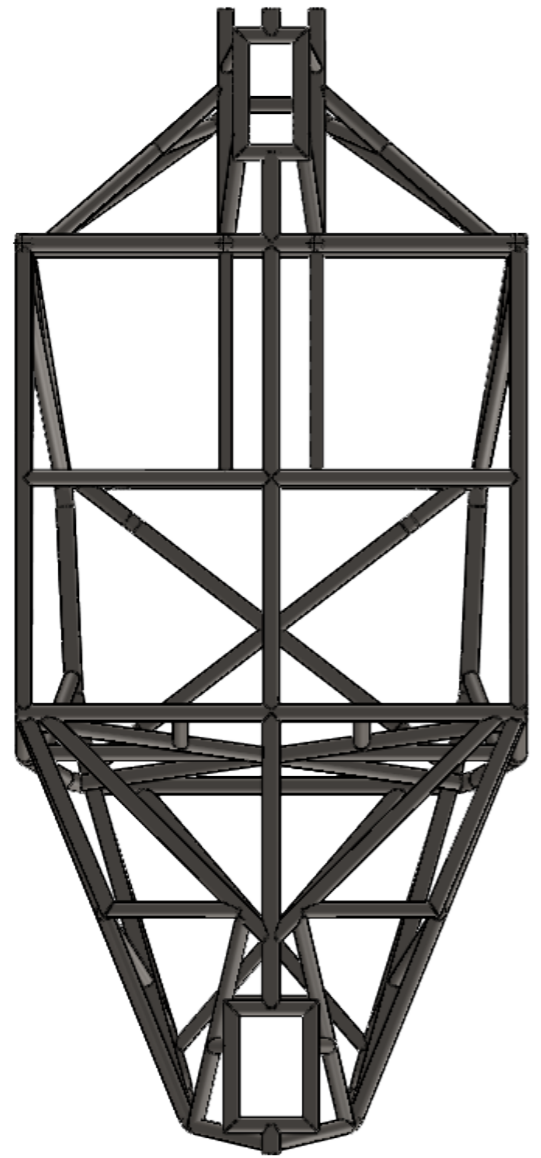
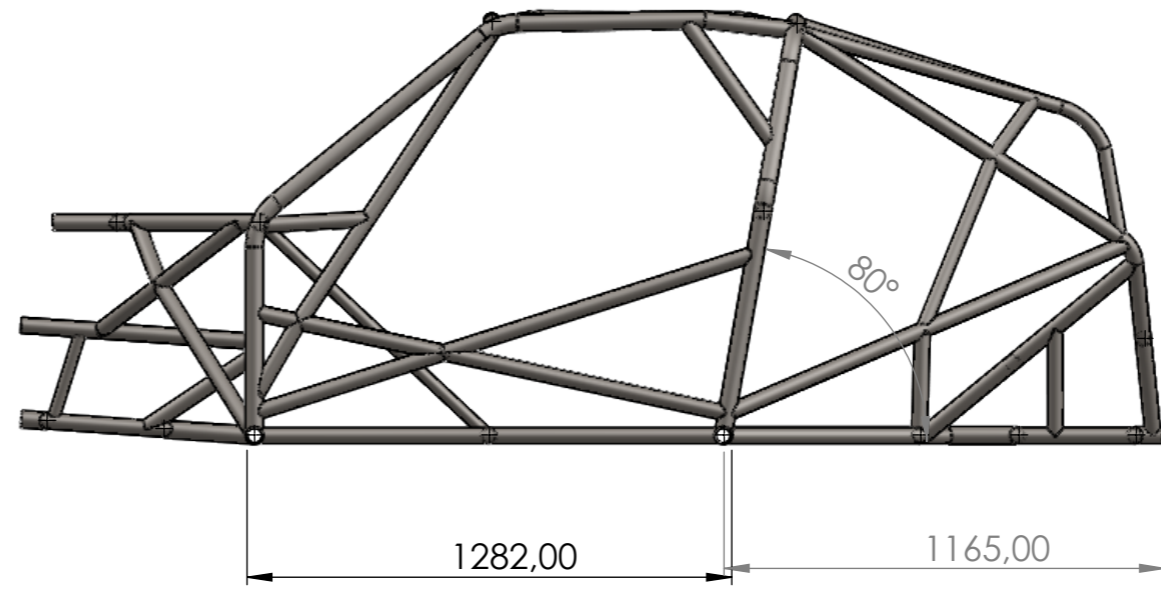
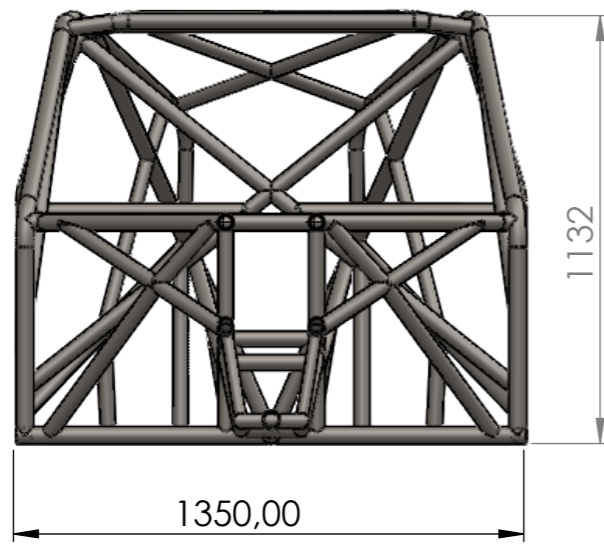
TYPE 6 Double Wishbone, damper to upper wishbone

INCREMENTAL GEOMETRY VALUES

RACK TRAVEL (mm)	TOE ANGLE RHS (deg)	TOE ANGLE LHS (deg)	CAMBER ANGLE RHS (deg)	CAMBER ANGLE LHS (deg)	ACKERMANN (%)	TURNING CIRCLE RADIUS (mm)
-50.00	28.58	-28.11	-3.03	3.08	-5.43	5005.84
-45.00	25.46	-25.11	-2.65	2.70	-4.97	5715.56
-40.00	22.43	-22.19	-2.30	2.34	-4.59	6580.60
-35.00	19.48	-19.31	-1.98	2.01	-4.28	7669.29
-30.00	16.59	-16.47	-1.67	1.69	-4.02	9095.04
-25.00	13.76	-13.68	-1.37	1.39	-3.82	11061.62
-20.00	10.96	-10.91	-1.09	1.10	-3.65	13976.12
-15.00	8.19	-8.17	-0.81	0.82	-3.53	18787.96
-10.00	5.45	-5.44	-0.54	0.54	-3.44	28344.88
-5.00	2.72	-2.72	-0.27	0.27	-3.39	56884.36
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.43	0.00
5.00	-2.72	2.72	0.27	-0.27	-3.39	56884.36
10.00	-5.44	5.45	0.54	-0.54	-3.44	28344.88
15.00	-8.17	8.19	0.82	-0.81	-3.53	18787.96
20.00	-10.91	10.96	1.10	-1.09	-3.65	13976.12
25.00	-13.68	13.76	1.39	-1.37	-3.82	11061.62
30.00	-16.47	16.59	1.69	-1.67	-4.02	9095.04
35.00	-19.31	19.48	2.01	-1.98	-4.28	7669.29
40.00	-22.19	22.43	2.34	-2.30	-4.59	6580.60
45.00	-25.11	25.46	2.70	-2.65	-4.97	5715.56
50.00	-28.11	28.58	3.08	-3.03	-5.43	5005.84

Desenhos 2D

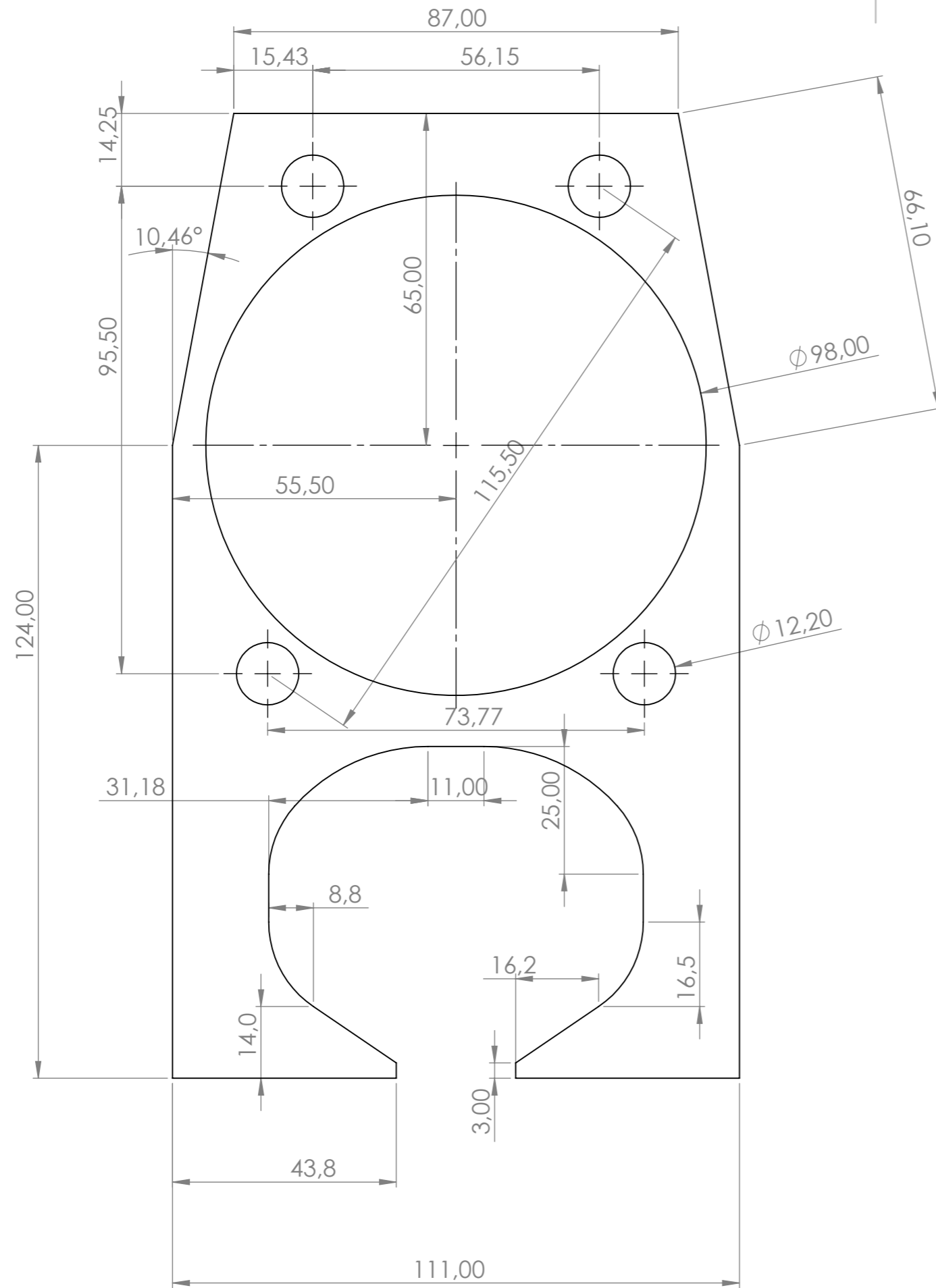
Nos desenhos 2D são apresentados dois desenhos diferentes. O primeiro representa a estrutura tubular nas diferentes vistas e o segundo o desenho de uma manga de eixo. De seguida é apresentado o desenho da referida estrutura tubular.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
									TITLE:	
DRAWN			NAME		SIGNATURE		DATE			
CHK'D										
APPV'D										
MFG										
Q.A							MATERIAL:		DWG NO.	
									ESTRUTURA TUBULAR ³	
							WEIGHT:		SCALE:1:20	
									SHEET 1 OF 1	

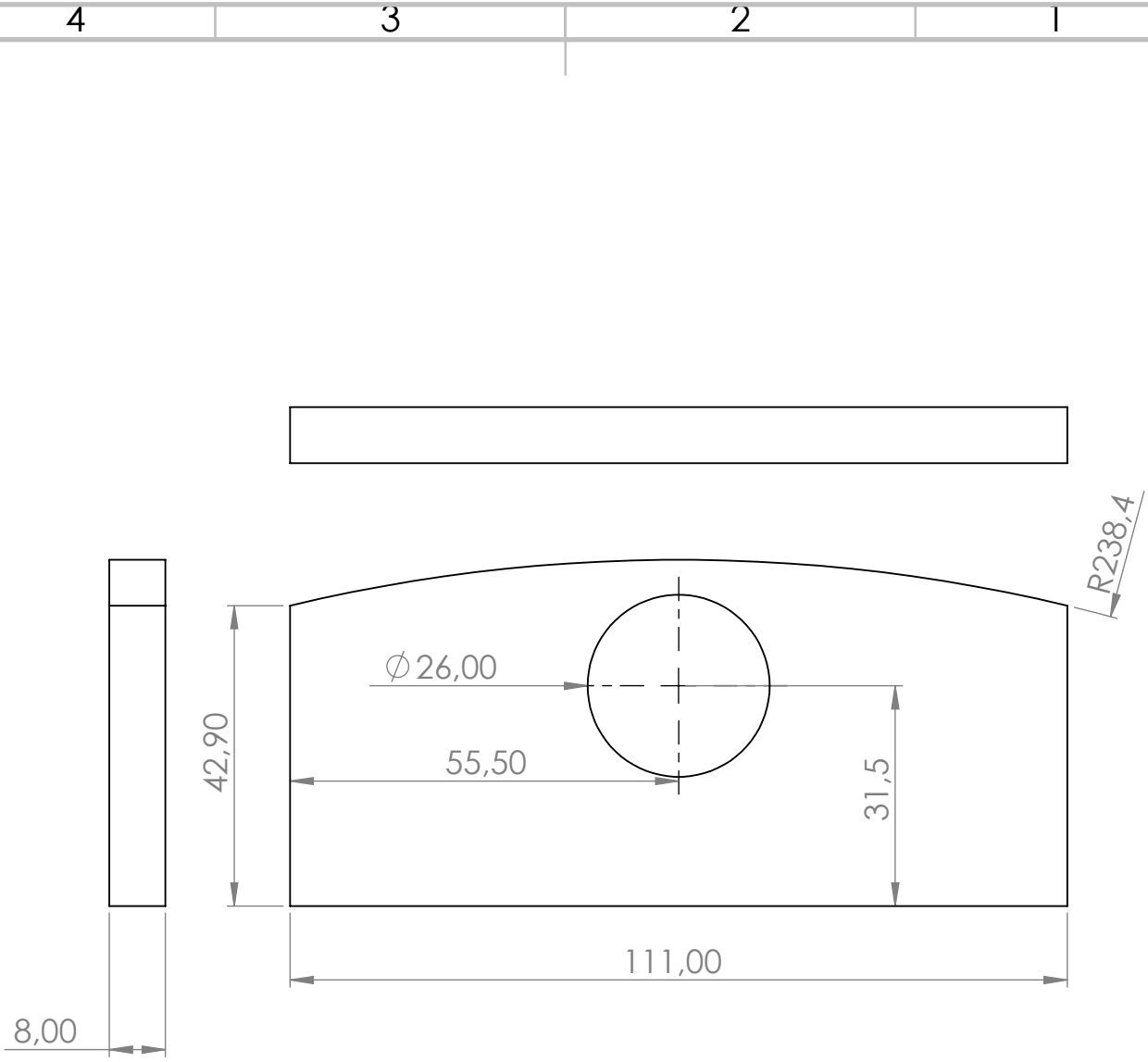
Desenhos 2D

Durante o estágio foi solicitado o desenho 3D de uma manga de eixo, e posteriormente os desenhos 2D da mesma, com vista a mandar produzir. De seguida são apresentados os desenhos das diferentes partes que constituem a mesma.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:										
TOLERANCES:										
LINEAR:										
ANGULAR:										
			NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:	
DRAWN										
CHK'D										
APPV'D										
MFG										
Q.A							MATERIAL:		DWG NO.	
									13	
							WEIGHT:		SCALE:1:1	
									SHEET 1 OF 1	

PARTE FRONTAL CORTADA



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

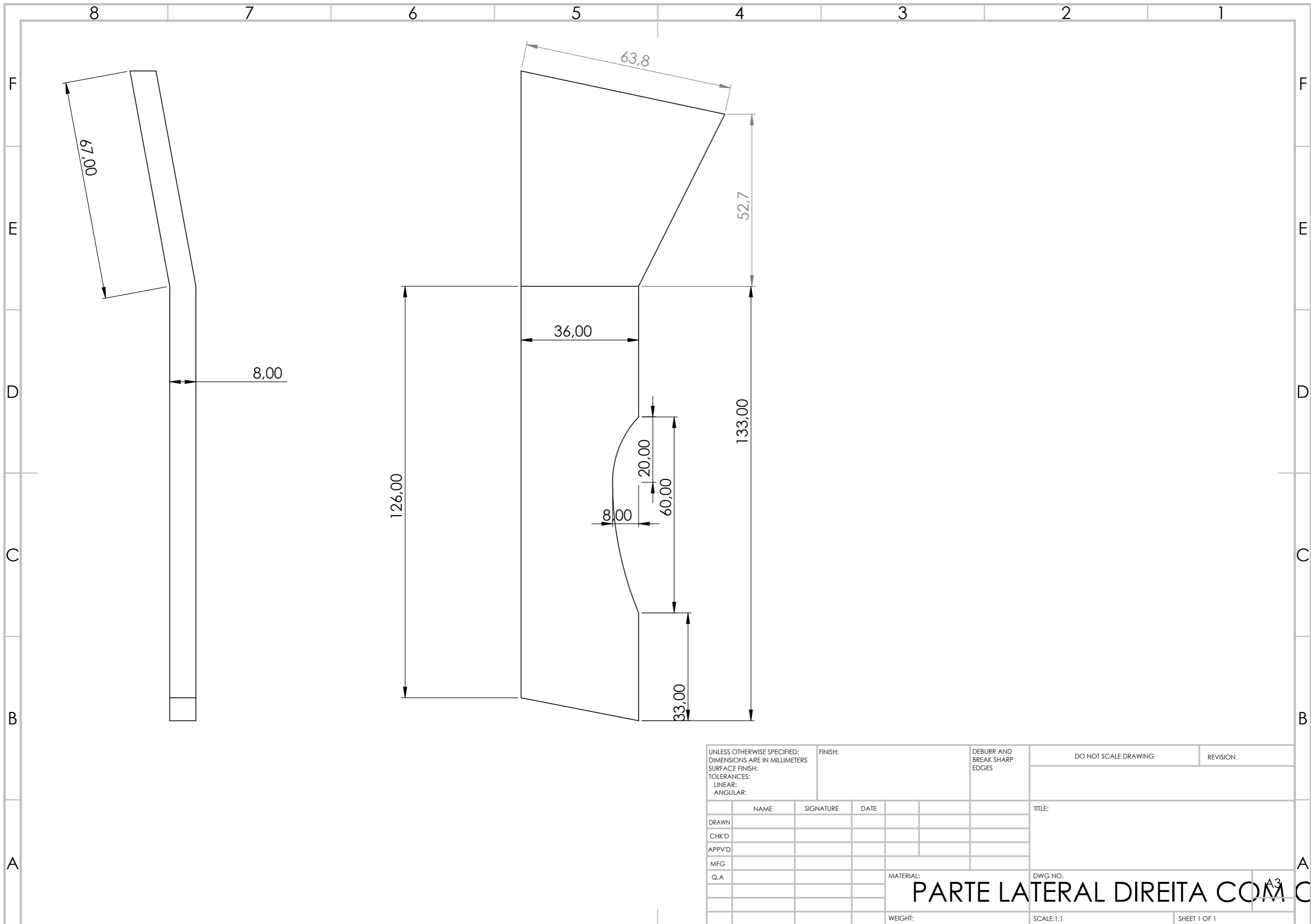
MATERIAL:

DWG NO.

SCALE:1:1

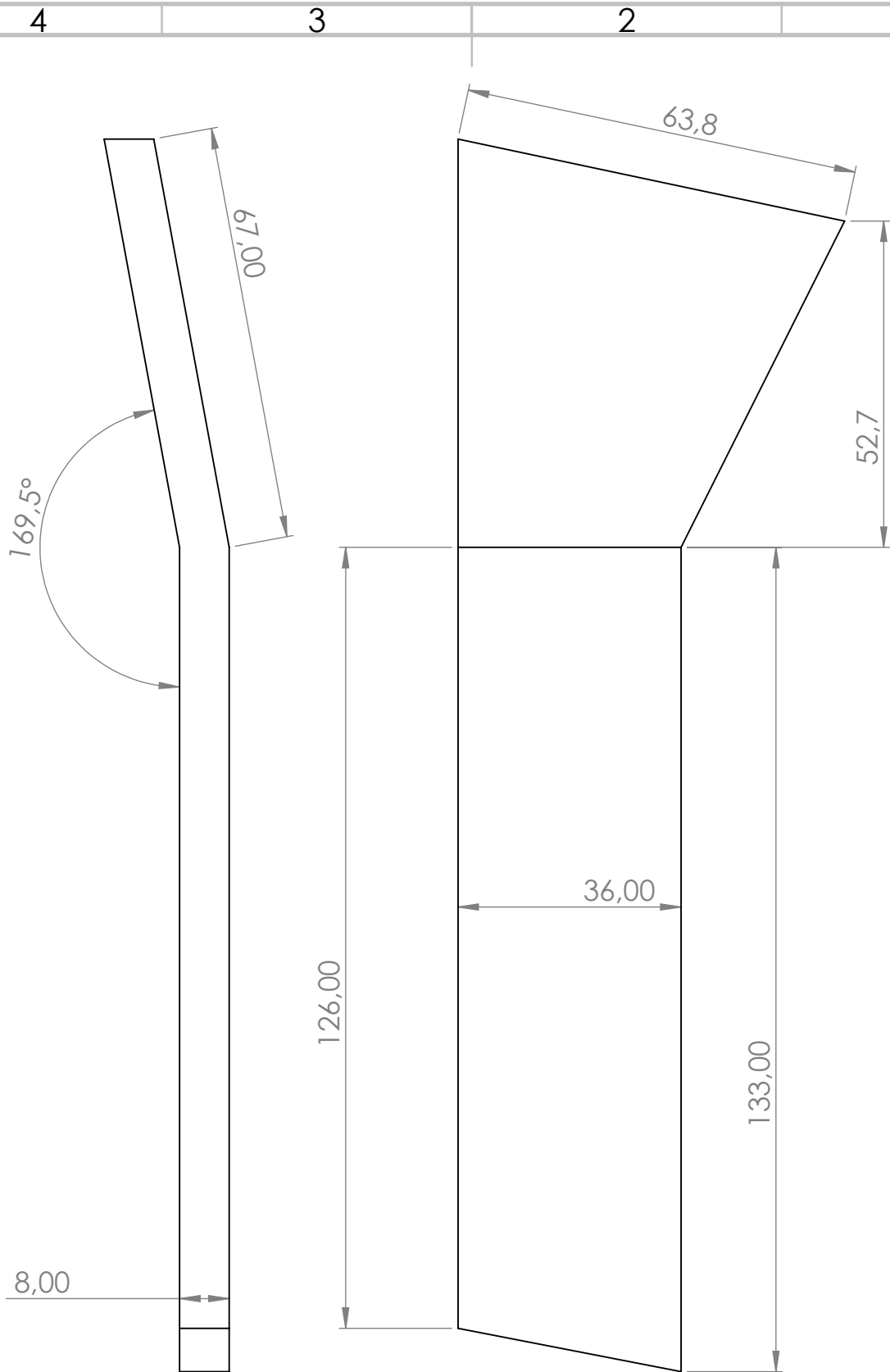
SHEET 1 OF 1

PARTE INFERIOR PARA CORTE



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
								TITLE:			
DRAWN				NAME		SIGNATURE		DATE			
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A								MATERIAL:		DWG NO.	
								WEIGHT:		SCALE:1:1	
										SHEET 1 OF 1	

PARTE LATERAL DIREITA COM CO



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

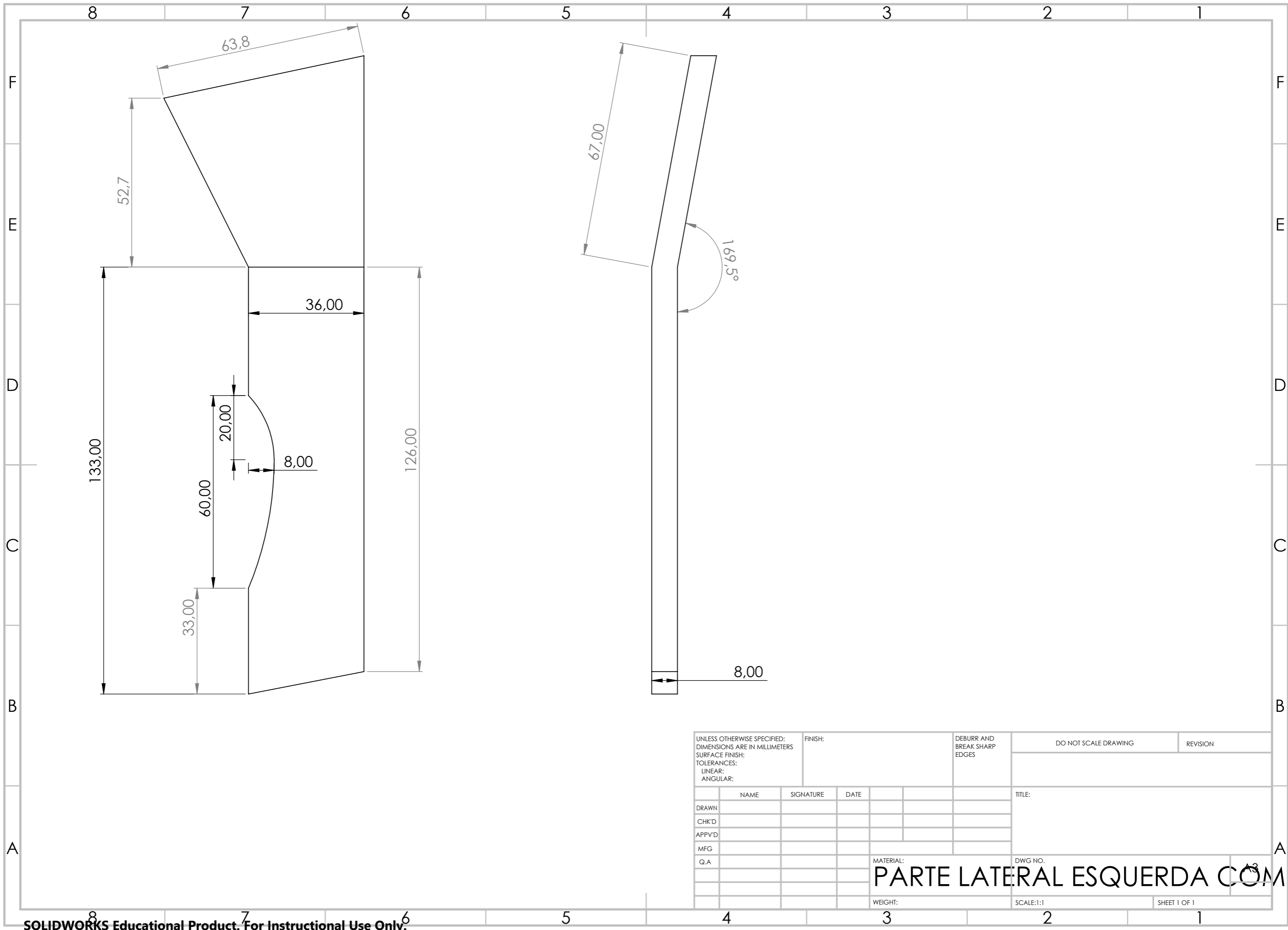
DWG NO.

PARTE LATERAL DIREITA

WEIGHT:

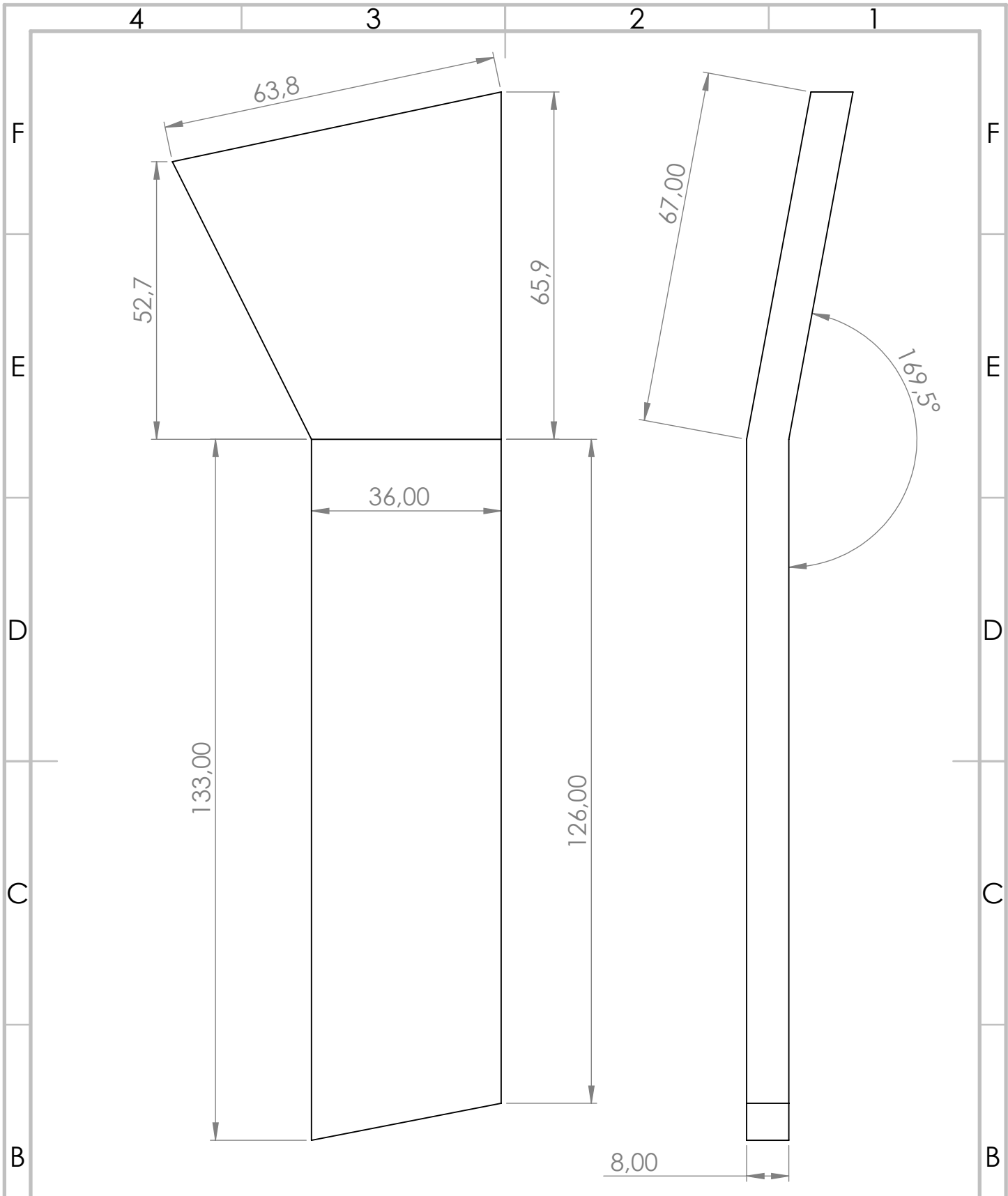
SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:											
TOLERANCES:											
LINEAR:											
ANGULAR:											
				NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:	
DRAWN											
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A											
				MATERIAL:		DWG NO.					
				WEIGHT:		SCALE:1:1				SHEET 1 OF 1	

PARTE LATERAL ESQUERDA COM C



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN				
CHK'D				
APPV'D				
MFG				
Q.A				

TITLE:

MATERIAL:

WEIGHT:

DWG NO.

SCALE: 1:1

SHEET 1 OF 1

PARTE LATERAL ESQUERDA

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

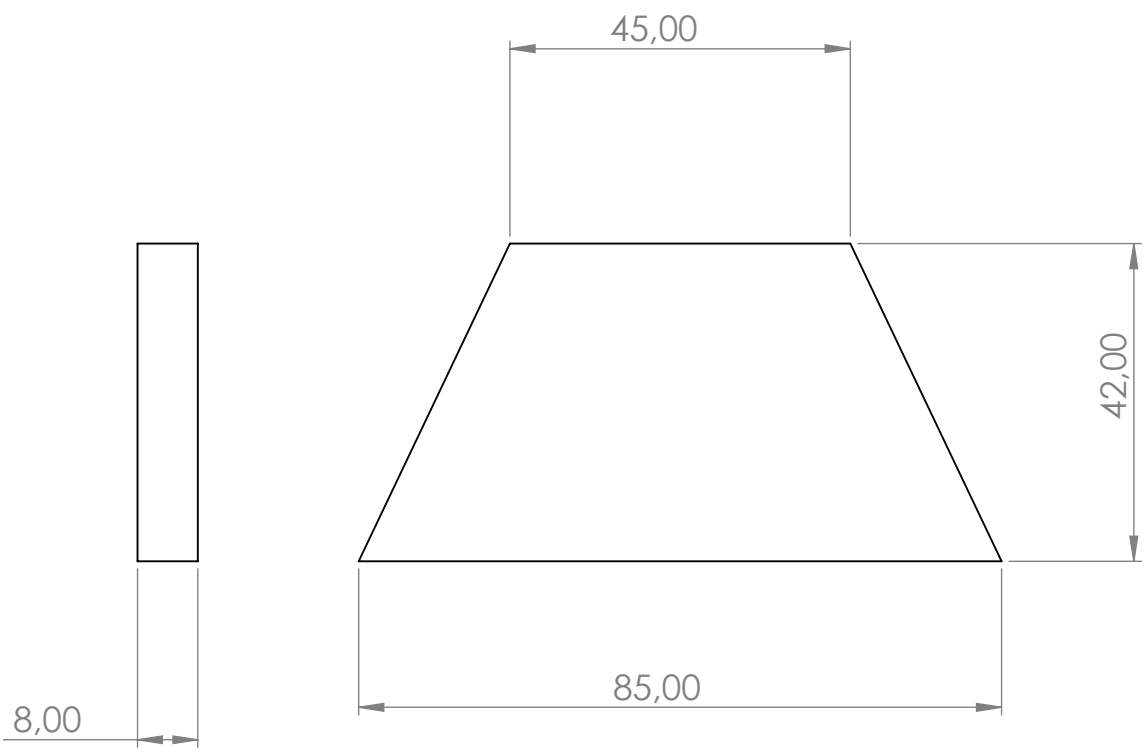
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO.

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

PARTE SUPERIOR FRONTAL

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

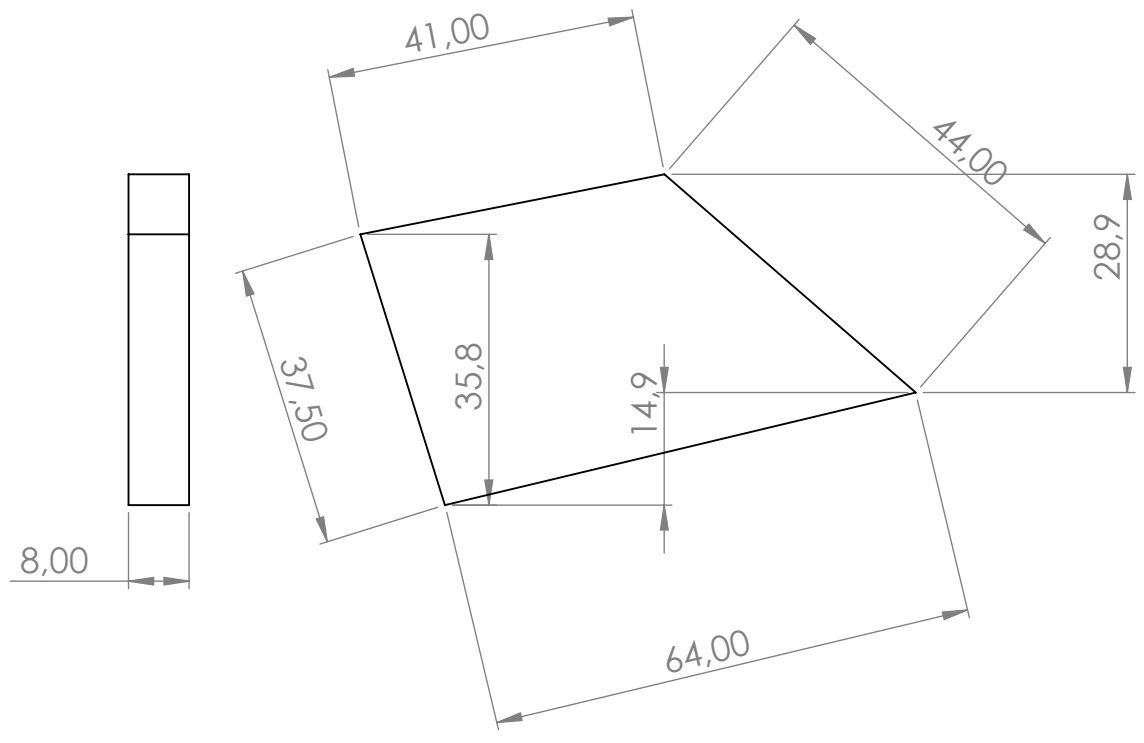
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO.

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

PARTE SUPERIOR LATERAL

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

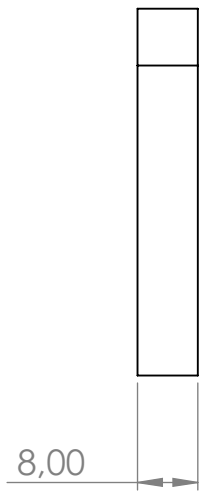
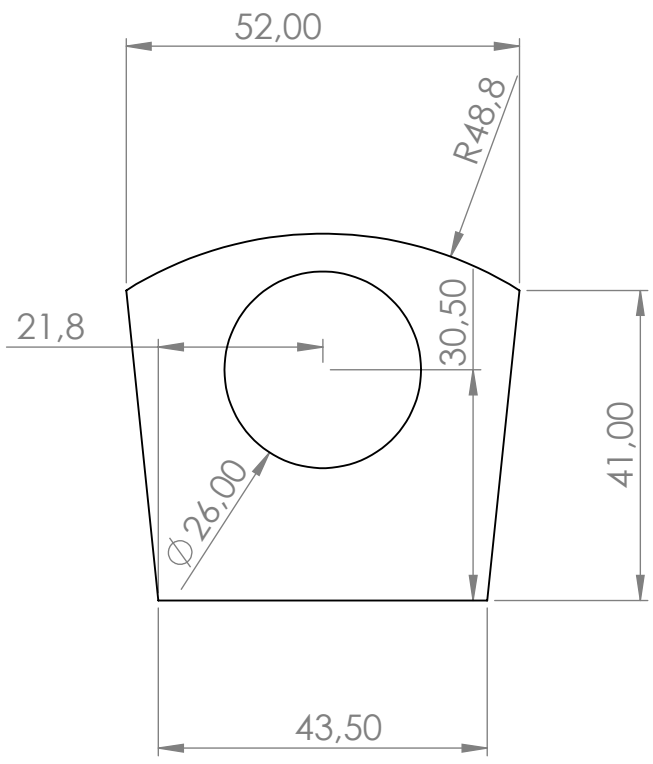
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO.

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

PEÇA SUPERIOR COM CORTE

4 3 2 1