



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PROF.: Dr. Clovis Sperb de Barcellos

**Estudo do Comportamento Dinâmico
de um Veículo de Passageiros em
Manobras de *Handling***

ALUNO: Luiz Fernando B. Máximo

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Clovis Sperb de Barcellos pela orientação deste trabalho e a disponibilidade ao longo do curso;

Ao Prof. Dr. Marcelo Becker pela contribuição na revisão do texto;

À Fiat Automóveis S.A. e ao setor de Experimentação de Veículos;

Ao Eng. Marco Fábio Inglese;

À FIEMG / SENAI;

Aos professores do curso de Mestrado que contribuíram para a minha formação;

Ao Eng. Yuri Augusto Ribeiro Garcia;

Aos colegas e funcionários do mestrado.

RESUMO

O presente trabalho de pesquisa tem como objetivos o estudo e a compreensão dos fenômenos reais e físicos associados ao comportamento dinâmico de um automóvel em marcha, relacionando a movimentação do veículo e suas reações durante a realização de manobras de mudança de direção com o esterçamento do volante, em função da alteração das características técnicas de componentes isolados e agrupados. O trabalho é composto de três etapas. Na primeira, é feita uma revisão bibliográfica na qual são estudadas as características técnicas e influência dos componentes e sistemas de suspensões dianteira e traseira, direção e pneus. Na segunda estão descritos as características da instrumentação utilizada nos testes experimentais em pista plana de asfalto a velocidades constantes, os procedimentos experimentais, bem como os resultados analíticos e gráficos das provas com os vários componentes. Na terceira etapa e como objetivo final, é feita a análise conjunta dos resultados das provas de modo a conhecer as tendências de comportamento durante manobras de *handling*, confrontando também os dados encontrados com aqueles disponíveis na literatura técnica. Com estes dados pode-se escolher com mais facilidade os componentes que devem ser alterados para se obter um melhor desempenho dinâmico.

ABSTRACT

The objectives of the research were the comprehension of the real and physical phenomena associated with the dynamic behavior of a moving passenger vehicle, and its effects on handling qualities, data acquisition and analysis of car mobility data, the practical training with instrumentation and, finally, make a tendency analysis of the handling behavior on a ride test, based on a modification of the mechanical characteristics of suspension components. The work was comprised of a theoretical study phase, an experimental acquisition, and analysis of handling. First, the theoretical study was based on a literature review concerning suspension, steering systems, and tires. During the experimental work acquisition data was performed changing the characteristics of springs, anti-roll bars (stabilizer), and shock absorbers. To reach the final objective, the individual responses of changing parts was analysed. The resulting analysis is important to reduce the development time on the final ride and handling tests, and show the main points that must be change to obtain the best dynamic performance on handling maneuvers.

SUMÁRIO

	Pág
Lista de figuras	x
Lista de tabelas	xv
Nomenclatura	xvi
Abreviaturas	xxi
Capítulo 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 – Generalidades	1
1.2 – <i>Handling</i> e Conforto	2
1.3 – Objetivos e Escopo	4
Capítulo 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 – Sistemas de Suspensão	6
2.1.1 – Suspensão Dianteira <i>MacPherson</i>	7
2.1.2 – Suspensão Traseira de Braços Long. e Travessa	10
2.1.3 – Molas	14
2.1.4 – Amortecedores Telescópicos	16
2.1.5 – Barras Estabilizadoras	19
2.1.6 – Batentes de Fim de Curso	21
2.2 – Sistemas de direção	23
2.2.1 – Generalidades	23
2.3 – Pneus	26
2.3.1 – Introdução	26

2.3.2 – Construção	31
2.4 – Cinemática das Suspensões	33
2.4.1 – Introdução	33
2.4.2 – Características dos Eixos	33
2.4.3 – Efeitos Anti-mergulho e Anti-Levantamento	48
2.5 – Comportamento em Manobras e Curvas	49
2.5.1 – Introdução	49
2.5.2 – Geometria de Ackerman	49
2.5.3 – Comportamento em Altas Velocidades	51
2.5.4 – Efeitos da Suspensão sobre a Resposta em Curvas	59
2.5.5 – Método Experimental de Medição de Sub-esterço	65
2.6 – Avaliação Dinâmica de Comportamento	67
2.6.1 – Relação Veículo / Motorista e Testes	67
2.6.2 – Respostas a Perturbações Constantes	68
2.6.3 – Respostas a Perturbações Variáveis	69
Capítulo 3 - METODOLOGIA DAS PROVAS	73
3.1 – Instrumentos Utilizados	73
3.1.1 – Correvit	73
3.1.2 – Volante Dinamométrico	76
3.1.3 – Acelerômetros	77
3.1.4 – Transdutores de Curso	78
3.1.5 – Sistema de Aquisição e Armazenamento de Dados	81
3.1.6 – Computador e <i>Software</i>	82
3.2 – Parâmetros Analisados nas Aquisições de Dados	82

3.2.1 – Parâmetros de Controle	82
3.2.2 – Parâmetros de Resultados	82
3.3 – Diagrama do Aparato Experimental	83
Capítulo 4 – DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	84
4.1 – Controle do Veículo e Manobras	84
4.2 – Procedimentos Experimentais e Simplificações	86
4.3 – Componentes Substituídos	88
4.3.1 – Curvas dos Amortecedores de Testes	89
4.4 – Levantamento Experimental dos Ângulos do Volante e Rodas. ..	90
4.5 – Levantamento Exp. da Variação de Convergência Dianteira	91
Capítulo 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	93
5.1 – Gráficos de Controle das Manobras	93
5.1.1 – Controle do Ângulo de Volante e Veloc. longitudinal	93
5.1.2 – Controle da Velocidade de giro do Volante e Ac. Vertical	94
5.2 – Resultados das Provas a 60 e 120 Km/h	95
5.2.1 – Análise de Resultados das Molas	95
5.2.2 – Análise de Resultados das Barras Estabilizadoras	100
5.2.3 – Análise de resultados dos Amortecedores	104
5.3 – Avaliação Global dos resultados	108
Capítulo 6 – CONCLUSÕES	111
6.1 – Análise de Comportamento do <i>handling</i>	111
6.2 – Sugestões para trabalhos futuros	113
Referências bibliográficas	116
Apêndice A – Cálculo do Centro de Gravidade e Massa	119

Apêndice B – Geometria das suspensões para Efeitos “Anti”	122
B.1 – Geometria das Suspensões para 100% “Anti-Mergulho”	122
B.2 – Ângulos de Geometria do Veículo de Testes	122
B.3 – Efeito Anti-Levantamento da Suspensão Dianteira	124
B.4 – Efeito Anti-Abaixamento da Suspensão Traseira	125
Apêndice C – Frequências Naturais das Suspensões	126
C.1 – Características de Amortecimento	126
C.2 – Características do Veículo de Testes	128
C.2.1 – Frequência natural não amortecida da suspensão	130
Apêndice D – Equipamento para Testes e Medição Dinâmica	132
D.1 – Sensores de Medição de Movimento e Atitudes	132
Apêndice E – Gráficos Completos de Referência	134
Anexo A – Tabela com Dados de Ângulo Volante e Ângulo das Rodas. .	137
Anexo B – Tabela com Dados Registrados em Prova a 60 Km/h	138

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Sistema de eixos coordenados do veículo conforme ISO 4130 e DIN 70000.	4
Figura 2.1 Esquema simplificado de uma suspensão de veículo.	7
Figura 2.2 Fixação superior da suspensão dianteira McPherson. O rolamento permite o movimento de rotação, enquanto a borracha absorve impactos e filtra vibrações.	8
Figura 2.3 Vista em corte de uma suspensão dianteira McPherson, dotada de eixo motriz.	9
Figura 2.4 Esquema de forças atuantes na suspensão.	10
Figura 2.5 Conjunto da suspensão traseira com braços combinados e barra transversal ou travessa. Detalhe da bucha de borracha montada na articulação de fixação no chassi.	11
Figura 2.6 Sob influência de esforços laterais, o eixo traseiro pode assumir um ângulo Δr , provocando sobre-esterço.	12
Figura 2.7 Configurações de posicionamento da travessa na suspensão traseira.	13
Figura 2.8 Exemplo de curvas de amortecedores.	17
Figura 2.9 Desenho esquemático do princípio de funcionamento do amortecedor de duplo tubo:.	19
Figura 2.10 Barra estabilizadora montada sobre uma suspensão dianteira McPherson.	20
Figura 2.11 Detalhe construtivo e curva de um batente de elastômero com função de mola suplementar.	22

Figura 2.12	Geometria básica para a realização de curvas proposta por Ackerman.	23
Figura 2.13	Esquema de funcionamento do sistema de direção. 3- braços da direção esquerdo e direitos; 7- terminais esféricos de ligação do tirante da caixa ao braço; 8- caixa de direção do tipo pinhão e cremalheira.	24
Figura 2.14	Esquema dos componentes do sistema de direção hidráulica.	25
Figura 2.15	Construção dos três principais tipos de pneus empregados atualmente.	27
Figura 2.16	Deformação na região de contato durante uma frenagem.	28
Figura 2.17	Deformação do pneu sob atuação de força lateral.	29
Figura 2.18	Pneu radial e principais componentes.	30
Figura 2.19	Modelo mecânico do comportamento da borracha do pneu dependente da Frequência.	32
Figura 2.20	Representação esquemática do passo do veículo L, e das bitola dianteiras e traseiras t_f e t_r	34
Figura 2.21	Definições dos centros e eixo de rolamento.	36
Figura 2.22	Alturas do centro de rolamento h_r de suspensão MacPherson em duas bitolas de comprimentos diferentes.	36
Figura 2.23	Alturas do centro de rolamento h_r de suspensão traseira com braços longitudinais e travessa.	37
Figura 2.24	Ângulo de <i>camber</i> em relação a terra. Convencionado positivo quando a parte superior do plano da roda está para fora da linha vertical.	38
Figura 2.25	Estudos mostram que <i>camber</i> positivo entre 5' e 10', proporcionam maior durabilidade do pneu. Valores positivos aceleram desgaste do lado externo, e negativos do lado interno.	39

Figura 2.26	Curva de variação do ângulo de <i>camber</i> das rodas dianteiras de veículos com suspensão MacPherson (BMW), e o de duplo leque do Honda Accord.	40
Figura 2.27	A convergência total das rodas é a diferença entre as medidas b e c . Também pode ser identificada pelo ângulo da roda.	41
Figura 2.28	A resistência ao rolamento provoca uma força longitudinal F_R , em sentido contrário ao movimento e efeito divergente.	41
Figura 2.29	Nos veículos de tração dianteira, a força de tração provoca aumento de convergência.	42
Figura 2.30	Variação de convergência das rodas dianteiras de um veículo GM Corsa, em função do curso da suspensão. Verifica-se a característica de sub-esterço em <i>roll</i>	43
Figura 2.31	Alteração de convergência das rodas traseiras para reduzir sobre-esterço. Em desacelerações ou curvas, sob efeito de cargas laterais, a roda externa aumenta a convergência e a interna diminui.	44
Figura 2.32	Representação do ângulo de <i>caster</i> , e <i>caster</i> à terra cinemático representado pelo segmento de reta KN projetada no solo.	45
Figura 2.33	Influência do ângulo de <i>caster</i> no torque de auto-alinhamento durante a realização de curvas.	46
Figura 2.34	Quando o veículo está carregado, a traseira se abaixa mudando a inclinação da dianteira. O ângulo de <i>caster</i> aumenta do mesmo valor de $\Delta\theta$	47
Figura 2.35	Suspensão MacPherson mostrando o aumento do ângulo de <i>caster</i> de $\Delta\tau$ em função da compressão da suspensão.	47
Figura 2.36	Geometria de Ackerman para realização de curvas.	50
Figura 2.37	Variação dos ângulos de esterçamento com o sistema de braços em forma trapezoidal.	51
Figura 2.38	Propriedades das forças dos pneus em curva.	52

Figura 2.39	Modelo de duas rodas para representação de curvas.	53
Figura 2.40	Variação dos ângulos de esterçamento em função da velocidade.	62
Figura 2.41	Ganho da velocidade de rotação (Yaw velocity) em função da velocidade.	58
Figura 2.42	Linha representativa do esterçamento neutro no veículo.	59
Figura 2.43	Análise de forças em veículo simplificado durante a curva.	60
Figura 2.44	Alteração de <i>camber</i> em curva de um veículo.	62
Figura 2.45	Exemplo genérico do gradiente de sub-esterço em raio constante.	66
Figura 2.46	Movimentos possíveis após um deslocamento.	70
Figura 2.47	Relação de amplificação em função da relação de frequências.	71
Figura 2.48	Velocidade de rotação r em função do tempo para comandos do volante	72
Figura 3.1	Desenho esquemático do sensor ótico V1.	73
Figura 3.2	Esquema do princípio físico utilizado pelo sensor V1.	74
Figura 3.3	Lâmpada V1 do Correvit instalada na traseira do veículo.	75
Figura 3.4	Foto com detalhe do volante dinamométrico instalado no veículo.	76
Figura 3.5	Diagrama de bloco do volante.	77
Figura 3.6	Desenho esquemático cotado do acelerômetro B12 / 200.	78
Figura 3.7	Foto do detalhe construtivo interno do transdutor de curso.	79
Figura 3.8	Desenho esquemático cotado do transdutor de curso.	79

Figura 3.9	Vistas lateral e frontal do veículo com a instrumentação.	80
Figura 3.10	Desenho esquemático de ligação do Spider ao computador e impressora.	81
Figura 3.11	Diagrama de bloco do aparato experimental.	83
Figura 4.1	Esquema representativo da manobra executada.	86
Figura 4.2	Gráfico do curso dos transdutores das rodas dianteiras em função do ângulo de esterçamento.	87
Figura 4.3	Gráfico dos curvas dos amortecedores dianteiros utilizados. ..	89
Figura 4.4	Gráfico dos curvas dos amortecedores traseiros utilizados.	89
Figura 4.5	Gráfico dos ângulos de volante e rodas em manobra estática.	91
Figura 4.6	Gráfico de variação de convergência das rodas dianteiras do veículo de testes.	92
Figura 5.1	Gráfico de controle das manobras de esterçamento do volante a 60 Km/h.	93
Figura 5.2	Gráfico de controle das manobras de esterçamento do volante a 120 Km/h.	94
Figura 5.3	Gráfico de controle das manobras de velocidade de giro do volante a 60 e 120 Km/h.	95
Figura 5.4	Gráficos de comportamento dos ângulos de rolamento lateral a 60 e 120 Km/h, sob influência das molas.	96
Figura 5.5	Gráficos de retardo de resposta à mudança de direção a 60 e 120 Km/h, sob influência das molas.	97
Figura 5.6	Gráficos de comportamento dos ângulos de inclinação longitudinal (Pitch) a 60 e 120 Km/h, sob influência das molas.	98
Figura 5.7	Gráficos de comportamento das acelerações laterais a 60 e 120 Km/h, sob influência das molas.	99

Figura 5.8	Gráficos de comportamento dos ângulos de rolamento laterais a 60 e 120 Km/h, sob influência das barras.	100
Figura 5.9	Gráficos de retardo de resposta à mudança de direção a 60 e 120 Km/h, sob influência das barras.	101
Figura 5.10	Gráficos de comportamento dos ângulos de inclinação longitudinal (Pitch) a 60 e 120 Km/h, sob influência das barras.	102
Figura 5.11	Gráficos de comportamento das acelerações laterais a 60 e 120 Km/h, sob influência das barras.	103
Figura 5.12	Gráficos de comportamento dos ângulos de rolamento laterais a 60 e 120 Km/h, sob influência dos amortecedores.	104
Figura 5.13	Gráficos de retardo de resposta à mudança de direção a 60 e 120 Km/h, sob influência dos amortecedores.	105
Figura 5.14	Gráficos de comportamento dos ângulos de inclinação longitudinal (Pitch) a 60 e 120 Km/h, sob influência dos amortecedores.	106
Figura 5.15	Gráficos de comportamento das acelerações laterais a 60 e 120 Km/h, sob influência dos amortecedores.	107
Figura A-1	Esquema representativo para pesagem do veículo sobre plano horizontal.	119
Figura A-2	Esquema representativo para pesagem do veículo sobre plano inclinado.	120
Figura A-3	Esquema representativo das coordenadas do centro de gravidade e massa.	121
Figura B-1	Esquema representativo para condições de “Anti-Mergulho”. ..	122
Figura B-2	Efeitos de “Anti-Mergulho” durante frenagens.	123
Figura B-3	Efeito de “Anti-Levantamento” da suspensão dianteira durante aceleração.	124

Figura B-4	Efeito de “Anti-Abaixamento” da suspensão traseira durante aceleração.	125
Figura C-1	Sistema massa-mola com amortecimento.	126
Figura C-2	Modelo de amortecimento incluindo massas suspensa e não suspensa, suspensão do veículo e pneu.	127
Figura C-3	Acelerações verticais do modelo para conforto.	128
Figura C-4	Relação geométrica de instalação da suspensão traseira.	131
Figura D-1	Desenho esquemático do sensor de atitudes VG600AA.	133
Figura E-1	Gráfico completo com dados de uma prova com veículo de referência a 60 Km/h.	135
Figura E-2	Gráfico completo com dados de uma prova com veículo de referência a 120 Km/h.	136

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 4.1 Pesos e alturas do veículo de testes.	84
Tabela 4.2 Valores de alinhamento da suspensão do veículo.	85
Tabela 4.3 Configurações de Suspensões Testadas. As propostas variam do veículo de referência pelos componentes indicados em negrito.	88
Tabela 5.1 Dados de pesquisa dos tempos de crescimento da Aceleração Lateral até a estabilização.	110
Tabela C-1 Características do veículo de testes para cálculo de frequências.	129
Tabela C-2 Frequências da suspensão do veículo.	130
Tabela A-1 Tabela dos ângulos de volante e rodas dianteiras, durante manobra estática.	137
Tabela B-1 Dados registrados durante uma prova a 60 Km/h.	139

NOMENCLATURA

A_y	Aceleração lateral no eixo y (m/s^2)
A_z	Aceleração lateral no eixo z (m/s^2)
B	Distância do eixo dianteiro ao centro de gravidade (m)
C	Distância do centro de gravidade ao eixo traseiro (m)
C_t	Coeficiente de amortecimento do pneu (Ns/m)
C_s	Coeficiente de amortecimento da suspensão (Ns/m)
C_α	Coeficiente de rigidez de curva (N/rad)
C_{af}	Rigidez de curva do pneu dianteiro (N/rad ou N/grau)
C_{ar}	Rigidez de curva do pneu traseiro (N/rad ou N/grau)
D	Diâmetro do arame da mola da suspensão (mm)
D	Distância lateral entre eixo da direção e centro de apoio do pneu ao solo (m)
D	Diâmetro do pneu (m)
D_e	Diâmetro médio da espira de uma mola de suspensão (mm)
E	Distância entre o centro de massa e a linha de esterço neutro (m)
F	Magnitude da força aplicada sobre uma mola de suspensão (N)
F_1	Força externa aplicada sobre um sistema massa-mola (N)
F_a	Força de tração na direção x (N)
F_R	Força de resistência ao rolamento (N)
F_{xt}	Força total na direção x (N)
F_y	Força na direção y ou força lateral (N)

F_z	Força na direção z ou força vertical (N)
F_{yf}	Força lateral (eixo Y) aplicada ao eixo dianteiro (N)
F_{yr}	Força lateral (eixo Y) aplicada ao eixo traseiro (N)
G	Aceleração (g)
G	Módulo de cisalhamento do aço (N/mm^2)
H	Altura relativa entre centro das rodas dianteiras e traseiras com veículo no plano inclinado (m)
H_R	Altura do centro de rolamento da suspensão (m)
H_{cg}	Altura do centro de gravidade (m)
H'_{cg}	Altura do centro de gravidade em relação ao piso do veículo (m)
H_1	Altura do centro de gravidade da massa suspensa acima do eixo de rotação lateral (m)
I_w	Momento de inércia das rodas (Kg.m^2)
I_{xx}	Momento de inércia do veículo em torno do eixo x (Kg.m^2)
I_{yy}	Momento de inércia do veículo em torno do eixo y (Kg.m^2)
I_{zz}	Momento de inércia do veículo em torno do eixo z (Kg.m^2)
K	Raio de giração (m)
K	Coeficiente de sub-esterço (rad/ms^{-2} ou graus/g)
K_s	Rigidez de uma mola de suspensão (N/m)
K_{t1}	Rigidez vertical de um pneu (N/m)
K_{t2}	Rigidez vertical da banda de rodagem de um pneu (N/m)
K_{camber}	Coef. de sub-esterço devido ao camber das rodas (rad/ms^{-2})
K_{lt}	Coef. de sub-esterço devido à transferência de cargas laterais nos eixos (rad/ms^{-2})

K_{lcs}	Coef. de sub-esterço devido às deformações elásticas das suspensões (rad/ms ⁻²)
K_{roll}	Coef. de sub-esterço devido ao rolamento lateral (rad/ms ⁻²)
K_{α}	Coef. de sub-esterço devido à força lateral gerada nos pneus dianteiros (rad/ms ⁻²)
K_f	Rigidez de rotação lateral da suspensão (N/m)
L	Distância entre eixos do veículo (m)
L_f	Distância do eixo dianteiro ao centro de gravidade
L_r	Distância do eixo traseiro ao centro de gravidade
M_f	Momento de rotação lateral (<i>rolling moment</i>)
N	Força normal (N)
N_e	Número de espiras ativas de uma mola de suspensão
NSP	Ponto neutro de esterçamento de direção
P	Velocidade de rotação lateral em torno ao eixo x do veículo (rad/s)
Q	Velocidade de elevação (<i>pitch</i>) em torno ao eixo y do veículo (rad/s)
R	Velocidade de rotação (<i>yaw</i>) em torno ao eixo z do veículo (rad/s)
R_{din}	Raio dinâmico do pneu (m)
$R_{\tau,k}$	Caster à terra (mm)
R_{Δ}	Convergência total das rodas direcionais dianteiras (mm)
R	Raio da curva (m)
RR	Rigidez total de uma suspensão incluindo molas e pneus (N/m)
S	Relação entre distância entre eixos e comprimento total do veículo
T	Tempo transcorrido (s)

T_f	Bitola das rodas dianteiras (m)
T_r	Bitola das rodas traseiras (m)
T_{sf}	Torque de inclinação lateral da suspensão dianteira (<i>roll torque</i>)
T_{sr}	Torque de inclinação lateral da suspensão traseira (<i>roll torque</i>)
V	Velocidade longitudinal do veículo (m/s)
x	Eixo longitudinal do veículo
X	Eixo longitudinal de percurso do veículo
X_m	Deflexão de uma mola de suspensão (mm)
y	Eixo transversal do veículo
Y	Eixo transversal de percurso do veículo
w	Comprimento da seção transversal do pneu (mm)
W	Massa total do veículo (Kg)
W_f	Massa total sobre o eixo dianteiro (Kg)
W_r	Massa total sobre o eixo traseiro (Kg)
z	Eixo vertical do veículo
α	Fator de amortecimento (s^{-1})
α	Ângulo formado entre a direção de deslocamento e eixo de orientação do pneu (rad)
α_f	Ângulo de deslizamento da roda dianteira (rad)
α_r	Ângulo de deslizamento da roda traseira (rad)
$\alpha_{veic.}$	Inclinação longitudinal do veículo para pesagem em balança
δ	Ângulo de esterçamento (rad)

d_i	Ângulo de esterçamento da roda interna durante a curva (rad)
d_o	Ângulo de esterçamento da roda externa durante a curva (rad)
Δ_f	Ângulo de convergência de uma das rodas dianteiras (rad)
Δ_r	Ângulo de variação de convergência do eixo traseiro (rad)
$e_f =$	Coeficiente de esterço devido ao rolamento susp. diant. (graus/grau)
$e_r =$	Coeficiente de esterço devido ao rolamento susp. tras. (graus/grau)
q	Ângulo de elevação rotacional <i>pitch</i> (rad)
f	Ângulo de inclinação lateral <i>roll</i> (rad)
μ	Coeficiente de atrito
τ	Ângulo de caster (rad)
g	Ângulo de <i>camber</i> (rad)
γ_b	<i>Camber</i> da roda em relação à terra (rad)
γ_g	<i>Camber</i> da roda em relação à carroceira do veículo (rad)
ω	Velocidade angular do pneu (rad/s)
ω_n	Frequência natural não amortecida do sistema de suspensão (rad/s)
ω_d	Frequência natural amortecida do sistema de suspensão (rad/s)
ω_f	Frequência forçada do sistema de suspensão (rad/s)
ξ	Fração da força de frenagem total desenvolvida nas rodas dianteiras
z_s	Relação de amortecimento da suspensão

ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ISO - International Organization for Standardisation

SAE - Society of Automotive Engineers

DIN - Deutsches Institut für Normung