



Ricardo Joaquim Araújo Botelho

Otimização das características de um chassis tubular de automóvel de competição com tração a duas rodas motrizes

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ricardo Joaquim Araújo Botelho

Otimização das características de um
chassis tubular de automóvel de competição
com tração a duas rodas motrizes

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor José Filipe Bizarro Meireles

Anexo 3

DECLARAÇÃO

Nome:

Ricardo Joaquim Araújo Botelho

Endereço electrónico: a56504@alunos.uminho.pt Telefone: 918579822 / _____

Número do Bilhete de Identidade: 13538817 1ZY1

Título dissertação /tese

Otimização das características de um chassis tubular de automóvel de competição com tração a duas rodas motrizes.

Orientador(es):

José Filipe Bizarro Meireles

_____ Ano de conclusão: 2015

Designação do Mestrado ou do Ramo de Conhecimento do Doutoramento:

Engenharia Mecânica

Nos exemplares das teses de doutoramento ou de mestrado ou de outros trabalhos entregues para prestação de provas públicas nas universidades ou outros estabelecimentos de ensino, e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e, pelo menos outro para a biblioteca da universidade respectiva, deve constar uma das seguintes declarações:

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;
2. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE/TRABALHO (indicar, caso tal seja necessário, n.º máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc), APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, , MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;
3. DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO

Universidade do Minho,

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Este estudo, pautado por uma panóplia de variáveis e imprevisibilidades, foi extremamente desafiante e motivador. Contribuiu para complementar e moldar/modelar as minhas aptidões e competências académicas e pessoais. Para este percurso de avanços e recuos, mas concluído com sucesso, muito concorreram as pessoas que me acompanharam e a quem agradeço. Assim:

- À Fantástica Pessoa que tive o privilégio de conhecer e ter como Orientador, o Professor Doutor José Filipe Bizarro Meireles, o meu profundo agradecimento e reconhecimento pelo saber partilhado, os ensinamentos e os constantes desafios, mas também as críticas estimulantes, a compreensão e a total disponibilidade com que sempre me apoiou, mesmo nos seus tempos de lazer.
- Ao Sr. Fernando Santos, proprietário da empresa DEpieres Desportos Motorizados™, o meu reconhecido agradecimento por acreditar no meu projeto, contribuindo para a sua concretização com todo o apoio logístico, disponibilidade incondicional, saber, discussões profícuas e constante motivação neste grande desafio.
- Aos alunos de Doutoramento, Hugo Silva e, particularmente, Marco Dourado pela disponibilidade, colaboração e partilha de momentos preciosos de discussão para este estudo.
- Ao Sr. Araújo, Técnico do Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Mecânica, pela paciência e dedicação em todos os ensaios realizados.
- À minha família a quem privei de muitos momentos de convivência e apoio e que, apesar disso, compreensivamente me deram força e entusiasmo na concretização deste percurso da minha vida.
- À tia Tiz pelo entusiasmo e apoio nos momentos de desânimo e incertezas e por acreditar no sucesso deste projeto.
- À Joana pela cumplicidade e apoio incondicional prestado.
- Aos meus amigos pela ajuda, amizade, disponibilidade e motivação nesta caminhada.

“Simplify, then add lightness”

Colin Chapman

RESUMO

A avaliação do desempenho estrutural consiste em determinar as propriedades estáticas e dinâmicas de um chassis que são obtidas em análises padrão independentes realizadas pelo método elementos finitos (MEF).

Este estudo contribuiu para a construção duma nova versão dum chassis tubular espacial com maior eficiência estrutural, onde se pretende obter um baixo valor de massa e de risco de colapso e elevados valores de rigidez estrutural e de frequências naturais. Com esta investigação avaliou-se, desenvolveu-se, optimizou-se e dimensionou-se estruturalmente um chassis espacial tubular de automóvel de competição *Cross-Country Rally*, com tração às duas rodas motrizes traseiras, em função das suas propriedades estáticas e dinâmicas.

Numa primeira instância foi registada a capacidade fabril da empresa DEpieres Desportos Motorizados™, assim como, a avaliação do desempenho estrutural do seu primeiro chassis de um veículo de duas rodas motrizes. O desenvolvimento do novo chassis partiu dos ensaios experimentais destrutivos de tração e análise química, realizados no material base a usar; da determinação do processo e parâmetros de soldadura mais indicados para unir os elementos estruturais, através de ensaios experimentais destrutivos (análises de dureza e ensaios de fadiga), e estimativas (da energia induzida por cada processo de soldadura e das taxas de arrefecimento geradas); e das restrições impostas, quer pelos regulamentos da competição em que este se insere, quer pela empresa. Foram concebidas várias soluções locais para uma base estrutural do chassis, definida pela empresa, onde o desempenho individual de cada solução foi avaliado e comparado. Desta forma, foi possível definir a melhor geometria estrutural do chassis desenvolvido. Seguidamente procedeu-se à sua optimização através do programa *Finite Element Model Updating*, em cerca de 1146 variáveis referentes à geometria do chassis, pelo método estocástico. Por sua vez, o dimensionamento estrutural do chassis passa pela avaliação de risco de falha por colapso à encurvadura e por um processo analítico, desenvolvido no âmbito deste estudo, responsável por determinar a garganta e/ou reforços estruturais associados aos cordões de soldadura. Com base nestes resultados perspetivam-se novos estudos relacionados com o fabrico, o material e a soldadura.

Palavras-chave: Chassis, Dimensionamento Estrutural, Dimensionamento de Soldaduras, Optimização Estrutural, Updating.

ABSTRACT

The structural performance evaluation is based on the chassis frame's static and dynamic properties obtained from independent patterned analyses performed by the finite element method (FEM).

This study contributes to the development of a new tubular space frame with improved structural efficiency. This new frame is designed in order to have a low mass value, a low risk of collapse, high structural rigidity and high values of natural frequencies. The content of this research involves the rating, the development, the optimization and the design of a tubular space frame of a two-wheel drive Cross-Country Rally car, accordingly to its static and dynamic properties.

In the beginning, the Depieres Motorsport™ manufacturing capability was recorded and the structural performance of their first chassis from a two-wheel drive vehicle was rated. The new chassis frame development begun with standard tensile tests and chemical analysis, performed on the base material; the determination of welding and welding parameters, through destructive tests (hardness and fatigue tests) estimates (heat input and welds cool rates calculations of different welding processes); and the restrictions imposed by the FIA regulations and the company. Several local solutions were designed for a basic chassis defined by the company. The individual performance of each solution was evaluated and then compared, making it possible to develop a chassis with the best structural geometry. Then, the Finite Element Model Updating algorithm was used to perform a structural stochastic optimization, involving 1146 variables. The chassis structural design process goes through buckling analyses and an analytical process developed in this study. This analytical process designs weld beads and/or structural reinforcements related to the weld beads. The results of this document encourages new studies for the chassis frame fabrication and for its materials and welding processes.

Keywords: Chassis, Structural Design, Welding Design, Structural Optimization, Updating.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	MOTIVAÇÃO.....	1
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	2
2	ESTADO DA ARTE.....	3
2.1	COMPETIÇÕES/MERCADOS.....	3
2.2	EMPRESAS.....	4
2.3	CHASSIS.....	4
2.3.1	TIPOS DE CHASSIS DE COMPETIÇÃO.....	9
2.3.1.1	RALLY.....	9
2.3.1.1	TT.....	11
2.4	NORMAS FIA.....	22
2.5	MATERIAL.....	31
2.6	LIGAÇÕES SOLDADAS.....	32
2.6.1	TIG/GTAW.....	33
2.6.2	MIG/MAG/GMAW.....	35
2.7	APRESENTAÇÃO DA DEPIERES DESPORTOS MOTORIZADOS™.....	37
2.7.1	CHASSIS ANTIGO.....	37
2.7.2	TECNOLOGIA DE LIGAÇÕES SOLDADAS.....	41
3	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	45
3.1	AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE UM CHASSIS.....	45
3.2	SIMULAÇÃO NUMÉRICA.....	51
3.3	TAXA DE ARREFECIMENTO DOS CORDÕES DE SOLDADURA.....	53
3.4	FADIGA.....	54
4	NOVO PROJETO.....	57
4.1	ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO.....	57
4.2	CONSTRANGIMENTOS DE PROJETO.....	57
4.3	REQUISITOS DE PROJETO.....	58
5	METODOLOGIA.....	61
5.1	CARACTERIZAÇÃO GERAL DE UM VEÍCULO.....	61
5.2	MATERIAL.....	64

5.2.1	ENSAIOS DE TRAÇÃO	65
5.2.2	ANÁLISE QUÍMICA.....	66
5.2.3	ENSAIOS DE FADIGA	67
5.2.3.1	MIG/GMAW	70
5.2.3.1	TIG/GTAW	71
5.2.3.1	ENSAIOS DE DUREZA.....	72
5.3	CONSTRUÇÃO DE MODELOS VIRTUAIS	74
5.3.1	ENSAIO EXPERIMENTAL.....	78
5.4	DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	81
5.4.1	1ª ETAPA DO DIMENSIONAMENTO.....	82
5.4.2	2ª ETAPA DO DIMENSIONAMENTO.....	84
5.4.2.1	ENCURVADURA.....	91
5.4.3	3ª ETAPA DO DIMENSIONAMENTO.....	91
5.4.3.1	ESFORÇOS NO VEÍCULO	92
5.4.3.1	DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES SOLDADAS.....	99
5.5	FABRICO DAS LIGAÇÕES SOLDADAS.....	102
6	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	105
6.1	CARACTERIZAÇÃO VEÍCULO ANTIGO	105
6.2	CARACTERIZAÇÃO VEÍCULO NOVO.....	106
6.3	ENSAIOS DE TRAÇÃO	108
6.4	ANÁLISE QUÍMICA.....	110
6.5	ENSAIOS DE FADIGA E DE DUREZA.....	112
6.5.1	1º ENSAIO DE FADIGA.....	112
6.5.2	1º ENSAIO DE DUREZA	113
6.5.3	2º ENSAIO DE FADIGA.....	120
6.5.4	3º ENSAIOS DE FADIGA.....	122
6.5.5	2º ENSAIO DE DUREZA	123
6.5.6	4º ENSAIO DE FADIGA.....	129
6.6	AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO CHASSIS ANTIGO	131
6.7	DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DO NOVO CHASSIS	132
6.7.1	1ª ETAPA DO DIMENSIONAMENTO.....	132
6.7.2	ENSAIO EXPERIMENTAL.....	143

6.7.3 3ª ETAPA DO DIMENSIONAMENTO.....	147
6.7.4 2ª ETAPA DO DIMENSIONAMENTO.....	150
6.7.5 FABRICO DE LIGAÇÕES SOLDADAS.....	153
6.8 FALHA PREMATURA.....	155
6.8.1 ACTUALIZAÇÃO DO MODELO VIRTUAL.....	155
6.8.2 REAVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO.....	156
6.8.3 SIMULAÇÕES NUMÉRICAS.....	163
6.8.4 DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES SOLDADAS.....	163
6.9 DINÂMICA AUTOMÓVEL.....	164
7 CONCLUSÕES.....	169
8 REFERÊNCIAS.....	173
ANEXO I.....	183
ANEXO II.....	229
ANEXO III.....	257
ANEXO IV.....	271
ANEXO V.....	283
ANEXO VI.....	303
ANEXO VII.....	311
ANEXO VIII.....	319
ANEXO IX.....	325
ANEXO X.....	329
ANEXO XI.....	333
ANEXO XII.....	337
ANEXO XIII.....	341
ANEXO XIV.....	351
ANEXO XV.....	355
ANEXO XVI.....	363
ANEXO XVII.....	369
ANEXO XVIII.....	373
ANEXO XIX.....	377
ANEXO XX.....	381
ANEXO XXI.....	385

ANEXO XXII	399
ANEXO XXIII	405
ANEXO XXIV	409
ANEXO XXV	415
ANEXO XXVI	457
ANEXO XXVII	461
ANEXO XXVIII	477
ANEXO XXIX	483
ANEXO XXX	487

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Desenho representativo do chassis Ladder Frame (14).....	5
Figura 2: Desenho representativo do chassis Ladder Frame com membro cruciforme (15).	5
Figura 3: Imagem do chassis Twin Tube do Jaguar™ Lister (16).....	6
Figura 4: Imagem do chassis Backbone do Lotus™ Elan (17).	6
Figura 5: Imagem do chassis de estrutura espacial do Cisitalia™ D46 (19).	7
Figura 6: Desenho representativo da parte frontal de um comum chassis de um carro de competição formula (22).	8
Figura 7: Renderização do chassis unitário de um Toyota™ Corolla (23).	8
Figura 8: Imagem dos chassis resultantes dos estudos do (ALDC) (24).	9
Figura 9: Imagem de um chassis em formato de plataforma de um Lotus™ (25).	9
Figura 10: Imagem do chassis híbrido do Peugeot™ 205 T16 (26).	10
Figura 11: a) Imagem da frente do Super Car Lites e b) imagem da traseira.	11
Figura 12: Imagem do Peugeot™ 205 T16 Grand Raid (29).	12
Figura 13: Peugeot™ 405 T16 Grand Raid. Imagem do desenho representativo da vista em perspectiva da traseira e lateral do veículo sem carroçaria (30).	12
Figura 14: Citroen™ ZX Rally Raid, desenho representativo da vista em perspectiva da traseira e lateral do veículo (31).	13
Figura 15: Jimco Racing™ Rally Raid com disposição de motor central e traseira no chassis. A) Imagem da lateral do veículo (33) e b) imagem da traseira (34).....	14
Figura 16: Imagem do chassis do Jimco Racing™ Rally Raid de motor central traseiro (37).	15
Figura 17: Chassis nu do Jimco Racing™ Rally Raid. a) Frente do veículo e b) lateral do veículo (37).16	
Figura 18: HST Gordini. a) Imagem da lateral do veículo sem carroçaria e b) imagem da frente inacabada (38).	17
Figura 19: Imagem da preparação para a pintura do chassis do HST Gordini (39).	18
Figura 20: a) Imagem da montagem do final do Peugeot™ 2008 DKR (40) e b) imagem da vista da traseira (41).	19
Figura 21: Imagem da suspensão traseira do Peugeot™ 2008 DKR (42).	20
Figura 22: a) Imagem do chassis nu do Peugeot™ 2008 DKR (43) e b) imagem da frente e do habitáculo do chassis do Peugeot™ 2008 num modelo CAD (44).	21

Figura 23: a) Imagem do Peugeot™ 205 t16 (45) e b) imagem do Peugeot™ 205 t16 Grand Raid (46).	22
Figura 24: Imagem do fabrico de um reforço estrutural não normativo para o chassis do Peugeot™ 2008 DKR (43).....	34
Figura 25: Componentes de uma máquina de soldadura TIG/GTAW (61).	34
Figura 26: Componentes de uma máquina de soldadura MIG/MAG/GMAW (67).	36
Figura 27: Imagem de um dos defeitos estruturais mais comuns no Antigo chassis da DEpieres Desportos Motorizados™.	39
Figura 28: a) Imagem lateral de um modelo virtual representativo do chassis do veículo antigo, b) Imagem em perspetiva da traseira de um modelo virtual representativo do chassis do veículo antigo.	40
Figura 29: Base estável usada na construção dos chassis	42
Figura 30: Modelo simples das variáveis de rigidez num veículo (74).....	46
Figura 31: Imagem de um ensaio experimental de flexão de um veículo (76).....	47
Figura 32: Imagem de um ensaio numérico de torção de um chassis de estrutura espacial tubular (77).	48
Figura 33: Imagem do ensaio de compressão de uma mola de competição.....	59
Figura 34: Esquema representativo dos dois conjuntos mola e amortecedor de cada roda do veículo antigo.....	60
Figura 35: Imagem representativa dos mecanismos da suspensão de um veículo (91).	61
Figura 36: Esboço ilustrativo da posição do centro de gravidade do veículo antigo.	62
Figura 37: a) Segunda passagem real, b) Representação da segunda pesagem para determinar a posição do centro de gravidade do veículo antigo.	63
Figura 38: Desenho dos provetes dos ensaios destrutivos de tração com as medidas em milímetros.	65
Figura 39: Imagem do ensaio destrutivo de tração.	66
Figura 40: Representação esquemática do procedimento de um ensaio de fadiga numa ligação entre perfis tubulares ocos (94).	68
Figura 41: Desenho dos provetes dos ensaios destrutivos de fadiga com as medidas em milímetros.	69
Figura 42: Esquema representativo do diamante penetrante e do indentação resultante (95).....	73
Figura 43: Modelação tridimensional do chassis antigo no software Solidworks™.....	75

Figura 44: Modelação tridimensional do chassis antigo simplificado no software Solidworks™.....	76
Figura 45: Wireframe representativa do chassis antigo no software Solidworks™.	76
Figura 46: Imagem da simulação do ensaio de torção do chassis antigo no software Solidworks™..	77
Figura 47: Imagem da simulação do ensaio de flexão do chassis antigo no software Solidworks™....	78
Figura 48: Representação do ensaio experimental.....	79
Figura 49: a) Imagem da simulação realizada no Solidworks™. b) Imagem da simulação realizada no Ansys Mechanical APDL™.....	81
Figura 50: Imagem representativa da simulação da rigidez torsional da baía da suspensão frontal do chassis antigo.	84
Figura 51: Fluxograma representativo da metodologia de otimização usadaa neste estudo (101)	88
Figura 52: Esboço ilustrativo da posição do centro de gravidade do veículo antigo.	106
Figura 53: Esboço ilustrativo da posição do centro de gravidade do veículo novo.	108
Figura 54: Imagem do corte da amostra da análise química.....	110
Figura 55: Imagem do segundo provete testado no primeiro ensaio de fadiga.....	113
Figura 56: Imagem da amostra dos cordões realizados com intensidade de nível 4.	114
Figura 57: Imagem da amostra dos cordões realizados com intensidade de nível 5 e da amostra do material base.	115
Figura 58: Imagem da amostra dos cordões realizados com intensidade de nível 6.	116
Figura 59: Imagem do terceiro provete testado à fadiga.	121
Figura 60: Imagem do quinto provete testado à fadiga.	121
Figura 61: Imagem do sexto provete testado à fadiga.....	123
Figura 62: Imagem de amostra não pré-aquecida.....	124
Figura 63: Imagem de amostra pré-aquecida.	125
Figura 64: Imagem de uma das juntas analisadas.....	126
Figura 65: Imagem de amostra 1 dos cordões de soldadura com o material AWS A5.28 ER80S-B2.	127
Figura 66: Imagem de amostra 2 dos cordões de soldadura com o material AWS A5.28 ER80S-B2.	127
Figura 67: Imagem da fratura de fadiga verificada no provete 8.....	130

Figura 68: Imagem da fratura de fadiga verificada no provete 11.....	131
Figura 69: Imagem de um sistema de suspensão similar ao usado no eixo traseiro do novo veículo (110).....	135
Figura 70: Imagem do ficheiro FATORCARGACURVA.....	148
Figura 71: Imagem do ficheiro FATORCARGASALTO.....	149
Figura 72: Imagem do chassis do veículo novo quase finalizado.....	149
Figura 73: Imagem da fixação do chassis ao gabarito plano.....	154
Figura 74: Imagem da reparação de um cordão de soldadura.....	155
Figura 75: Imagem representativa do modelo virtual do chassis novo real atualizado.....	156
Figura 76: Representação da influência do binário do motor nos apoios do conjunto motor e caixa de velocidades.....	161
Figura 77: Representação da influência do binário de saída nos apoios do conjunto motor e caixa de velocidades.....	162
Figura 78: a) imagem do modelo da suspensão frontal ajustável; b) imagem do modelo da suspensão traseira ajustável”	165
Figura 79: Representação gráfica do modelo virtual completo do veículo e simplificado visto de frente.....	166
Figura 80: Representação gráfica do modelo virtual completo do veículo e simplificado visto de lado.....	166

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultados da análise de dureza às soldaduras com nível de intensidade 4.	115
Gráfico 2: Resultados da análise de dureza às soldaduras com nível de intensidade 5.	116
Gráfico 3: Resultados da análise de dureza às soldaduras com nível de intensidade 6.	117
Gráfico 4: Resultados da análise de dureza do material base.	117
Gráfico 5: Resultados das análises de dureza dos cordões de soldadura das peças de trabalho pré-aquecida e não pré-aquecida.	125
Gráfico 6: Resultados das análises de dureza dos cordões de soldadura com o material AWS A5.28 ER80S-B2.	128
Gráfico 7: Resultados das análises de dureza ao material base nas duas amostras dos cordões de soldadura com o material AWS A5.28 ER80S-B2.	129
Gráfico 8: Curvas S-N representativas das juntas do chassis.	131
Gráfico 9: Resultados de 6 análises estáticas ao modelo virtual chassis novo real.	144
Gráfico 10: Resultados de 6 análises modais ao modelo virtual chassis novo real.	145
Gráfico 11: Resultados do ensaio experimental e de várias simulações representativas.	146

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Características gerais do Jimco Racing™ Rally Raid.....	14
Tabela 2: Especificações mínimas de tubos regulamentada pela FIA	28
Tabela 3: Tabela parcial do peso mínimo permitido pela FIA a um veículo da categoria T1.	30
Tabela 4: Propriedades mecânicas dos aços mais usados neste tipo de competição.....	31
Tabela 5: Níveis de regulação da potência de soldadura da máquina Elletro™ CF MIG 255.....	43
Tabela 6: Comparação de estudos de mercado dos veículos ligeiros.	49
Tabela 7: Propriedades do veículo antigo.	59
Tabela 8: Estimativa das propriedades do chassis novo.....	60
Tabela 9: Parâmetros de entrada dos ensaios destrutivos de tração	66
Tabela 10: Soldabilidade em função do Carbono Equivalente (93).	67
Tabela 11: Estimativa do tempo de vida de um chassis.....	68
Tabela 12: Estimativa da carga máxima admissível do cordão de soldadura.	68
Tabela 13: Perfis encontrados no chassis antigo	75
Tabela 14: Esforços a aplicar dos componentes presentes no chassis, no modelo virtual de cada software.	80
Tabela 15: Fatores de correção dos resultados das várias análises.....	83
Tabela 16: Variáveis e valores de referência das análises estáticas utilizados no processo de otimização do chassis.....	89
Tabela 17: Variáveis e valores de referência da análise modal utilizadas no processo de otimização do chassis.....	89
Tabela 18: Comparação entre os dois métodos simplificativos.....	93
Tabela 19: Coeficientes de atrito dinâmico máximos entre borracha e vários tipos de piso (102) (103).	93
Tabela 20: Estimativa do fator máximo de incremento da aceleração gravítica.....	96
Tabela 21: principais inputs do CEC.	96
Tabela 22: Outputs relativos às cargas nas rodas do veículo e no chassis originados pelos parâmetros definidos na Tabela 20.	97
Tabela 23: Relação imposta pelo Eurocódigo 3 para um determinado conjunto de aços e elétrodos (107).....	99
Tabela 24: Valores de dimensões mínimas de garganta de cordões de soldadura de canto.....	101

Tabela 25: Medidas gerais do veículo antigo.	105
Tabela 26: Massa não suspensa por roda do veículo antigo.....	105
Tabela 27: Dados obtidos e calculados na segunda pesagem do veículo antigo.	105
Tabela 28: Distribuição de massa do veículo antigo.....	106
Tabela 29: Resultados da definição da altura do centro de gravidade do veículo antigo.	106
Tabela 30: Medidas gerais do veículo novo.	107
Tabela 31: Dados obtidos e calculados na primeira pesagem do veículo novo.....	108
Tabela 32: Distribuição de massa do veículo novo.....	108
Tabela 33: Resultados da definição da altura do centro de gravidade do veículo novo.	108
Tabela 34: Resultados dos quatro ensaios de tração	109
Tabela 35: Propriedades mecânicas e físicas dos materiais encontrados no primeiro chassi de duas rodas motrizes.....	110
Tabela 36: Resultado da análise química.	111
Tabela 37: Parâmetros de soldadura dos primeiros ensaios de fadiga.	112
Tabela 38: Resultados dos primeiros ensaios de fadiga.	112
Tabela 39: Parâmetros de soldadura em estudo.	114
Tabela 40: Registo das temperaturas atingidas pelo processo de soldadura GMAW.....	119
Tabela 41: Resultados da estimativa da taxa de arrefecimento provocado pelo processo de soldadura GMAW.....	119
Tabela 42: Resultados dos segundos ensaios de fadiga com folga.	120
Tabela 43: Resultados dos primeiros ensaios de fadiga sem folga.	122
Tabela 44: Parâmetros de soldadura em estudo.	123
Tabela 45: Gama de intensidades da corrente de soldadura.....	124
Tabela 46: Resultados da estimativa da taxa de arrefecimento provocado pelo processo de soldadura GTAW.....	126
Tabela 47: Resultados dos últimos ensaios de fadiga responsáveis pela definição da curva S-N.	130
Tabela 48: Registo de desempenho do modelo virtual do chassis Antigo.....	132
Tabela 49: Registo de desempenho do modelo virtual da primeira iteração do chassis novo inicial.	133
Tabela 50: Comparação dos desempenhos das baías frontais do modelo virtual da primeira iteração do chassis novo inicial com o chassis antigo.	133

Tabela 51: Registo do desempenho do modelo virtual da base do chassis novo.....	135
Tabela 52: Comparação do desempenho dos reforços frontais com a base do chassis novo.	136
Tabela 53: Comparação do desempenho dos apoios frontais com a base do chassis novo.	136
Tabela 54: Comparação dos desempenhos das baías frontais resultantes dos apoios frontais da base do chassis novo.....	137
Tabela 55: Comparação do desempenho dos fundos dos habitáculos com a base do chassis novo.	138
Tabela 56: Comparação do desempenho dos reforços traseiros com a base do chassis novo.	139
Tabela 57: Comparação do desempenho dos apoios traseiros com a base do chassis novo.....	139
Tabela 58: Comparação dos desempenhos das baías traseiras resultantes dos apoios traseiros da base do chassis novo.....	139
Tabela 59: Registo de desempenho do chassis novo 1.....	140
Tabela 60: Comparação dos desempenhos das baías frontais e traseiras do chassis novo 1 com o chassis antigo.	141
Tabela 61: Fatores de correção dos resultados das várias análises.....	141
Tabela 62: Comparação do desempenho dos reforços traseiros com o chassis novo 1.	142
Tabela 63: Comparação do desempenho dos reforços traseiros com o chassis novo 1.	142
Tabela 64: Registo de desempenho do chassis novo real.	143
Tabela 65: Registo de desempenho das baías frontais e traseiras do chassis novo real.....	143
Tabela 66: Resultados do estudo da discrepância dos valores de massa de dois modelos virtuais..	144
Tabela 67: Resultados de 7 análises modais executadas nos software Solidworks™ e Ansys™ Mechanica APDL.	145
Tabela 68: Erros de cada modelo virtual.	146
Tabela 69: Registo de desempenho do chassis novo real no Ansys™ Mechanica APDL.	147
Tabela 70: Registo de desempenho das baías frontais e traseiras do chassis novo real no Ansys™ Mechanica APDL.	147
Tabela 71: Relações entre o diâmetro e espessura dos perfis tubulares presentes no chassis do veículo novo real.	148
Tabela 72: Tensões calculadas para juntas críticas fictícias.	150
Tabela 73: Quantidade de variáveis usadas nos perfis tubulares do chassis novo real.....	151
Tabela 74: Quantidade de variáveis usadas na wireframe do chassis novo real.	151

Tabela 75: Comparação do desempenho entre o chassi novo real e o chassi novo otimizado no Ansys™ Mechanica APDL.	152
Tabela 76: Comparação do desempenho das baías frontais e traseiras dos chassis novo real e novo otimizado no Ansys™ Mechanica APDL.	153
Tabela 77: Parâmetros de soldadura usados no fabrico do chassi.	154
Tabela 78: Inputs do método CECc.....	158
Tabela 79: Esforços atuantes nas duas mangas de eixo do lado esquerdo do veículo (Anexo XXVII).159	
Tabela 80: Esforços atuantes nas duas mangas de eixo do lado direito do veículo (Anexo XXVII). ...	159
Tabela 81: Esforços atuantes nas duas mangas de eixo do lado esquerdo do veículo (Anexo XXVII).159	
Tabela 82: Esforços atuantes nas duas mangas de eixo do lado direito do veículo (Anexo XXVII). ...	160
Tabela 83: Esforços atuantes nas duas mangas de eixo do lado esquerdo do veículo (Anexo XXVII).160	
Tabela 84: Esforços atuantes nas duas mangas de eixo do lado direito do veículo (Anexo XXVII). ...	160

NOMENCLATURA

I	Momento de inércia de massa
M_i	Massa dos componentes do veículo
d_i	Distância dos componentes ao centro de gravidade do veículo
σ_c	Tensão de cedência
σ_r	Tensão de rotura
K_{rol}	Rigidez do veículo ao rolamento
t_f	Largura da via frontal do veículo
t_t	Largura da via traseira do veículo
M_f	Valor de massa obtido no eixo frontal do veículo
M_t	Valor de massa obtido no eixo traseiro do veículo
Z_{max}	Deslocamento vertical máximo
P	Carga aplicada
l	Distância entre eixos do veículo
E	Módulo de Young
I_p	Momento de inércia de área
K_f	Rigidez estrutural à flexão
ω_{fn}	Corresponde ao valor da primeira frequência natural do modo de flexão
l_{pt}	Largura de um pneu do eixo traseiro do veículo
l_{pf}	Largura de um pneu do eixo frontal do veículo
M_t	Massa total do veículo sem ocupantes e combustível
θ	Deslocamento angular de um cilindro
f_s	Frequência natural do sistema mola e amortecedor
K_{eq}	Rigidez da mola equivalente
MR	Razão entre o curso da roda sobre o curso do amortecedor
WR	Rigidez da suspensão medida no centro da roda
K_{eqf}	Rigidez equivalente do eixo frontal do veículo
K_{eqt}	Rigidez equivalente do eixo traseiro do veículo
K_{rolf}	Rigidez ao rolamento do eixo frontal
K_{rolt}	Rigidez ao rolamento do eixo traseiro

WR_f	Rigidez da suspensão medida no centro de uma roda frontal
WR_t	Rigidez da suspensão medida no centro de uma roda traseira
G	Módulo de distorção do perfil
A''	Área da secção do perfil
L	Comprimento do elemento de viga
E_{yy}	Momento de inércia do elemento de viga
H_{net}	Calor induzido na junta
η	Rendimento do processo de soldadura
E_n	Tensão da corrente de soldadura
I_n	Intensidade da corrente de soldadura
U	Velocidade de avanço
R_c	Taxa de arrefecimento no centro do cordão
k	Condutividade térmica do metal base
ρ	Densidade do metal base
t	Espessura do metal base
T_c	Temperatura a que a taxa de arrefecimento é calculada
T_o	Temperatura inicial da peça de trabalho
σ_f	Tensão limite de fadiga corrigida
σ_{f0}	Tensão limite de fadiga
C_i	Fatores a ponderar no cálculo da tensão de limite de fadiga corrigido
σ_{ad}	Tensão alternada admissível
σ_m	Tensão média dos ciclos de carregamento
x	Variável adimensional
K	Constante de mola
hh	Altura do centro de gravidade do veículo em relação à linha \overline{AB}
$\overline{(AB)}$	Vetor definido pelos centros dos eixos frontal e traseiro
$P1$	Reação vertical no apoio simples B
A	Centro do eixo traseiro
B	Centro do eixo frontal
α	Ângulo proveniente da subida do eixo traseiro
a	Distância direta do centro de gravidade ao eixo traseiro
b	Distância direta do centro de gravidade ao eixo frontal do veículo

F	Carga aplicada durante o ensaio de dureza
M	Binário resultante das simulações
F'	Carga aplicada para provocar o binário
<i>Distância</i>	Distância total entre os dois pontos de ação das cargas
<i>d. vertical</i>	Maior valor absoluto do deslocamento vertical
M_1	Binário resultante na base da baía pela atuação dos 4 esforços na baía das suspensões
<i>distância₁</i>	Distância vertical entre a localização dos nós inferiores restringidos e a localização dos nós superiores onde os esforços atuam
<i>d. horizontal</i>	Deslocamento transversal do topo da baía
MAC	Matriz colorida que representa a correlação entre os modos estruturais do elemento em análise
PR	Conjunto de variáveis não fixas do processo de otimização
PT	Conjunto de variáveis fixas do processo de otimização
$UMAXR$	Deslocamento angular de referência na análise estática de torção do chassis
$UROTR$	Deslocamento vertical de referência na análise estática de flexão vertical do chassis
$UMXR$	Deslocamento transversal de referência do veículo nas duas análises à flexão transversal do chassis
UMR	Deslocamento transversal de referência do veículo nas duas análises à flexão transversal do chassis
$MASSR$	Massa de referência do chassis
fE	Função objetivo relativa à geometria e massa do chassis
fU	Subfunção da fE da função objetivo
fL	Subfunção da fE da função objetivo
fK	Subfunção da fE da função objetivo
fR	Subfunção da fE da função objetivo
fM	Subfunção da fE da função objetivo
$fMAC$	Função objetivo relativa às análises modais do chassis
$f1$	Subfunção da função objetivo $fMAC$
$f2$	Subfunção da função objetivo $fMAC$

f_3	Subfunção da função objetivo f_{MAC}
sd_{MAC}	Soma das células na diagonal da matriz [MAC]
sd_{MACi}	Soma das células na diagonal da matriz [MAC] inicial
sfd_{MAC}	Soma das células fora da diagonal da matriz [MAC]
sfd_{MACi}	Soma das células fora da diagonal da matriz [MAC] inicial
$nfreq_R$	Número de frequências de referência
$freq_R$	Matriz das frequências de referência
$freq_A$	Matriz das frequências calculadas
$freq_{Ri}$	Matriz das frequências de referência iniciais
$freq_{Ai}$	Matriz das frequências inicialmente calculadas
LLT	Valor percentual referente à transferência de carga no veículo
G'	Valor da aceleração centrífuga expresso na quantidade de aceleração gravítica (valor adimensional)
h_{crf}	Valor da altura do ponto de rolamento do chassi no eixo frontal em relação ao chão
h_{crt}	Valor da altura do ponto de rolamento do chassi no eixo traseiro em relação ao chão
ΔM_{totalf}	Diferença no valor da massa no diferencial frontal
ΔM_{totalt}	Diferença no valor da massa no diferencial traseiro
μ_d	Atrito dinâmico
Fr_{tr}	Força de tração por roda motriz
B_m	Binário do motor
R_{pv}	Relação da caixa de velocidades
R_f	Relação final da transmissão
D_{rt}	Diâmetro da roda motriz
N_{rt}	Número de apoios do conjunto motor e caixa de velocidades
l_f	Curso das rodas frontais
l_t	Curso das rodas traseiras
M_{ff}	Massa necessária para fechar completamente a suspensão de uma roda do eixo frontal
M_{tf}	Massa necessária para fechar completamente a suspensão de uma roda do eixo traseiro

M_{total}	Massa total do veículo atestado e com pilotos
e'	Distância do centro do pneu esquerdo ao plano vertical coincidente com o centro de gravidade
ef	Distância do centro do pneu esquerdo do eixo frontal ao plano vertical coincidente com o centro de gravidade
et	Distância do centro do pneu esquerdo do eixo traseiro ao plano vertical coincidente com o centro de gravidade
d'	Distância do centro do pneu direito ao plano vertical coincidente com o centro de gravidade
df	Distância do centro do pneu direito do eixo frontal ao plano vertical coincidente com o centro de gravidade
dt	Distância do centro do pneu direito do eixo traseiro ao plano vertical coincidente com o centro de gravidade
F_{ez}	Reação horizontal do pneu esquerdo do eixo frontal
T_{ez}	Reação horizontal do pneu esquerdo do eixo traseiro
F_{dz}	Reação horizontal do pneu direito do eixo frontal
T_{dz}	Reação horizontal do pneu direito do eixo traseiro
F_{ey}	Reação vertical do pneu esquerdo do eixo frontal
T_{ey}	Reação vertical do pneu esquerdo do eixo traseiro
F_{dy}	Reação vertical do pneu direito do eixo frontal
T_{dy}	Reação vertical do pneu direito do eixo traseiro
$\mu d'ec$	Atrito dinâmico de uma roda esquerda
$\mu dFec$	Atrito dinâmico estimado para a roda esquerda do eixo frontal
$\mu dTec$	Atrito dinâmico estimado para a roda direita do eixo traseiro
$\mu d'ec$	Atrito dinâmico de uma roda direita
$\mu dFdc$	Atrito dinâmico estimado para a roda esquerda do eixo frontal
$\mu dTdc$	Atrito dinâmico estimado para a direita do eixo traseiro
$I'e'$	Reações nos centros das duas rótulas dos braços inferiores
$S'e'$	Reações nos centros das duas rótulas dos braços superiores
Ife'	Reação no centro da rótula inferior da roda esquerda do eixo traseiro
Ite'	Reação no centro da rótula inferior da roda esquerda do eixo traseiro
Ifd'	Reação no centro da rótula inferior da roda direita do eixo traseiro

<i>It'd'</i>	Reação no centro da rótula inferior da roda direita do eixo traseiro
<i>Sfe'</i>	Reação no centro da rótula superior da roda esquerda do eixo traseiro
<i>Ste'</i>	Reação no centro da rótula superior da roda esquerda do eixo traseiro
<i>Sfd'</i>	Reação no centro da rótula superior da roda direita do eixo traseiro
<i>Std'</i>	Reação no centro da rótula superior da roda direita do eixo traseiro
<i>ga</i>	Garganta do cordão
<i>Mz</i>	Momento fletor no eixo dos zz de cada elemento que esteja conectado a 1 a 2 nós representativos de uma ligação soldada
<i>My</i>	Fletor no eixo dos yy de cada elemento que esteja conectado a 1 a 2 nós representativos de uma ligação soldada
<i>Fx</i>	Carga axial de cada elemento que esteja conectado a 1 a 2 nós representativos de uma ligação soldada
<i>modosR</i>	Matriz dos modos de referência
<i>freqR</i>	Matriz das frequências de referência
<i>freqA</i>	Matriz das frequências calculadas
<i>freqRi</i>	Matriz das frequências de referência iniciais
<i>freqAi</i>	Matriz das frequências calculadas inicialmente
<i>hf</i>	Distância do fundo do pilar A do habitáculo (<i>Lateral Rollbar</i>) do veículo ao chão
<i>ht</i>	Distância medida do fundo do pilar B do habitáculo (<i>Main Rollbar</i>) do veículo ao chão
<i>Mnfe</i>	Valor de massa não suspensa da roda esquerda do eixo frontal do veículo a partir do ponto de vista do piloto
<i>Mnfd</i>	Valor de massa não suspensa da roda direita do eixo frontal do veículo
<i>Mnte</i>	Valor de massa não suspensa da roda esquerda do eixo traseiro do veículo
<i>Mntd</i>	Valor de massa não suspensa da roda direita do eixo traseiro do veículo
<i>Mfe</i>	Valor de massa obtido na roda esquerda do eixo frontal do veículo
<i>Mfd</i>	Valor de massa obtido na roda direita do eixo frontal do veículo
<i>Mte</i>	Valor de massa obtido na roda esquerda do eixo traseiro do veículo
<i>Mtd</i>	Valor de massa obtido na roda direita do eixo traseiro do veículo
<i>H</i>	Distância do centro do eixo traseiro ao solo

ν	Coefficiente de Poisson
M_{fi}	Temperatura final de formação da martensite
CE_{IIW}	Formula indicada para determinar a soldabilidade do aço em estudo
M_t	Momento torsor de um perfil cilindrico
ra	Raio de um cilindro
UB	Limites superiores do processo de otimização
LB	Limites inferiores do processo de otimização
Alo	Valor da aceleração longitudinal expresso na quantidade de aceleração gravítica (valor adimensional)
E_{vmcv}	Esforço vertical provocado pelo conjunto motor e caixa de velocidades
$Dmcapmcv$	Distância mínima entre o eixo de rotação da cambota e os apoios do conjunto motor e caixa de velocidades
$E_{vmcvpam}$	Esforço vertical em cada um dos dois apoios do motor
$E_{vmcvpccv}$	Esforço vertical em cada um dos dois apoios centrais do conjunto motor e caixa de velocidades
$E_{vmcvpatcv}$	Esforço vertical em cada um dos dois apoios traseiros da caixa de velocidades
T_x	Momento torsor de cada elemento que esteja conectado a 1 a 2 nós representativos de uma ligação soldada
SV_{xy}	Esforço de corte nos planos XY de cada elemento que esteja conectado a 1 a 2 nós representativos de uma ligação soldada
SV_{xz}	Esforços de corte nos planos XZ de cada elemento que esteja conectado a 1 a 2 nós representativos de uma ligação soldada
$\sigma_{c0.2}$	Tensão limite de proporcionalidade
AC	Aceleração transversal de um veículo
M_{total}'	Massa do veículo num eixo em análise
$M_{total}f$	Massa do veículo no eixo frontal
$M_{total}t$	Massa do veículo no eixo traseiro
$'ez$	Reações transversais de cada pneu esquerdo
Fez	Reação transversal do pneu esquerdo do eixo frontal
Tez	Reação transversal do pneu esquerdo do eixo traseiro
$'dz$	Reações transversais de cada pneu direito

Fdz	Reação transversal do pneu direito do eixo frontal
Tdz	Reação transversal do pneu direito do eixo traseiro
$'ey$	Reações verticais de cada pneu esquerdo
Fey	Reação vertical do pneu esquerdo do eixo frontal
Tey	Reação vertical do pneu esquerdo do eixo traseiro
$'dy$	Reações verticais de cada pneu direito
Fdy	Reação vertical do pneu direito do eixo frontal
Tdy	Reação vertical do pneu direito do eixo traseiro
MAC'	Esforço do peso de um determinado eixo do veículo
$MACf$	Esforço do peso do veículo no eixo frontal
$MACt$	Esforço do peso do veículo no eixo traseiro
$m1'$	Distância entre o centro do pneu no eixo da manga de eixo e o centro de rotação da rótula inferior que conectam a manga de eixo ao braço da suspensão inferior
$m2'$	Distância entre o centro do pneu no eixo da manga de eixo e o centro de rotação da rótula superior que conectam a manga de eixo ao braço da suspensão superior
$m3'$	Distância entre o centro do pneu e o vértice da interseção do eixo da manga-de-eixo com o mecanismo de quatro formado pelos braços da suspensão
$m1f$	Distância entre o centro do pneu no eixo da manga de eixo frontal e o centro de rotação da rótula inferior que conectam a manga de eixo ao braço da suspensão inferior
$m2f$	Distância entre o centro do pneu no eixo da manga de eixo frontal e o centro de rotação da rótula superior que conectam a manga de eixo ao braço da suspensão superior
$m3f$	Distância entre o centro do pneu e o vértice da interseção do eixo da manga-de-eixo frontal com o mecanismo de quatro formado pelos braços da suspensão
$m1t$	Distância entre o centro do pneu no eixo da manga de eixo traseira e o centro de rotação da rótula inferior que conectam a manga de eixo ao braço da suspensão inferior

m_{2t}	Distância entre o centro do pneu no eixo da manga de eixo traseira e o centro de rotação da rótula superior que conectam a manga de eixo ao braço da suspensão superior
m_{3t}	Distância entre o centro do pneu e o vértice da interseção do eixo da manga-de-eixo traseira com o mecanismo de quatros formado pelos braços da suspensão
ra'	Raio de um pneu
raf	Raio de um pneu do eixo frontal
rat	Raio de um pneu do eixo traseiro
$Ehmcv$	Esforço transversal do conjunto motor e caixa de velocidades
$Pmax$	Potência máxima do motor
$Rotpmax$	Rotação do motor em regime de binário máximo
Frt	Esforço de tração por apoio dos braços da suspensão do eixo traseiro
$Ehbt$	Esforço transversal da bateria
$Ehdc$	Esforço transversal do depósito de combustível
Ehp	Esforço transversal dos pilotos
$Ehjtp$	Esforço transversal do conjunto da pedaleira
$Ehext$	Esforço transversal dos extintores
$Ehcdd$	Esforço transversal da caixa de direção
Gv	Aceleração vertical
$Evpsf$	Esforço vertical do pneu do eixo frontal
$Evpst$	Esforço vertical do pneu do eixo traseiro
ϕ	Ângulo da junta soldada
A'	Ponto mais alto do arco da elipse superior
B'	Ponto mais alto do arco da elipse inferior
C	Ponto de intercessão das duas meias elipse
C'	Ponto de intercessão das duas meias elipse
c	É a distância do vértice C ao eixo do tubo base
(R,q)	Coordenadas no ponto A'
(R,i)	Coordenadas no ponto B'
(c,j)	Coordenadas no ponto C
$(-c,j)$	Coordenadas no ponto C'

R	Raio externo do tubo base
r	Raio externo do tubo a ligar
$b1$	Largura da elipse
$b2$	Altura da elipse
$b1'$	Valor de metade da largura das 2 meias elipses superior e inferior do centro do cordão de soldadura
$b2s$	Altura da meia elipse superior
$b2i$	Altura da meia elipse inferior
\bar{y}	Altura de centróides das 2 meias elipses superior e inferior
$\bar{y}s$	Altura do centróide da meia elipse superior
$\bar{y}i$	Altura do centróide da meia elipse inferior
MA	Momento de área de uma meia elipse
$\hat{Área}$	Área de uma meia elipse
ps	Perímetro da meia elipse superior medido no centro do cordão de soldadura
pi	Perímetro da meia elipse inferior medido no centro do cordão de soldadura
$ptotal$	Somatório de ps e pi
FX	Carga axial crítica
M	Momento fletor crítico
$Faxi$	Esforço atuante no centro da garganta do cordão de soldadura proveniente da carga axial crítica
Fm	Esforço atuante no centro da garganta do cordão de soldadura proveniente do momento fletor crítico
y	Ângulos entre a direção da garganta do cordão e o eixo perpendicular ao eixo do tubo a ligar
ys	Ângulo entre a direção da garganta do cordão e o eixo perpendicular ao eixo do tubo a ligar correspondente à meia elipse superior
yi	Ângulo entre a direção da garganta do cordão e o eixo perpendicular ao eixo do tubo a ligar correspondente à meia elipse inferior
d'	Distância entre um centróide de uma meia elipse ao centro do cordão de soldadura no topo dessa meia elipse

d_{sup}	Distância entre um centróide da meia elipse superior ao centro do cordão de soldadura no topo dessa meia elipse
d_{inf}	Distância entre um centróide da meia elipse inferior ao centro do cordão de soldadura no topo dessa meia elipse
$F_{total\ sup}$	A carga total axial a atuar no centro do cordão de soldadura na zona A'
$F_{total\ inf}$	A carga total axial a atuar no centro do cordão de soldadura na zona B'
$F_{máximo}$	Somatório de $F_{total\ sup}$ e $F_{total\ inf}$
σ_{equ}	Tensão equivalente a atuar no cordão de soldadura
m	Comprimento dos dois cordões de soldadura de um reforço de figura triangular isósceles na junta soldada a dimensionar
m'	Comprimento dos 4 cordões de soldadura de dois reforço de figura triangular isósceles na junta soldada a dimensionar
n	Coefficiente de segurança
$\Delta Fy'$	Carga vertical transferida entre os dois eixos do veículo
ΔFyA	Carga vertical transferida entre os dois eixos do veículo devido à aceleração do mesmo
ΔFyB	Carga vertical transferida entre os dois eixos do veículo devido à travagem do mesmo
$f_{y'f}$	Força vertical total exercida no eixo frontal
f_{yaf}	Força vertical total exercida no eixo frontal durante a aceleração
f_{ybf}	Força vertical total exercida no eixo frontal durante a travagem
$f_{y't}$	Força vertical total exercida no eixo traseiro
f_{yat}	Força vertical total exercida no eixo traseiro durante a aceleração
f_{ybt}	Força vertical total exercida no eixo traseiro durante a travagem
$f_{xaf'}$	Forças longitudinais resistentes produzidas por pneus das rodas do eixo frontal não motrizes (resistentes ao rolamento) ou forças longitudinais provenientes da aceleração do veículo no eixo frontal no caso de serem rodas motrizes
f_{xafe}	Roda esquerda de $f_{xaf'}$
f_{xafd}	Roda direita de $f_{xaf'}$
$Ft''y$	Reação vertical exercida na pegada de cada pneu
$Ftfey$	Reação vertical exercida na pegada do pneu esquerdo do eixo frontal

$Ftfdy$	Reação vertical exercida na pegada do pneu direito do eixo frontal
$Fttey$	Reação vertical exercida na pegada do pneu esquerdo do eixo traseiro
$Fttidy$	Reação vertical exercida na pegada do pneu direito do eixo traseiro
$Ft''x$	Reação à força resistente ou de tração exercida pela pegada de cada pneu no piso
$Ftfex$	Reação à força resistente ou de tração exercida pela pegada do pneu esquerdo do eixo frontal
$Ftfdx$	Reação à força resistente ou de tração exercida pela pegada do pneu direito do eixo frontal
$Fttex$	Reação à força resistente ou de tração exercida pela pegada do pneu esquerdo do eixo traseiro
$Fttidx$	Reação à força resistente ou de tração exercida pela pegada do pneu direito do eixo traseiro
$Ft''z$	Reação transversal exercida pela pegada de cada pneu no piso
$Ftfez$	Reação transversal exercida pela pegada do pneu esquerdo do eixo frontal
$Ftfdz$	Reação transversal exercida pela pegada do pneu direito do eixo frontal
$Fttez$	Reação transversal exercida pela pegada do pneu esquerdo do eixo traseiro
$Fttidz$	Reação transversal exercida pela pegada do pneu direito do eixo traseiro
$M''z$	Binário atingível por cada pneu durante uma travagem
$Mfez$	Binário atingível pelo pneu esquerdo do eixo frontal durante uma travagem
$Mfdz$	Binário atingível pelo pneu direito do eixo frontal durante uma travagem
$Mtez$	Binário atingível pelo pneu esquerdo do eixo traseiro durante uma travagem
$Mtdz$	Binário atingível pelo pneu direito do eixo traseiro durante uma travagem
$M''x$	Binário provocado pela força transversal exercida pela pegada de cada pneu no piso
$Mfex$	Binário provocado pela força transversal exercida pelo pneu esquerdo do eixo frontal
$Mfdx$	Binário provocado pela força transversal exercida pelo pneu direito do

	eixo frontal
<i>Mtex</i>	Binário provocado pela força transversal exercida pelo pneu esquerdo do eixo traseiro
<i>Mtdx</i>	Binário provocado pela força transversal exercida pelo pneu direito do eixo traseiro
<i>Elomcv</i>	Esforço longitudinal do conjunto motor e caixa de velocidades
<i>Elobt</i>	Esforço longitudinal da bateria
<i>Elodc</i>	Esforço longitudinal do depósito de combustível
<i>Elop</i>	Esforço longitudinal dos pilotos
<i>Elojtp</i>	Esforço longitudinal do conjunto da pedaleira
<i>Eloext</i>	Esforço longitudinal dos extintores
<i>Elocdd</i>	Esforço longitudinal da caixa de direção
<i>A1'</i>	Ponto situado na face exterior da zona superior do cordão de soldadura de uma ligação. É o ponto mais distante do arco da elipse superior
<i>B1'</i>	Ponto situado na face exterior da zona inferior do cordão de soldadura de uma ligação. Ponto mais distante do arco da elipse inferior
<i>j</i>	Altura do vértice C em relação ao eixo das abcissas (<i>XX</i>)
<i>Rj</i>	Altura do ponto de interseção com o raio externo do tubo base (<i>R</i>) em relação ao eixo das abcissas (<i>XX</i>)
<i>sup</i>	Distância de <i>Rj</i> ao ponto <i>A1'</i>
<i>inf</i>	Distância de <i>Rj</i> ao ponto <i>B1'</i>
<i>r'</i>	Raio externo da secção representativa do inteiro cordão de soldadura da união tubular
<i>r's</i>	Raio máximo da secção da casca da divisão superior e o seu topo é coincidente com o ponto <i>A1'</i>
<i>r'i</i>	Raio máximo da secção da casca da divisão inferior e o seu topo é coincidente com o ponto <i>B1'</i>
<i>Areas</i>	Área da secção do ponto <i>A1'</i>
<i>Areai</i>	Área da secção do ponto <i>B1'</i>
<i>Is</i>	Momento de inércia de área da secção do ponto <i>A1'</i>
<i>Ii</i>	Momento de inércia de área da secção do ponto <i>B1'</i>
τ_{\perp}	Tensão de corte máxima segundo o eixo das ordenadas (<i>YY</i>)

$\tau_{ }$	Tensão de corte máxima segundo o eixo das cotas (ZZ)
J	Momento de polar de inércia
J_s	Momento de polar de inércia da área da secção do ponto $A1'$
J_i	Momento de polar de inércia da área da secção do ponto $B1'$
σ_s	Tensão equivalente no ponto $A1'$
σ_i	Tensão equivalente no ponto $B1'$

Todas as referências de orientação presentes neste documento partem do ponto de vista do piloto.

SIGLAS E ABREVIATURAS

AC	Corrente Alternada
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
AMS	<i>Aerospace Material Specification</i>
ANTI-SPRINGBACK	Sistema que controla a recuperação elástica do material após a sua conformação
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>
BUMP STOP	Batentes de fim de curso dos amortecedores
CEC	Cálculo de Esforços em Curva
CECc	Cálculo de Esforços em Curva corrigido
CG	Centro de Gravidade
CNC	Comando Numérico Computorizado
DC	Corrente Contínua
DIESETS	Ferramentas responsáveis por segurar o tubo e conferir-lhe um determinado raio
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
EN	<i>European Norms</i>
FIA	Federação Internacional Automóvel
FPAK	Federação Portuguesa de Automobilismo e Karting
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
GTAW	<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>
HRC	Dureza em Rockwell C
HV	Dureza em Vickers
LEM	Laboratório de Ensaio de Materiais
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MEF	Método Elementos Finitos
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
MMA	<i>Manual Metal Arc Welding</i>
N	Newton
N/def	Não definido

NSA	<i>National Sport Association</i>
S.D.	Sem data
S/info	Sem informação
SAE	<i>Society Automotive Engineers</i>
SPRAY	Mecanismo de transferência do material de adição de soldadura
SSS	<i>Simple Structural Surfaces</i>
STRIP DOWN	Desmontagem de todos os componentes do veículo
TAC	Diagrama de Transformação com Arrefecimento Contínuo
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
TTT	Diagrama de Tempo Temperatura Transformação
UM	Universidade do Minho
UPSLOPE	Inclinação da curva característica de tensão-intensidade da corrente de soldadura