

William Manjud Maluf Filho

**Modelo para gestão do  
desenvolvimento e produção de  
pneus fornecidos para a indústria  
automobilística**

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção  
do Título de Doutor em Engenharia.

São Paulo  
2008

William Manjud Maluf Filho

**Modelo para gestão do  
desenvolvimento e produção de  
pneus fornecidos para a indústria  
automobilística**

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção  
do Título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração:  
Engenharia Mecânica

Orientador:  
Prof. Dr. Marcelo Massarani

São Paulo  
2008

**Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.**

**São Paulo, 7 de julho de 2008.**

**Assinatura do autor** \_\_\_\_\_

**Assinatura do orientador** \_\_\_\_\_

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Maluf Filho, William Manjud**

**Modelo para gestão do desenvolvimento e produção de pneus fornecidos para a indústria automobilística / W.M. Maluf Filho. -- ed.rev. -- São Paulo, 2008.**

**215 p.**

**Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.**

**1.Pneus 2.Qualidade 3.Desenvolvimento de produto 4.Gestão de projetos 5.Gestão de processos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.**

Novamente dedico o trabalho para meus avós paternos (Maria e Rachid) e  
maternos (Ilza e Walter).  
Meu amor por vocês é eterno.

## Agradecimentos

Aos meus familiares e amigos que estiveram SEMPRE ao meu lado (mesmo que distantes fisicamente). Vocês e o CAM são a razão de minha vida.

### **1) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP)**

Aos seguintes professores doutores: *Amilton Sinatora* (PME5873: Introdução ao Estudo do Desgaste e PME5416: Tópicos Avançados em Desgaste), *André Tschiptschin* (PMT5783: Fundamentos da Ciência e Engenharia dos Materiais), *Deniol Tanaka*, *Edson Gomes* (PMR5210: Mecânica da Conformação e Usinagem dos Materiais), *Roberto Martins* (e aos colegas do LFS – Laboratório de Fenômenos de Superfície), *Ronaldo Salvagni* (PMC5789: Análise Estrutural em Engenharia Mecânica), *Gilberto Martha de Souza* (PMC5890: Análise de Confiabilidade e Projeto de Componentes Mecânicos), *Marcelo Massarani* (PME5101: Engenharia do Valor em Projeto Mecânico), *Marcilio Alves* (PMR5403: Impacto em Estruturas – e aos colegas do grupo de Mecânica dos Sólidos e Laboratório de Impacto), *Paulo Carlos Kaminsky* (PME5012: Projeto Integrado de Sistemas Mecânicos), *Izabel Fernanda Machado* (PMR5001: Comportamento Mecânico dos Materiais), *Afonso Carlos Correa Fleury* (PRO5803: Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção), *Marco Antonio Stipkovic* (PMR5203: Complementos de Processos de Fabricação: Usinagem, Caldeiraria e Montagem) e *Celma Ribeiro* (Departamento de Produção).

### **2) The University of Akron (Akron, Ohio, EUA)**

*Benjamin T. F. Chung*, *Gerald Potts*, *Alan Gent*, *Timothy McDonel*, *Michael Trinko*, *Marion G. Pottinger* e *Joseph Padovan*.

### **3) Arizona State University – ASU (Phoenix, Arizona, EUA)**

*Ding-Wei Zhou* e *Sergey I. Voropayev*

### **4) Embassy CES of New York (Nova Iorque, Nova Iorque, EUA)**

*Bethann D'Agostino*, *Timothy* e *David Fattel*.

Ao prof. Dr. Marcelo Massarani pelo incentivo e orientação ao longo desses 8 anos (2000-2008). Nossa convivência foi sempre muito produtiva e amistosa. Aprendi demais com nossas conversas e sua supervisão foi demasiadamente importante para meu progresso acadêmico e profissional.

Aos professores Dr. Adherbal Caminada Netto e Dr. Marcelo Augusto Leal Alves pelas valiosas considerações providas durante o exame de qualificação.

Aos professores Dr. Adherbal Caminada Netto, Dr. Marcelo Massarani, Dr. Oscar Brito Augusto, Dr. Alexandre Augusto Massote e Dr. Fernando Moya Orsatti por participarem da banca examinadora da tese.

À **Ford Motor Company do Brasil** que me incentivou indiscriminadamente além de acreditar sempre no meu trabalho e dedicação. Algumas pessoas em especial merecem serem citadas textualmente: Eduardo Fonseca, Stuart Song, Vagner Galeote, Charles Ginman, Sven Wunstorff, Kervin Lu, Hakki Yavuz, Nathapong e Mona Patel. Agradeço à equipe do ambulatório médico da Ford principalmente as fisioterapeutas Elma Wacked, Denise, Kátia e Marcelo. Agradeço também as equipes da Ford da Venezuela, Argentina, Coréia do Sul, Estados Unidos da América, Alemanha, China, Colômbia, Equador, Perú e México com as quais tive a chance de realizar importantes tarefas.

Ao Dr. Mota do IOT-HC (**Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da USP**). Até o presente momento a reconstrução do LCA funcionou bem.

À repórter Cíntia Borsato (**Veja**). A reportagem especial sobre Infra-Estrutura teve grande repercussão e contribuiu para a divulgação do meu trabalho. Ao repórter Diogo da AutoPress. A reportagem sobre pneus publicada na **UOL** foi de grande valia para divulgação de minhas atividades. Ao repórter Sylvio Lincoln da **Gazeta Mercantil**. A reportagem sobre fábrica modulares foi muito importante para o reconhecimento do meu trabalho.

À **Fundação Educacional Inaciana (FEI)** e todos os seus funcionários que me deram a inestimável oportunidade de tentar retribuir todos os ensinamentos. Alguns professores são citados devido à maior proximidade nesses últimos 4 anos: Artur Tamasauskas, Roberto Bortolussi, Rodrigo Magnabosco, Renato Marques, Alberto Vieira Jr., Agenor Fleury, Alexandre Massote.

À toda base de fornecedores de pneus da Ford e as equipes de todas fábricas com as quais eu tive oportunidade de trabalhar: Firestone/Bridgestone (Santo André e Argentina), Continental (Camaçari e Otrokovice – República Tcheca), Fate (Argentina), Goodyear (Americana, Diadema, Venezuela, Colômbia, Chile e México), Michelin (Rio de Janeiro, Campo Grande e Colômbia), Yokohama, Pirelli (Santo André, Campinas, Feira de Santana, Camaçari, Gravataí, Merlo-Argentina e Guacara-Venezuela).

Credito meu avanço profissional e pessoal à convivência com as seguintes pessoas: Família Froes, Família Maluf, Família Saliba, Família Belisário, Família Moya Orsatti, Família Guedes, Família Baungratz, Armando Bruno Júnior e Família, Família Lopes, Alex Fabiano Oraggio, Leandro, Talles Carvalho. Obrigado pelas desafiadoras, incontáveis e intermináveis discussões. Fe, você partiu cedo, cedo demais. Aos meus antigos, presentes e futuros alunos. Mal sabem o quanto aprendo com vocês no convívio em sala de aula. Obrigado pelo desafio diário. Galo, parabéns pelo seu centenário.

Aos comissários de vôo da United Airlines Zerlei Ribeiro (vôo UA860 de São Paulo para Washington, UA141 de Washington para Chicago), Paula Mullincsom (UA883 de Chicago para Tokyo e de Narita para Incheon-Seoul) por me emprestarem o conversor elétrico. Essa tese foi acabada durante as 40 horas de viagem entre o Brasil e a China.

Aos colegas da Bombril, Ugab (Simonal, Gato, Zé Carlos, Coelho, Mario, André), Club Holms (Pareto), Clube Tietê e Departamento de Inteligência da Polícia Federal do Acre. Desejo boa sorte e muito sucesso ao pessoal do The Walts e da Go Go Filmes.

Aos fiéis amigos Ilza, Aurora, Mauricio, William, Germano Wegbecher, Armando Bruno, Dudu Froes, Bruno Froes, Fernando Moya, Gabriel Guedes, Rafael Guedes, Talles Carvalho, Pedro Belisario, Leandro Zacharias, Gunnar Maluf, Igor Maluf, Vinícius Maluf, Vinicius T. B., Rachid Maluf, Daniel Saliba, Raphael Belisario, Philippe Belisario, Victor T. B., Luciano Sgriner, Daniela Vetorazzo, André Hauff, Danilo Jorge, Vitor Argentino Frias, Paula Haddad, Silvia, William Torelli, Alcione S. J., KK, Paula, Mara, Yasmin, Silvana, Mauricio B., Thaylise, Ana Leticia Zenobio, Emilie, Camila, Ana Claudia G., Izabella Belisario, Guto Moura, João Marcelo, Julia C., Ana Paula Lara, Alexandra Mara, Tatá, Vivian Jordão, Luma, Thor, Heloisa Callegaro, Edson Freitas, Jack Salminho, Buinão, Joao Piccioni, Michel Zetun, Denão Quebranto Puro: agradecimentos especiais para pelas sugestões, idéias, incondicional apoio e convivência.

Silvia – obrigado pelo enorme suporte! Se não fosse você a tese não teria sido entregue dentro do prazo. Aliás, se alguém estiver lendo esse trabalho, quem o imprimiu, encadernou e entregou foi você. Ou seja, se algo estiver errado a culpa é sua. Um beijo grande.

“O que se faz na vida ecoa na eternidade.”



## Sumário

<b>Sumário.....</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de tabelas .....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de ilustrações.....</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de abreviaturas e siglas .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>xvi</b>
<b><i>Abstract</i> .....</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Introdução.....</b>	<b>2</b>
1.1 Caracterização do tema.....	2
1.2 Estrutura da tese.....	5
<b>2 Revisão bibliográfica.....</b>	<b>8</b>
2.1 Estratificação das publicações .....	8
2.2 Caso Ford/Firestone.....	9
2.3 Investigação dos modelos de gestão atuais para o desenvolvimento de produtos e peças fornecidas para indústria automotiva .....	15
2.3.1 Introdução.....	15
2.3.2 Acabamento interno .....	15
2.3.3 Chassis .....	16
2.3.4 Componentes eletrônicos .....	16
2.3.5 Desenvolvimento de Produto e Processo.....	16
2.3.6 Engenharia Experimental .....	31
2.3.7 Trem de Força .....	37
2.4 Resultados bem-sucedidos dos modelos de gestão de desenvolvimento de produto.....	38
<b>3 Proposta de modelo para gestão de desenvolvimento de pneus.....</b>	<b>52</b>
3.1 Introdução.....	52

<b>3.2</b>	<b>Suporte técnico ao fornecedor.....</b>	<b>52</b>
<b>3.3</b>	<b>Especialização técnica em fornecedores de pneus.....</b>	<b>54</b>
<b>3.4</b>	<b>Diferenças entre os processos de criação do veículo, desenvolvimento e aprovação de peças.....</b>	<b>56</b>
<b>3.5</b>	<b>Características consideradas para a confecção do modelo .....</b>	<b>58</b>
<b>3.6</b>	<b><i>Advanced Product Quality Planning Tire Specific</i>.....</b>	<b>66</b>
3.6.1	Decisão de Fornecimento .....	68
3.6.2	Requisitos de Entrada do Cliente .....	69
3.6.3	<i>Craftsmanship</i> .....	70
3.6.4	Análise dos Modos de Falha do Projeto e seus Efeitos – <i>Design Failure Mode and Effects Analysis (DFMEA)</i> .....	70
3.6.5	Revisões de Projeto/ Manufatura.....	73
3.6.6	Plano e Relatório de Verificação do Projeto – <i>Design Verification Plan and Report (DVP&amp;R)</i> .....	78
3.6.7	Status de APQP do Sub-Contratado .....	79
3.6.8	Instalações/ Ferramentais/ Dispositivos .....	82
3.6.9	Plano de Controle de Construção do Protótipo .....	85
3.6.10	Construção do Protótipo.....	85
3.6.11	Desenhos e Especificações .....	85
3.6.12	Comprometimento da Equipe com a Viabilidade.....	87
3.6.13	Fluxo do Processo de Manufatura .....	89
3.6.14	Análise dos Modos de Falha do Processo e seus Efeitos – <i>Process Failure Mode and Effects Analysis (PFMEA)</i> .....	92
3.6.15	Avaliação do Sistema de Medição .....	95
3.6.16	Plano de Controle Pré-Lançamento .....	97
3.6.17	Instruções do Processo do Operador .....	98
3.6.18	Especificações de Embalagem .....	100
3.6.19	Tentativa de Produção.....	100
3.6.20	Plano de Controle de Produção .....	101
3.6.21	Capabilidade Preliminar do Processo .....	103
3.6.22	Teste de Validação de Produção .....	103
3.6.23	Certificado de Envio da Peça (PSW).....	104
<b>3.7</b>	<b><i>Production Part Approval Process</i>.....</b>	<b>105</b>
3.7.1	Registros de Projeto.....	106
3.7.2	Documentos de Modificação de Projeto .....	106
3.7.3	Aprovação de Engenharia de Produto do Cliente .....	106

3.7.4	FMEA de Projeto .....	106
3.7.5	Fluxograma do Processo de Manufatura.....	107
3.7.6	FMEA de Processo .....	107
3.7.7	Resultados Dimensionais.....	107
3.7.8	Resultados dos Ensaios dos Materiais e de Desempenho do Produto .....	107
3.7.9	Estudos Iniciais do Processo.....	107
3.7.10	Análise do Sistema de Medição .....	109
3.7.11	Documentação de Labiratório de Testes .....	109
3.7.12	Plano de Controle .....	109
3.7.13	PSW.....	110
<b>4</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>112</b>
4.1	Introdução.....	112
4.2	Campanhas de serviço e notificações aos consumidores .....	112
4.3	Impedimentos de embarque.....	113
4.4	Defeitos por milhão – PPM .....	114
4.5	Rejeições de qualidade .....	115
<b>5</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>117</b>
<b>6</b>	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>122</b>
<b>7</b>	<b>Apêndice .....</b>	<b>168</b>
7.1	Apêndice A: Campanhas de serviço.....	168
7.2	Apêndice B: Atrasos de lançamento. ....	179
7.3	Apêndice C: Impedimentos de embarque – <i>Stop Shipment</i> .....	179
7.4	Apêndice D: Custos de garantia. ....	179
7.5	Apêndice E: Outros problemas e questões relacionadas à qualidade e confiabilidade de veículos terrestres automotores e seus subsistemas.....	183
7.6	Apêndice F: Falhas estruturais em pneus <sup>[2]</sup> . ....	189
7.7	Apêndice G: Estudo sobre durabilidade e envelhecimento de pneus <sup>[1]</sup> .....	194

## Lista de tabelas

Tabela I – Produção veicular em milhares de unidades dos 10 principais países em 2006. ....	2
Tabela II – Lista de publicações pesquisadas por montadora.....	8
Tabela III – Veículos envolvidos em campanhas de serviço nos EUA em Janeiro de 2008. ....	177

## Lista de ilustrações

Fig. 1.1: Participação por continente na produção mundial de veículos.....	2
Fig. 2.1: Participação por continente na produção mundial de veículos.....	9
Fig. 2.2: Ilustração das estruturas fundamentais de um pneu.....	10
Fig. 2.3: Exemplos de pneus em colapso estrutural após sofrerem descolamento da banda de rodagem. ....	11
Fig. 2.4: A distribuição de acidentes por estados nos EUA. ....	13
Fig. 2.5: A distribuição térmica anual por estados dos EUA.....	13
Fig. 2.1: Custo da má qualidade x nível sigma. ....	23
Fig. 3.1: Distribuição dos locais de manufatura de pneus na América do Sul. ....	55
Fig. 3.2: Número aproximado de fábricas de pneus instaladas no mundo. ....	55
Fig. 3.3: Integração entre FPDS, APQP e PPAP. ....	57
Fig. 3.4: Diferenças conceituais entre Ppk e Cpk. ....	108
Fig. 3.5: Diferenças conceituais entre Ppk e Cpk. ....	109
Fig. 3.6: Relações entre os documentos de qualidade . ....	110
Fig. 4.1: Evolução do número de campanhas de serviços. ....	112
Fig. 4.2: Evolução da quantidade de impedimento de embarques.....	113
Fig. 4.3: Evolução do indicador de defeitos. ....	114
Fig. 4.4: Evolução de reclamações de qualidade das fábricas . ....	115
Fig. 7.1: Veículos envolvidos em campanhas de serviço nos EUA em Janeiro de 2008.....	177

## Lista de abreviaturas e siglas

AIAG	Grupo de Ação da Indústria Automotiva
ANN	<i>Artificial Neural Network</i>
APQP	<i>Advanced Product Quality Planning</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CEP	Controle Estatístico de Processo
CMM	<i>Coordinate Measuring Machines</i>
CP	<i>Control Plan</i>
CTIA	<i>Competitive Technology Intelligence Assessment</i>
CTQ	<i>Critical to Quality</i>
DFMEA	<i>Design Failure Mode and Effect Analysis</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Assess, Improve, Control</i>
D2C	<i>Design to Cost</i>
DoE	<i>Design of Experiment</i>
DOT	<i>Department of Transportation</i>
DPMO	<i>Defects per Million Opportunities</i>
DPO	<i>Defects per Opportunity</i>
DPV	<i>Daily Planning Volume</i>
DVA	<i>Dimensional Variation Analysis</i>
DVP&R	<i>Design Verification Plan and Report</i>
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
EQF	Engenharia de Qualidade do Fornecedor
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
ES	<i>Engineering Specification</i>
ESTA	<i>Early Sourcing Target Agreement</i>
EUA	Estados Unidos da América
FPDS	<i>Ford Product Development System</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
FTT	<i>First Time Through JIT (Just-in-Time)</i>
FMVSS	<i>Federal Motor Vehicle Safety Standards</i>
GPDS	<i>Global Product Development System</i>
GMC	General Motors Company

INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPD	<i>In Plant Date</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
MP	Manutenção Preventiva
MP&L	<i>Material Planing and Logistics</i>
MS	<i>Material Specification</i>
MSA	<i>Measurment System Analysis</i>
NHTSA	<i>National Highway Traffic Safety Administration</i>
NIST	<i>National Institute of Standards &amp; Technology</i>
NPR	Número de Prioridade de Risco
NVH	<i>Noise, Vibration and Harshness</i>
OEE	<i>Overall Equipment Efficiency</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
PDA	<i>Personal Digital Assistants</i>
PE	<i>Packaging Engineering</i>
PEO	<i>Product Engineering Office</i>
PFMEA	<i>Process Failure Mode and Effect Analysis</i>
PPAP	<i>Production Part Approval Process</i>
PRAT	<i>Plysteer Residual Aligning Torque</i>
PSW	<i>Part Submission Warranty</i>
PVP&R	<i>Production Validation Plan and Report</i>
PVT	<i>Plant Vehicle Team</i>
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
RAMS	<i>Reliability, Availability, Maintainability and Safety</i>
RBDO	<i>Reliability Based Design Optimization</i>
R&D	<i>Research &amp; Development</i>
R&R	Repetibilidade e Reprodutibilidade
RQ	Rejeições de Qualidade
RR	Resistência ao Rolamento
RFMEA	<i>Reverse Failure Mode and Effects Analysis</i>
RMA	<i>Rubber Manufacturers Association</i>
SAE	<i>Society of American Engineers</i>

SMF	<i>Synchronous Material Flow</i>
SREA	<i>Supplier Request for Engineering Approval</i>
STA	<i>Supplier Technical Assistance</i>
SUV	<i>Sport Utility Vehicle</i>
TGW	<i>Things Gone Wrong</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>
TRIZ	<i>Теория решения изобретательских задач</i>
VO	<i>Vehicle Operations</i>
VRT	<i>Variability Reduction Teams</i>
VW	<i>Volkswagen AG</i>
WERS	<i>Worldwide Engineering Release System</i>



## Resumo

Este trabalho propõe um modelo inédito para a gestão do desenvolvimento de pneus. Adicionalmente apresenta uma extensa revisão bibliográfica sobre os modelos convencionais de desenvolvimento de produto e sobre a qualidade das peças utilizadas na indústria automobilística. As principais características científicas e o desempenho de qualidade desses modelos são examinados.

Existe pouca literatura disponível sobre a gestão de desenvolvimento de produto para empresas fornecedoras de pneus. Muito se deve ao fato do tema ser tratado sigilosamente pelas mesmas e por desempenhar papel decisivo na sua competição no mercado automotivo.

A análise criteriosa de tais modelos demonstra a urgente necessidade de melhorias e atualizações. O resultado financeiro global de praticamente todas as montadoras é fortemente abalado pelo alto custo: das campanhas de serviço (*recall*), dos atrasos em lançamentos, dos impedimentos de embarque, dos reparos durante o período de garantia e dos retrabalhos não previstos além da decorrente deterioração da imagem da empresa frente aos consumidores.

O impacto da má qualidade de peças na gestão financeira do negócio automotivo é a força motriz da criação e proposta de um novo modelo de gestão. Seu objetivo primário é justamente melhorar a qualidade e a confiabilidade dos pneus fornecidos para indústria automotiva.

A eficiência desse modelo inovador, implementado globalmente em 2005 em uma montadora, é então comprovada quando seus resultados<sup>Ψ</sup> são apresentados e comparados com desempenho histórico.

---

<sup>Ψ</sup> O trabalho não contém nenhum dado ou informação confidencial à empresa.

## ***Abstract***

This scientific investigation introduces an innovative product Research and Development model to tires and presents a literature review on the quality of the parts supplied to the automotive industry.

There is few literature available about how to manage product development in the tire manufacturing industry. The main reason is because the subject is addressed with high confidentiality once it plays a decisive roll in the performance and in the suces of the business. A deep literature revision is presented about the product development management models used by the automotive parts manufacturers. Their main scientific and qualitative performance are investigated.

The critical analysis of the mentioned managing models shows that there is an urgent need of improvements and updates. The global financial result of all Original Equipment Manufacturers (OEM) is strongly influenced by the high cost of: field actions-recall, launching delays, stop shipments, warranty, unforeseen reworks and the company image damage.

The bad quality impact in the financial results of the automotive business is the driving force to the creation and proposal of this new management model. Its primary objective is to increase the quality and reliability of the tires developed and supplied to the OEMs.

The efficiency of this new model implemented globally in 2005 within an OEM is shown when its results<sup>Ψ</sup> are presented and compared against historical data.

---

<sup>Ψ</sup> This work does not have any OEM confidential or proprietary information.

# Capítulo 1: Introdução

“No fim todos nós morreremos. Infelizmente não podemos escolher a forma.  
Porém podemos decidir como chegar lá para sermos lembrados como  
homens.”

## 1 Introdução

### 1.1 Caracterização do tema

Um dos mercados automobilísticos mais importantes no mundo é o dos Estados Unidos da América (EUA). Tal fato deve-se ao expressivo volume de veículos produzidos. A Tabela I contém a produção em milhares de veículos dos 10 principais países em 2006.

Tabela I – Produção veicular em milhares de unidades dos 10 principais países em 2006.

País	Volume
1. Japão	11484
2. Estados Unidos	11264
3. China	7189
4. Alemanha	5820
5. Coréia do Sul	3936
6. França	3169
7. Espanha	2777
8. Brasil	2611
9. Canadá	2572
10. México	2046

Fonte: Brazil Automotive Guide 2008. Publicado por Anfavea e Sindipeças em Fev 2008.

Em 2007 a produção mundial foi de 69,2 milhões de unidades. A participação por continente na produção mundial é mostrada na figura 1.1.

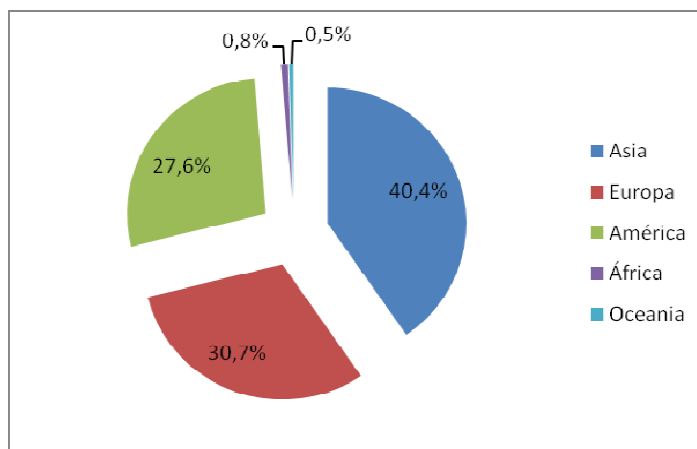


Fig. 1.1: Participação por continente na produção mundial de veículos.

Fonte: Brazil Automotive Guide 2008. Publicado por Anfavea e Sindipeças em Fev 2008.

Nos EUA as regras para o transporte marítimo, aéreo e terrestre são definidas pelo *Department of Transportation (DOT)*. Uma de suas agências mais importantes é a *National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)* cuja responsabilidade se estende desde os veículos terrestres motorizados até sua segurança em estradas. As estatísticas recentes publicadas por essa agência denotam que anualmente cerca de 42 mil mortes ocorrem em rodovias dos EUA. Os acidentes veiculares são a maior causa de morte entre os indivíduos com idade inferior a 34 anos. Além do imensurável impacto emocional, tais fatalidades respondem por perdas econômicas anuais à sociedade americana da ordem de 150 bilhões de dólares. Nesse valor, incluem-se perdas de produtividade, custos médicos e de seguro.

Desde 1967 quando foi empossada pelo Congresso dos EUA, a NHTSA registrou os seguintes números, relativos a unidades envolvidas em campanhas de serviço (também denominadas como *recalls*):

- 390 milhões de veículos (carros, ônibus, veículos recreacionais, motocicletas)
- 66 milhões de peças veiculares (excluindo-se pneus e cadeiras de segurança para crianças)
- 46 milhões de pneus
- 42 milhões de cadeiras de segurança para crianças

Muitas dessas campanhas foram iniciadas voluntariamente pelas próprias montadoras de automóveis. O restante, foi imposto pela agência, após a conclusão das investigações pertinentes e conseqüentes decisões judiciais. Caso um problema de segurança seja detectado os fabricantes devem notificar a agência, os proprietários, as concessionárias e os distribuidores. Concomitantemente devem propor ações de contenção para o problema sem infligir quaisquer custos para os mencionados acima. A agência tem o dever de monitorar o progresso das campanhas a fim de garantir o sucesso das mesmas.

O DOT estabelece a necessidade de uma campanha de serviço quando o veículo e/ou peça, parte, equipamento não atendem à legislação vigente ou quando apresentam algum defeito relacionado à segurança. Alguns exemplos

são citados a seguir, porém, não estão limitados pelo DOT somente a esses elementos:

- Componentes do sistema de direção e do sistema de injeção de combustível,
- ventiladores do sistema de arrefecimento,
- limpadores de pára-brisa,
- assentos,
- componentes do sistema elétrico e eletrônico,
- *air bags*, cintos de segurança, absorvedores de choques e capacetes,
- rodas e
- pneus.

Além de monitorar as estatísticas o NHTSA, define por meio das *Federal Motor Vehicle Safety Standards* (FMVSS) os padrões de desempenho a serem atendidos para peças dos veículos que mais afetam as operações de segurança ou que protejam os ocupantes e pedestres de acidentes fatais e riscos de terem a saúde afetada. Esses padrões de desempenho se aplicam a todos os veículos e equipamentos veiculares fabricados ou importados nos EUA e certificados para uso em estradas e rodovias norte-americanas.

Nos anos 2000 e 2001 as colisões com o veículo Explorer fabricado pela Ford e montado com pneus da Firestone resultaram em diversas fatalidades. Tais eventos trouxeram considerável atenção da sociedade mundial para a área da segurança em pneus. Estudos comprovaram que uma das causas raiz de tais acidentes era o inadequado desempenho do pneu<sup>[1]</sup>. Conseqüentemente, um dos pontos de escape, momento no qual deveria ter-se detectado o problema, é a gestão de desenvolvimento dessa importante peça.

O projeto de pneumáticos<sup>§</sup> destinados à indústria automobilística é uma tarefa complexa<sup>[2,3,4,5]</sup>. Além de ser fundamental para a criação de um item cuja produção seja economicamente viável, o projeto deve atender aos requisitos estruturais e de segurança regulados por entidades normativas. Essa tese de doutorado possui três objetivos primordiais:

---

<sup>§</sup> Usualmente denominados de pneus.

1. Realizar uma ampla revisão bibliográfica sobre os atuais modelos de gestão de desenvolvimento de produtos e peças fornecidas para indústria automotiva,
2. Analisar os resultados qualitativos e econômicos desses a fim de detectar os pontos que requerem melhorias e
3. Associar os pontos fortes e boas práticas dos modelos disponíveis com a experiência do autor para apresentar um modelo inédito para gestão do desenvolvimento de pneus.

## 1.2 Estrutura da tese<sup>x</sup>

O capítulo 1 traz a delimitação do assunto tratado, assim como os objetivos do trabalho e as justificativas da pesquisa.

Uma revisão bibliográfica sobre os modelos de gestão de desenvolvimento de produtos e peças fornecidas para indústria automotiva, além de seus resultados econômicos e qualitativos, são apresentados no capítulo 2. Ainda nesse capítulo, apresentam-se os resultados das investigações dos acidentes ocorridos com o veículo Explorer fabricado pela Ford e montado com pneus da Firestone.

Essa infeliz série de acidentes é um dos principais motivadores desse trabalho de pesquisa.

O detalhamento do modelo inédito de gestão, destinado ao desenvolvimento de pneus, é feito no capítulo 3.

A eficiência desse modelo inovador, implementado globalmente em 2005 por uma importante montadora, é então comprovada quando seus resultados são apresentados no capítulo 4 e comparados com dados históricos.

As conclusões são discutidas no capítulo 5.

A lista de referências bibliográficas consultadas encontra-se no capítulo 6. Adotou-se o “sistema numérico de chamada”. As referências obedecem ao arranjo numérico seguindo a ordem na qual foram citadas no texto.

---

<sup>x</sup> A confecção e formatação dessa tese obedece as Diretrizes para apresentação de dissertações e teses publicada pela Divisão de Biblioteca da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (São Paulo, 2006, 103p.).

Os Apêndices, suportes elucidativos e ilustrativos que auxiliam a compreensão do texto, estão contidos no capítulo 7. Neles o leitor encontrará uma revisão detalhada sobre as referências utilizadas na pesquisa bibliográfica. Tais referências não se aplicam exclusivamente aos pneus que são o foco principal dessa tese. Por isso foram transferidas para essa parte do texto.

O Apêndice A relata os artigos estudados sobre as campanhas de serviço.

O Apêndice B refere-se aos artigos estudados sobre os atrasos de lançamento.

O Apêndice C aborda a literatura sobre impedimentos de embarque – *stop shipment*.

O Apêndice D trata dos trabalhos sobre custos de garantia.

O Apêndice E aborda outros problemas e questões relacionadas à qualidade e confiabilidade de veículos terrestres automotores e seus subsistemas.

O Apêndice F contempla uma revisão bibliográfica sobre os mecanismos de falhas estruturais mais comuns em pneus.

O Apêndice G contém maiores detalhes dos estudos recentes sobre o acidente da Explorer em função do envelhecimento de pneus.



## Capítulo 2: Revisão bibliográfica

“Eles estão em você e em mim; eles nos criaram, mente e corpo; e sua preservação é a razão maior para nossa existência. Esses replicadores percorreram um longo caminho. Hoje eles são denominados genes, e nós somos suas máquinas de sobrevivência”

Frase do etologista, geneticista e escritor Richard Dawkins escrita em seu livro o Gene Egoísta.

## 2 Revisão bibliográfica

### 2.1 Estratificação das publicações

O embasamento teórico necessário para que os objetivos desse trabalho fossem atingidos foi encontrado em publicações financeiras, científicas e automotivo-técnicas.

Diversos artigos relacionados às principais empresas automobilísticas (*Original Equipment Manufacturers – OEMs*) mundiais foram pesquisados para a confecção da tese. A Tabela II contém a lista das montadoras mais citadas e a quantidade de publicações usadas.

Tabela II – Lista de publicações pesquisadas por montadora.

<b>Montadora</b>	<b>Citações</b>	<b>Montadora</b>	<b>Citações</b>	<b>Montadora</b>	<b>Citações</b>
<i>Toyota</i>	86	<i>Chrysler</i>	8	<i>Audi</i>	3
<i>Ford</i>	31	<i>VW</i>	5	<i>Land Rover</i>	2
<i>GM</i>	23	<i>Volvo</i>	5	<i>Fiat</i>	2
<i>Honda</i>	14	<i>Jaguar</i>	4	<i>BMW</i>	2
<i>Nissan</i>	8	<i>Renault</i>	3	<i>Aston Martin</i>	2
<i>Mercedes Benz</i>	8	<i>Mazda</i>	3	<i>Porsche</i>	2

Nota-se o alto número de publicações relativas à Toyota. A empresa é reconhecida pela indústria como sendo um modelo de referência na gestão da qualidade dos produtos e seus resultados são superiores aos seus concorrentes. Devido a esse fato, qualquer problema de qualidade desse fabricante acaba atraindo em maior escala a atenção da mídia em geral e, dos concorrentes. Muitas vezes, de maneira equivocada, esses tentam diminuir o impacto de seus erros citando que tampouco a empresa líder do mercado passa incólume pelo processo de lançamento de um veículo.

Mesmo que a imprensa acabe conferindo mais espaço para os eventos ocorridos com as principais montadoras, a literatura consultada destaca que ao longo do tempo todas as montadoras, sem exceção, sofreram (e ainda sofrem) com algum tipo de problema sério na qualidade dos automóveis e das suas peças.

Uma vasta revisão bibliográfica em relação aos outros problemas de qualidade experimentados pelas montadoras entre os anos de 2005 e 2007 é apresentada nos apêndices A a E. Os mesmos contemplam as referências bibliográficas numeradas de 6 a 209. Tal revisão foi apresentada nos

apêndices por se tratar de um estudo adicional referente a qualidade na indústria automotiva e para reforçar que os modelos atuais de gestão possuem resultados insatisfatórios uma vez que a incidência de problemas é muito alta.

## 2.2 Caso Ford/Firestone

Os fatídicos acidentes envolvendo veículos utilitários Explorer da Ford e pneus 15 polegadas da Firestone (modelos AT, ATX II e Wilderness AT), mostrados na figura 2.1, deram origem à uma investigação científica conduzida pela NHTSA que foi publicada recentemente. Entre 2000 e 2001 cerca de 300 pessoas morreram nesses acidentes. A maioria das fatalidades aconteceu nos EUA. A Firestone anunciou a maior campanha de serviço até então onde 14,4 milhões de pneus foram incluídos no edital de convocação a fim de serem retirados do mercado. Acredita-se que por volta de 6,5 milhões desses pneus ainda estejam em serviço. O objetivo dessa tese de doutorado não é julgar os méritos e as causas raízes do acidente e sim, constatar os motivos pelos quais não se detectou o problema a ponto de contê-lo em tempo. Uma vez definidos os pontos de escape, é feita uma proposta de um modelo de gestão capaz de detectar e evitar problemas relacionados com o desenvolvimento de pneus.



Fig. 2.1: Participação por continente na produção mundial de veículos.

Fonte: [www.fordrollover.com](http://www.fordrollover.com). Acesso em Fev 2008.

Os capotamentos, em sua grande maioria, aconteceram após o descolamento da banda de rodagem do pneu e, conseqüente, perda de controle do veículo. A banda de rodagem é a única parte projetada para entrar em contato com o solo. Garante a transmissão de esforços que proporciona a dirigibilidade do veículo. Carrega um desenho cujas características determinam a taxa de remoção de fluidos<sup>[210,211]</sup>, além de influenciar o desempenho nas

mais diversas condições de operação<sup>[212,213,214]</sup>. Os elementos estruturais mais comuns de um pneu são mostrados na figura 2.2.

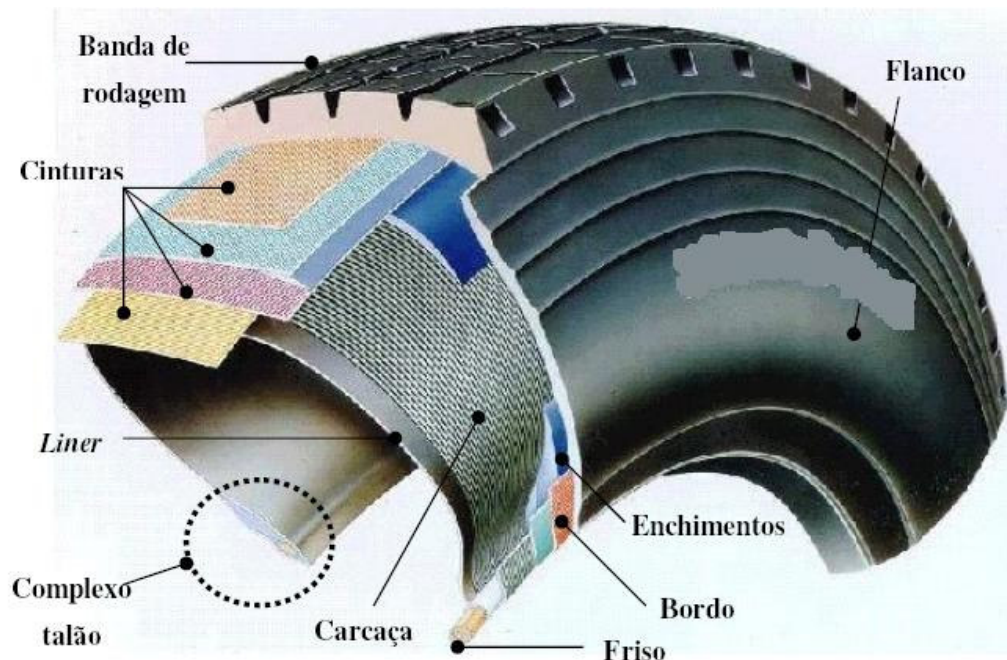


Fig. 2.2: Ilustração das estruturas fundamentais de um pneu.

Fonte: MALUF FILHO, W. M. **Rudimentos da Mecânica dos Pneumáticos**. São Paulo, 2002. 231p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

A NHTSA apresentou um relatório de pesquisa<sup>[1]</sup> ao congresso dos EUA sobre os principais mecanismos envolvidos no processo de falhas em pneus em geral. Além de avaliar quais parâmetros físicos contribuem para a falha estrutural, o estudo tinha como objetivo avaliar métodos acelerados<sup>Ψ</sup> para reproduzir-se tal fenômeno. As principais conclusões do estudo apontaram que um dos principais modos de falha que conduzem o pneu ao descolamento da banda de rodagem e, por conseguinte, ao colapso estrutural, é o envelhecimento. Algumas fotos do estado final de pneus que sofreram descolamento da banda de rodagem são apresentadas na figura 2.3.

---

<sup>Ψ</sup> É importante fazer uma ressalva com relação a métodos de ensaios acelerados. Os mesmos são amplamente empregados nos dias atuais, principalmente por reduzirem os custos e tempos de execução dos ensaios. Contudo, convém citar que sua utilização inadvertida pode conduzir a resultados não representativos, pois em muitas ocasiões outros mecanismos de falha acabam atuando durante esses testes<sup>[2]</sup>.



Fig. 2.3: Exemplos de pneus em colapso estrutural após sofrerem descolamento da banda de rodagem.

Fonte: MACLSAAC, J. **Tire aging test development project**. NHTSA-VRTC, Sebastien Feve, TRC. 6/2005.

O envelhecimento de pneus é a denominação científica dado ao fenômeno de redução e/ou perda das propriedades físicas e químicas dos materiais que compõe o pneu. Com a progressão do tempo, tal processo resulta na diminuição da capacidade do pneu em desempenhar suas diversas funções estruturais. O fluxo de calor e a presença de oxigênio são duas condições ambientais às quais os pneus são expostos ao longo de seu uso influenciando adversamente as propriedades de seus constituintes e sua durabilidade em serviço.

De 1994 a 2004, a NHTSA estima que anualmente ocorreram cerca de 414 fatalidades, 10275 ferimentos não fatais e 23464 colisões devido à algum tipo de falha estrutural em pneus<sup>[1]</sup>. Outros exemplos de causa dessas falhas são pressão incorreta de inflação, sobrecarga, manutenção incorreta, defeitos de fabricação, uso e instalação indevidos, além do envelhecimento. Estima-se que 1,1% de todos os acidentes fatais de veículos de passageiros nos EUA sejam relacionados às falhas dos pneus<sup>[1]</sup>.

Uma das crenças mais comuns é que a manutenção incorreta é a principal causa de falha em pneus. Obviamente, esse fator é importante para o desgaste

uniforme e o desempenho do pneu. O envelhecimento é um processo afetado termodinamicamente. Assim sendo, a degradação física ocorre devido às reações químicas de oxidação dos componentes feitos de borracha. Alguns fabricantes de pneus e empresas montadoras de automóveis recomendam que os consumidores substituam os pneus após um certo número de anos. As maiores OEMs (Daimler Chrysler, Ford, VW/Audi, BMW AG, Toyota) sugerem que o máximo tempo para uso do pneu não exceda em 6 anos a sua data de fabricação. Tal recomendação acontece, porque o envelhecimento afeta o desempenho seguro, independente da correta manutenção dos pneus. Por sua vez os fabricantes de pneus costumemente fornecem garantia para certa distância percorrida. Entretanto, impõem restrições de tempo de uso que podem chegar a 10 anos a partir da data de fabricação ou, exigir inspeções técnicas em períodos pré-definidos. Outro aspecto a ser considerado é o tempo de armazenamento. As recomendações variam de acordo com a empresa responsável pela produção do pneu.

Estima-se que nos EUA mais de 190 pessoas perderam a vida e mais de 860 pessoas ficaram feridas nos acidentes envolvendo os utilitários Ford Explorer equipados com os pneus da Firestone. As pesquisas de campo realizadas pela agência concluíram que cerca de 85% dos ferimentos e 90% das mortes ocorreram em estados do sul dos EUA. Especificamente, 65% das mortes aconteceram nos estados da Califórnia, Arizona, Texas e Flórida. A distribuição de acidentes por estados nos EUA é mostrada na figura 2.4. O número de óbitos está em negrito e o número de feridos está entre parênteses.

Essa tendência também foi detectada nas análises de uma grande companhia dos EUA, cujo nome não é citado no relatório. Os dados mostram que 77% dos reclamantes de pneus eram desses estados e 84% desses tinham pneus com mais de 6 anos de uso. Sabe-se que os sinistros de pneus não são necessariamente uma medida absoluta de falhas causadas pelo envelhecimento. Porém é razoável assumir que o expressivo número de reclamações desses 4 estados combinam com os dados provenientes da NHTSA tornando-se portanto um indicador de que as falhas são mais suscetíveis a ocorrerem em locais com maior temperatura e em pneus com maior tempo de uso.

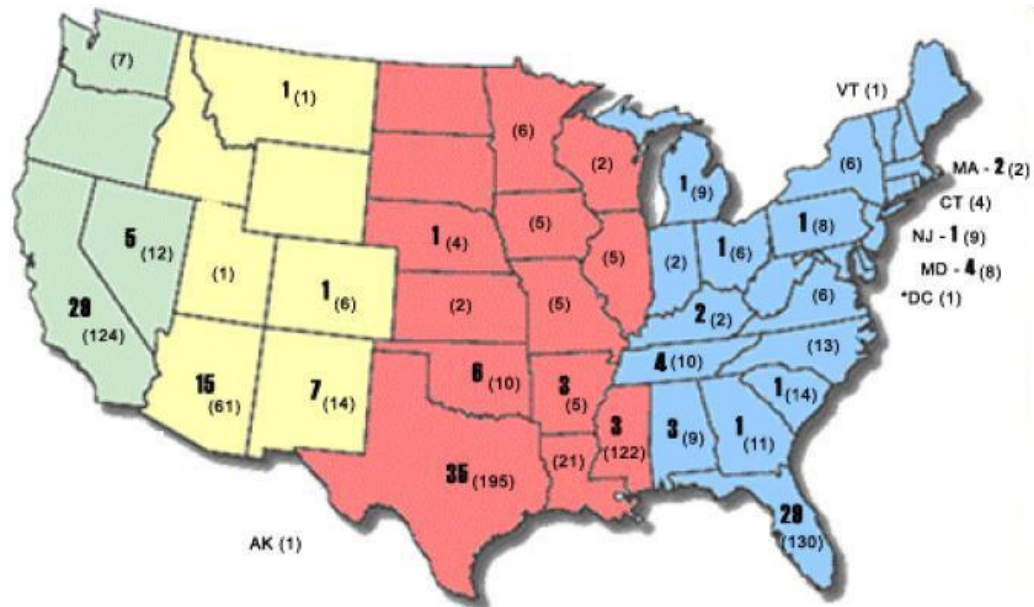


Fig. 2.4: A distribuição de acidentes por estados nos EUA.

Fonte: MACLSAAC, J. **Tire aging test development project**. NHTSA-VRTC, Sebastien Feve, TRC. 6/2005.

Apresenta-se na figura 2.5 um mapa da média de dias por ano com temperaturas superiores a 29,4°C (85°F) nos EUA.

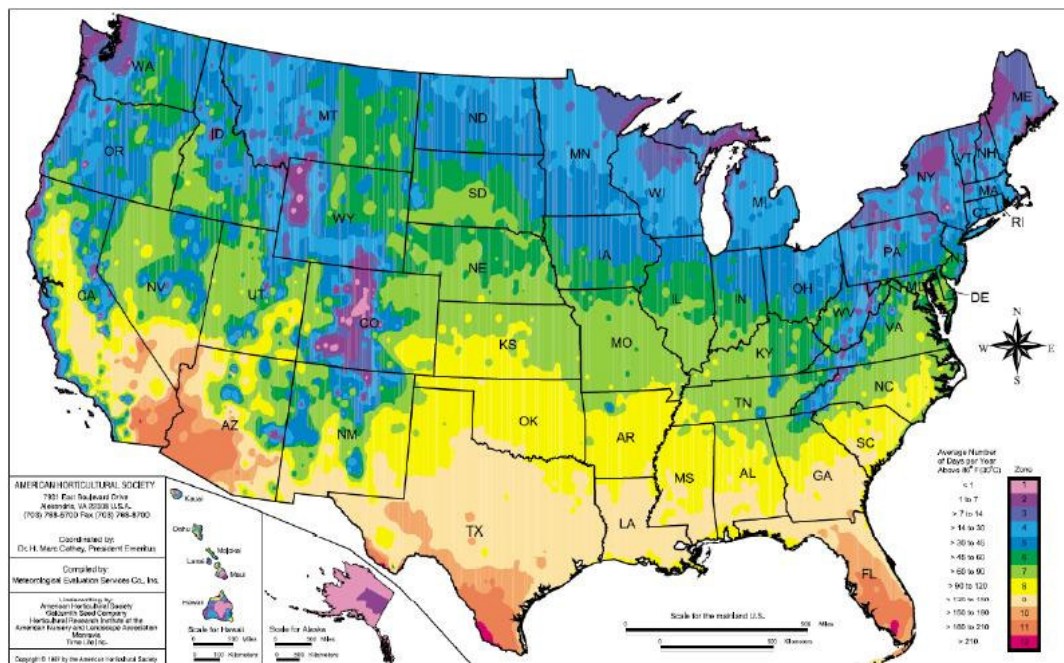


Fig. 2.5: A distribuição térmica anual por estados dos EUA.

Fonte: NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION. **Research report to Congress on tire aging**. Washington, EUA, August, 2007.

A *Rubber Manufacturers Association (RMA)* realizou um estudo em pneus descartados nos estados do Arizona, Califórnia, Flórida, Pennsylvania, Massachusetts, Oregon e Illinois. O estudo mostrou que após 4 anos de uso a taxa de danos em pneus foi significativamente maior no Arizona. Em todos os outros casos demonstrou-se que a taxa de falha é muito maior em pneus descartados em estados com maior temperatura ambiente. Adicionalmente as conclusões apontam que pneus envelhecem mais rapidamente em regiões com maior temperatura ambiente e que a baixa pressão de inflação não era o único mecanismo de falha atuante.

Considerando-se que a maior taxa de falha foi no Arizona e que Phoenix, capital desse estado, tem a maior temperatura média diária de todas as cidades dos EUA, a agência decidiu realizar um estudo específico nessa cidade. A NHTSA coletou 493 pneus usados e realizou testes com 181 deles. Os resultados foram comparados com os mesmos testes realizados em 222 pneus novos. Constatou-se que o envelhecimento é um processo de degradação termo-oxidativo que é fortemente influenciado e acelerado pelos seguintes fatores nessa ordem:

- Tempo,
- Presença de altas temperaturas,
- Pressão parcial de oxigênio no pneu

Esse estudo também constatou que o envelhecimento é o principal modo de falha em pneus.

Em um estudo de campo muito mais amplo, a Ford Motor Company coletou 18 tipos de pneus de 6 regiões geográficas dos EUA (Detroit, Hartford, Phoenix, Miami, Denver e Los Angeles) e observou tendências idênticas nas propriedades físicas e químicas dos pneus<sup>[1]</sup>. Tal estudo durou 5 anos e avaliou mais de 2500 pneus.

A experiência prática adquirida na indústria automotiva permite afirmar que o impacto do fenômeno do envelhecimento é bastante conhecido. Sabe-se ainda que existem diversos testes laboratoriais e de campo disponíveis. Portanto, as evidências coletadas durante a revisão dos documentos, concernentes ao processo de investigação, sugerem que a tendência dos pneus experimentarem o processo de envelhecimento e falharem nas



condições de uso descritas acima poderia ter sido detectada durante o processo de desenvolvimento do produto.

A causa raiz do problema está relacionada com o fenômeno do descolamento da banda de rodagem após a aceleração do processo de envelhecimento. Tratar desse tema não é o foco dessa tese de doutorado. Porém o ponto de escape do problema, ou seja, o motivo pelo qual não foi detectado é o assunto de interesse, de tal sorte que, no capítulo 3 apresenta-se um modelo inédito para a gestão do desenvolvimento de pneus.

O Apêndice F contempla uma revisão bibliográfica sobre os mecanismos de falhas estruturais mais comuns em pneus. As publicações listadas de 215 a 279 são comentadas em mais detalhes.

O Apêndice G contém mais informações sobre os estudos recentes acerca do acidente da Explorer em função do envelhecimento de pneus. As publicações listadas de 280 a 286 são detalhadas.

## **2.3 Investigação dos modelos de gestão atuais para o desenvolvimento de produtos e peças fornecidas para indústria automotiva**

### **2.3.1 Introdução**

A seguir, para vários subsistemas e sub-processos do setor automotivo, são apresentados modelos de gestão da qualidade e do desenvolvimento de produto. Os mesmos foram avaliados nesse trabalho de pesquisa com o intuito de estudarem-se as boas práticas e lições de sucesso de tal sorte que fosse possível incorporá-las na confecção do modelo inédito para a gestão do desenvolvimento de pneus. Conforme foi citado anteriormente essa peça em especial não é tratada de maneira explícita em publicações abertas constituindo dificuldade adicional no ato da investigação bibliográfica.

### **2.3.2 Acabamento interno**

Andres e Jang<sup>[287]</sup> apresentaram um trabalho no qual obtiveram como resultados a redução do custo da produção e melhoria da qualidade do produto ao utilizarem sistemas de visão para o controle da manufatura de bancos.

You et al.<sup>[288]</sup> propuseram modelos de satisfação do cliente em relação a peças utilizadas no acabamento interno como volante, alavanca do câmbio e painel de instrumentos. Os modelos eram utilizados para avaliar o impacto das variáveis de projeto relevantes para o consumidor.

### 2.3.3 Chassis

Shim e Velusamy<sup>[289]</sup> analisaram os efeitos das propriedades da suspensão na dirigibilidade do veículo usando análise dinâmica de mult corpos. Dessa forma, foi possível criar um modelo para investigar a qualidade da resposta dinâmica do veículo.

### 2.3.4 Componentes eletrônicos

Liao e Li<sup>[290]</sup> analisaram as preocupações reais de prevenção de falhas em componentes e sensores da eletrônica veicular. Um sistema de monitoramento único, que fornece prognósticos, é apresentado baseado na análise da degradação física dos componentes.

Puerschel<sup>[291]</sup> apresentou um artigo com os requisitos de qualidade para sistemas eletrônicos utilizados em aplicações automotivas.

Um artigo para otimização da eficiência na produção de circuitos eletrônicos com filtros é apresentado por Rai e Singh<sup>[292]</sup>.

Siebert et al.<sup>[293]</sup> usaram técnicas de correlação digital de imagem em alta velocidade para investigação de eventos transientes em micro-controladores.

Wagner et al.<sup>[294]</sup> apresentaram um artigo usando uma técnica para aumentar a confiabilidade e a disponibilidade de funções técnicas de componentes eletrônicos empregados em sistemas de prevenção e com alta probabilidade de falha.

Pierson<sup>[295]</sup> realizou um estudo a fim de compreender e controlar as reações elétricas e químicas que têm significativo impacto no desempenho e durabilidade de baterias automotivas.

### 2.3.5 Desenvolvimento de Produto e Processo

Algumas técnicas são bastante utilizadas para o desenvolvimento de produtos. Entre elas, destacam-se o emprego de *Design of Experiment (DoE)*,

métodos matemáticos e estatísticos, lógica *Fuzzy*, 6-Sigma e análise de confiabilidade. O objetivo principal dessas técnicas é conhecer a relação entre as variáveis que governam o fenômeno físico a ser estudado para reduzir a variabilidade dos processos de manufatura e aumentar a qualidade do produto.

### **2.3.5.1 Design of Experiment (DoE)**

Nogueira e Mello<sup>[296]</sup> escreveram um artigo cujo objetivo é melhorar a solução de problemas existentes no ambiente de produção para a obtenção de produtos e processos com mais qualidade. O processo de solução de problemas deve ser rápido eliminando a causa raiz efetivamente. Os autores reforçam a importância do *Total Quality Management (TQM)* no gerenciamento das organizações modernas e citam as OEMs como exemplos nos quais os gestores devem aplicar tal ferramenta.

Flesch et al.<sup>[297]</sup> constatam que na indústria automotiva existe um tempo cada vez menor entre lançamentos de novos modelos de veículos além de uma tendência do aumento da expectativa dos consumidores de que os automóveis não apresentarão problemas de qualidade. Segundo os autores os ajustes de processo e projeto durante a produção serial de automóveis, não são aceitáveis. Portanto, antes de iniciada a manufatura em série, o DOE deveria ser utilizado a fim de se encontrar um conjunto de soluções ótimas para produtos e parâmetros de processo. Os autores apresentam o uso dessa ferramenta obtendo melhorias no processo produtivo do sistema de retenção de colunas de direção.

### **2.3.5.2 Métodos matemáticos e estatísticos**

Havarias e Souza<sup>[298]</sup> usam a distribuição de Weibull e o método de cálculo de parâmetros em escala para algumas aplicações automobilísticas. O intuito principal é aperfeiçoar o tempo de estudo uma vez que, em certas aplicações de campo o uso do computador é inexistente ou bastante restrito.

Sabe-se que por muitas vezes os projetos de engenharia são realizados de maneira determinística, podendo dessa forma comprometer o resultado final. Gea e Oza<sup>[299]</sup> divulgam o uso de modelos de projeto probabilísticos reforçando a importância de levar-se em consideração nos mesmos, a propagação de incertezas.

Tredinnick e de Oliveira Souza<sup>[300]</sup> discutiram o uso de diversos métodos matemáticos para resolução de problemas de qualidade. O principal aspecto do trabalho é a escolha do método mais apropriado dependendo da natureza do problema. O artigo traz diversas sugestões para o emprego dessas ferramentas em montadoras de automóveis.

Song et al.<sup>[301]</sup> afirmam que, o método de teste de fadiga é mal compreendido pela comunidade científica. Os autores criticam o método de teste por não ser possível a determinação do limite médio de fadiga. Para isso mostram uma comparação dos modelos de Weibull e de Gauss para o entendimento dos dados provenientes dos testes e por fim, sugerem uma mudança no método com vistas à obtenção de resultados com mais acurácia e qualidade. Diversos componentes automotivos, assim como os pneus, são mandatoriamente testados em relação à sua resistência ante a fadiga.

Reagan e Steven<sup>[302]</sup> apresentaram um interessante estudo ao desenvolver uma simples e precisa expressão analítica relacionando os resultados esperados do processo (longo termo) com resultados de amostragem (curto termo) da variabilidade da produção. O número de defeitos por oportunidade (*Defects per Opportunity – DPO*) e defeitos por milhão de oportunidades (*Defects per Million Opportunities – DPMO*) são estudados como indicadores de qualidade uma vez que representam um dos parâmetros de análise do desempenho final do processo. Sugerem que outros pesquisadores da área automotiva troquem o enfoque de medir apenas o número de defeitos ao invés de utilizar o DPMO.

A análise da tolerância é essencial para estimar-se o erro final de características chaves do produto em montagens mecânicas na indústria automotiva e aeronáutica. Babaei e Movahhedy<sup>[303]</sup> empregaram uma análise de tolerância para melhorar o processo de soldagem de peças estruturais de aeronaves. Os autores também sugerem o uso do método probabilístico de projeto somando-se a outros autores previamente citados<sup>[2,229]</sup>.

Em certos casos, os métodos de projeto de engenharia, auxiliados por computador (*Computer Aided Engineering – CAE*), podem permitir a melhoria da qualidade do produto final e reduzir o tempo total ao utilizar protótipos virtuais<sup>[2]</sup>. Porém, incertezas e variabilidade nas propriedades e no processo de

manufatura, conduzem a distorção no desempenho real das peças. Donders et al.<sup>[304]</sup> sugerem que tais incertezas sejam incorporadas ao uso do CAE a fim de garantir a confiabilidade e robustez necessárias aos produtos automotivos e aeroespaciais. Por isso propõem em um artigo o uso de métodos matemáticos para eliminar a deficiência existente nos métodos de projetos atuais.

Os métodos para decomposição, análise e classificação de ruídos interiores são amplamente utilizados na indústria automobilística. O motivo principal, é que o ruído interno é um aspecto bastante valorizado pelos consumidores e, afeta o índice global de qualidade do veículo. Batel e Moller<sup>[305]</sup> mostram o uso de técnicas estatísticas no tratamento de dados para a determinação dos efeitos que contribuem para esse fenômeno a fim conseguirem reduções perceptíveis nos níveis de ruído e por conseqüência, incrementar a satisfação do usuário final.

Haik<sup>[306]</sup> introduz em seu artigo o método de qualidade axiomático aplicado à indústria automotiva. O objetivo principal é assegurar a robustez conceitual ao eliminar ou reduzir a vulnerabilidade associada aos processos produtivos. Usando métodos de otimização torna-se possível integrar as interfaces do projeto robusto e axiomático melhorando os resultados de qualidade do produto.

Tsai<sup>[307]</sup> publicou um interessante trabalho sobre o uso inteligente de sistemas adaptativos para a seleção ótima de variáveis usadas pelos departamentos de Pesquisa e Desenvolvimento (*Research & Development – R&D*) e Qualidade de montadoras veiculares. De acordo com o autor o custo de desenvolvimento e gerenciamento da qualidade representam significativa porção do custo final. O desempenho variável do R&D e o projeto de qualidade são os itens mais importantes que refletem a eficiência das reduções de custo tão comuns nos dias atuais. Um algoritmo genético foi utilizado para fazer a seleção ótima dos parâmetros que afetam a qualidade do produto.

A implantação do *Enterprise Resource Planning – ERP*, como uma iniciativa de mudança, é um desafio que qualquer organização moderna já enfrentou ou está prestes a enfrentar. Contudo Wang e Chen<sup>[308]</sup> constatam que o suporte interno é muito deficitário e inadequado, tornando necessário o auxílio de consultorias externas. Os autores usam análise estatística para

justificar e quantificar essa afirmação, baseados em estudos de casos reais de OEMs cuja qualidade da implantação foi verificada.

Itabashi<sup>[309]</sup> propõe que, os modelos de gestão da qualidade usados pelas empresas seja lógico e baseado em confiabilidade. Para tanto emprega um modelo estatístico Bayesiano para validação anual da estratégia de qualidade. Ao planejar periódicas re-validações, o foco deve ser voltado para potenciais modos de falha relacionados ao processo de manufatura e flutuação na qualidade dos fornecedores. Exemplos aplicados a peças automotivas são investigados pelo autor. Jiang e Mahadevan<sup>[310]</sup> também usam um modelo estatístico Bayesiano para criar um método de decisão baseado no risco para validação de escolhas de projeto que influenciam a qualidade das peças. O modelo ainda incorpora as incertezas e suas propagações.

Chakraborty e Tah<sup>[311]</sup> mostram um sistema suporte de decisão baseado em métodos estatísticos em tempo real. O sistema pode ser usado em controle de qualidade para quaisquer processos que tenham automação em sua concepção.

Gong<sup>[312]</sup> publicou um trabalho científico sobre a estimação de parâmetros de produção usando a distribuição de Weibull na análise de confiabilidade para peças automotivas.

Quando um novo veículo, ou uma variação de algum já existente, está para ser lançado é vital saber se o mesmo irá atender aos requisitos de qualidade pré-definidos. Usando simulações de CAE ou dados de garantia pode ser possível identificar componentes que tenham grande impacto no desempenho do produto. Dharmadhikari et al.<sup>[313]</sup> propuseram um modelo para decidir quais devem ser as tolerâncias dimensionais de componentes, de tal sorte que estejam dentro dos limites pré-estabelecidos pelo projeto. Além disso, discutem a enorme importância da estatística no projeto robusto.

Attardi et al.<sup>[314]</sup> apresentam um estudo de caso relacionado à análise de confiabilidade em algumas peças automotivas. Tal estudo emprega um modelo Weibull de regressão que é alimentado por dados de garantia provenientes do desempenho dos veículos em serviço. Os resultados mostram alta correlação e acurácia do modelo.

Al-Garni et al.<sup>[315]</sup> usaram uma rede neural artificial (*Artificial Neural Network* – ANN) para a previsão da falha de pneus de aeronaves. As entradas para a rede são variáveis independentes e a saída é a taxa de falha. Dados obtidos no campo durante 6 anos foram usados para a construção e validação do modelo.

### 2.3.5.3 Lógica *Fuzzy*

As primeiras noções da lógica dos conceitos "vagos" foram desenvolvidas pelo polonês Jan Lukasiewicz (1878-1956) em 1920. Ele introduziu conjuntos com graus de pertinência sendo 0,  $\frac{1}{2}$  e 1 e, mais tarde, expandiu para um número infinito de valores entre 0 e 1. A primeira publicação sobre lógica *Fuzzy* data de 1965, quando recebeu este nome. Seu autor foi Lotfi Asker Zadeh, professor em Berkeley, Universidade da Califórnia. Zadeh criou a lógica *Fuzzy* combinando os conceitos da lógica clássica e os conjuntos de Lukasiewicz, definindo graus de pertinência. Entre 1970 e 1980 as aplicações industriais da lógica *Fuzzy* aconteceram com maior importância na Europa. Após 1980, o Japão iniciou seu uso com aplicações na indústria. Algumas das primeiras aplicações foram no tratamento de água feito pela Fuji Electric em 1983 e pela Hitachi no sistema de metrô inaugurado em 1987. Por volta de 1990 é que a lógica *Fuzzy* despertou maior interesse em empresas dos Estados Unidos. Na teoria clássica, os conjuntos são denominados *crisp* e um dado elemento do universo em discurso (domínio) pertence ou não pertence ao referido conjunto. Muitas vezes não existe uma fronteira bem definida para decidir-se quando um elemento pertence ou não ao respectivo conjunto. Na teoria dos conjuntos *Fuzzy* existe um grau de pertinência de cada elemento a um determinado conjunto. Devido ao desenvolvimento e as inúmeras possibilidades práticas dos sistemas *Fuzzy* e ao grande sucesso comercial de suas aplicações, essa lógica é atualmente considerada como uma técnica padrão tendo uma ampla aceitação na área de controle de processos industriais. Também é conhecida como lógica nebulosa ou difusa.

Norman et al.<sup>[316]</sup> realizaram um projeto de pesquisa cujo objetivo era incrementar a qualidade da inspeção da manufatura de peças automotivas. Em conjunto com pesquisadores de 5 universidades estudaram os algoritmos de

análises de dados mais robustos para detecção de falta de parafusos em vigas estruturais dos chassis.

Bombardier et al.<sup>[317]</sup> também publicaram um artigo para melhoria do sistema de reconhecimento de defeitos de produção em linhas de produção de autopeças.

No atual ambiente, competitivo e globalizado, é uma grande vantagem para os negócios capturar efetivamente os requisitos de qualidade percebidos pelos consumidores. Uma das formas para atingir tal objetivo é analisar sistematicamente tais informações e transformá-las em características do produto. Buyukozkan et al.<sup>[318]</sup> usaram a lógica difusa para interpretar preferências pessoais dos usuários. Os mesmos, quando questionados sobre determinados aspectos de qualidade, forneceram respostas em diferentes formatos dependendo do seu conhecimento do sistema em questão. Tal conjunto de dados apresenta características incertas e por isso a ferramenta foi usada.

#### **2.3.5.4 Seis-Sigma**

O conceito de 6 sigma consiste na aplicação de métodos estatísticos a processos produtivos, orientada pela meta de eliminar defeitos. A maioria das empresas opera no nível 3 (3-Sigma), o que equivale a 35 mil defeitos por milhão de oportunidades de haver algum tipo de defeito. Uma empresa cuja manufatura operasse em um processo 6-Sigma geraria apenas 3,4 defeitos por milhão. O 6-Sigma emprega algumas técnicas do TQM e ambas as ferramentas enfatizam que a melhoria contínua da qualidade é essencial. A diferença está na gestão: o TQM tem diretrizes mais abstratas e gerais e normalmente é aplicado por técnicos e baixa/média gerência, enquanto o 6-Sigma tem como meta específica o sucesso do negócio e deve ser liderado pela alta administração. Os benefícios teóricos são: maior eficiência operacional, redução de custos, melhoria da qualidade, aumento da satisfação dos clientes e incremento dos lucros. DMAIC é a sigla em inglês utilizada para representar o modelo de melhoria do desempenho. *Define*: Definir os problemas e situações a serem melhorados. *Measure*: Mensurar para obter informações e dados. *Assess*: Analisar as informações captadas. *Improve*: Incrementar os processos envolvidos. *Control*: Controlar os processos



aperfeiçoados, a fim de gerar um ciclo de melhoria contínua. Para alguns, seu grande trunfo é estabelecer uma meta muito específica: 3,4 defeitos por milhão de oportunidades de ocorrerem defeitos. Para outros, como Michael Hammer – autor sobre a reengenharia e da gestão por processos –, o grande trunfo do 6-Sigma está na disciplina que ele propõe que permite lidar com a complexidade das operações comerciais. Hammer afirma: “Diversos fatores podem causar problemas de qualidade: uma máquina mal calibrada, matéria-prima fora das especificações, operadores que realizam a tarefa de forma incorreta. Em vez de propor soluções aleatórias, as empresas adeptas do 6-Sigma determinam a causa do problema e aplicam apenas aquelas soluções consideradas adequadas”. Ele acrescenta que o 6-Sigma é mais gerenciável que outras ferramentas. Para alguns, não há limitações; o 6-Sigma se aplica a tudo. Para outros, como Michael Hammer, existem limitações inerentes à natureza do regime de resolução de problemas orientado para projetos. Essa abordagem implanta ferramentas estatísticas de análise para descobrir falhas na execução de um processo em andamento, mas não leva em conta, segundo ele, a possibilidade de haver uma forma totalmente diferente de realizar aquele processo. Em outras palavras, o 6-Sigma parte do princípio de que o desenho de projeto existente é fundamentalmente sólido e que precisa apenas de pequenos ajustes para ser mais eficiente. O sucesso do 6-Sigma não implica automaticamente o sucesso da empresa. A figura 2.1 apresenta a redução do custo referente à má qualidade em função do nível Sigma do processo produtivo. Trata-se de uma demonstração genérica.

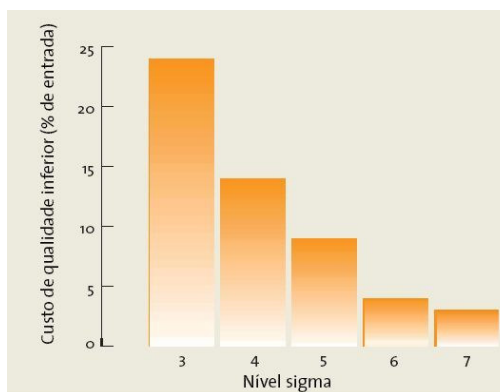


Fig. 2.1: custo da má qualidade x nível sigma.

Fonte: PYZDEK, T. **Uma ferramenta em busca do defeito zero**. HSM Management 38, maio-junho 2003.

Batocchio et al.<sup>[319]</sup> apresentam os conceitos básicos que suportam a implantação do 6-Sigma e manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*). Da Graça Jr.<sup>[320]</sup> cita a importância decisiva do envolvimento da alta direção para o sucesso da implementação do 6-sigma. Thomas e Singh<sup>[321]</sup> descrevem a filosofia, ferramentas, potencial e desafios de aplicação no desenvolvimento de produtos e peças automotivas. Por sua vez Ramamurthy e Reyes<sup>[322]</sup> baseados em dados relacionados à implantação em indústria, tecem comentários acerca do treinamento dos funcionários nessa técnica estatística tão usada atualmente. Washington et al.<sup>[323]</sup> apresentaram um caso de utilização de 6-sigma para estudantes de engenharia. Propuseram um inventivo experimento didático cujos alunos deveriam atender às expectativas do cliente, sem contudo violar o custo, o volume da embalagem e atendo-se ainda às complexas restrições de projeto. Austin<sup>[324]</sup> escreveu um artigo sobre a aplicação do 6-sigma para melhorar a gestão dos requerimentos dos clientes em um programa veicular. Stoletova<sup>[325]</sup> afirma que para monitorar o sucesso dos projetos de 6-sigma é crítico mensurar e confirmar a qualidade dos materiais, processos e peças. Seu artigo traz uma discussão dos critérios baseados em rejeição de uma peça de qualidade e aceitação de uma peça defeituosa. Logan et al.<sup>[326]</sup> realizaram um estudo sobre o emprego do 6-sigma para priorizar em um projeto veicular as métricas de qualidade e a profunda pesquisa sobre os aspectos que impactam a satisfação do cliente. Jikar et al.<sup>[327]</sup> criaram uma interligação entre Análise do Valor, Projeto Robusto e 6-sigma para melhorar o funcionamento e qualidade de sistemas automotivos. Já Zhou e Li<sup>[328]</sup> estudaram maneiras de evitar a ocorrência de modos de falha frequentes em barras metálicas utilizadas em chassis automotivos. Por sua vez Laval et al.<sup>[329]</sup> estudaram a aplicação de manufatura enxuta e conceitos de 6-sigma no processo produtivo de empresas aeroespaciais. Richardson<sup>[330]</sup> publicou no Wall Street Journal em Janeiro de 2007 um artigo não técnico comentando a dificuldade das empresas norte-americanas frente aos produtos de qualidade fabricados no Japão. A Ford, a Xerox e a Lockheed Martin são citadas como empresas que têm êxito na utilização do 6-sigma.

Andreas<sup>[331]</sup> realizou uma investigação na variação do torque de saída em um servo-freio de estacionamento usando ferramentas do 6-sigma e

análises de elementos finitos. Em compensação recente artigo (junho 2007) não técnico publicado na Business Week Online<sup>[332]</sup> questiona a real eficiência dessa técnica ao afirmar que sua aplicação em prestação de serviços é complicada segundo os participantes de grupos de trabalho que a utilizaram. Porém não existem informações citadas sobre o treinamento que foi provido ou até mesmo o nível de conhecimento matemático daqueles que usaram os conceitos de 6-sigma.

Garcia et al.<sup>[333]</sup> escreveram um trabalho sobre o emprego dessa técnica para melhoria da qualidade em sistemas de exaustão no qual o desempenho acústico tem um importante papel. Bo<sup>[334]</sup> apresentou um artigo cujo principal objetivo era desenvolver uma estratégia avançada para selecionar um projeto de produto e um processo de manufatura que fossem insensíveis às diversas flutuações dos parâmetros de produção. Além das técnicas de 6-Sigma também foi usada uma simulação matemática (Monte Carlo) para compor o modelo de decisão.

Atualmente as indústrias utilizam-se significativamente do método de qualidade de Taguchi. Entretanto segundo Wells et al.<sup>[335]</sup> algumas desvantagens existem e por isso torna-se necessária a complementação do modelo de gestão com o emprego do 6-sigma. Stoletova<sup>[336]</sup> propôs uma combinação do 6-sigma com a teoria inventiva de resolução de problemas TRIZ para otimização de resultados (*Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch* – sigla russa que significa *Theory of Inventive Problem Solving*). Loganathan et al.<sup>[337]</sup> usaram o 6-sigma para estabelecer um processo de validação para unidades de controle eletrônico (*Electronic Control Unit* – ECU). Tais dispositivos devem ser testados exhaustivamente antes do lançamento do produto especialmente quando são utilizados na indústria automobilística. Brand et al.<sup>[338]</sup> escreveram um trabalho focado na aplicação do 6-Sigma na engenharia de processo de fornecedores de auto peças.

Mancini<sup>[339]</sup> mostrou que a Ford obteve reduções significativas nos níveis de emissão de gases veiculares ao usar o 6-Sigma para projetar novamente uma peça do sistema de exaustão. Mitchell e Schultz<sup>[340]</sup> fizeram uma investigação similar ao estudar melhorias de qualidade obtidas nos simuladores de movimento da indústria automotiva após emprego de técnicas de 6-sigma.

Já Biondo e Griffin<sup>[341]</sup> constataram que a General Motors Company (GMC) melhorou o desempenho do sistema anti-roubo de seus carros ao empregar essas técnicas na atualização do projeto do sistema responsável pela interrupção do motor. A atuação ocorre caso a verificação do código da chave não seja positiva. Por fim Avutapalli et al.<sup>[342]</sup> apresentaram estudo sobre a aplicação do 6-Sigma para melhorar o desempenho de *Noise, Vibration and Harshness* (NVH) de veículos automotores.

### **2.3.5.5 Análise de confiabilidade**

Nos últimos anos diversos progressos foram obtidos no que se refere ao desenvolvimento de produto com foco em confiabilidade. Uma das vertentes mais importantes é o *Reliability Based Design Optimization* (RBDO). Uma de suas hipóteses é que todas as informações concernentes às incertezas de entrada sejam conhecidas. Contudo essa hipótese não é válida em termos de engenharia prática por causa da falta de informações válidas. Costumeiramente, em termos práticos, as informações conhecidas são fruto de finitas amostras. Os métodos existentes de *Uncertainty Based Design Optimization* (UBDO) não conseguem lidar com problemas de projeto envolvendo incertezas com falta de dados. Wang et al.<sup>[343]</sup> então propuseram um novo método que é capaz de fazer a análise de confiabilidade quando existe falta de informações sobre incertezas do projeto. O artigo apresentado traz dois exemplos práticos de análises veiculares realizadas nessas circunstâncias nas quais, segundo os autores, a eficiência e acurácia foram substancialmente melhoradas.

Li e Mourelatos<sup>[344]</sup> usaram um método para análise de confiabilidade de uma peça estrutural do chassi. A mesma sob o efeito da vibração decorrente do uso em condições reais vinha apresentando falhas prematuras. Os autores empregaram um algoritmo genético para estudar sistemas dependentes do tempo sob efeito de incertezas.

O RBDO foi desenvolvido sob a assunção que todas as variáveis de entrada são independentes porque é muito difícil construir uma função de distribuição de probabilidade precisa. Porém, em aplicações reais, é comum que as variáveis sejam dependentes e correlatas. Choi et al.<sup>[345]</sup> publicaram um

artigo sobre situações da indústria nas quais pode-se aplicar um método de RBDO usando variáveis correlatas.

Poucos são os artigos que mencionam as imprecisões de seus cálculos. Dessa forma, Mahdevan e Rebba<sup>[346]</sup>, propuseram um método para a quantificação de erro nas análises de RBDO que utilizam modelos computacionais.

Xi et al.<sup>[347]</sup> publicaram um estudo cujo principal objetivo é incrementar a análise de probabilidade dos modelos de RBDO para conferir maior robustez às análises realizadas. Lamb et al.<sup>[348]</sup> realizaram estudos computacionais para estudos de confiabilidade de veículos militares.

O processo de desenvolvimento de veículos torna-se cada vez mais exigente, principalmente no que tange à segurança dos ocupantes. Os requerimentos de projeto definidos pelas regulamentações governamentais e pelos índices de satisfação dos clientes estão em contínuo avanço em termos de exigência e complexidade. Testes virtuais contribuem para o processo, uma vez que, se forem representativos dos fenômenos físicos<sup>[2]</sup> podem reduzir consideravelmente o tempo de desenvolvimento. Além disso, podem auxiliar os engenheiros a compreender a sensibilidade dos parâmetros assim como aumentar a robustez do produto. Twisk et al.<sup>[349]</sup> apresentaram um estudo referente à melhoria de acurácia dos modelos usados para simular a segurança dos ocupantes de veículos em situações de colisão.

Liang et al.<sup>[350]</sup> escreveram um artigo referente a modelos de análise de confiabilidade para sistemas produzidos em larga escala como na indústria automotiva. Os autores sugerem uma abordagem baseada nos potenciais modos de falha. Os objetivos de probabilidade das falhas são variáveis de projeto com forte impacto na confiabilidade final do produto e por isso devem ser levadas em consideração.

Nikolaids<sup>[351]</sup> propôs um modelo de cálculo de confiabilidade para sistemas dinâmicos. Segundo o autor o modelo tem bom desempenho para fenômenos probabilísticos cujas informações práticas estão disponíveis em intervalos cujos limites inferiores e superiores estão validados.

Em muitos trabalhos publicados, e em diversas ocasiões na indústria atual, os temas confiabilidade e qualidade são tratados de maneira separada.

Tal fato definitivamente também não contribui para a melhoria do desempenho do produto no mercado e para os resultados financeiros das empresas. Foi exatamente o que Klyatis e Klyatis<sup>[352]</sup> constataram em seu trabalho sobre estratégia para reformulação dos conceitos de engenharia automotiva sobre confiabilidade, durabilidade e manutenção integrados à qualidade. Trabalho similar é publicado por Itabashi<sup>[353]</sup> que também apóia o binômio confiabilidade-qualidade do ponto de vista dos projetos automotivos.

Gunawan et al.<sup>[354]</sup> apresentam um modelo de cálculo para otimização de projeto e previsão de confiabilidade para situações cujos dados de incertezas estão incompletos. Esse modelo foi usado para otimizar o projeto de um motor maximizando a probabilidade de que o projeto atenda ou exceda os objetivos de confiabilidade pré-estabelecidos.

Conforme foi citado no início dessa tese, a indústria automobilística está sofrendo com massivas campanhas de serviço mesmo depois de muitos desenvolvimentos nos campos da engenharia de qualidade e confiabilidade. Os custos envolvidos tem sido devastadores para o lucro e reputação das empresas. Além disso, o tamanho das amostras utilizadas para os testes é geralmente muito pequena para prover resultados úteis e representativos do desempenho do produto, peça, sistema ou sub-sistema em questão. Tal fato normalmente é uma das causas raízes para a obtenção de erros nos resultados dos testes de confiabilidade. Kececioglu e Sarakakis<sup>[355]</sup> concordam com essas afirmações e apresentam um artigo reforçando a significativa importância da realização de testes adequados, antes do início da produção e embarque, a fim de evitar campanhas de serviços e aumentar a confiabilidade dos veículos. Segundo os autores, muitas campanhas de serviço seriam evitadas se tais comentários fossem seguidos pelas OEMs. Adicionalmente os autores propõem um procedimento no qual determinam o número mínimo de peças a serem testadas antes de serem concluídas as análises de confiabilidade. Klyatis e Klyatis<sup>[356]</sup> criticam severamente a compreensão de engenheiros e gerentes de projetos sobre testes automotivos. De acordo com os autores, essas duas categorias de profissionais usualmente desconhecem o significado correto de testes de confiabilidade. Eles vão além ao ampliar sua crítica para a ampla maioria das empresas, independente de sua

especialização, localização geográfica ou tamanho. Com seu artigo analisam os motivos que conduzem à resultados pobres provenientes dos testes de confiabilidade. De acordo com Klyatis e Klyatis os processos de desenvolvimento da confiabilidade e melhorias contínuas são sempre mais lentos do que deveriam. Convém citar que o autor dessa tese está integralmente de acordo com esses trabalhos tendo confeccionado em 2002 um modelo matemático<sup>[2]</sup> para simulação de testes em pneus levando todos esses preceitos em consideração e citando sua importância.

Chen<sup>[357]</sup> realizou um estudo em motores de combustão interna utilizando algoritmos genéticos a fim de otimizar a confiabilidade do projeto. Complementarmente o autor utilizou o mesmo modelo para estudar o projeto de turbo-compressores atingindo resultados que servem para comprovar a eficácia e eficiência do mesmo.

Donders et al.<sup>[358]</sup> publicaram um artigo sobre análise de confiabilidade e otimização de projeto de estruturas automotivas. São discutidos os requerimentos para estudos de CAE a fim de contemplar adequadamente as variáveis e incertezas que caracterizam o projeto, obtendo alta confiabilidade sem que o mesmo se torne superdimensionado.

### **2.3.5.6 Outros**

Tanaka e Kishinami<sup>[359]</sup> apresentaram um estudo científico sobre modelos de gestão de dados para engenharia colaborativa entre montadora e fornecedor.

Chen et al.<sup>[360]</sup> publicaram um artigo técnico versando sobre o projeto de sistemas de montagem de chassis visando melhorias nos índices de qualidade final. A proposta é investir o tempo técnico necessário para o planejamento e estudo evitando-se gastar recursos com eventuais correções futuras.

Bhide et al.<sup>[361]</sup> escreveram um artigo sobre a aplicação de CAE para analisar os dados de durabilidade de ensaios veiculares.

O artigo lançado na *Competitive Technology Intelligence Assessment (CTIA)* discorreu sobre detalhes técnicos acerca do modelo de pesquisa e desenvolvimento da Hyundai Motors<sup>[362]</sup>.

Juergen<sup>[363]</sup> apresentou um modelo de integração de componentes e automação do processo de montagem veicular. O mesmo resulta em vantagens de qualidade e custo para indústria automotiva que o empregar.

Yang e Su<sup>[364]</sup> propuseram um sistema de controle adaptativo para processos dependentes de duas fases na montagem de chassis, para a prevenção de falhas e perdas na manufatura.

Olabi et al.<sup>[365]</sup> apresentou um material sobre algoritmos de Taguchi aplicados na otimização de processo produtivo de sub-partes metálicas.

Gonçalves et al.<sup>[366]</sup> propuseram a aplicação de *Design to Cost (D2C)* para obtenção de modelos de processos de fabricação de subsistemas com diminuição da emissão de resíduos tóxicos.

Carmo et al.<sup>[367]</sup> apresentaram em um congresso da *Society of American Engineers (SAE)* um procedimento para desenvolvimento do pedal de aceleração utilizando análise técnicas de CAE e reforçando a importância da confiabilidade.

Na fase inicial do ciclo de desenvolvimento de engenharia, por muitas vezes é difícil quantificar a confiabilidade do produto devido à falta de dados ou incertezas pertinentes ao modelo. Portanto a teoria da probabilidade não pode ser utilizada. Decisões de projeto são usualmente tomadas baseadas em lógica nebulosa, que algumas vezes é imprecisa e incompleta. Recentemente, a teoria da evidência tem sido utilizada para lidar com incertezas em um conjunto de dados limitado. Mourelatos e Zhou<sup>[368]</sup> demonstraram um método de otimização de projeto baseado nessa teoria que é eficiente do ponto de vista computacional.

Confiabilidade, disponibilidade, manutenção e segurança são as iniciais em inglês que formam a abreviação RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*). Um complexo e completo processo está por trás dessa sigla com o objetivo de assegurar a satisfação do cliente ao reduzir o número de quebras e aumentar o tempo de uso disponível dos veículos. O contínuo aumento da complexidade de veículos automotores (passageiros e comerciais) torna cada vez mais difícil a tarefa de maximizar o tempo de uso dos carros. Esses assuntos são tratados no trabalho de Beugel-Kress<sup>[369]</sup>.



Métodos de projetos robustos são cada vez mais adotados na indústria automotiva devido ao aumento da eficiência financeira e redução do tempo de produção. Obtém-se então melhorias de qualidade no processo de desenvolvimento veicular. O pioneiro desses métodos foi o Dr. Genichi Taguchi, que os introduziu nos EUA na década de 1980. Tsai<sup>[370]</sup> pesquisou a relação sinal/ruído usando método de Taguchi para tornar os sistemas insensíveis a fatores de ruído pré-selecionados.

Yuan<sup>[371]</sup> usou equações cinemáticas do movimento do corpo rígido para melhoria do desempenho do sistema de iluminação interna de veículos.

O sistema de produção Kanban é uma ferramenta essencial para implementação do esquema de produção *Just in Time (JIT)*. Segundo os jornalistas esse sistema permitiu que a Toyota atingisse os mais altos níveis de produtividade no mundo automotivo. Além disso, pode ser usado como um valioso método de gerenciamento para indústrias diversas. O sistema Kanban é abrangido pelo Kaizen, que é o conceito de melhoria contínua. Iwata<sup>[372]</sup> apresentou uma redução de aproximadamente 42% em um ano do custo do inventário de uma fábrica de produção de veículos.

Atualmente, um dos maiores problemas com aplicações automatizadas na montagem de estruturas aeronáuticas é atingir a elevada exatidão no posicionamento e orientação da furação que permitirá a fixação das várias subpartes por meio de parafusos. O próximo passo é descobrir se os mesmos estão corretamente instalados e caso não estejam, que seja possível a nova calibração dos dispositivos robotizados responsáveis pela colocação dos fixadores. Tais operações ainda não estão completamente automatizadas, resultando assim, num alto consumo de tempo. Astorga et al.<sup>[373]</sup> apresentaram um trabalho na Airbus na qual instalaram o sistema citado para avaliação. Trabalhos similares com ótimos resultados foram feitos por Crothers et al.<sup>[374]</sup>, Anscombe et al.<sup>[375]</sup> e Claude et al.<sup>[376]</sup>.

### **2.3.6 Engenharia Experimental**

Beckwith, Marangoni e Lienhard<sup>[377]</sup> dizem em seu livro: “Qualquer coisa que exista, existe em alguma quantidade”. A determinação dessa “alguma quantidade” é a premissa básica dos ensaios experimentais. O processo

consiste em obter uma comparação quantitativa entre um padrão predefinido e uma “medição”. O termo “medição” é empregado para designar a observação e quantificação de um parâmetro físico em particular.

O padrão de comparação deve ser do mesmo caráter e, geralmente é prescrito e definido por normas de um órgão legal, uma agência reconhecida ou uma organização internacional. No Brasil temos o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).

A medição provê informações quantitativas do estado físico das variáveis ou processos que antes eram apenas estimados. A medição é a ferramenta para a compreensão do mundo físico e para a validação de novas teorias ou projetos. É o alicerce básico para as pesquisas, projetos e novos desenvolvimentos. Possui papel fundamental nas atividades de engenharia. Mas as medições possuem incertezas. E essas devem ser estimadas antes de interpretarem-se os resultados.

Para realizar as medições, os cientistas devem criar os experimentos. Define-se experimento como o conjunto de testes no qual mudanças propositalmente são introduzidas nas variáveis do processo. A resposta do sistema, decorrente de tais alterações, é medida. De acordo com Montgomery<sup>[378]</sup>, o objetivo dos experimentos é identificar as razões que conduziram o sistema a adotar o comportamento observado.

O projeto do experimento deve ter como objetivo a representação fiel do fenômeno físico de interesse. Porém, devido à complexidade de alguns mecanismos da natureza<sup>[379]</sup>, nem sempre é viável desenvolver um experimento capaz de emular o fenômeno. Empregam-se testes simplificados que inferem a influência de uma variável isolada. Mas a experiência acumulada ao longo de exaustivas tentativas permite uma conclusão empírica, ou seja, mediante o conhecimento de “uma parte do todo”, extrapolam-se as informações para estimar-se o comportamento do “todo”. Além disso, deve-se considerar a Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R) do experimento desenvolvido. Entretanto é utopia esperar-se que, por exemplo, um ensaio de tração feito na neve forneça resultados com satisfatórios índices de R&R. São evidentes as dificuldades em reproduzir-se a neve com as mesmas características. Pior do que isso é garantir que a deterioração das propriedades

mecânicas das diferentes versões de neve seja igual. Em situações similares à essa, os cientistas costumam empregar testes relativos ao invés de absolutos. Em contrapartida, existem ensaios que exibem elevado grau de R&R. Essa categoria oferece a chance da padronização, permitindo que seus resultados possam ser confrontados de maneira absoluta.

A forma com a qual os fenômenos são caracterizados e mensurados é definitiva para a exatidão do resultado final. Segundo o princípio de Abbé (Ernst Abbé) “a escala (linha de ação de referência) de um sistema de medição linear deve ser colinear com a dimensão espacial a ser medido. Caso contrário a medição deve ser corrigida considerando-se o erro associado. Resumindo: é aconselhável a execução de medições diretas em detrimento das medições indiretas. Em ocasiões nas quais a configuração inviabilize tal atividade, os erros envolvidos serão propagados, devendo portanto, ser considerados.

A análise e interpretação dos resultados é a última tarefa da fase experimental. Os analistas devem extrair informações de um conjunto de dados obtidos experimentalmente. Essa destreza é adquirida após diversos e seguidos estudos. Segundo Sagan “a ausência de evidências não é evidência de ausências”. Contudo, para ousar concluir-se que existe ausência de evidências, é inevitável que uma investigação experimental seja conduzida<sup>[2]</sup>.

Schuth e Voessing<sup>[380]</sup> concluem que a qualidade dos produtos está cada vez mais em evidência pelos consumidores e por conseguinte devem tornar-se foco das empresas. O tempo de desenvolvimento de peças mecânicas automotivas está cada vez mais reduzido, portanto os métodos de teste têm fundamental papel no sucesso final. Os autores apresentam modelos para gestão da qualidade de testes que utilizam sistemas 3D holográficos. Repp e Sampson<sup>[381]</sup> mostram em seu artigo como aumentaram a qualidade e rapidez da execução de testes de corrosão ao usar *Personal Digital Assistants* (PDA) para coletar os dados durante as inspeções.

Os veículos utilizam diversas peças para o armazenamento de fluidos. Lange<sup>[382]</sup> destaca técnicas para a gestão de testes de qualidade (principalmente do desempenho quanto ao vazamento) para esses componentes.

A competição internacional e globalizada tornou os compradores de automóveis muito conscientes em termos de qualidade. Um dos parâmetros que mais influencia esse indicador é o conforto interno. O NVH inclui não somente a quantidade de som e vibração, mas também sua qualidade. Em 2005 durante um congresso na Índia promovido pela SAE sobre engenharia de mobilidade, Mahale e Raju<sup>[383]</sup> propuseram um modelo para gestão dos testes de qualidade de som para veículos que utilizam 2 rodas. Nesse mesmo congresso Guo et al.<sup>[384]</sup> mostraram técnicas avançadas para melhoria da qualidade dos testes em circuitos elétricos.

Huang et al.<sup>[385]</sup> apresentaram ferramentas para melhoria dos testes de inspeção de impedância para pequenas molas de avaliação usadas na produção de sistemas e componentes eletrônicos.

Variações geométricas são um grande problema na qualidade de peças usadas na manufatura de automóveis. Zhang et al.<sup>[386]</sup> publicaram um trabalho sobre técnicas para melhorar a detecção de variações dimensionais em cabeçotes de motores com 8 cilindros dispostos em “V”.

Em 2006 durante um congresso internacional sobre engenharia comercial promovido pela SAE e realizado em Chicago nos EUA, Birnale e Dodds<sup>[387]</sup> apresentaram um trabalho sobre a aplicação de testes virtuais para aferição de projetos de componentes e validação de seu processo produtivo. Dharmadhikari et al.<sup>[388]</sup> propuseram uma abordagem sistemática para planejamento de experimentos através de CAE com vistas à melhoria de qualidade e confiabilidade dos resultados.

Keitmann-Curdes et al.<sup>[389]</sup> escreveram um artigo sobre as melhores práticas para realização de testes que utilizam sistemas ultra-sônicos de imagem para a detecção de índices de reflexão em chapas de metal empregados na indústria automobilística. Puente e Kammel<sup>[390]</sup> publicaram trabalho sobre métodos de teste para avaliar a qualidade da pintura de superfícies de metais de automóveis.

Nos veículos automotores atuais existem diversas partes que são projetadas para sofrerem atrito durante sua utilização. O sistema de freio é um exemplo no qual a pastilha e o tambor estão em constante fricção. Adamczak et al.<sup>[391]</sup> propuseram métodos de teste para análise do atrito entre essas peças

usando a tecnologia de raios infra-vermelhos. Ainda sobre componentes em movimento Kim e Oark<sup>[392]</sup> publicaram um artigo sobre a interpretação do erro nas medições de qualidade de eixos automotivos.

Lopez et al.<sup>[393]</sup> mostraram técnicas de inspeção para componentes metálicos utilizados na produção veicular. A fim de melhorar a qualidade dos testes utilizaram lógica difusa. Oliva e Oliveira<sup>[394]</sup> apresentaram técnicas para detecção de falhas múltiplas e isolamento de sensores elétricos usados em sistemas dinâmicos. Em situações críticas o sistema deve funcionar independente de algumas falhas potenciais terem ocorrido. A qualidade da detecção é importante para a confiabilidade desses sensores.

Em Abril de 2006 aconteceu em Detroit, Michigan (EUA) o congresso mundial da SAE. Diversos trabalhos foram apresentados relacionados a qualidade de ensaios experimentais na área automotiva. Mazurkewich<sup>[395]</sup> explicou métodos de medição de confiabilidade para pontos de solda usando testes não destrutivos. Gautam e Yadav<sup>[396]</sup> publicaram um artigo sobre a abordagem de confiabilidade para o desenvolvimento de programas usados em testes veiculares. Lados et al.<sup>[397]</sup> explicaram técnicas de medição para tensões em componentes automotivos. O objetivo principal é a compreensão dos efeitos que conduzem à fadiga dos mesmos. Sutton e Yan<sup>[398]</sup> apresentaram ferramentas de visão auxiliadas por computador para medição de formas geométricas e deformações em componentes. Já Liu<sup>[399]</sup> propôs um método digital 3D para detecção das descontinuidades geométricas em peças compostas por diferentes elementos. Tang et al.<sup>[400]</sup> detalharam o desenvolvimento de um sistema genérico de medição dimensional para controle de qualidade da produção de automóveis. Por fim Heim et al.<sup>[401]</sup> apresentaram ferramentas para medição de qualidade e durabilidade de sistemas veiculares.

No mesmo congresso, porém realizado em 2007 Frank e Checkel<sup>[402]</sup> mostraram ferramentas para avaliação da qualidade de sistemas de armazenamento de fluidos contra vazamentos que pudessem causar incêndios. A indústria automotiva, assim como outras, foi afetada pela alta velocidade de inovação. Veículos com qualidade inferior, obviamente, geram consumidores insatisfeitos. E a rapidez com a qual as OEMs desenvolvem seus produtos nem

sempre é suficiente para a obtenção de produtos com alta qualidade. Ansgar<sup>[403]</sup> concluiu que a alta taxa de falha está bastante relacionada com a crescente complexidade dos sistemas de eletrônica veicular e os programas que os controlam. E sugere um modelo integrado para a gestão do desempenho de diagnóstico desses importantes sistemas. Liu et al.<sup>[404]</sup> propuseram um novo método de calibração para profilômetros, enquanto Aggarapu e Sakunkhe<sup>[405]</sup>, sugeriram um teste acelerado para prever a vida em fadiga de componentes da caixa de conversão de torque. Marc<sup>[406]</sup> apresentou uma nova solução para aprimorar a qualidade de medições sem contato realizadas em alta velocidade. Por sua vez Zhao et al.<sup>[407]</sup> estudaram sistemas de ultra-som portáteis para inspeção de porosidade e trincas em peças metálicas normalmente empregadas na produção de veículos.

No ambiente das indústrias automotivas são comuns declarações nas quais se afirmam que o principal objetivo das empresas é atingir as expectativas dos clientes em qualidade, desempenho e durabilidade. Cook e Ensor<sup>[408]</sup> têm a impressão de que muitas OEMs tem a mentalidade equivocada em termos de durabilidade. Segundo os autores, as montadoras acreditariam que ao criar um veículo com bom desempenho e alto coeficiente de segurança, o mesmo terá durabilidade adequada se testado em campo de provas. Essa mentalidade estaria errada em sua opinião. A experiência dos mesmos aponta para o fato de que muito pouco foi produzido para determinar a acurácia de tais testes e de seus resultados esperados. Os autores apresentam sugestões e instruções para a realização de testes de durabilidade e uso adequado de carregamentos reais de veículos em serviço.

Boreanaz et al.<sup>[409]</sup> mostraram melhorias no monitoramento da qualidade da vibração e acústica em processos produtivos de veículos em larga escala pela Fiat. Dados diários de qualidade foram estudados em veículos recém produzidos e seus dados são apresentados.

Franke et al.<sup>[410]</sup> explicaram a evolução da qualidade em técnicas de monitoramento de dano ao usar equipamentos emissores de ondas térmicas.

Balakrishnan et al.<sup>[411]</sup> elaboraram procedimentos para correlacionar dados de durabilidade de testes com dados provenientes de uso em serviço normal de veículos de 2 rodas.

### 2.3.7 Trem de Força

O desempenho adequado de sistemas de propulsão baseados em motores de combustão interna está muito relacionado com a qualidade da lubrificação empregada. Ao ser projetado e produzido a montadora fornece um veículo com a quantidade e especificação adequada dos lubrificantes. Porém é função do usuário realizar a manutenção para que as peças tenham o desgaste previsto e o veículo tenha a durabilidade esperada. Jun et al.<sup>[412]</sup> propuseram um algoritmo para analisar o status de degradação e assim determinar o tempo adequado para a troca do óleo lubrificante do motor. Importante ressaltar que os autores destacam quais são as limitações do modelo proposto. Ainda sobre os fluidos Aiko et al.<sup>[413]</sup> apresentaram investigações sobre a qualidade e compatibilidade de diferentes tipos de combustíveis e concentrações distintas de gasolina em alguns países. Enquanto Nikanjam e Rutherford<sup>[414]</sup> mostraram estudos sobre a qualidade e desempenho de lubrificações do óleo Diesel.

Bayrakcen et al.<sup>[415]</sup> apresentaram investigação científica sobre dois modos de falha bastante comuns em sistemas de transmissão de potência veiculares. Boukebbab et al.<sup>[416]</sup> explanaram sobre a fundamentação e conteúdo de algoritmos de cálculo aplicados na inspeção de qualidade de engrenagens usadas na caixa de mudança de velocidade.

Kaya e Engin<sup>[417]</sup> apresentaram trabalho similar ao de Kececioglu e Sarakakis<sup>[355]</sup> pois discutem uma nova abordagem para a definição do tamanho da amostra. Porém o trabalho dos primeiros baseia-se exclusivamente em variáveis de atributo para processos compostos por multi-estágios para a produção de pistões automotivos.

Já Antonelli et al.<sup>[418]</sup> propuseram um modelo para análise de qualidade e acúmulo de fadiga em motores de ciclo Diesel. O assunto tem relevante importância, pois segundo Vella<sup>[419]</sup> as vendas de veículos que usam tal ciclo devem triplicar nos próximos anos de tal forma que, segundo as previsões do artigo, a fatia dessa classe de veículos chegariam a 12% do mercado dos EUA em 2015. Atualmente a parcela é de 4%.

## **2.4 Resultados bem-sucedidos dos modelos de gestão de desenvolvimento de produto**

A seguir são apresentados, para vários subsistemas e sub-processos do setor automotivo, melhorias de qualidade e bons resultados conseguidos com o empregado de boas práticas e valorização de ferramentas da qualidade. Conclui-se que os usuários de veículos, empresas montadoras e fornecedoras se beneficiam em ocasiões que tais técnicas são empregadas corretamente, implementadas de maneira estruturada e seguidas sistematicamente. As referências foram ordenadas cronologicamente desde Novembro de 2005 até Junho de 2007. Muitos dos artigos foram publicados em literatura aberta e por isso não se pode analisá-los sob a ótica científica. Entretanto muitas vezes os artigos refletem simplesmente a opinião de parte dos consumidores em dada época ou divulgam os fatos relevantes do período em questão. De alguma maneira as informações publicadas sejam em pesquisas de satisfação ou em mídia especializada tem forte impacto na decisão dos clientes e por isso são bastante consideradas pelas montadoras. É importante ressaltar que tais publicações usam termos como confiabilidade e qualidade sem respeitar estritamente os reais significados desses conceitos de engenharia. Os termos são usados de maneira genérica para registrar impressões não comprovadas cientificamente. Além disso, a esmagadora maioria dos jornalistas faz colocações vagas sem citar as fontes ou utilizar dados para comprová-las. Contudo, é de certa forma um canal para que as expectativas dos clientes e manifestações de um público, que não é tecnicamente especializado, mas exerce influência sobre os consumidores, seja conhecida.

Em Novembro de 2005 Cato<sup>[420]</sup> afirma que o presidente da Hyundai do Canadá não esconde a estratégia para atingir resultados expressivos de qualidade: irá emular a Toyota. Os oficiais da Hyundai reconhecem que a empresa japonesa é inovadora e líder em qualidade no mundo. Malloy<sup>[421]</sup> confirma tais afirmações apresentando dados publicados pela Consumer Report Magazine sobre os veículos mais confiáveis. Na época 15 dos 31 melhores eram da Toyota. 8 eram da Honda. Em matéria publicada pela Just-Auto.com<sup>[422]</sup> sobre o mercado da África do Sul a pesquisa da JD Power apontava a GMC como a marca com melhores índices de qualidade. Enquanto



isso na Tailândia a mesma pesquisa apontava a Toyota como a melhor montadora na opinião dos consumidores<sup>[423]</sup>.

Em Dezembro de 2005 uma matéria publicada pela Just-Auto.com<sup>[424]</sup> relatou que a Toyota na Bélgica estava preocupada em investir no treinamento de seus operadores resultando no aumento da qualidade dos produtos. Caso atingisse tais metas a empresa poderia reduzir as inspeções pós-produção e reparos. Outra matéria publicada pela Wardsauto.com<sup>[425]</sup> afirmava que a Renault e a Nissan desenvolveram uma lista com 300 pontos de qualidade usando as melhores práticas conhecidas de cada montadora.

Em Janeiro de 2006 Davis<sup>[426]</sup> ressalta que a cada semana surgem novas pesquisas de satisfação de consumidores. Principalmente nos EUA a JD Power and Associates é a instituição mais respeitada em termos de pesquisas. Naquele mês 14 pesquisas de qualidade haviam sido publicadas sendo que 6 deles envolviam montadoras. O autor citava que tais pesquisas refletem a preocupação dos clientes com a qualidade, porém achava exagerado o elevado número de investigações em um curto período de tempo. Em matéria publicada pelo Chicago Tribune<sup>[427]</sup> a Lexus aparecia como sendo a empresa com maior índice de retenção. Tal índice é calculado pelo tempo que os usuários permanecem com o veículo por questões de satisfação. Outro artigo publicado pelo mesmo jornal<sup>[428]</sup> mostrava que a Jaguar havia conseguido os melhores índices de satisfação do cliente segundo a JD Power.

Em Março de 2006 Hoffman<sup>[429]</sup> apresentava dados de pesquisas recentes sobre qualidade de veículos na perspectiva dos consumidores. Destacava pequeno avanço da GMC, enquanto marcas da Ford, a Mercury e Mazda, haviam obtidos resultados significativos em termos de melhoria de qualidade. Hammonds<sup>[430]</sup>, ao analisar a reação dos usuários sobre os resultados das pesquisas, mostrava que as mesmas provocavam alguma confusão nos leitores, pois alguns veículos obtinham ótima recomendação em um item e péssimos resultados em outro. Segundo o autor, isso dificultava o cliente a tomar a decisão sobre qual veículo adquirir. Um artigo publicado pela Just-Auto.com<sup>[431]</sup> informava que executivos da Ford haviam divulgado seu alto compromisso com a qualidade oferecendo incentivos aos empregados da linha de produção para a melhoria dos resultados de qualidade. Murphy<sup>[432]</sup> citava

que as montadoras estavam preocupadas em aprimorar o consumo de combustível de seus veículos pois cada vez mais os clientes estavam usando esse critério como decisivo na compra de novos produtos. Matéria publicada pelo Chicago Tribune<sup>[433]</sup> citava que pesquisas de satisfação dos clientes haviam sido conduzidas na China desde 2000 porém apenas 2 resultados haviam sido revelados em função da amostra ter sido considerada estatisticamente insuficiente para ser representativa. Stoffer<sup>[434]</sup> explicava que um dos motivadores da Toyota para manter altos níveis de qualidade era o medo de ter sua reputação prejudicada. Segundo o autor, os executivos da Toyota haviam afirmado sua preocupação em “o quê pode dar errado” e por isso estavam sempre a frente de outras OEMs. Um artigo publicado pelo Automotive News<sup>[435]</sup> trazia explicações sobre como a Lexus havia conseguido uma alta reputação após uma significativa campanha de serviço. Segundo a publicação, que é uma extração de um livro sobre satisfação do cliente, a empresa teria interpretado adequadamente as variáveis críticas para a qualidade e aquelas com forte impacto na satisfação dos clientes. Jensen<sup>[436]</sup> sugeria para os leitores do Washington Times que as pesquisas da JD Power eram ótimas fontes de pesquisa para a decisão de compra de um veículo novo ou usado.

Em Abril de 2006 Pinkelman<sup>[437]</sup> apresentou um interessante artigo técnico no Congresso Mundial da SAE sediado em Detroit, Michigan (EUA). O objetivo principal do estudo era identificar e ponderar estatisticamente os fatores dentro da pesquisa de qualidade da JD Power. O autor escolheu esse tema devido à grande influência que a publicação tem sobre a decisão dos consumidores no ato da escolha do veículo. A vertente de estudo foi o conforto do usuário. Booth<sup>[438]</sup> comentava sobre a avaliação de segurança feita pelos consumidores sobre os carros da Volvo. Segundo o autor os conversíveis da marca lançados na época haviam obtido índices ainda melhores que os costumeiros da marca. Greve<sup>[439]</sup> destacava que os veículos da Ford apresentavam índices de durabilidade com alta apreciação dos consumidores. Phelan<sup>[440]</sup> mostrava que os indicadores de qualidade da GMC haviam melhorado bastante sendo que alguns dos seus veículos tiveram desempenho similar ou melhor do que os da Toyota. Lienert e Lienert<sup>[441]</sup> confirmavam a

opinião de Phelan. Murali<sup>[442]</sup> escrevia sobre a visita do dono e fundador do JD Power aos estudantes da Universidade de Illinois State. Segundo o artigo, o mesmo havia iniciado sua carreira fazendo pesquisas de qualidade para a Toyota. Declercq<sup>[443]</sup> escreveu uma matéria sobre os motivos pelos quais os veículos japoneses haviam se tornados tão populares. O autor citava a inovação, a preocupação com a qualidade e confiabilidade como os principais fatores de sucesso.

Em Maio de 2006 Scheffler<sup>[444]</sup> destacava que a Honda estava colocando em prática alguns planos de ação a fim de melhorar sensivelmente a qualidade de seus motores para avançar posições em termos de satisfação dos usuários. Walsh<sup>[445]</sup> citava que os índices de qualidade dos veículos produzidos na América do Norte haviam melhorado significativamente. Esse fato seria um contribuinte para devolver a confiança das OEMs perante os consumidores. Ellis<sup>[446]</sup> reforçava a opinião de outros autores sobre a influência das pesquisas de qualidade (principalmente a do JD Power) no comportamento dos compradores de veículo. Weber<sup>[447]</sup> comentava a grande competição entre as montadoras em termos da garantia oferecida. O autor elogiava a postura da Hyundai que na época concedia 10 anos e 100 mil milhas de garantia que poderia ser transferida após a venda do veículo. Em matéria publicada pelo What a Car<sup>[448]</sup> os autores constatavam que as 10 primeiras posições da lista publicada pelo órgão independente Warranty Direct eram ocupadas por veículos japoneses. O item de avaliação era a confiabilidade de carros usados. Vaughan<sup>[449]</sup> ressaltava que a qualidade era o parâmetro-guia da estratégia da Aston Martin. De acordo com a pesquisa do autor a empresa sempre se preocupou com a qualidade em detrimento da quantidade. Postura essa, não observada em outras montadoras convencionais e fornecedores de autopeças. Matéria publicada pelo The Wall Street Journal<sup>[450]</sup> destacava a entrada dos veículos híbridos no mercado automotivo.

Em Junho de 2006 Griffiths<sup>[451]</sup> replicava alguns dados de qualidade publicados na então recente pesquisa da JD Power, na qual diversos automóveis fabricados na Inglaterra ocupavam postos de destaque. Webster<sup>[452]</sup> comentava os resultados da mesma pesquisa e apontava que a Hyundai atingia o número 3 atrás apenas da Porsche e da Lexus. O autor

destacava a evolução de duas marcas da Ford, a Jaguar e a Lincoln, que ocupavam respectivamente o quinto e décimo segundo lugares. Jensen<sup>[453]</sup> reforçava a importância do feito da Hyundai e da Lincoln, pois seus modelos foram líderes na categoria de melhor veículo de passeio (Azera) e *Sport Utility Vehicle* (SUV) (Navigator). Scheele<sup>[454]</sup> listava 50 lições de qualidade que havia aprendido quando ocupou o cargo de vice-presidente da Jaguar. De acordo com o autor os avanços de qualidade requerem um enorme envolvimento, esforço conjunto e coordenado da equipe envolvida no projeto. McCornick<sup>[455]</sup> citava o excelente desempenho de qualidade e conforto de dirigir veículos fabricados pela Jaguar. Jensen<sup>[456]</sup> explicava aspectos de como são feitas as análises nas pesquisas de qualidade. Ressaltava o bom desempenho de marcas tradicionais como a BMW, Toyota, Honda e Land Rover. Cato<sup>[457]</sup> ressaltava o bom desempenho da Porsche nas últimas pesquisas de qualidade. Jensen<sup>[458]</sup> também divulgava os resultados da última pesquisa da JD Power. As marcas com menos problemas de qualidade (defeitos e mal funcionamento de sistemas) foram BMW, Chrysler, Hyundai, Lexus, Porsche e Toyota. A lista com menos problemas de projeto incluem as marcas GMC, Hyundai, Jaguar, Lexus, Nissan e Porsche. Neil<sup>[459]</sup> também elogiava a Hyundai, porém sem deixar de ser irônico ao citar que na época o presidente dessa empresa estava preso. Karush<sup>[460]</sup> comentava sobre o bom desempenho das 3 grandes empresas norte-americanas nas pesquisas recentes. Em matéria publicada pelo AME Info<sup>[461]</sup> a Mazda foi bastante elogiada pelo fato de ter obtido seu primeiro prêmio Taguchi, fornecido pela Sociedade Japonesa de Engenharia de Qualidade. Krisher<sup>[462]</sup> também comentava sobre os bons resultados da Porsche, enquanto Terlep<sup>[463]</sup> comentava que a Universidade de Michigan havia adotado a filosofia de qualidade da Toyota em seu sistema de saúde. Segundo o autor, a universidade estava aplicando as ferramentas e lições desde o momento em que os pacientes marcavam consultas, até o desperdício de remédios. O autor afirmava que a universidade foi a primeira nos EUA a aplicar o “Toyota Way” ao eliminar trabalhos desnecessários e prover mais poder aos funcionários.

Em Julho de 2006 Chapman<sup>[464]</sup> afirmava que os compradores de veículos experimentavam época áurea, pois as pesquisas de qualidade

indicavam melhoria de 60% nos problemas de qualidade. Anderson<sup>[465]</sup> citava que a Nissan estava utilizando uma nova ferramenta para auditoria de qualidade de seus produtos e com sua implementação o número de veículos defeituosos havia duplicado. White<sup>[466]</sup> explicava que a Ford começava a utilizar as idéias de Iacocca (antigo presidente da Chrysler que foi um dos responsáveis por re-erguer a companhia) sobre garantia com algumas alterações. Estudando o comportamento de consumidores de automóveis dos EUA, Cato<sup>[467]</sup> constatava que o design, assim como a confiabilidade, eram os parâmetros mais valorizados. Shuldiner<sup>[468]</sup> reproduzia os comentários do chefe de qualidade da Nissan que afirmava que os indicadores de garantia da montadora estavam em plena queda indicando que as ações implementadas no passado estavam atingindo o resultado esperado.

Em Agosto de 2006, Jensen<sup>[469]</sup> ressaltava que as revendas de automóveis estavam interessadas em melhorar a satisfação dos clientes quando os mesmos contratavam os serviços de reparo e manutenção. Mateja<sup>[470]</sup> comentava sobre o bom desempenho da Mercedes Benz nas últimas pesquisas. Shepardson<sup>[471]</sup> comentava que os compradores norte-americanos estavam cada vez mais satisfeitos com as empresas locais. Segundo o autor, as OEM dos EUA estavam no caminho correto para diminuir a lacuna de qualidade existente entre as mesmas e as montadoras japonesas. Sutton<sup>[472]</sup> e McCornick<sup>[473]</sup> reforçavam os comentários de Shepardson. Em matéria publicada pelo Dow Jones<sup>[474]</sup> a Toyota aparecia como líder de satisfação dos clientes. Mayne<sup>[475]</sup> relatava que a Jeep havia declarado sua mudança de estratégia para produzir carros com alta qualidade e baixo custo. Na época, carros da GMC haviam sido classificados em posições elevadas em certa pesquisa. Smith<sup>[476]</sup> explicava que o jornal responsável pela mesma alertava os leitores de que tal desempenho devia-se ao fato do tamanho da amostra ser pequeno. Porém o autor discorda do jornal ao dizer que a montadora merecia todos os comentários positivos e que a GMC havia reconquistado seu espaço entre os consumidores pois voltava a ser considerada como empresa focada em qualidade.

Em Setembro de 2006 um artigo publicado pela Reuter News<sup>[477]</sup> afirmava que mais de 98% dos donos de Porsche recomendariam a compra

dos veículos para outras pessoas. Bunkley<sup>[478]</sup> comentava o fato da GMC e da Ford terem aumentado drasticamente a cobertura de seus veículos em garantia. De acordo com o autor, antes as duas montadoras haviam disputado o mercado oferecendo grandes descontos para tentar evitar que a Toyota e a Honda ganhassem participação no mercado. O autor discutia os motivos os quais conduziram à mudança de estratégia, dizendo que as montadoras afirmavam poder estender a garantia pelo fato de terem resolvidos os problemas de qualidade antes existentes. Zimmerman<sup>[479]</sup> também comentou o assunto tecendo elogios aos veículos de ambas as empresas. Brignall<sup>[480]</sup> concluía que a Honda e a Toyota ocupavam as primeiras posições em qualidade segundo os consumidores. Em matéria publicada pelo Just-Auto.com<sup>[481]</sup> a Jaguar aparecia como sendo a melhor marca segundo uma pesquisa realizada na Alemanha com 30 mil pessoas. Gerdel<sup>[482]</sup> apresentava uma pesquisa de satisfação sobre pneus na qual a Michelin, a Pirelli e a Goodyear foram bem conceituadas pelos participantes. `

Em Outubro de 2006 uma matéria publicada pelo Just-Auto.com<sup>[483]</sup> reproduzia informações de um jornal sul-coreano no qual o grupo Hyundai-Kia teria declarado que estavam prestes a trocar a estratégia de serem orientados pelo volume para tornarem-se orientados pela qualidade. Mackintosh<sup>[484]</sup> citava que executivos da GMC na Europa haviam declarado que a próxima meta era suplantar a Toyota como sendo a líder de qualidade naquele continente. Em artigo publicado pelo Detroit Free Press<sup>[485]</sup> a GMC foi citada como sendo a empresa que obteve maiores incrementos de qualidade segundo uma pesquisa da Strategic Vision, uma empresa de avaliação de mercado. A Honda teria sido eleita como a melhor marca. Uma matéria publicada pelo Just-Auto.com<sup>[486]</sup> ilustrava com declarações de executivos a famosa filosofia da Toyota em aumentar o tempo de desenvolvimento de seus veículos em busca de maior qualidade. Em matéria publicada pelo CNBC on the Money<sup>[487]</sup> sobre as melhores SUVs as melhores marcas foram Mercedes, Volvo, Audi e Cadillac. Merx<sup>[488]</sup> comentava sobre interessante postura da Chrysler em requisitar que seus mais elevados executivos fizessem testes em veículos da marca com 3 anos de uso em busca de aprimorar o entendimento da empresa sobre a confiabilidade de seus carros e melhorar o entendimento sobre as percepções

dos clientes. Mateja<sup>[489]</sup> elogiava a GMC dizendo que a montadora estava no caminho certo ao analisar seus indicadores de qualidade nos últimos anos. De acordo com o autor a empresa havia reduzido em 65% suas campanhas de serviços nos últimos 2 anos e melhorado em 40% os indicadores de garantia nos últimos 5 anos.

Em Novembro de 2006 Incantalupo<sup>[490]</sup> citava que os consumidores haviam classificado a Jaguar como sendo um marca de muito valor ao produzir veículos com qualidade. Cato<sup>[491]</sup> afirmava que a GMC e a Ford estavam fazendo progresso e por isso haviam aumentado sua participação no mercado. Em matéria publicada pela CNBC<sup>[492]</sup> a Ford e a Mercury haviam obtido resultados pouco superiores a Honda e Toyota em recente pesquisa feita sobre a preferência dos compradores sobre modelos de veículos de cada montadora. Chao<sup>[493]</sup> publicava um artigo técnico sobre como as montadoras deveriam explorar os desafios e oportunidades nos mercados emergentes. Sugeriu a adoção da estratégia de *Lean Thinking* por se tratar de uma prática de sucesso. Explicava que tal estratégia é muito ampla e quando aplicada a setores como o de manufatura chama-se *Lean Manufacturing*. Spector<sup>[494]</sup> citava que os fabricantes dos EUA estavam se aproximando dos japoneses em termos de qualidade ao citar a evolução da GMC e da Ford nos indicadores de qualidade de pesquisas até então recentes. Tierney<sup>[495]</sup> seguia na mesma linha editorial ao afirmar que ambas as empresas estavam melhorando o projeto dos veículos de sua linha de produtos. Em matéria publicada pelo CNN Money<sup>[496]</sup> automóveis da Ford e Mercury foram apontados como tendo alta confiabilidade: o Fusion e Milan. Em matéria publicada pelo Just-Auto.com<sup>[497]</sup> os autores constataram que as empresas asiáticas dominavam em qualidade, porém citavam que as montadoras norte-americanas obtiveram melhorias importantes. Matéria publicada pelo Dow Jones<sup>[498]</sup>, Bensinger<sup>[499]</sup> e Schweinsberg<sup>[500]</sup> repercutiam o mesmo fato.

Em Dezembro de 2006 Tierney<sup>[501]</sup> afirmava que a Honda liderava a qualidade de veículos segundo os consumidores chineses. Matéria publicada pelo Just-Auto.com<sup>[502]</sup> citava a melhora de qualidade em veículos na Malásia pelo terceiro ano consecutivo de acordo com pesquisa da JD Power. Hammonds<sup>[503]</sup> comentava as melhorias de qualidade que as 3 grandes

montadoras dos EUA (Chrysler, GMC e Ford) obtiveram nos últimos meses. Mayne<sup>[504]</sup> mostrava que os indicadores de quantidade de problemas da Chrysler estavam caindo significativamente. Chakravorty<sup>[505]</sup> comentava que a Toyota era líder na pesquisa da JD Powers no indicador de retenção de carros por conta da alta qualidade de seus produtos. Green<sup>[506]</sup> destacava que a GMC passaria a comercializar um automóvel de pequeno porte no mercado dos EUA com o compromisso de melhorar a qualidade desse veículo. O Detroit Free Press<sup>[507]</sup> publicava uma matéria referente ao comportamento do consumidor em buscar produtos de qualidade no ato da compra, mesmo que isso signifique pagar mais pelo automóvel. Shepardson<sup>[508]</sup> comentava a resolução da NHTSA sobre o envelhecimento de pneus<sup>[1]</sup> e testes de qualidade desses produtos. Colier<sup>[509]</sup> citava que a fábrica da GMC instalada em Lansing era classificada como uma das melhores plantas produtoras de automóveis do mundo em termos de qualidade. Laturus<sup>[510]</sup> comentava que a Honda produzia veículos alta confiabilidade e por isso possuía alta aceitação dos clientes.

Em Janeiro de 2007 Tierney<sup>[511]</sup> destacava a opinião de diversos consumidores dos EUA que afirmavam ser um momento muito importante para comprar automóveis produzidos em seu país, a fim de contribuir com as montadoras norte-americanas na competição contra as japonesas. Robinson<sup>[512]</sup> comentava que segundo jornais europeus as montadoras coreanas apresentavam desempenho superior em qualidade, em relação aos carros montados na Europa. Anderson<sup>[513]</sup> replicava comentários de executivos da GMC sobre a estratégia da empresa em preocupar-se com qualidade ao invés de serem líderes de quantidade de veículos produzidos. Em matéria apresentada pela rede ABC<sup>[514]</sup> a Ford aparecia em destaque em pesquisas de qualidade na opinião de consumidores. Pope<sup>[515]</sup> reproduzia comentários de executivos da Ford assumindo que no passado a qualidade dos produtos estava aquém do esperado, porém os resultados mostravam completa mudança nesse cenário. Em matéria publicada pelo Just-Auto.com<sup>[516]</sup> a Ford constatava que seus produtos haviam obtido significativa melhora de qualidade. Dhafir et al.<sup>[517]</sup> publicavam um artigo técnico sobre um método para melhoria de qualidade em organizações com operações de manufatura. O método apresentava formas de identificação de fontes de problemas de



qualidade usando modelos matemáticos para determinação das taxas de probabilidade de falha e cálculo de índices de qualidade.

Em Fevereiro de 2007 McKinnon<sup>[518,519]</sup> elogiava o desempenho de qualidade da Hyundai ao se tornar uma marca reconhecida pelo público como sendo produtora de veículos com alta qualidade. A matéria publicada pelo Just-Auto.com<sup>[520]</sup> citava que a Renault reconhecia a qualidade de seus fornecedores ao promover uma entrega de prêmios em reconhecimento ao desempenho dos mesmos. Brignall<sup>[521]</sup> comentava sobre a então recente pesquisa divulgada pela Warranty Direct sobre a garantia de veículos utilizados no mercado do Reino Unido e EUA.

Em Março de 2007 Hyde<sup>[522]</sup> comentava que a Ford e a GMC foram citadas como sendo líderes de qualidade em pesquisa de satisfação do consumidor. Uma matéria publicada pelo New Zealand Herald<sup>[523]</sup> referia-se a Kia como sendo a montadora que produzia carros mais confiáveis naquele momento. Nauman<sup>[524]</sup> citava as montadoras japonesas como sendo as primeiras empresas em satisfação do cliente. A matéria publicada pelo Cleveland Plain Dealer<sup>[525]</sup> comentava que dentre as diversas pesquisas disponíveis era muito complicado afirmar qual eram os melhores carros e SUVs pois não havia um consenso entre as mesmas. Matéria publicada pelo Just-Auto.com<sup>[526]</sup> ressaltava que a VW estava lançando uma estratégia agressiva para aprimorar a qualidade de seus produtos na Alemanha. Pope<sup>[527]</sup> citava que a Ford havia obtido progresso nas últimas pesquisas de qualidade enquanto Hammonds<sup>[528]</sup> comentava que um dos modelos produzidos pela montadora possuía boa aceitação no mercado por um preço justo. Schweinsberg<sup>[529]</sup> dizia que a Lexus esperava melhores pontuações nas próximas pesquisas da JD Power em função dos planos de ação implementados. Rauwald e Power<sup>[530]</sup> citavam que os lucros da VW haviam aumentado e que os altos executivos da companhia seguiam o foco de melhorar a qualidade.

Em Abril de 2007 aconteceu em Detroit, Michigan (EUA) o Congresso Mundial da SAE daquele ano. Diversos trabalhos relativos à qualidade foram apresentados. Choi et al.<sup>[531]</sup> desenvolveram um atuador para controle ativo da suspensão veicular otimizado usando conceitos de Seis Sigma e método de Taguchi. Sharma et al.<sup>[532]</sup> usaram os conceitos da perda da função da

qualidade também criadas por Taguchi. O objetivo do trabalho era integrar os 3 casos previstos pelo método propondo uma formulação comum. Usaram um exemplo hipotético para determinação e melhoria da eficiência de uma máquina de produção automotiva para ilustrar o novo modelo. A tendência atual da indústria automobilística é utilizar materiais cada vez mais leves, porém com tolerâncias geométricas cada vez menores. Espinosa et al.<sup>[533]</sup> explicaram que o processo convencional de conformação de chapas metálicas utilizadas para produzir portas de veículos atingiu seu limite de capacidade. Segundo os autores para tornar o processo melhor em termos de qualidade é necessária a intervenção tecnológica e a combinação com processos mais modernos. Os autores apresentaram então uma solução capaz de ampliar a limitação do processo atual, o que resulta em um grande avanço em termos de qualidade. Delor e Wong<sup>[534]</sup> apresentaram sugestões sobre melhoria do desempenho do sistema de assistência hidráulica de veículos de transporte de carga usando DoE, Seis Sigma e análise dinâmica de multi-corpos. A função qualidade foi analisada do ponto de vista do consumidor e o projeto foi modificado a fim de atender tais requisitos. Antanaitis<sup>[535]</sup> utilizou o método de Taguchi para analisar o desempenho e a qualidade do sistema de freios durante corridas. O curso do pedal foi otimizado para melhorar o desempenho do piloto. Movahhedy e Khodaygan<sup>[536]</sup> publicaram um trabalho sobre a análise de tolerâncias assimétricas para sistemas de montagem mecânicos. Usando modelos propostos pelos autores, torna-se possível estudar e prever a propagação das incertezas para as células de montagens subsequentes em um processo produtivo seqüencial. Tais modelos são aplicados para exemplos lineares e não lineares e os resultados são discutidos. Fey e Staxrmer<sup>[537]</sup> examinaram o estado atual das técnicas de garantia de qualidade para desenvolvimento de programas usados nos domínios automotivos. Os autores sugerem procedimentos a serem utilizados dependendo da especialidade da área em questão. Jian et al.<sup>[538]</sup> demonstraram em transmissões automáticas veiculares um novo método estatístico para análise de qualidade e confiabilidade. De acordo com os autores o algoritmo usado tem melhor flexibilidade e desempenho do que aqueles empregados em redes neurais. Cudney et al.<sup>[539]</sup> realizaram uma comparação entre as técnicas atuais

disponíveis para prever a satisfação dos compradores de novos veículos. O sistema de análise de Mahalanobis-Taguchi foi usado para investigar dados de 67 veículos em um universo de 6 parâmetros de análise. Os resultados são analisados estaticamente e os autores tecem comentários sobre os métodos comparados e seus respectivos resultados. Han et al.<sup>[540]</sup> discorreram sobre métodos de melhoria da qualidade de testes não destrutivos realizados por ultra-som freqüentemente aplicados na indústria automotiva. Lu et al.<sup>[541]</sup> estudaram a relação entre as variáveis de saída e entrada de um processo de design de um ventilador para arrefecimento automotivo. Um modelo físico de simulação foi utilizado para compreender essa relação a fim de otimizar a qualidade do produto. Ainda em Abril matérias publicada pelo Wardsauto.com<sup>[542,543]</sup> e The Auto Channel<sup>[544]</sup> mostravam que estudos apontavam que os indicadores de qualidade da Ford eram comparáveis aos da Toyota e Nissan. Outro artigo publicado pelo Detroit Free Press<sup>[545]</sup> sugeria que os fabricantes dos EUA mereciam crédito pela melhoria de qualidade em seus produtos.

Em Maio de 2007 Heaps<sup>[546]</sup> elogiava a Toyota em função do constante e bom padrão de qualidade apresentado pela empresa nos últimos 10 anos. Matéria publicada pelo Just-Auto.com<sup>[547]</sup> comparava a qualidade dos veículos chineses com aqueles produzidos na Inglaterra.

Em Junho de 2007 um artigo publicado pelo Louisville Courier-Journal<sup>[548]</sup> exaltava a Ford pelo seu desempenho de qualidade na linha de SUVs. Mesmo caminho seguia a matéria publicada pelo Wardsauto.com<sup>[549]</sup> pois referia-se aos bons resultados colhidos pela montadora como sendo fruto do planejamento avançado da qualidade no lançamento dos veículos. Choi<sup>[550]</sup> elogiava a Hyundai pelo fato de ser líder de qualidade nas pesquisas de satisfação recentes. Bhat e Vashisth<sup>[551]</sup> apresentaram em um congresso na Índia sobre a importância da redução do consumo de combustível como um fator de melhoria de qualidade e aumento de competitividade entre as montadoras. Collier<sup>[552]</sup> citava os bons resultados de qualidade da GM nas pesquisas enquanto Halvorson<sup>[553]</sup> e Just-Auto.com<sup>[554]</sup> também elogiavam a Hyundai pelos promissores indicadores revelados nas pesquisas. Matéria publicada pelo Detroit News<sup>[555]</sup> comentava sobre o bom desempenho geral das

montadoras nas referidas pesquisas. Por sua vez Hoffman<sup>[556]</sup> citava que relatórios internos apontavam que a Ford ainda estava atrasada em relação aos cortes de gastos e melhorias de qualidade anunciadas no plano de recuperação da montadora. Walsh<sup>[557]</sup> sugeria à Ford que utilizasse os bons resultados divulgados como um fator de motivação para atingir suas metas financeiras. Os artigos publicados pelo Just-Auto.com<sup>[558]</sup> e The Auto Channel<sup>[559]</sup> citavam a Mazda como sendo líder de preferência do consumidor no mercado alemão. Hofmann<sup>[560]</sup>, Petersen<sup>[561]</sup> e Schoenberger<sup>[562]</sup> repercutiam o bom desempenho da Ford enquanto matéria publicada pelo Wardsauto.com<sup>[563]</sup> citava que o grupo Nissan na América do Norte tinha como estratégia imutável a busca constante pela qualidade de seus produtos.

# Capítulo 3: Proposta de modelo inédito de gestão de desenvolvimento de pneus

“Não é a espécie mais forte que sobrevive, nem a mais inteligente, e sim aquela que possui a maior habilidade em responder às mudanças”.

Frase do biólogo inglês Charles Darwin (1809-1882).

### 3 Proposta de modelo para gestão de desenvolvimento de pneus

#### 3.1 Introdução

A leitura do capítulo anterior sugere que os atuais modelos de gestão não apresentam resultados satisfatórios em termos de qualidade do produto. Um exemplo simples e bastante representativo pode ser encontrado na tabela III do Apêndice A. Somente em Janeiro de 2008, o número de veículos automotores (incluindo automóveis de passageiros, caminhões leves e pesados, ônibus, *motor-home*, motocicletas) envolvidos em campanhas de serviço nos EUA foi de 263184. Entretanto, também foi constatado que existem muitos pontos positivos que podem ser aproveitados.

A maioria das peças utilizadas na montagem de um automóvel é fabricada por empresas externas denominadas fornecedores. Então podem existir duas situações distintas. Uma é que a montadora projeta a peça e o fornecedor realiza a manufatura. A OEM então acompanha o desenvolvimento da peça por meio de seus procedimentos de monitoramento. A outra situação, que reflete a classe dos pneus, é caracterizada pelo desenvolvimento e produção como sendo responsabilidade primária do fornecedor. Nessa ocasião costuma-se denominar o projeto como "caixa preta" (tradução do termo em língua inglesa *black box*) pois a montadora não tem acesso aos parâmetros de projeto, resguardando-se o direito de testar a peça em questão a fim de homologar seu uso em determinado veículo.

O presente trabalho pode ser usado por empresas automotivas que montam seus veículos com pneus desenvolvidos e fabricados por fornecedores externos.

#### 3.2 Suporte técnico ao fornecedor

O modelo, que é o tema central desse capítulo, baseia-se entre outros pilares no fato da montadora ter que acompanhar de maneira bastante próxima a gestão do desenvolvimento e produção dos pneus. Para tanto sugere-se que a OEM possua um departamento para realizar tal atividade.

Atualmente montadoras tradicionais como Ford, Fiat, GM contam com departamentos que executam tal função. As denominações utilizadas são

diversas, porém com um objetivo específico: prover suporte técnico ao fornecedor.

O ideal é que a Engenharia de Qualidade do Fornecedor (EQF) ou *Supplier Technical Assistance (STA)* tenha como papéis e responsabilidades os seguintes princípios de conduta:

- Motivação por qualidade: garantir que a qualidade e a segurança nunca são comprometidas.
- Fundamentação em dados e fatos: a qualidade é a fundação e deve ser globalmente implementada.
- Pessoas capacitadas: pessoal constantemente treinado em disciplinas de manufatura e qualidade para se tornarem especialistas em commodities sendo habilitadas a proverem suporte aos fornecedores.
- Trabalho padronizado: padrões e doutrinas de conduta globalizados.
- Interação consistente: para cada unidade de manufatura do fornecedor deve existir um engenheiro responsável pelo suporte técnico.
- Distribuição eficiente: os engenheiros devem estar regionalmente localizados próximos as fábricas do fornecedor.
- Suporte focalizado: as prioridades devem ser definidas, comunicadas e motivadas por um único Sistema de Operação da Qualidade.
- Planejamento de recursos: distribuir e planejar os recursos baseados na estratégia global da companhia.
- Representar o fornecedor: o engenheiro lidera o relacionamento e realiza imparcialmente a interface entre o fornecedor e a montadora.
- Responsabilidades claras: consistente divulgação aos clientes internos e externos dos papéis e responsabilidades do engenheiro de suporte técnico ao fornecedor.
- Guias de procedimento estruturados: revisões constantes do Sistema de Operação da Qualidade para garantir alinhamento estratégico.
- Processos sustentáveis: processos chave são auditados freqüentemente para garantir aderência e suportar a obtenção dos resultados estabelecidos.
- Confidencialidade: nunca compartilhar informações entre os fornecedores.

### 3.3 Especialização técnica em fornecedores de pneus

Normalmente as montadoras possuem engenheiros ocupando os cargos cuja função é prover suporte técnico ao fornecedor. É costume que um engenheiro seja responsável por fornecedores com operações de natureza distinta. Por exemplo o mesmo funcionário deve auxiliar fornecedores de peças estampadas, fornecedores que manufaturam componentes usados em acabamento interno e outros que produzem elementos estruturais dos chassis. O ideal é que esse engenheiro generalista atue em situações nas quais a OEM seja responsável pelo desenvolvimento e o fornecedor pelo processo produtivo. Geralmente nesses casos os processos não apresentam complexidade tal que seja necessária a presença de um especialista.

Contudo, em ocasiões nas quais o fornecedor detém tanto o conhecimento e responsabilidade pelo desenvolvimento quanto a função de produzir a peça, sugere-se a atuação de um especialista. Teoricamente o mesmo reúne condições técnicas de argumentar com o time de desenvolvimento do fornecedor as características e parâmetros mais importantes para o projeto. Além de possuir habilidade de prover suporte mais específico para o fornecedor.

Em 2004 uma montadora norte-americana instalada foi pioneira ao criar um time de especialistas técnicos corporativos na atividade de desenvolvimento e manufatura de pneus. O autor dessa tese foi o responsável por criar o modelo de gestão e implantá-lo no continente da América do Sul. A distribuição dos 18 locais de manufatura de pneus que atualmente fornecem peças para essa montadora e que se encontram sob a responsabilidade do autor é apresentada na figura 3.1<sup>ⓧ</sup>.

---

<sup>ⓧ</sup> Certamente na América do Sul existem mais fábricas de pneus do que aquelas apresentadas na figura 4.1. Porém essa ilustração contém apenas aquelas que respeitam ao mesmo tempo as duas condições impostas: ser fabricante da montadora em questão e estar sob a responsabilidade do autor.





Fig. 3.1: Distribuição dos locais de manufatura de pneus na América do Sul.

Fonte: MALUF FILHO, W. M. **Skip level with STA-SA Director**. Aug-2007. Não está disponível em literatura aberta. Mapa ilustrativo e sem escala.

Para que fosse possível a implantação do modelo, que será descrito nesse capítulo, a empresa conta com mais 4 engenheiros, além do autor, cada um responsável por um dos seguintes continentes: Europa, América do Norte e Ásia.

Estimativas recentes apontam que atualmente existem cerca de 472 fábricas de pneus instaladas no mundo. Esse número contempla as fábricas de diversos fornecedores, que produzem os mais variados tamanhos e tipos de pneus. Um esboço dessa distribuição é mostrado na figura 3.2.

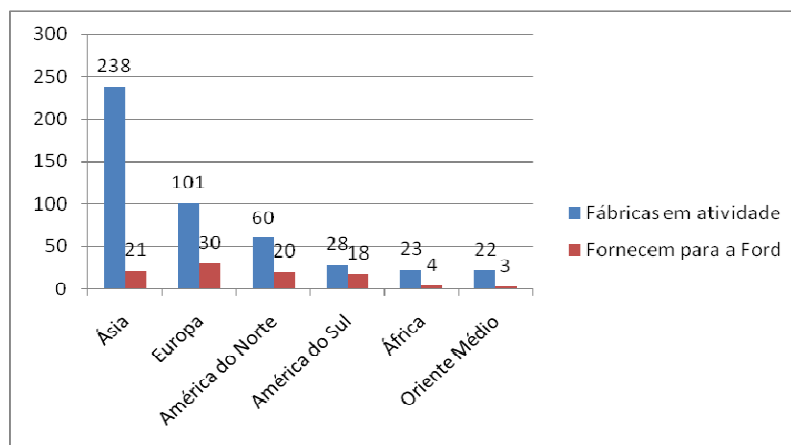


Fig. 3.2: Número aproximado de fábricas de pneus instaladas no mundo.

Fonte: MALUF FILHO, W. M. **Skip level with STA-SA Director**. Aug-2007.. Não está disponível em literatura aberta.

### **3.4 Diferenças entre os processos de criação do veículo, desenvolvimento e aprovação de peças**

Devido à sua história, data de fundação e outros fatores intrínsecos à sua cultura, cada montadora de veículos possui uma estratégia para desenvolver e fabricar seus veículos. Conforme foi exemplificado no capítulo de revisão bibliográfica, a Toyota é uma das montadoras com melhores resultados de qualidade. A empresa japonesa criou o “Toyota Way” que vem sendo emulado por empresas de outros ramos<sup>[463]</sup>. A Ford criou um sistema de desenvolvimento de produto chamado *Ford Product Development System* (FPDS). Nele estão definidas todas as atividades e respectivos cronogramas que a Ford utiliza para desenvolver seus veículos.

Recentemente o sistema da Mazda, que atualmente é uma marca do grupo Ford Motor Company, foi estudado profundamente por um grupo especializado em desenvolvimento de produto da Ford. Fruto dessa investigação foi criado o *Global Product Development System* (GPDS) que irá substituir em breve o FPDS. Os autores realizaram um trabalho similar ao dessa tese de doutorado ao avaliar os modelos vigentes para determinar os pontos carentes de melhoria e incorporar ao novo modelo lições de sucesso. Independente do nome empregado ou de sua característica, é fato que cada empresa montadora possui sua estratégia para desenvolvimento de produto.

De acordo com o que foi citado anteriormente, algumas empresas desenvolvem suas peças de maneira praticamente independente da montadora. É o caso das empresas de pneus. Por isso as OEMs devem possuir ferramentas eficientes para monitorar o desenvolvimento dessas peças. Cabe ressaltar que em muitas vezes o veículo e a peça são desenvolvidos de maneira praticamente simultânea, o que traz dificuldades adicionais para o acompanhamento do processo.

Espera-se que o processo de desenvolvimento da peça culmine em um produto que, quando utilizado na montagem do veículo, tenha o desempenho estabelecido no início do projeto. Nesse momento a montadora deve aplicar algum processo para aprovação da peça a fim de garantir que a mesma desempenhará adequadamente sua função.

Ao contrário do processo de desenvolvimento do veículo, no qual cada montadora tem sua peculiaridade, os processos de acompanhamento do desenvolvimento do fornecedor e o de aprovação das peças costumam ser compartilhados pelas principais montadoras. O Grupo de Ação da Indústria Automotiva (AIAG) é formado pela Chrysler, Ford e GM. Os procedimentos emitidos pela AIAG devem ser seguidos pelos fornecedores.

O Planejamento Avançado da Qualidade do Produto (*Advanced Product Quality Planning – APQP*)<sup>[564]</sup> é o nome dado ao procedimento emitido pela AIAG para a montadora acompanhar o progresso do fornecedor no desenvolvimento do seu produto. Já o *Production Part Approval Process (PPAP)*<sup>[565]</sup> é a denominação do procedimento, também emitido pela AIAG, para que a montadora realize a aprovação da peça desenvolvida segundo o APQP. Uma tentativa de elucidar a interface entre o FPDS (ou outro sistema de desenvolvimento veicular), o APQP e o PPAP é apresentada na figura 3.3.

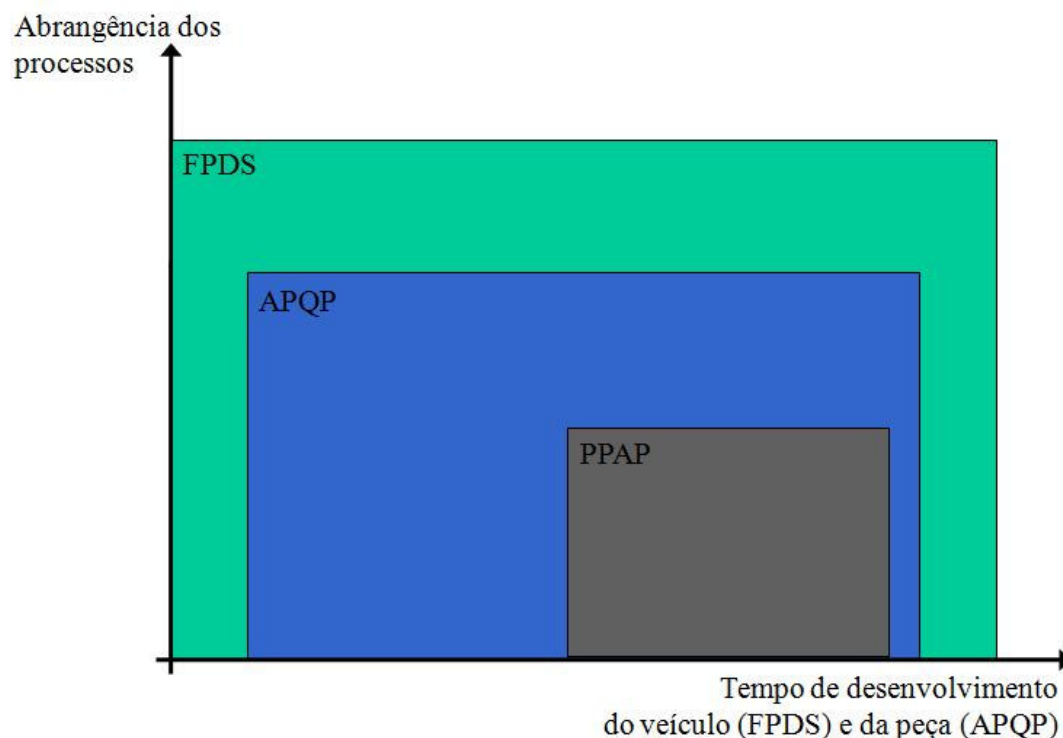


Fig. 3.3: Integração entre FPDS, APQP e PPAP.

Fonte: MALUF FILHO, W. M. **FPDS x APQP x PPAP: the interference of Ford R&D procedures**. Jan-2007. Não está disponível em literatura aberta.

A figura 4.3 é meramente ilustrativa. Seus eixos são qualitativos e sem escala. No âmbito de componentes, o veículo está completamente desenvolvido e liberado quando suas peças foram desenvolvidas (APQP) e aprovadas (PPAP).

Durante o desenvolvimento do utilitário Ford Explorer, equipado com os pneus da Firestone, ferramentas e processos similares a esses estavam disponíveis. O FPDS, APQP e PPAP também já existiam quando esse trabalho de pesquisa foi iniciado em 2004. Contudo, todas ferramentas citadas são genéricas e por isso não contemplam as reais necessidades e preocupações características à indústria de pneus. Além disso, as mesmas não eram robustas o suficiente pois, em 2005, como será mostrado no capítulo 4, os resultados de qualidade não eram satisfatórios. Evidenciando que as ferramentas e processos utilizados possuíam modos de falha que necessitavam ser eliminados.

### **3.5 Características consideradas para a confecção do modelo**

O período de investigação e revisão bibliográficas foi bastante proveitoso uma vez que proporcionou idéias novas, lições e boas práticas que foram utilizadas na confecção do modelo. De maneira similar, as práticas cujos resultados foram insatisfatórios ou não eram aplicáveis ao domínio das atividades da indústria de pneus, não foram incorporados.

Os seguintes aspectos foram considerados na criação do novo modelo de desenvolvimento (*APQP 3.2 tire specific*<sup>[566]</sup>) e aprovação (*Production Part Approval Process 4<sup>th</sup> edition*<sup>[567]</sup>) de pneus:

- Requisitos de qualidade dos clientes: No atual ambiente competitivo e globalizado é uma grande vantagem nos negócios capturar efetivamente os requisitos de qualidade percebidos pelos consumidores. Uma das formas para atingir tal objetivo é analisar sistematicamente as informações provenientes da análise do mercado e transformá-las em características do produto. Por isso modelos de satisfação do cliente devem ser usados<sup>[288,380]</sup>. No caso de pneus o fornecedor deve contemplar as expectativas de 3 consumidores distintos. São eles a montadora, o cliente que

adquire um veículo novo e o cliente do mercado de reposição. O fornecedor deve avaliar o impacto das variáveis de projeto relevantes para os consumidores. Por isso, torna-se fundamental que os requisitos de qualidade sejam bem definidos conforme constatado por Puerschel<sup>[291]</sup>, Dharmadhikari et al.<sup>[313]</sup> e Beugel-Kress<sup>[369]</sup>. Adicionalmente, segundo Austin<sup>[324]</sup> e Logan et al.<sup>[326]</sup>, a definição deve possuir conexão com o quê é esperado pelo cliente. A função qualidade deve ser analisada do ponto de vista do consumidor e o projeto deve ser modificado e testado a fim de atender tais requisitos<sup>[534,539]</sup>.

- Definição dos modos de falhas: Diversos autores citam a prevenção e detecção de falhas como sendo um item indispensável para o sucesso de um modelo de gestão. Os trabalhos mais significativos, dos quais foi possível absorver valiosas idéias, foram publicados pelos seguintes autores: Liao e Li<sup>[290]</sup>, Wagner et al.<sup>[294]</sup>, Reagan e Steven<sup>[302]</sup>, Itabashi<sup>[309]</sup>, Jiang e Mahadevan<sup>[310]</sup>, Al-Garni et al.<sup>[315]</sup>, Bombardier et al.<sup>[317]</sup>, Zhou e Li<sup>[328]</sup>, Liang et al.<sup>[350]</sup>, Yang e Su<sup>[364]</sup>, Oliva e Oliveira<sup>[394]</sup>, Ansgar<sup>[403]</sup> e Bayrakcen et al.<sup>[415]</sup>. Aliando as sugestões dos trabalhos supra-citados com a experiência profissional de 7 anos com a indústria de pneus foi possível determinar os seguintes modos de falha que foram incorporados à especificação de engenharia (*engineering Specification* – ES) de pneus<sup>[568]</sup>: durabilidade insuficiente em situações de alta velocidade, detalonamento e retenção inadequada entre pneu e roda, desempenho dinâmico insatisfatório em condições secas e com presença de fluidos na pista de rolamento, distância de frenagem superiores aos limites impostos pelo DOT nas FMVSS, força de tração inferior aos limites impostos pelo DOT nas FMVSS, resistência elétrica superior a  $10^8\Omega$ , *Plysteer Residual Aligning Torque* (PRAT – o termo não tem tradução técnica adequada para o português – é o torque de alinhamento que o pneu possui devido a sua característica construtiva chamada *plysteer*) inferior as normas do DOT, limites

de uniformidade excedidos quando comparados com a especificação técnica do pneu emitida pela montadora, ondulações no flanco em dimensões superiores aquelas permitidas pela especificação do pneu, Resistência ao Rolamento (RR) excessiva, comportamento impróprio de *flat spotting* (o termo não tem tradução técnica adequada para o português – é a tendência do pneu contrair deformação plástica permanente na região de contato com o solo após permanecer na mesma posição durante um tempo determinado), desgaste regular e irregular superiores à taxa definida na especificação, valores de NVH impróprios quando comparados pelas tolerâncias determinadas na especificação do pneu, resistência estrutural insuficiente com baixa pressão de inflação, emissões de hidro-carbonetos além daquelas permitidas por regulamentos governamentais e por fim envelhecimento fora do padrão prescrito pela FMVSS. Além de definir os modos de falha, os objetivos de probabilidade das falhas são variáveis de projeto com forte impacto na confiabilidade final do produto e por isso devem ser consideradas<sup>[350]</sup>.

- Confiabilidade: Em muitos trabalhos publicados e em diversas ocasiões na indústria atual os temas confiabilidade e qualidade são tratados de maneira separada. Klyatis e Klyatis<sup>[352]</sup> e Itabashi<sup>[353]</sup> também notaram esse fato e concluíram que definitivamente isso não contribui para a melhoria do desempenho do produto no mercado e para os resultados financeiros das empresas. Os trabalhos publicados por Gong<sup>[312]</sup>, Attardi et al.<sup>[314]</sup>, Wang et al.<sup>[343]</sup> e Lamb et al.<sup>[348]</sup> reforçam o conceito de que a análise de confiabilidade é fundamental para o sucesso do produto.
- Respeito ao tempo de desenvolvimento necessário: atualmente os líderes das empresas automotivas impõem a si mesmos tempos cada vez menores entre lançamentos de novos modelos veiculares. Esse fato, somado a tendência do aumento da expectativa dos consumidores de que os automóveis não apresentarão problemas de qualidade<sup>[312]</sup>, configuram riscos

adicionais ao projeto. A redução do tempo necessário de desenvolvimento é altamente desaconselhada. Aparentemente os líderes empresariais, dos quais esperam-se visão de longo prazo, crêem que a velocidade de lançamento é tão ou mais importante do que a qualidade do produto final. Muitas das vezes a redução do tempo é conseguida após algumas fases fundamentais terem sido descartadas, etapas importantes desconsideradas ou até mesmo realizadas em tempos diminutos. Crawford<sup>[569]</sup> escreveu um artigo sobre os custos escondidos resultantes do processo de desenvolvimento acelerado. Em muitas ocasiões o mesmo ocorre durante a fase de lançamento. Segundo Flesch et al.<sup>[297]</sup>, as empresas, com o objetivo de atender os limitados prazos, iniciam a produção sem terem encontrado um conjunto de soluções ótimas para os produtos e parâmetros de processo. Dessa maneira constata-se que, os tempos técnicos necessários envolvidos no processo de desenvolvimento de produto, devem ser respeitados<sup>[486,520]</sup>. Outros autores, como Costa<sup>[3]</sup>, Tsai<sup>[307]</sup>, Declercq<sup>[443]</sup> e Cato<sup>[467]</sup> corroboram com tal opinião.

- Realização de ensaios representativos: Partindo-se dos pressupostos que os tempos de desenvolvimento de peças automotivas estão cada vez mais reduzidos e em muitas ocasiões os engenheiros têm pouca ou nenhuma ingerência sobre esse fato, os métodos de teste têm fundamental papel no sucesso final. Normalmente, com vistas à redução do custo, o tamanho das amostras utilizadas para os testes é muito pequena. Por isso não obtém-se resultados úteis e representativos do desempenho do produto, peça, sistema ou sub-sistema estudado. Pesquisadores como Kececioglu e Sarakakis<sup>[355]</sup>, Kaya e Engin<sup>[417]</sup> e Smith<sup>[476]</sup>, reputam à tal estratégia a responsabilidade da obtenção de erros nos resultados dos testes de verificação e confirmação do desempenho do produto. As empresas automobilísticas participantes do AIAG denominam tais testes como plano e relatório de verificação do projeto (em inglês *Design Verification*

*Plan and Report – DVP&R*). Tão importante quanto o tamanho das amostras é que os métodos de testes escolhidos para comporem o DVP&R devem ser capazes de representar os fenômenos físicos que regem os mecanismos de falha. No caso dos pneus os principais modos estão descritos na definição dos modos de falhas desse capítulo.

- Emprego de modelos matemáticos adequados: Inúmeros trabalhos científicos utilizam modelos matemáticos para pesquisar alternativas visando solucionar problemas de qualidade das empresas. Exemplos como os de Tredinnick e de Oliveira Souza<sup>[300]</sup>, Tsai<sup>[307]</sup>, Itabashi<sup>[309]</sup>, Jiang e Mahadevan<sup>[310]</sup>, Chakraborty e Tah<sup>[311]</sup>, Garcia et al.<sup>[333]</sup>, Bayrakcen et al.<sup>[415]</sup> e Boukebbab et al.<sup>[416]</sup> ilustram esse fato. Entretanto muitos modelos não incorporam ou contemplam a propagação de suas incertezas além da variabilidade nas propriedades dos materiais ou no processo de manufatura. Os autores supra citados não estão incluídos nesse comentário. Essas significativas fragilidades também foram observadas por cientistas como Maluf<sup>[2]</sup>, Gea e Oza<sup>[299]</sup>, Babaei e Movahhedy<sup>[303]</sup>, Donders et al.<sup>[304]</sup> e Bombardier et al.<sup>[317]</sup>. Dentro dos casos de sucesso pesquisados notou-se uma característica em comum: ao invés de proporem soluções aleatórias, tais empresas, dentro das quais muitas são adeptas ao 6-Sigma, determinaram a causa do problema e aplicaram apenas aquelas soluções consideradas adequadas. Porém, assim como quaisquer ferramentas de qualidade, existem limitações. Ao utilizar o 6-Sigma, por exemplo, a empresa implanta ferramentas estatísticas de análise para descobrir falhas na execução de um processo em andamento. Contudo, não considera a possibilidade de haver uma forma totalmente diferente de realizar aquele processo. Portanto, o modelo de gestão proposto deve ter sua acurácia avaliada e suas respectivas limitações estabelecidas
- Estabelecimento de verificações de entrada, de processo e de saída: qualquer fluxo produtivo pode ser modelado como um



processo simples onde existem as variáveis de entrada, de processo e de saída. Todos estão conectados entre si em um intrincado, porém lógico, relacionamento seqüencial. A qualidade das variáveis e parâmetros de entrada influenciarão a fase de processo. Por sua vez, a qualidade do processo influirá na qualidade da saída. Um modo simples de explicar tal constatação é utilizar o exemplo de uma célula de manufatura isolada. Independente de quais sejam suas funções ou quais as características, é fundamental que a matéria prima a ser utilizada (entrada) tenha boa qualidade. Caso não tenha, certamente o processo em si será bastante afetado e por sua vez a qualidade do produto resultante do processo será inferior. O mesmo ocorre ao analisar-se o processo em si. Devem haver verificações para garantir-se que o processo tenha desempenho adequado. Resumindo: que seja capaz, ao utilizar matéria prima de boa qualidade, de produzir um resultado (produto) adequado. Assim sendo o modelo de gestão do desenvolvimento de pneus foi inteiramente desenvolvido sob esse conceito de monitoramento da qualidade da entrada, do processo e da saída. Stoletova<sup>[325]</sup>, em seu trabalho, forneceu um exemplo caro ao afirmar que para monitorar o sucesso dos projetos de 6-sigma, é crítico mensurar e confirmar a qualidade dos materiais, processos e peças. Nesse cenário os fornecedores desempenham papel decisivo no sucesso da qualidade pois em algumas peças, caso de pneus, a OEM não realiza nenhum teste estrutural ou de comprovação da função desempenho. O que é similar a não possuir nenhuma verificação de entrada. Ainda no ambiente das indústrias de pneus, as OEMs baseiam-se nos acordos comerciais e monitoramento dos fornecedores pois costumeiramente não possuem métodos de detecção de problemas que não seja a inspeção visual na entrada dos pneus nas fábricas. Torna-se notória a importância de haver adequada gestão de dados para que exista colaboração entre a

montadora e os fornecedores. O trabalho de Tanaka e Kishinami<sup>[359]</sup> ressalta essa necessidade.

- Incorporação das lições aprendidas e boas práticas de empresas competidoras: No modelo de gestão de pneus proposto foram incorporados detalhes fundamentais para o sucesso de modelos utilizados por outras empresas. Características positivas da Toyota foram citadas por Malloy<sup>[421]</sup>, Stoffer<sup>[434]</sup> e Terlep<sup>[463]</sup>. Alguns pontos positivos determinantes para a obtenção de bons resultados de qualidade da Hyundai<sup>[362]</sup> foram publicados por Cato<sup>[420]</sup> e Weber<sup>[447]</sup>. Astorga et al.<sup>[373]</sup> apresentaram um trabalho técnico na Airbus. Boreanaz et al.<sup>[409]</sup> e Phelan<sup>[440]</sup> tiveram, respectivamente a Fiat e a GM como objetos de estudo. Por sua vez a Jaguar foi foco de pesquisa para Scheele<sup>[454]</sup> e McCornick<sup>[455]</sup>. A Nissan foi estudada por Anderson<sup>[465]</sup> enquanto a Chrysler foi alvo de investigação científica realizada por Merx<sup>[488]</sup>. White<sup>[466]</sup> explicava como a Ford havia se inspirado em modelos de gestão da Chrysler. Rauwald e Power<sup>[530]</sup> citavam resultados muito significativos na VW. Trabalhos interessantes, realizados em OEMs, foram apresentados por Iwata<sup>[372]</sup>, Choi et al.<sup>[531]</sup>, Sharma et al.<sup>[532]</sup> e Jian et al.<sup>[538]</sup>. Por fim, em uma das poucas publicações encontradas sobre fabricantes de pneus, Gerdel<sup>[482]</sup> apresentava a Michelin, a Pirelli e a Goodyear como empresas com resultados que foram reconhecidos pelos clientes.
- Relação entre os principais documentos de qualidade DFMEA, DVP&R, PFMEA e CP: O processo de desenvolvimento será realizado pelas empresas fabricantes de pneus. A montadora irá acompanhar o mesmo. O resultado final deve ser a produção de uma peça, que atenda totalmente todas expectativas da OEM e seja robusta. Conforme foi citado anteriormente, os modos estão descritos na especificação de engenharia. Durante o desenvolvimento deve-se testar o produto para garantir que o mesmo não irá falhar em serviço. O DVP&R contém a lista de testes que verificam o desempenho do produto. Entretanto o

fornecedor e a montadora devem ir além, estudando quais são as fases e parâmetros do processo de manufatura que podem causar ou iniciar algum mecanismo de falha. Então utiliza-se um documento conhecido como *Process Failure Mode and Effects Analysis* (PFMEA) para registrar a ligação entre processo produtivo e desempenho do produto. Por fim o plano de controle (*Control Plan – CP*) conterà a lista dos controles que devem existir na fábrica para que o processo produtivo não impacte o produto final de maneira inesperada. A conexão técnica entre esses documentos é fundamental para o sucesso de um modelo de gestão.

- Importância do plano de controle e função da gerência: O CP deve ser simples de tal maneira que os operadores o entendam e que seja fácil de ser seguido. Grande parcela dessa função pertence à gerência. É fundamental o envolvimento da alta cúpula de gestão da empresa para a correta implantação e aplicação sistemática das práticas estabelecidas. Entretanto diversos autores, como Wang e Chen<sup>[308]</sup> e Da Graça Jr.<sup>[320]</sup>, constataram que o suporte interno é muito deficitário e inadequado, tornando necessário o auxílio de consultorias externas. Além disso Klyatis e Klyatis<sup>[356]</sup> criticam severamente a compreensão de engenheiros e gerentes de projetos sobre testes automotivos.
- Características fundamentais ao CP: Se o CP é simples e robusto pode se tornar uma ferramenta útil para a redução da variabilidade. Em países visitados pelo autor dessa tese, tais como a República Tcheca, Alemanha, China, Japão e Coréia do Sul, uma porção significativa da mão de obra é composta por imigrantes. Esses por sua vez não necessariamente entendem a língua do país no qual trabalham. Assim sendo, o time de planejamento e controle do fornecedor deve estar muito atento ao fato.
- Atualização constante dos documentos de qualidade: Os documentos devem ser atualizados caso alguma nova falha seja detectada internamente, pelo mercado ou pela montadora. O

mesmo se aplica quando alguma nova característica seja eleita pelos clientes como sendo especial ou quando ocorra alguma melhoria na fábrica do fornecedor. Os planos de controle devem ter os planos de reação muito bem definidos. Os operadores da célula de manufatura devem saber exatamente o procedimento a ser empregado caso algum evento não desejável ocorrer. Os operadores devem também segregar o produto de má qualidade para que o mesmo não deixe a fábrica, não impacte o processo seguinte e dessa forma não atinja o cliente. Sugere-se que o fornecedor adote um padrão de trabalho que seja relacionado com a prevenção do problema e não sua correção.

O capítulo anterior traz evidências dos resultados insatisfatórios de qualidade. Grande parte da responsabilidade deve-se ao gerenciamento inadequado do desenvolvimento do produto feito pelas empresas montadoras e fornecedoras de peças.

Com o objetivo de resolver esse problema criou-se um modelo original para a gestão do desenvolvimento e produção de pneus. O mesmo é apresentado a seguir.

### **3.6 *Advanced Product Quality Planning Tire Specific***

O Planejamento Avançado da Qualidade do Produto<sup>[564]</sup> é bastante difundido atualmente entre as montadoras e fornecedores de pneus. O APQP é um método estruturado para definir e executar as ações necessárias a fim de assegurar que um produto satisfaça o cliente. O APQP é controlado pelo time de gerenciamento do programa veicular e pelo fornecedor e é exigido em todas as locações de manufatura de sistema, subsistema e componentes. A meta do APQP é facilitar a comunicação entre todas as pessoas e atividades envolvidas em um programa e assegurar que todas as etapas necessárias sejam completadas em tempo, com uma alta qualidade de eventos, com custo aceitável e níveis de qualidade. O APQP prescreve 23 disciplinas chave cujos objetivos são estabelecer:

- expectativas comuns para fornecedores internos e externos da montadora,

- indicadores comuns ao processo,
- um formato comum de relatório do status do programa,
- papéis e responsabilidades,

O APQP deve ser feito para novos programas cujas peças apresentem mudanças significativas. Além disso, as Equipes de Desenvolvimento de Produto devem monitorar o status das disciplinas internas e externas de engenharia e desenvolvimento de processo, e avaliar a “Qualidade do Evento” bem como o cronograma e o término de cada um dos 23 elementos.

O primeiro passo do Processo de APQP é designar responsabilidade à uma equipe multifuncional. Um planejamento eficiente de qualidade do produto requer o envolvimento de todas as áreas dentro de uma corporação. A equipe possui representantes da engenharia, manufatura, controle de materiais, compras, qualidade, vendas, serviços de campo, subcontratados e clientes, conforme adequado.

O status Verde-Amarelo-Vermelho comunica o progresso em direção ao término bem-sucedido de um Elemento de APQP até a data de necessidade do programa. A data de necessidade do programa é o prazo mínimo possível para o término de um elemento e não afeta adversamente a qualidade ou o cronograma do programa. As cores estão relacionadas ao risco das necessidades de cada evento não serem atendidas. São definidas da seguinte maneira:

- Risco alto (vermelho): As datas de entrega e/ou os produtos a entregar estão em risco. Um plano de trabalho de recuperação não está disponível e/ou implementado, ou o plano de trabalho não alcança os objetivos do programa.
- Risco moderado (amarelo): As datas de entrega e/ou os produtos a entregar estão em risco, mas um plano de trabalho de recuperação com recursos foi desenvolvido para atingir os objetivos do programa, e foi aprovado pelo Gerente de Equipe adequado.
- Risco baixo ou nenhum (verde): As datas de entrega e os produtos a entregar estão localizados e atendendo aos objetivos.

Para uma detalhada e eficaz avaliação de risco toda a equipe de APQP deve participar da investigação assim que a equipe for montada. O objetivo da

avaliação de risco é determinar quais elementos do processo de APQP devem ser completados por um fornecedor, organização ou equipe de gerenciamento do programa. Os aspectos descritos a seguir devem obrigatoriamente ser levados em consideração em tais análises:

- Histórico de qualidade: Alta garantia ou *Things Gone Wrong* (TGW – Coisas Que Deram Errado) no modelo atual ou produto substituto, freqüentes Rejeições de Qualidade (RQs) e/ou campanhas na planta de recebimento (Plantas de Montagem e Estamparia, Plantas Fornecedoras, etc.) ou se um componente similar/sistema foi a causa de uma ação de campanha de serviço.
- Perfil do fornecedor: Novo fornecedor ou nova locação de manufatura, o produto ou a tecnologia de manufatura é novo na locação de manufatura do fornecedor, o mesmo possui um histórico ruim de desempenho de lançamento, seus recursos são ampliados devido à significativa quantia de novos negócios.
- Perfil da engenharia do produto: Trata-se de um novo projeto, as técnicas de manufatura são novas na indústria, produtos similares são sujeitos a numerosas mudanças de projeto os quais ameaçam o cronograma do programa, alta complexidade do produto ou processo, o produto é estrategicamente importante devido à alta visibilidade ou ao desempenho funcional.
- Desempenho e metas: As metas do projeto (confiabilidade, qualidade, garantia, TGWs, taxas de refugo, taxas de retrabalho) serão difíceis de alcançar, o cronograma do programa é reduzido e/ou as metas de custos são agressivas.

### **3.6.1 Decisão de Fornecimento**

A Decisão de Fornecimento é um comprometimento formal do cliente para trabalhar com o fornecedor. A meta do elemento Decisão de Fornecimento no APQP é assegurar que todos os fornecedores internos e externos estejam à disposição do time de gerenciamento do programa veicular logo em seu início. Os fornecedores devem certificar-se de que todos os seus subfornecedores também sejam capazes de satisfazer os requisitos do programa. A Decisão de

Fornecimento deve ser feita usando o histórico da qualidade e os dados de entrada do cliente adequados, a fim de assegurar que o fornecedor seja capaz de atender a todos os requisitos.

O engenheiro do STA deve dar suporte à decisão de fornecimento do programa, provendo entrada para desempenho histórico da qualidade do fornecedor e lições aprendidas de lançamentos atuais e anteriores, quando solicitado. Deve assegurar que o histórico da qualidade do fornecedor, incluindo questões de logística global, seja considerado na Decisão de Fornecimento para todas as fases de Decisão de Fornecimento. Assegurar que todos os fornecedores/sub-fornecedores de peças, ferramentaria e instalações participem e estejam envolvidos com a equipe de gestão do programa o quanto antes a fim de entender todos os requisitos. Certificar que o Acordo Inicial de Metas de Fornecimento – *Early Sourcing Target Agreement* (ESTA), a definição de trabalho de confiabilidade e a definição de trabalho de engenharia foram claramente definidos. *Early Sourcing*

### **3.6.2 Requisitos de Entrada do Cliente**

Os Requisitos de Entrada do Cliente são as entradas do projeto e os requisitos do programa necessários para iniciar o processo de APQP. Entre eles, incluem-se metas do projeto, de confiabilidade e qualidade, cronograma do programa, metas de custos disponíveis, volumes de capacidade de planejamento, pessoal-chave para contato, e entradas requeridas e fornecidas pelas instalações de manufatura envolvidas. Isto se faz para assegurar que todos os problemas atuais de manufatura sejam atendidos adequadamente pelo novo projeto e processo, logo no início do ciclo de desenvolvimento do produto.

Nessa fase deve-se:

- Definir a equipe multifuncional que será responsável pela análise de veículos similares, revisão e análise dos dados e história da qualidade do fornecedor.
- Entre os membros, deve haver representação dos departamentos de qualidade, confiabilidade, engenharia de projeto, manufatura e logística.

- Sugere-se a criação de uma lista de pessoal-chave para contato dentro da montadora e dos fornecedores.
- O time deve desenvolver um plano de ação à partir das informações requisitadas pelas áreas de manufatura aplicáveis para os dados referentes aos problemas passados, problemas atuais e potenciais da produção. Algumas sugestões de indicadores a serem estudados: externos da qualidade (garantia e satisfação do cliente), campanhas (campanhas de serviços e notificações ao proprietário), histórico dos veículos lançados, capacidade do processo, e confiabilidade dos equipamentos.

### **3.6.3 *Craftsmanship***

O termo *craftsmanship* está relacionado ao trabalho de um artesão. É uma avaliação dos sentidos do cliente: aquilo que ele vê, toca, utiliza e ouve. É um conceito bastante abstrato porém que deve ser traduzido em parâmetros objetivos. Segundo os preceitos atuais propostos pelo autor os pneus não são alvo dessa disciplina uma vez que não são considerados itens de aparência pela montadora.

### **3.6.4 Análise dos Modos de Falha do Projeto e seus Efeitos – *Design Failure Mode and Effects Analysis (DFMEA)***

O DFMEA é uma técnica analítica usada fundamentalmente pelo time de desenvolvimento de produto como um meio para assegurar que os modos de falha em potencial e as causas e mecanismos associados tenham sido considerados e tratados adequadamente. O FMEA é uma ferramenta sistêmica na qual ficam formalizadas e documentadas as disciplinas que os engenheiros devem seguir quando do projeto das peças. Deve-se definir a equipe multifuncional responsável pelo projeto para o desenvolvimento do DFMEA incluindo manufatura, engenharia, *craftsmanship*, montagem, fornecedores, conforme for aplicável. O fornecedor precisa preparar o FMEA do Projeto utilizando o mais recente Guia de Referência de FMEA da Ford<sup>[570]</sup>, ou Manual de Modos de Falha e seus Efeitos da AIAG. Na confecção do documento deve citar as lições aprendidas analisando campanhas passadas (para prevenir futuras falhas que gerem campanhas de serviços), preocupações de plantas



usuárias e internas, FMEAs de projeto similares, *TGW*, dados de garantia, análise dos modos de falha, Análise da Árvore de Falhas (FTA), bem como testes por métodos experimentais. Para tanto listar e descrever os modos de falha em termos físicos, técnicos e/ou mensuráveis. Deve-se desenvolver um plano para identificar técnicas e limitações de calibração para Características Significativas e Características Críticas. Todas as limitações de calibração ou controle devem impelir as mudanças do projeto para eliminarem os SCs e CCs que não podem ser medidos ou controlados na produção ou no teste. Deve-se designar ações corretivas, responsabilidades e datas de término para eliminar a não-conformidade com as Regulamentações Governamentais ou os problemas de segurança bem como falhas de alta severidade, alta ocorrência, alta criticalidade e alto NPR (Número de Prioridade de Risco). Sugere-se considerar técnicas de melhoria do processo como *DoE*, Projeto Robusto, Global 8D e Prevenção de Reocorrência. O DFMEA assim como o PFMEA devem ser usados como documentos ativos. Como os pneus são tratados pelas montadoras como peças de segurança é obrigatória a aprovação do cliente para o DFMEA. Outro conceito implementado na indústria de pneus em termos de prevenção de falhas foi o FMEA reverso<sup>[571]</sup>.

Os fornecedores de pneus devem usar no mínimo como características especiais<sup>[570]</sup> (críticas ou significativas) os modos de falha descritos na especificação de engenharia. Para fins de auditoria utiliza-se o seguinte roteiro de análise:

- Todos pneus possuem análises de falhas e efeitos de projeto e processo documentadas (DFMEA, PFMEA), bem como planos de controle? Há um processo em uso para o desenvolvimento destes documentos? O fornecedor:
  - Possui um processo documentado para desenvolver e melhorar continuamente os DFMEAs, PFMEAs, e planos de controle para todas as peças?
  - Obtém e revisa o FMEA de sistema e de projeto ou o DVP&R para assegurar que sejam desenvolvidos e implementados PFMEAs, planos de controle e instruções de trabalho apropriados?

- Utiliza um diagrama de fluxo de processo ou um plano de controle substituto ao desenvolver o PFMEA e/ou DFMEA?
- Incorpora aos Planos de Controle e aos FMEAs todas as ações corretivas permanentes dos 8Ds?
- Os FMEAs são revisados anualmente ou conforme surgem problemas. Utiliza-se um gráfico Pareto para enfocar 1) severidade, 2) o produto da severidade e a ocorrência, e 3) identificação de RPNs elevados a fim de priorizar ações para impulsionar melhorias? O fornecedor:
  - Compreende como desenvolver um FMEA sólido (compreende, por exemplo, a função do processo, o modo de falha daquela função, seus efeitos e fatores causais, bem como os métodos de detecção), compreende como utilizar a classificação de ocorrência-deteção e revisa os dados de desempenho para validar as classificações?
  - Compreende quais ferramentas da qualidade (tais como diagramas de causa e efeito, DoE, mapeamento da cadeia de valor) foram utilizadas e como os dados analíticos foram desenvolvidos e utilizados na criação dos FMEAs?
  - Possui um processo robusto para rastrear as revisões de FMEAs?
  - Em colaboração com os clientes, identifica as características significativas em seus PFMEAs e planos de controle para cada peça ou família de peças?
- O fornecedor assegura que todas as dimensões de impressão e anotações no desenho do engenheiro sejam sempre executadas por meio de planos de controle, instruções de trabalho, instruções de configuração de trabalho e inspeções? Para isso deve fazer com que:
  - Todas as outras dimensões não especificadas no plano de controle possuam uma frequência de inspeção identificada na exposição do relatório e no manual do procedimento da qualidade.
  - Todas as características de produto ou processo, que estejam em uso para gerenciar o processo de manufatura, sejam identificadas no plano de controle.

- As evidências da validação dimensional total (item 4.42 Inspeção de Layout e Ensaio Funcional<sup>[572]</sup> dos requisitos específicos da Ford para a ISO/TS16949:2002) seja completada anualmente.
- O fornecedor verifica as características de passagem e assegura que haja zero defeitos nas Operações de Veículo (*Vehicle Operations* – VO) e para o cliente final? Porém para pneus não costumam existir características de passagem.

### 3.6.5 Revisões de Projeto/ Manufatura

Para os Fornecedores, as Revisões de Projeto são reuniões regularmente agendadas conduzidas pela atividade do projeto do fornecedor e devem incluir outras áreas atingidas. As Revisões de Manufatura são reuniões regularmente agendadas para monitorar o status do desenvolvimento do processo de manufatura. Devem agendar reuniões em intervalos adequados entre os pontos de verificação e revisar os aspectos técnicos pertinentes, os quais podem afetar o desempenho funcional ou do projeto. Isto pode incluir revisões de projeto conduzidas pela gerência, bem como revisões de projeto e processo de manufatura. O fornecedor deve assegurar que as atualizações contenham revisões de dados dos documentos, incluindo FMEAs, DVP&R, regulamentações governamentais, planos de controle com ênfase na qualidade do evento para cada fase do processo de elaboração e manufatura. Além das questões envolvendo manuseio de materiais, Engenharia de Embalagem (*Packaging Engineering* – PE), Planejamento e Logística de Materiais (*Material Planing and Logistics* – MP&L) e Fluxo Sincronizado de Materiais (*Synchronous Material Flow* – SMF) também sejam revisadas durante as reuniões. Para fins de auditoria utiliza-se o seguinte roteiro de análise:

- O fornecedor possui determinadas técnicas estatísticas adequadas? Um aspecto-chave da prevenção de defeitos é a redução da variabilidade do processo e o uso do Controle Estatístico de Processo (CEP) para indicar quando uma ação se faz necessária (tal como ajustes e mudanças de ferramentas) e, reciprocamente, quando os processos não devem ser modificados. A fábrica:

- Tem em funcionamento um método de controle estatístico do processo baseado no operador (ex: histograma, gráficos de controle)?
  - Garante que esses métodos de controle são adequados para as determinadas características de produto ou processo?
- Os gráficos de controle do CEP, baseados no Operador, são otimizados para a frequência e o tamanho estatisticamente válidos, e para o tipo de gráfico adequado? As verificações do CEP são realizadas de modo oportuno e as condições fora de controle indicam as ações corretivas conforme for adequado? Tais gráficos:
  - Estão sendo utilizados para impulsionar as melhorias dentro do processo?
  - Capturam quais mudanças foram feitas no processo, a fim de capacitar a confirmação de que tal ajuste é estatisticamente benéfico para o processo?
- Os dados do CEP são mantidos, monitorados e usados pelos operadores de equipamentos, para impulsionar as melhorias de produto e processo por meio da redução da variabilidade do processo? As evidências de melhorias do processo incluem: reduções no refugo, reduções no retrabalho/reparo e defeitos por unidade; aumentos nas capacidades de “bom de primeira vez” (*First Time Through* – FTT), nível sigma do processo, registros de implementação de mecanismos à prova de erros e reduções nos tempos de parada das máquinas? Além disso:
  - Os gráficos de CEP baseados no operador obtém dados de quando uma mudança foi feita e de que o processo foi efetivamente melhorado, por meio de dados estatisticamente diferentes de antes e depois?
  - O operador do equipamento utiliza os gráficos para monitorar as condições fora do controle?
  - A causa para uma condição fora de controle é identificada e registrada pelo operador do equipamento, incluindo qualquer ação para remediar tal condição?

- Os gráficos são revisados pelo operador de equipamento em busca de padrões recorrentes e os planos de reação correspondentes são suficientes?
- Se uma nova causa tiver sido identificada, o operador do equipamento possui um método para comunicar os problemas, por meio de canais adequados, ao dono do processo, a fim de assegurar que os FMEAS/Planos de controle/instruções de trabalho, etc. sejam atualizados?
- O fornecedor usa os princípios do Seis Sigma para peças correntes e de novos modelos, eliminação de desperdício e resolução de problemas com estrutura baseada em equipes para impulsionar melhoria contínua para qualidade, capacidade do processo e eficiência da fabricação? A fábrica está impulsionando a melhoria contínua utilizando os princípios de produção listados abaixo:
  - Processamento de fluxo contínuo?
  - Produz apenas para suprir a demanda do cliente e para o reabastecimento?
  - Possui sistema que interrompe o processo quando os defeitos são detectados?
  - Combinação de células: células multiprodutivas, maximizando a eficiência da mão-de-obra?
  - Resolução de problemas ao lado da linha, com base em indicadores, junto aos líderes de equipe? Os operadores e os líderes de equipe melhoram a eficácia da célula de trabalho?
- O fornecedor inclui indicadores-chave de fabricação em seu sistema de qualidade? O fornecedor utiliza princípios de manufatura enxuta e de Seis Sigma para eliminar desperdício e gerenciar sua produção?
- O fornecedor possui um processo documentado para identificação positiva das peças em todos os locais de produção, teste, laboratórios, áreas de armazenamento, áreas de escritório?
  - Existem controles e processos em funcionamento para lidar com retrabalho, reparo e refugo, os quais incluem documentação, avaliação, segregação, quarentena e disposição?

- Um bom sistema identificaria "por onde a peça esteve e para onde está indo"?
- Existe rastreabilidade do lote do produto após o envio para a montadora?
  - As peças individuais são identificadas quanto à sua rastreabilidade, quando e onde for possível?
  - Quando o fornecedor possuir rastreabilidade de lote em operação, o sistema é capaz de comunicar informações à montadora, conforme requisitado?
- São realizadas medições para assegurar que os processos de produção controlem o manuseio, armazenamento e empacotamento para prevenir danos ou deterioração e preservar a qualidade do produto?
  - Todos os aspectos de manuseio de peças ao longo do processo de produção devem ser monitoradas quando ocorrerem danos de manipulação ou armazenamento? Deve haver análise e planos de ação corretiva documentados para eliminar a causa dos defeitos funcionais?
  - Possui envolvimento documentado no projeto e teste de embalagens, e as melhorias estão sendo feitas para assegurar a qualidade do produto?
  - Caso o fornecedor seja responsável pela manutenção de embalagem retornável, há um processo de revisão de compartimentos internos e externos de transporte para danos estruturais?
  - O fornecedor possui um processo de revisão de áreas de armazenamento e todas as condições ambientais e adversas são consideradas no projeto de embalagem e instalações, como um todo?
- O fornecedor segue os requisitos de embalagem da montadora. As diretrizes da montadora estão disponíveis para uso e são seguidas conforme exigido?
- Utiliza um método estruturado de resolução de problemas para atender às preocupações e reclamações do cliente?
  - Possui um método documentado de resolução de problemas?

- Descrevem-se claramente ações corretivas e causas-raiz sistêmicas, as quais podem ser encontradas nos processos, instruções de trabalho, planos de controle ou procedimentos reais?
- Há conexão aos FMEAs e planos de controle? Utiliza princípios de Seis Sigma e 8D e todas as ferramentas estatísticas da qualidade adequadas para identificar a causa-raiz?
- Mostra evidência de que os indicadores de Seis Sigma e os 8Ds estão conduzindo a resoluções sistêmicas, e são rastreados e encerrados com as plantas de montagem da montadora pontualmente?
- Rastreia os problemas internos da qualidade, utilizando o 6 Sigma ou o método de resolução de problemas do 8D revisando os problemas recentes, e implementa dispositivos a prova de falha quando for aplicável?
- São estabelecidos métodos para comunicar as preocupações da qualidade ao pessoal da produção e do suporte do fornecedor? As ações corretivas são apresentadas à equipe de gerenciamento do fornecedor para revisão? As ações corretivas são comunicadas e aplicadas para todas as áreas afetadas da organização do fornecedor?
  - Possui um procedimento para comunicar as ações corretivas e as melhorias do processo resultantes de esforços de resolução de problemas dentro de sua organização e em áreas similares?
  - As reclamações do cliente são comunicadas aos operadores?
  - Possui operadores de produção adequados na equipe de resolução de problemas?
  - As lições aprendidas são incorporadas aos procedimentos, instruções de trabalho, aos programas novos e atuais? Além disso são incorporadas aos processos similares?
- Possui um processo em funcionamento para atender às preocupações do cliente em relação à planta, de modo oportuno e completo?
  - Revisa os lançamentos anteriores e incorpora as lições aprendidas aos futuros planos de lançamento, a fim de alcançar um lançamento sem falhas?

### **3.6.6 Plano e Relatório de Verificação do Projeto – *Design Verification Plan and Report (DVP&R)***

O Plano de Verificação do Projeto é um documento que lista as avaliações e testes de engenharia requeridos para determinar se o projeto está apto a ser utilizado no ambiente pretendido. Deve-se definir a equipe multifuncional responsável pelo projeto para o desenvolvimento do DVP incluindo engenharia, fornecedores e manufatura. A preparação do Plano e Relatório de Verificação do Projeto deve ser feita usando procedimentos internos adequados e requisitos do Guia de Confiabilidade da montadora. Deve-se assegurar que o teste do projeto será suficiente para verificar os requisitos corporativos e de cliente da montadora e que tenha robustez em relação às 5 fontes de ruído como segue:

- Variação de peça-a-peça: considerar especificamente a variação dentro da tolerância (extremos de tolerância) nas características selecionadas do produto.
- Sistema contíguo: considerar especificamente os efeitos do ambiente interno criado pelos sistemas contíguos, bem como o ambiente externo (ex: condições climáticas, de superfície, etc.). Considerar também os efeitos de interfaces físicas entre os componentes ou sistemas.
- Uso do cliente: considerar especificamente o perfil de uso de e os ciclos de trabalho, bem como a vida útil do produto.
- Desgaste/envelhecimento: identificar testes de longa duração e testes que requerem um longo tempo para falharem para que possam começar o mais rápido possível, e estejam contidos dentro do ciclo de testes. Incluir os testes que são projetados para detectar uma falha usando dados variáveis.
- Ambiente de trabalho: detalhes técnicos e parâmetros de uso do ambiente na qual o produto será usado.

O DVP nada mais é do que um documento que reúne a verificação para os modos de falha mais importantes apontados no DFMEA. Para pneus foi criada uma especificação de engenharia<sup>[568]</sup> usada mundialmente pela montadora. Nela existe uma lista com todas as características críticas e significativas mínimas que devem constar no DFMEA do fornecedor. Cada característica



dessas representa um modo de falha crítico ou significativo sendo portanto obrigatória a verificação do pneu em relação aos mesmos.

### **3.6.7 Status de APQP do Sub-Contratado**

O Status de APQP do Sub-Contratado identifica e relata as condições do Processo de APQP de um Fornecedor Externo ou um Sub-Contratado. É necessário que fornecedores externos repassem os requisitos de APQP a seus subfornecedores ou subcontratados e conduzam revisões de APQP conforme adequado. Os resultados destas revisões estão resumidos no elemento 7. O fornecedor precisa identificar a equipe multifuncional adequada utilizada para desempenhar e monitorar os requisitos de APQP incluindo seus sub-fornecedores de peças/matérias primas, filiais, integradores do sistema, fornecedores adicionais relacionados, e o cliente. Além disso selecionar sub-fornecedores e filiais de alto impacto com base, mas não limitado, em alguns fatores de risco como novas tecnologias, novo sub-fornecedor, novas instalações, novo projeto, histórico de qualidade, mudanças tardias no projeto de engenharia, peça de alto impacto na satisfação do cliente, peça de segurança ou regulamentada pelo governo ou cotação tardia. Fornecer ao cliente uma lista prévia de sub-fornecedores de Alto Impacto para chegar a um consenso e dividir os riscos.

É responsabilidade do fornecedor monitorar todas as datas de aprovação do sub-fornecedor, relatar ao cliente se alguma delas não atendeu aos requisitos do cronograma do programa do veículo e verificar se a capacidade de manufatura do sub-fornecedor atenderá aos requisitos do programa de veículo para lançamento e produção. Para fins de gerenciamento da qualidade do sub-fornecedor pode-se utilizar o roteiro apresentado a seguir quando o fornecedor:

- Possui um processo definido para gerenciar sua base de fornecimento, incluindo a identificação daqueles que têm alto impacto na qualidade?
  - Existe um processo para gerenciar sua base de fornecimento, incluindo recursos para trabalhar com sub-fornecedores e para identificar os sub-fornecedores que causam alto impacto na qualidade?

- Além disso possui um meio de comunicação efetiva para notificar os fornecedores de alto impacto quanto a seu status e desempenho? A comunicação considera os FMEAs, planos de controle, características de passagem, relatório de acompanhamento de APQP e PPAP?
  - Possui um plano em execução para desenvolver mapas de fluxo de valor de seus fornecedores?
- Exige do sub-fornecedor um PPAP para todas as peças (independentemente das relações comerciais do sub-fornecedor com a montadora) ?
  - Certifica-se de que todos os requisitos de PPAP para os sub-fornecedores sejam atendidos, incluindo aprovações convenientes e de peças, antes de obter a aprovação de PPAP da montadora?
  - Todas as peças ou matérias primas dos sub-fornecedores possuam documentação de PPAP e sejam atualizadas para cada mudança na produção ou no processo da peça?
- Quando a montadora definir uma especificação, ou características especiais que são responsabilidades do sub-fornecedor, esse deve mostrar conformidade com a especificação ou características especiais no envio da PPAP ao fornecedor principal.
  - O fornecedor possui registros documentados da conformidade dos sub-fornecedores quanto às especificações de engenharia ou de características especiais?
- Exige que os sub-fornecedores tomem ações específicas para assegurar que todas as características aceitáveis sejam para as especificações do cliente?
  - Está em uso um processo para identificar e manipular as características de passagem, utilizando métodos de prevenção de erros?
  - Controles rígidos estão implementados dentro dos planos de controle/instruções de trabalho do processo para gerenciar as possíveis características de passagem?

- Todas as características de passagem estão identificadas no PFMEA e no plano de controle/instruções de trabalho do sub-fornecedor, e integradas ao PFMEA e plano de controle do fornecedor?
- Deve confirmar a conformidade do sub-fornecedor por meio da revisão e da aprovação do envio do PPAP do sub-fornecedor antes da incorporação do produto no processo de fabricação do fornecedor?
  - Possui um processo para aprovar as peças de PPAP antes que estas sejam incorporadas ao processo?
  - Existe um um processo de aprovação funcional do sub-fornecedor para maquinário, matérias-primas, sub-montagens e tratamento térmico?
- Conduz revisões sistêmicas com os sub-fornecedores e garante a implementação das ações corretivas, ao longo das instalações do fornecedor, para todos os problemas que resultam em interrupção do envio ou em ação de campo?
  - Possui um procedimento em funcionamento, o qual define como gerenciar defeitos gerados pelo sub-fornecedor, incluindo processo de verificação permanente de ações corretivas?
  - Os sub-fornecedores possuem um método documentado de resolução estruturada de problemas?
  - Aplica um procedimento para conduzir auditorias aleatórias de qualidade de entrada, a fim de verificar a eficiência das ações corretivas implementadas por um sub-fornecedor?
- Está em uso uma estratégia para o recebimento e inspeção para controle da qualidade de entrada?
  - As características especiais do fornecedor estão identificadas para inspeção de entrada?
  - A frequência da inspeção é mais alta para sub-fornecedores de alto risco?
- Os requisitos da qualidade de entrada fazem parte do plano de controle? Caso sejam feitas inspeções da qualidade de entrada, há evidência da especificação e conformidade com a especificação? Se as inspeções de entrada não forem feitas, realiza-se uma análise racional para a qualificação de sub-fornecedores?

- A qualidade de entrada é definida nos planos de controle?
- Caso sejam feitas inspeções de entrada, o fornecedor mostra conformidade com as especificações (possui análise racional de apoio, caso não sejam feitas inspeções) ?
- Está em funcionamento um plano de controle de CEP baseado no operador?
- Os operadores da qualidade de recebimento seguem um plano de reação quando se descobre que a matéria-prima ou a peça adquirida estão fora da especificação?
  - Possui uma política de restrição para a qualidade de entrada (ex: etiquetagem, identificação do tipo de defeito, registro de defeitos, processo de revisão do 8D) ?
  - Aplica um processo de resolução para peças rejeitadas na inspeção de entrada e determina a responsabilidade da resolução, se o progresso está sendo rastreado e se há tempo suficiente dividido para implementar ação corretiva permanente?
- Possui recursos adequados para gerenciar a qualidade do sub-fornecedor, incluindo avaliação no local das instalações de alto impacto dos sub-fornecedores?
  - Aplica um processo para revisar os sistemas da qualidade do sub-fornecedor e quando são apresentadas não-conformidades, o fornecedor e sub-fornecedor possuem planos de reação específicos?

### **3.6.8 Instalações/ Ferramentais/ Dispositivos**

Instalações, ferramentais e dispositivos são os recursos adicionais novos, renovados e realocados necessários para fabricar o produto nos níveis de qualidade e quantidade especificados pelo cliente. As expectativas para este elemento incluem, mas não se limitam a planejamento, critérios estatísticos e de aceitação, considerações de qualificação de equipamento, ações corretivas, entrega e ajuste. O fornecedor deve identificar ferramentaria, equipamentos de teste, auxílios de verificação e equipamentos que serão exigidos para o processo. Deve assegurar que os projetos de ferramentaria e equipamento sejam fornecidos para um sistema flexível, para um fluxo de materiais e troca

rápida e que suportem flutuações de volume. Os projetos devem incorporar as ações recomendadas pelo PFMEA. Deve-se obter acordo de critérios de aceitação entre o cliente e o fornecedor do equipamento além de estabelecer viabilidade e precisão por meio de estudos de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R). Os dispositivos adequados tem que estar disponíveis para serem executados os Estudos Preliminares de Capabilidade de Processo. O fornecedor precisa desenvolver um plano de treinamento que assegure que tenha sido conduzido treinamento em equipamento e ferramenta novos/revisados. Para fins de avaliação do atendimento aos requisitos utiliza-se o seguinte roteiro:

- O fornecedor instituiu práticas que incluem manutenção corretiva, preventiva e preditiva. O sistema de manutenção oferece suporte à melhoria da capacidade do processo?
  - Possui um processo em funcionamento para melhorar o gerenciamento, a manutenção e o ciclo de vida do equipamento e da ferramentaria?
  - O programa de manutenção do fornecedor inclui um processo para revisar o equipamento de manufatura e os sistemas de manipulação de materiais?
  - O departamento de manutenção do fornecedor rastreia paradas não-programada versus programadas e desenvolve ações de melhoria para eliminar as causas?
  - As lições aprendidas com os eventos decorridos de paradas não-programadas são incorporadas ao programa de manutenção programado, a fim de melhorar a Eficiência Global do Equipamento (*Overall Equipment Efficiency – OEE*)?
  - A programação de manutenção tem responsabilidades específicas designadas e a manutenção preventiva programada é desempenhada conforme requisitado?
  - A manutenção prognóstica do fornecedor é baseada em métodos estatísticos válidos?
- A gerência revisa regularmente o status do cumprimento do plano pela Manutenção Preventiva (MP)? A gerência revisa os planos de ação corretiva para garantir que todo o acúmulo de manutenção possua um plano

para tornar-se corrente na programação da MP? A gerência empreende uma avaliação para determinar se há uma redução no tempo de parada do processo/máquina?

- Existem minutas das reuniões de gerenciamento relacionadas ao programa?
- Os gráficos de tendência/ desempenho demonstram a eficácia da MP?
- Os novos modos e causas de falha identificados pelo programa de MP, os quais afetam a qualidade da peça (programada ou não-programada) foram retornadas ao PFMEA do produto, aos planos de controle e às instruções de trabalho?
- Existem planos de melhoria contínua para asseio, manutenção, ergonomia e condições de trabalho da planta, e realizam-se auditorias em suas instalações. Há evidência de que a equipe de gerenciamento do fornecedor está seguindo planos de melhoria contínua?
  - Há um procedimento documentado para asseio da planta?
  - Há iluminação adequada para equipamentos de inspeção, medição e teste?
  - O sistema de qualidade do fornecedor possui segurança como um de seus indicadores e rastreia danos relacionados a problemas ergonômicos?
- O fornecedor realiza medições para minimizar materiais estranhos, fragmentos, contaminação, excesso de óleo, em que a qualidade da peça pode ser afetada negativamente?
  - Utiliza-se um processo para revisar as áreas de processamento e envio de manufatura, reparo e retrabalho para detectar todo o potencial de contaminação ou dano das peças acabadas, incluindo as embalagens, antes do envio para as fábricas consumidoras?
  - São desenvolvidos planos de ação, nos lugares em que o fornecedor identifica áreas de preocupações, a fim de implementar melhorias, e o encerramento das questões é documentado?

### **3.6.9 Plano de Controle de Construção do Protótipo**

O Plano de Controle de Construção do Protótipo é uma descrição das medições dimensionais, testes dos materiais e funcionais que irão ocorrer durante a construção do protótipo de confirmação. As linhas de produção de pneus já estão estabelecidas nas fábricas por isso o plano de controle de construção do protótipo e o de pré-lançamento são os mesmos que o plano de controle de produção.

### **3.6.10 Construção do Protótipo**

O elemento de Construção do Protótipo vincula a manufatura ou montagem de componentes, subsistemas, sistemas ou veículos montados que serão fornecidos para o cliente e para a montagem antes do teste inicial e produção final. Nessa fase deve-se assegurar que os fornecedores estejam envolvidos, conforme adequado, e tenham recebido todas as informações necessárias com relação à programação do cliente, suas quantidades de protótipo e cronograma. O fornecedor e/ou sub-fornecedor devem fornecer à equipe de protótipo uma listagem de todos os requisitos/ testes de projeto ou comprovação do processo os quais requerem checagem no nível do sistema ou sub-sistema a fim de comprovar seu projeto. Assegura-se que a montagem do protótipo contenha peças de nível correto as quais atendam a todos os requisitos. Assegurar que o Plano de Controle do Protótipo tenha sido desenvolvido e seja utilizado para identificar e localizar itens que devem ser medidos nos veículos protótipos. Desenvolver um plano de ação contendo todos os problemas encontrados durante a montagem e testes de laboratório, planta e rodagem subseqüentes, e revisá-los com a equipe e a gerência adequada. Assegurar que as Equipes de Redução de Variabilidade (*Variability Reduction Teams – VRT*) tenham chance de revisar o plano de ação e montagens complexas para obter suas sugestões sobre como reduzir os problemas de variabilidade.

### **3.6.11 Desenhos e Especificações**

O Elemento de Desenhos e Especificações é uma avaliação do desenvolvimento de objetivos e especificações, conforme são definidos como

entrada para o processo, bem como dos desenhos (incluindo todos os desenhos de engenharia, dados de CAE, especificações de material e especificações de engenharia). Devem-se identificar as dimensões que afetam a função, a durabilidade e a satisfação do cliente. Assegurar que todos os requisitos de Regulamentações Governamentais e de Segurança sejam incorporados nas especificações e nos desenhos além das características críticas/significativas potenciais sejam identificadas nos documentos relevantes. Assegurar que as tolerâncias e especificações das peças sejam compatíveis com as normas aceitáveis de manufatura para dispositivos e equipamentos além de identificar todos os requisitos especificados que não podem ser avaliados usando técnicas de inspeção conhecidas. Como uma lista de verificação pode-se empregar a avaliação abaixo:

- Todas as inspeções, medições e testes, incluindo as especificações de engenharia e especificações de material (*Material Specification – MS*), devem ser realizadas de acordo com os planos de controle, instruções e/ou procedimentos documentados para assegurar que os requisitos do produto sejam atendidos.
  - Possuir um processo documentado em funcionamento para assegurar que as mais recentes ES e MS estejam acessíveis.
  - Estar em conformidade com todos os requisitos do projeto e/ou de especificação de engenharia.
- Planos de reação adequados referem-se às ações que devem ser utilizadas caso haja falha no teste ou na inspeção, e incluem política de retenção do produto e de notificação do cliente para todos os eventos.
  - O fornecedor possui um procedimento de falha da ES.
  - Os planos de reação incluem instruções sobre quem deverá agir, se a produção deverá ser interrompida, quais envios devem ser interrompidos ou trazidos de volta e quais ações são consideradas necessárias para proteger e notificar a montadora.
- Exige-se que todos os fornecedores e sub-fornecedores que fornecem componentes com tratamento térmico atendam aos padrões de manufatura da montadora e demonstrem conformidade, usando as diretrizes de vistoria de sistema de tratamento térmico. Para reduzir o risco de fragilização,



exige-se que os componentes de aço que sofrem tratamento térmico estejam em conformidade com a especificação de material vigente.

- O fornecedor pode confirmar que existe um sistema válido de pesquisa para todos os componentes que sofrem tratamento térmico.
- Se o fornecedor não atender aos requisitos, todas as não-conformidades são documentadas, e planos de ação são colocados em funcionamento.

### **3.6.12 Comprometimento da Equipe com a Viabilidade**

A Viabilidade da Equipe determina se o projeto proposto pode ou não ser fabricado dentro das especificações e diretrizes. Uma equipe multifuncional de revisão de projeto/manufatura é encarregada de avaliar a viabilidade do projeto. Uma vez que a viabilidade de trabalho é estabelecida, a organização do programa toma a responsabilidade de acompanhar o processo de revisão do projeto/manufatura e reavaliar a viabilidade para qualquer mudança no projeto ou na peça que possa ocorrer durante o desenvolvimento do produto. Usando o processo definido pela equipe de programa para uma revisão de comprometimento com a viabilidade, identificar todas as questões de engenharia as quais requerem ações para viabilidade de manufatura, e documentá-las num sistema de liberação de Engenharia. Assegurar que o produto tenha sido definido adequadamente a fim de permitir a avaliação de viabilidade e certificar que todas as ES possam ser atendidas. Uma das premissas desse elemento é a de garantir que o produto possa ser fabricado de acordo com as tolerâncias especificadas nos desenhos. Para tanto o fornecedor deve ter um sistema robusto de revisão de APQP e monitoramento da produção dos pneus. A verificação do atendimento a esses itens pode ser feita mediante as disciplinas citadas abaixo:

- O fornecedor possui um mecanismo de rastreamento APQP implantado?
  - A administração do fornecedor revisa, no mínimo, os elementos de fabricação do APQP para assegurar rastreamento, documentação e planos de ação adequados?
  - Todos os novos programas da montadora estão sendo monitorados?
- O fornecedor tem um sistema para gerenciar lançamentos de peças que serão utilizadas em novos programas de veículo?

- A Equipe de Gerenciamento do Programa do Fornecedor possui recursos dedicados para apoiar o programa, incluindo sub-fornecedores-chave e pessoal na planta de manufatura do fornecedor?
- Dispõe de sistemas exigidos para fazer interface com a montadora, e esta capacidade se encontra no site de manufatura do fornecedor, quando for possível? Caso não seja possível, o fornecedor pode demonstrar que seu sistema utiliza atividades contínuas de desenvolvimento de produtos, as quais afetam a ferramentaria e o processamento do site de manufatura, e esta documentação é mantida nos níveis de cliente adequados?
- O fornecedor tem um processo em funcionamento para ajudar a fase de protótipo e a pré-produção da montadora, construindo eventos de maneira oportuna?
  - Desenvolve peças de pré-produção e protótipos que simulam seu processo de produção?
  - Verificar que todos os protótipos de peças atendam aos requisitos de engenharia, dimensões e de funcionamento? Exige e utiliza Planos de Controle de Protótipos?
  - Possuir recursos dedicados da planta de montagem da montadora e de Engenharia de Veículo disponíveis para auxiliar o lançamento?
  - Os representantes do lançamento do fornecedor são autorizados a tomar ações imediatas em problemas que exigem solução rápida da equipe de lançamento?
- Tem um processo que garanta e melhore continuamente o desempenho do lançamento?
  - Possui um sistema que rastreia o desempenho para atender às datas de aprovação de produto?
  - Gerencia os sub-fornecedores para assegurar que os prazos sejam atendidos?
  - Possui um processo para notificar imediatamente seus clientes acerca de quaisquer incrementos no prazo de aprovação?

- Existe um processo para conduzir revisões em todos os novos produtos, calibradores, processos e equipamentos, e utiliza seu pessoal das plantas similares, pessoal corporativo e/ou clientes?
- O fornecedor monitora a capacidade e possui um processo para assegurar capacidade contínua suficiente em todas as peças da montadora?
  - Está em conformidade com os lançamentos de produtos da montadora?
  - O recrutamento de suporte para volumes de planejamento de capacidade considera a taxa de troca, falta de pessoal e eventos não previstos (acidentes naturais) e existem planos de reação robustos e factíveis?
  - O fornecedor possui um plano para dar suporte aos requisitos de capacidade em caso de interrupções da produção devidas à falha de equipamentos e/ou problemas de desempenho do sub-fornecedor?

### **3.6.13 Fluxo do Processo de Manufatura**

O Fluxo do Processo de Manufatura é uma representação gráfica da seqüência atual ou proposta do processo de manufatura. O fluxograma de Manufatura pode estar no formato tradicional de fluxograma, desde que contenha todas as informações necessárias. O objetivo desse elemento é assegurar que a definição do processo, o PFMEA e os Planos de Controle possam ser criados e analisados na seqüência adequada. É, também, uma confirmação visual de que todos os envolvidos, desde fornecedores, engenharia de produto e manufatura, bem como as instalações de manufatura, entendam a seqüência de manufatura proposta. Em equipe, deve-se decidir qual será o formato utilizado para o Fluxo do Processo de Manufatura e as informações adicionais que deverão ser incluídas no diagrama. Desenvolver o fluxo de processo das novas peças utilizando fluxogramas de processos similares e FMEAs de processo já existentes e aprovados pela montadora. Ilustrar a seqüência de operações de produção, incluindo: descrições de peça, inspeção, transporte, armazenamento, serviços subcontratados e caminhos alternativos (retrabalho e reparo). Descrever como o produto se movimentará dentro do processo (ex: carro transportador, esteira). Identificar todas as operações adequadas que afetam as características especiais. Notar que é

fundamental gerenciar quaisquer mudanças que sejam do interesse do fornecedor ou se façam necessárias devidos a melhorias ou correções no processo produtivo. O fornecedor deve, obrigatoriamente, seguir as disciplinas pertinentes ao processo de *Supplier Request for Engineering Approval – SREA*<sup>[573]</sup>. SREA é uma requisição submetida por fornecedores externos a fim de obter aprovação da montadora para implementação de um plano para a mudança no processo de manufatura, mudança da planta de manufatura ou no projeto da peça. Tais mudanças devem ser de iniciativa do fornecedor externo e a aprovação do plano envolverá alguns departamentos da montadora tais como Engenharia de Produto, Planta de montagem (*Plant Vehicle Team – PVT*), Compras e STA. Quando o fornecedor não tem acesso ao WERS (*Worldwide Engineering Release System*) ou equivalente, o SREA pode também ser usado para comunicar à montadora uma mudança de projeto de peças/produtos cuja iniciativa é do fornecedor ou requisitar à montadora permissão para enviar peças/produtos não-conformes. A aprovação do SREA definitivamente não indica uma aprovação para enviar peças de produção com as referidas alterações. Antes do início do fornecimento das peças com mudanças são necessários submissão e aprovação de PSW (*Part Submission Warranty*) e, salvo quando a planta da montadora emitir um desvio, realização de testes funcionais. O processo de SREA serve para evitar que mudanças inadvertidas em peças, processo ou local de manufatura sejam realizadas. Mudanças essas que sejam de iniciativa do fornecedor e que afetem a qualidade da peça fornecida e/ou as operações de montagem de veículos da montadora. Os requisitos do PPAP estabelecem que a montadora seja notificada antes que tais mudanças sejam implementadas. O SREA é essa ferramenta de comunicação. O SREA é aplicado globalmente nas fábricas da montadora quando fornecedor externo necessita realizar uma mudança nos componentes de produção (mudança do processo de manufatura e mudança de planta de manufatura além de mudança de projeto ou requisição para enviar peças não conformes). Deve-se utilizar o SREA antes de implementar qualquer mudança, cuja iniciativa seja do fornecedor, relativa ao processo original aprovado no PPAP tais como mudanças: do local de produção da peça, na estrutura da planta de manufatura que afete o processo ou seu fluxo, no

processo de produção da peça/produto, de equipamentos, do fluxo de processo, de sub-fornecedor (mudanças de: local, material, processo ou seu fluxo), de material dentro da especificação de projeto existente ou da fonte de material. Além disso quaisquer mudanças projeto da peça/produto que afete:

- especificação, custo, aparência, qualidade ou desempenho;
- aderência as regulamentações governamentais;
- responsabilidade de outro *Product Engineering Office* (PEO);
- função, encaixe ou aparência de componentes/subsistemas/sistemas do veículo;
- flexibilidade, habilidade de ser intercambiável ou desempenho de serviço;
- especificação de projeto de subsistemas, padrões mundiais ou especificações;
- quaisquer operações nas fábricas da montadora;
- confiabilidade e garantia.

O fornecedor pode usar como requisição temporária para fornecer peças ou produtos não conforme quando a peça está sendo temporariamente produzida através de processos de manufatura ou planta de manufatura (no tier 1 ou sub-fornecedor) não aprovados, quando há necessidade de uma mudança emergencial temporária do processo de manufatura ou planta de manufatura e também quando a peça/produto temporariamente não está de acordo com as especificações da montadora.

Os aspectos citados abaixo devem ser usados para avaliar se o fornecedor gere corretamente as mudanças em seu processo.

- Possui um processo documentado para implementar eficientemente mudanças pós início da produção do projeto, mudanças no processo ou mudanças de volume?
- Revisa e atualiza eficientemente sua documentação de apoio à qualidade para estas mudanças? Exemplos de documentos que podem exigir mudanças: Diagramas de Fluxo do Processo, FMEAs, Planos de Controle, Instruções do Operador e documentação de PPAP.
  - Possui um processo para implementar as mudanças propostas pelo fornecedor interno e externo?

- Identifica novos indicadores associados à mudança e implementa sistemas de medição válidos para rastrear indicadores-chave associados à mudança de processo?
- Demonstra uma comunicação efetiva de uma mudança com o cliente?
- Segue um processo documentado para assegurar que as aprovações adequadas da montadora sejam obtidas antes de realizar as mudanças no processo? O processo de aprovação incluirá o uso do SREA e documentação de PPAP revisada, conforme for apropriado?
  - Revisa cada uma e todas as mudanças e determina se tal mudança requer ou não uma aprovação do cliente?

### **3.6.14 Análise dos Modos de Falha do Processo e seus Efeitos – *Process Failure Mode and Effects Analysis* (PFMEA)**

O FMEA de Processo é uma abordagem sistemática utilizada por uma equipe responsável pela manufatura para assegurar que os modos de falha potenciais relacionados ao processo, e suas causas associadas, tenham sido atendidos e resolvidos adequadamente. Sugere-se que sejam aplicados os mesmos conceitos e estratégias do DFMEA porém voltados para o processo produtivo e não para o projeto.

Os diagramas de Fluxo do Processo de Manufatura são usados como entradas visuais para o PFMEA, a fim de assegurar que o processo seja analisado na seqüência adequada, e que os modos de falha sejam atendidos. Além disso, as características especiais potenciais do processo de DFMEA são uma entrada-chave para o PFMEA. O PFMEA suporta a determinação das Características Potenciais que necessitarão monitoramento na produção, ou se há uma forma de controlá-las no decorrer do processo.

Outra inovação proposta nesse novo modelo é a utilização do conceito de FMEA reverso<sup>[571]</sup> (*Reverse Failure Mode and Effect Analysis* – RFMEA). É um procedimento que define um processo para análise de estações e células de manufatura/montagem para identificação e detecção de possíveis modos de falhas de componentes, ferramentas, equipamentos e instalação. Tal procedimento também visa criar um processo para desenvolvimento de planos

de ação corretivos de curto e longo termos para problemas de alto risco. Com o RFMEA torna-se possível identificar potenciais riscos de falha, seus efeitos e causas além de proporcionar um sistema de classificação prioritário para o risco ao consumidor. O processo deve se usado durante as atividades de lançamento para eliminar potenciais problemas de qualidade antes das peças atingirem o mercado e certamente serve como um complemento ao PFMEA. Cada estação de manufatura ou da linha de montagem, incluindo áreas de reparo/retrabalho, devem ser revisadas e incluídas no escopo do RFMEA. Alguns dos modos de falhas genéricos potenciais são citados abaixo. Pode ser usado como um guia para a identificação dos mesmos. Para cada pergunta abaixo deve-se identificar em qual parte da operação o modo de falha pode ser detectado (na estação de estudo ou na estação subsequente) se for possível sua detecção. Caso não seja torna-se evidente o risco sob o qual a atividade em questão está sendo executada.

- Problemas de qualidade do material de entrada que podem afetar a operação da célula de manufatura/montagem podem ser detectados?
  - Exemplos de problemas de qualidade: material fora de especificação, partes/peças/materiais danificados, porosidade, etc.
- Existe a possibilidade de um componente similar, porém errado, ser usado/instalado?
  - Existe um método para identificar esse componente?
- Existe a possibilidade de um componente ser montado/instalado/carregado incorretamente?
  - Incorretamente pode significar: do lado errado, invertido, etc.
  - Existe um método para identificar a orientação da peça/componente e prevenir sua desorientação?
- Existe a possibilidade de um componente ser montado/instalado/carregado incorretamente?
  - Incorretamente pode significar: do lado errado, invertido, etc.
  - Existe um método para identificar a orientação da peça/componente e prevenir sua desorientação?
- Problemas de contaminação afetam essa operação ou a mesma é uma possível fonte de contaminação para processos subsequentes?

- Existe um método para identificar ou estudar a origem da contaminação?
- Essa operação é ou pode ser afetada por flutuações no desempenho dos recursos (elétrico, ar comprimido, hidráulica, vapor, etc.) disponíveis?
  - Existe um método para detectar a flutuação desses recursos?
- Essa operação é ou pode ser afetada por variações ambientais (baixas/altas temperaturas, umidade, poeira, vibração, etc.)?
  - Existem controles de engenharia disponíveis para compensar a variação desses parâmetros?
- Essa operação é ou pode ser afetada por variações dimensionais ou do formato das peças utilizadas como matéria prima?
  - Existem métodos para detecção e controle?
- Existem instruções para o operador da máquina? Instruções de setup, uso, calibração, etc.?
  - As instruções são claras? Compreensíveis? São da última versão/revisão de engenharia? Estão sendo seguidas corretamente?
- É possível que um conjunto de ferramentas, equipamentos, abrasivos sejam erroneamente ou indevidamente instaladas?
  - A frequência de troca das ferramentas são definidas e controladas? Existe verificação?
- É possível que um conjunto de ferramentas, equipamentos, abrasivos sejam erroneamente ou indevidamente instalados?
  - A frequência de troca das ferramentas são definidas e controladas? Existe verificação?
  - Existem controles de engenharia para detecção de vida útil/quebra e prevenção de problemas?
- Todas as características de especificação estão listadas no plano de controle?
  - Os planos de controle estão sendo seguidos corretamente?
  - Existem planos de reação robustos para situações fora da especificação?
  - O setup da máquina é conferido e revisado?
- Características de passagem são criadas nessa fase?



- Existem modos de realizar verificações de qualidade nessa característica?
- Materiais/peças/produtos rejeitados podem ser produzidos nessa fase?
  - Existem dispositivos de controle para garantir que rejeições não se misturem com produtos aprovados?
- Por alguma razão essa fase pode ser colocada em modo de espera ou não ser utilizada durante a produção?
  - Em caso afirmativo existe um procedimento para autorizar o desvio?
- Existe um padrão aprovado para reparos feitos nessa estação?
  - Em caso afirmativo um RFMEA foi conduzido?

As classificações possíveis para o RFMEA são verde, amarelo ou vermelho. Verde significa que existe um processo de detecção dentro da estação/célula quando a peça está sendo processada. Construções erradas não são possíveis de serem feitas sem serem detectadas. Amarelo significa que existe um processo de detecção fora da estação/célula quando a peça está sendo processada mas existe tal processo dentro da próxima operação ou na fábrica. Construções erradas podem ocorrer sem serem detectadas mas o serão na seqüência. Vermelho significa que não existe um processo de detecção. Construções erradas são possíveis de serem feitas e não serão detectadas.

### **3.6.15 Avaliação do Sistema de Medição**

A Avaliação do Sistema de Medição avalia a variação do sistema de medição e determina se este sistema é aceitável ou não para monitorar o processo. O fornecedor deve utilizar o Manual AIAG de Análise dos Sistemas de Medição<sup>[574]</sup> (*Measurement System Analysis – MSA*) e os procedimentos internos adequados para realizar os requisitos de Avaliação dos Sistemas de Medição. É preciso desenvolver um plano para dispositivos e equipamento de teste que trate do cumprimento do cronograma proposto e dos custos da medição do protótipo e da produção, incluindo: Análise de Variação Dimensional (*Dimensional Variation Analysis – DVA*), documentação de controle dimensional de pontos de localização e medição, verificação de componente e montagem e de elementos de fixação, Máquinas de Medição Coordenadas (*Coordinate Measuring Machines - CMM's*), gerenciamento de

dados, e inspeção de protótipo, conforme for adequado. Devem verificar dispositivos e equipamentos de teste para: confirmação do projeto, níveis adequados do mesmo, segurança, funcionalidade, quanto à sua tendência, linearidade com a discriminação correta, quanto a repetibilidade e reprodutibilidade com as discriminação adequadas, para que atendam às Regulamentações Governamentais e de Segurança existentes. É fundamental a realização de estudos de correlação quando existem dispositivos e equipamentos de teste duplicados ou redundantes. Para fins de auditoria pode-se empregar o seguinte roteiro:

- O fornecedor garante que todos os instrumentos de medição estejam disponíveis para o uso, conforme foi identificado no plano de controle? O programa de manutenção e calibração dos instrumentos de medição assegura a disponibilidade de instrumentos de reserva ou de um processo de calibração reserva para dar suporte às inspeções exigidas pelo plano de controle?
  - Pode-se validar a disponibilidade do instrumento de medição, de acordo com o plano de controle?
  - Evidências de que sejam cumpridos e encaminhados cronogramas publicados para a calibração e manutenção de equipamentos de inspeção, medição e teste (incluindo software de teste) existem?
  - Os procedimentos de medição com auxílios visuais são afixados na estação?
- São usados instrumentos de medição variáveis para todas características especiais, sempre que possível? Os calibradores estão em conformidade com o plano de controle? Todos os instrumentos de medição (da companhia e dos funcionários) são identificados de acordo com o plano de controle?
  - Possui em funcionamento um mecanismo de rastreamento do R&R dos equipamentos? Os estudos também são feitos com instrumentos de medição de atributos?
  - Os instrumentos de medição, tanto os pessoais como os da companhia, são avaliados e rastreados? Há um processo em funcionamento para controlar a conformidade?

- Caso não estejam sendo utilizados instrumentos de medição variáveis, o fornecedor pode fornecer uma justificativa sólida?
- O R&R deve estar em conformidade com as diretrizes do manual de Análise dos Sistemas de Medição do AIAG (MSA)<sup>[574]</sup>. Sempre que o R&R não atende à essas diretrizes, são utilizados planos específicos.
  - Os estudos devem ser completados, para todos os instrumentos de medição utilizados para verificar produtos da montadora, sem importar o tipo ou sistema de medição.
  - O método e a frequência são especificados para cada sistema de medição? É recomendado que o erro do instrumento de medição seja mantido dentro de um nível aceitável. Instrumentos de medição com erro maior do que 10% devem ser revisados com relação à tolerância e avaliados quanto a seus riscos associados.
- O fornecedor possui um procedimento documentado de avaria do instrumento, seguida por todos os funcionários? Isso garante que somente os instrumentos de medição em funcionamento e dentro das especificações sejam utilizados.
  - Os operadores conhecem e compreendem o procedimento?
  - Os registros de instrumentos danificados estão em conformidade?
- Os padrões do instrumento de medição são rastreáveis para um padrão nacional ou internacional equivalente? A calibração e a manutenção do instrumento de medição são realizadas dentro de uma programação adequada e de acordo com as especificações?
  - O fornecedor possui um programa de manutenção dos instrumentos de medição?
  - Os registros mostram conformidade? Se o fornecedor estiver utilizando blocos de calibração para qualificar os micrômetros e calibres, então possuem certificação do *National Institute of Standards & Technology* (NIST) ou seu similar internacional.

### **3.6.16 Plano de Controle Pré-Lançamento**

O Plano de Controle Pré-Lançamento é uma descrição escrita das medições dimensionais e testes funcionais e de materiais (verificações no processo) as

quais ocorrerão após a construção do protótipo e antes das montagens de produção. O Plano de Controle Pré-Lançamento deve incluir todos os controles adicionais necessários de produto/processo até que o processo de produção seja validado. Seu objetivo é conter possíveis não-conformidades após o protótipo, mas antes da produção total.

As linhas de produção de pneus já estão estabelecidas nas fábricas por isso o plano de controle de construção do protótipo e o de pré-lançamento são os mesmos que o plano de controle de produção.

### **3.6.17 Instruções do Processo do Operador**

O elemento de Instruções do Processo do Operador é dividido em dois componentes principais: O primeiro é a Descrição do Processo e o segundo são as Instruções do Operador (ex: alocações do operador, verificação da definição do processo e treinamento do operador). As Instruções do Processo do Operador descrevem os detalhes dos controles e ações nas quais o pessoal operacional deve desempenhar para produzir produtos de qualidade. É necessário assegurar que os elementos iniciais do processo estejam descritos adequadamente e documentados nas definições/instruções do processo para uso, treinamento do operador e verificação das fases do processo. Desenvolver um plano de treinamento para operadores, pessoal reserva e de reparo, supervisores de áreas, e outros, conforme necessário, a fim de assegurar execução adequada do processo, itens de delta invertido, equipamentos e dispositivos de medição em cada fase da montagem. Usar as lições aprendidas com o protótipo para atualizar as definições/instruções do processo e prepará-las para o uso nas montagens. Atualizar as definições do processo para incluir alocação adequada do operador nas fases do processo e especificar características críticas/significativas na definição do processo. Consultar os Planos de Controle atuais para inspeção, teste, monitoramento do processo, métodos estatísticos e planos de reação, conforme for adequado, no desenvolvimento das instruções do processo do operador. Incluir critérios de aceitação e rejeição para produto e processo. Incluir todos os requisitos das operações subseqüentes do processo afetados pelo operador/operação. Demonstrar conformidade com o plano de treinamento em cada fase de

montagem de acordo com o nível mais recente de instruções. Garantir que as definições e instruções do processo estejam acessíveis e visíveis na área de trabalho. Manter e atualizar a lista de informações de versatilidade do operador, de modo contínuo, a fim de assegurar que os requisitos de operação possam ser atendidos por diversos operadores. Deve-se enfatizar, em especial, as operações de delta invertido e regulamentação governamental. Como auxílio em uma visita de auditoria sugere-se tomar como referência as seguintes recomendações:

- São desenvolvidas instruções padronizadas para o operador (incluindo planos de controle, instruções de trabalho, auxílios de trabalho, folhas de verificação, instruções de organização do trabalho e ilustrações), que estão disponíveis para os mesmos?
  - As instruções de trabalho possuem todos os detalhes necessários, incluindo critérios de aceitação da qualidade, parâmetros de controle de produto e processo, referências ao nível e à data de liberação do esboço do produto, instrumentos de medição e ferramentas especiais/específicos exigidos, plano de reação para não-conformidade de processo e produto?
  - O fornecedor pode demonstrar a conformidade do operador com as instruções de trabalho?
- As instruções padronizadas para o operador são legíveis, específicas e controladas, e estão disponíveis na área onde o trabalho é realizado, sendo seguidas pelo operador conforme estão redigidas?
  - O fornecedor pode demonstrar que os operadores são adequadamente treinados e supervisionados quanto ao andamento correto de suas funções no processo, alinhadas às instruções documentadas disponíveis, incluindo a disposição correta de setup e peças rejeitadas?
  - Quando for possível, são empregados auxílios visuais na estação de trabalho para definir e focar a conformidade/não-conformidade?
  - Se houver uma força de trabalho multilíngüe, o fornecedor pode demonstrar que as instruções de trabalho são compreendidas?
- Os planos de reação são definidos claramente e protegem a montadora contra materiais não-conformes?

- Os operadores compreendem as conseqüências de peças não-conformes e a falha subsequente que atingirá o cliente?
- Possui um processo de notificação dos clientes caso os produtos não-conformes tenham saído de suas instalações?
- O fornecedor possui um processo de retenção caso as peças não-conformes cheguem ao consumidor?
- As instruções de trabalho especificam um plano de reação caso peças suspeitas ou não conformes passem pelo sistema?
- Os planos de controle e instruções são revisados e atualizados quando os produtos ou processos diferem dos que estão em produção corrente?
  - Os planos de controle e instruções são precisos e atualizados conforme o produto/esboço e as revisões do processo mais recentes?

### **3.6.18 Especificações de Embalagem**

O fornecedor de um produto deve assegurar que seja determinada e desenvolvida uma embalagem individual para expedição (incluindo partições internas). Os padrões de embalagem do cliente ou requisitos genéricos de embalagem devem ser utilizados quando adequado. Para a produção de pneus esse item não tem muita aplicação exceto pela entrega de conjuntos montados ou em situações que alguma embalagem específica/auxílio de identificação seja requerida pelo programa. Nesses casos todos os manuais e requisitos do MP&L devem ser atendidos.

### **3.6.19 Tentativa de Produção**

A tentativa de produção é uma validação da eficácia dos processos de manufatura e montagem, usando ferramental, equipamentos, ambiente (incluindo operadores da produção), instalações e tempos de ciclo da produção. A saída da tentativa de produção é utilizada para PPAP pelo fabricante e revisões feitas pela montadora. Parte do processo da tentativa de produção consiste de requisitos de *Phased PPAP*. Esse processo começa com uma verificação inicial, a qual deve ser realizada a partir de um único fluxo de produção com, no mínimo, uma ferramenta de produção, linha ou fluxo de processo. As condições devem seguir as velocidades de produção. O processo

é normalmente executado por uma a oito horas com um mínimo de 300 peças. Ele fornece um indicador inicial para o requisito de rendimento da linha de produção pretendida para este fluxo de produção, a fim de dar suporte aos últimos volumes de programa autorizados. Deve-se definir a equipe multifuncional responsável pela manufatura para a tentativa de produção, incluindo a engenharia do produto, engenharia do processo, a planta, os fornecedores, a qualidade. Usar todas os dados adequados disponíveis para calcular os níveis de OEE previstos para o processo de produção e, mais adiante, estimar os níveis de capacidade. Determinar todos os problemas a partir da análise OEE os quais poderiam impedir a tentativa e o volume programado na data requerida, e preparar um plano de resolução para todos estes problemas. Estabelecer VRTs para trabalhar na redução da variação de montagem para questões complexas de montagem observadas durante essa fase.

### **3.6.20 Plano de Controle de Produção**

O Plano de Controle de Produção é uma descrição escrita dos sistemas para peças e processos de controle durante a produção total. Este documento é baseado no plano de controle pré-lançamento. O fornecedor deve desenvolver o plano de controle de produção usando os procedimentos internos mais recentes da montadora, conforme for adequado. Para tanto é importante revisar todas as características de produto e processo, identificando aquelas exigidas para o Plano de Controle de Produção e obter entrada e concordância da Engenharia do Projeto. Além disso, os itens que necessitam ser monitorados por controles especiais devem ser incluídos. Verificar se os dispositivos e equipamentos de teste são acurazes, repetíveis e reprodutíveis, com a distinção adequada, utilizando o manual de MSA. Incluir as amostras e as freqüências de inspeção adequadas assim como documentar requisitos preliminares de capacidade do processo, incluindo procedimentos e técnicas de medição. Assegurar que os planos de reação especifiquem as ações preventivas, corretivas e de contenção necessárias para evitar produtos operando fora do controle ou produzidos em não-conformidade.

Por se tratar de uma peça de segurança o Plano de Controle de Produção de pneus deve ser aprovado pela montadora (STA). Para fins de auditoria e análise deve-se usar o seguinte roteiro:

- O Plano de Controle é um resultado do planejamento adequado da qualidade e inclui uma relação clara entre o DFMEA e o PFMEA.
  - O fornecedor pode demonstrar a relação entre DFMEA, PFMEA, Plano de Controle e Instruções de Trabalho.
  - O Plano de Controle possui os seguintes elementos: número/nome da operação e da peça, requisitos de inspeção, especificações, métodos de controle, métodos para prevenir falhas, métodos de controle durante o processo, tamanho da amostra e frequência, ferramentas, instrumentos de medição e outros equipamentos exigidos, planos de reação (devem instruir claramente o operador a respeito de como agir quando um processo começa a fugir do controle, ou quando um produto é reprovado em um teste ou inspeção).
  - Os Planos de Controle e Instruções de Trabalho estão prontamente disponíveis e identificam o último nível da peça.
  - As especificações de Crítico para Qualidade (*Critical to Quality – CTQ*) de produto e processo estão incluídas no plano de controle.
  - Os métodos de controle estão especificados no PFMEA, plano de controle e instruções de trabalho, e são adequadas para o tipo de processo.
  - O critérios de aceitação da qualidade estão definidos claramente e estão sendo coletados, pelos operadores, dados variáveis, quando for adequado.
  - O método de calibração é adequado para a tarefa e foi especificado durante o processo de APQP.
  - Os planos de amostragem são estatisticamente válidos (com base na quantidade e na variação) e justificam a probabilidade de ocorrência para uma determinada causa ou modo de falha.



- As estratégias de reação (ex: retenção de peças, notificação do supervisor, fechamento da linha, etc.) são especificados para condições fora de controle.

### **3.6.21 Capabilidade Preliminar do Processo**

O estudo de Capabilidade Preliminar do Processo é uma avaliação estatística da capacidade do processo para fabricar o produto dentro da especificação. O fornecedor deve conduzir estudos iniciais de capacidade e R&R de equipamentos no fornecedor de ferramentaria, equipamentos ou dispositivos e corrigir todos os problemas observados. Identificar todos os processos não-capazes e desenvolver um plano de ação corretiva para alcançar os requisitos de capacidade. Demonstrar a correlação entre as fontes de variação, as características do produto e/ou operações seguintes. Para fins de auditoria utiliza-se o seguinte roteiro de análise:

- Os níveis de Ppk e Cpk são maiores ou iguais a 1,67 e 1,33 respectivamente. As tendências do Cpk foram rastreadas ao longo do tempo, e os planos de ação foram colocados em funcionamento, para aumentar esses valores por meio de um processo de redução contínua das causas da variabilidade. Estas tendências fazem parte da rotina de revisão do gerenciamento do fornecedor.
  - O fornecedor possui um mecanismo de rastreamento em funcionamento.
  - Quando o fornecedor reduziu a frequência de gráficos de CEP há evidência estatística para apoiar tal redução e/ou algum outro método está em funcionamento.
  - O fornecedor possui um método de análise e gerenciamento de dados gerados estatisticamente.
  - Os dados são utilizados para impulsionar otimizações no processo, as quais têm impacto nas características CTQ do produto.

### **3.6.22 Teste de Validação de Produção**

O Teste de Validação de Produção refere-se ao teste de engenharia que valida que os produtos feitos a partir dos processos e ferramentais de produção atendem as normas/ especificações de engenharia. Todos os Fornecedores

Internos e Externos da montadora devem completar o Teste de Validação de Produção como requisito da Garantia de Envio da Peça (*Part Submission Warranty* – PSW). Parte do Teste de Validação de Produção consiste do processo de *Phased* PPAP para Verificação da Qualidade (Fase 1). As peças devem ser produzidas a partir do mínimo de um fluxo de produção (ferramentais/linha/instalações). Os Fornecedores devem utilizar as peças da tentativa inicial para Verificação da Qualidade de todas as dimensões, requisitos de laboratório e ES. O fornecedor deve definir o plano de teste de produção no formato de *Production Validation Plan and Report* (PVP&R). Identificar as peças e montagens afetadas no plano de teste de produção e verificar a aptidão da manufatura por meio de uma revisão do sistema. Assegurar que os testes sejam conduzidos com peças geradas pela tentativa de produção, incluindo peças de caminhos alternativos (ex: reparo/retrabalho do processo e processos alternativos de manufatura). O dados de teste devem ser revisados pela Equipe de Validação de Produção. Realizar Verificação da Qualidade (Fase 1) do *Phased* PPAP e reter documentação de suporte.

### **3.6.23 Certificado de Envio da Peça (PSW)**

O Processo de Aprovação de Produção da Peça é a verificação documentada de que os fornecedores Internos ou Externos atendem aos requisitos de projeto da engenharia e de que o processo tem a capacidade de atender a estes requisitos durante uma rodada de produção real. Isto é feito por meio das Fases 2 e 3 do Processo de *Phased* PPAP. A Verificação da Produção (Fase 2) é completada neste momento. O fluxo de produção real completo (ferramental/linha/instalações/pessoal) pretendido para este programa/ lançamento específico está posicionado e operando. Os testes dimensionais, Laboratoriais e de Especificação de Engenharia estão completos em todos os moldes, ferramentais, cavidades, fluxos de produção incluindo aprovação de aparência, amostra principal e envio do PSW. A fase final, Verificação de Capacidade (Fase 3) é terminada após a produção das peças a partir do fluxo de produção total real para todos os fluxos de produção, normalmente em até quatro semanas antes da produção definitiva. Isto serve para garantir a capacidade de cumprir ou exceder os volumes requeridos pela

montadora. A Verificação da Capacidade é demonstrada por render peças de qualidade, as quais cumprem um mínimo de um dia de Volume de Planejamento Diário (*Daily Planning Volume – DPV*) da produção da montadora. A Verificação da Capacidade (*Capacity Verification – CV*) deve ser realizada ao longo de diversos turnos com padrão e cronograma operacional pretendidos. Estas peças devem ter completado com sucesso a Verificação de Qualidade e Produção – Fases 1 e 2. O Fornecedor deve preencher a documentação de CV requerida, conforme determinado por região ou programa. Deve assegurar que o PSW será realizado e será entregue material suficiente de PSW à planta do cliente até o *In Plant Date* (IPD) para dar suporte a cada requisito de material da Planta de Estamparia e da Planta de Montagem. Todos os requisitos de PSW não atendidos devem ser sustentados por um alerta/desvio aprovado antes de seu envio.

### **3.7 *Production Part Approval Process***

Nesse item serão detalhados os conceitos e elementos do PPAP. O propósito principal é definir os requisitos genéricos para aprovação de peças de produção garantindo que todos os registros de projetos de engenharia e requisitos de especificação do cliente sejam corretamente compreendidos pelo fornecedor. Adicionalmente, deseja-se que o processo de manufatura resulte em pneus que satisfaçam, de forma consistente durante a produção real, as expectativas da montadora.

Os requisitos para o processo de PPAP são que os pneus sejam fabricados no local de produção usando ferramental, instalações normais de produção, calibradores e dispositivos de medição, processo, materiais, operadores treinados, ambiente normal de produção e ajustes normais de processo. Além disso, os pneus devem ser fabricados em um lote significativo de produção. O tamanho do lote deve ser definido para cada programa dependendo do compromisso concordado comercialmente com a OEM.

Todos os 13 itens seguintes devem estar elaborados e disponíveis para a análise da montadora. O PSW, ou seja, a aprovação definitiva do pneu, só deve ser concedido quando o fornecedor estiver com todas as máquinas e equipamentos instalados e o estudo de capacidade completo. Alguns dos 13

itens do PPAP são similares aos do APQP. Quando for o caso poucos detalhes serão concedidos uma vez que o leitor pode encontrá-los na dissertação sobre o APQP. Essa repetição se deve em grande parte pela importância de tais elementos e porque muitos fornecedores de outras peças, onde futuramente esse modelo será aplicado, não desenvolverem seus produtos segundo o APQP e sim de acordo com um modelo próprio. O PPAP, por sua vez, tem seu uso definido como obrigatório pelas montadoras do AIAG. Assim sendo a repetição dos elementos torna-se uma verificação para garantir que atividades essenciais tenham sido corretamente desempenhadas.

### **3.7.1 Registros de Projeto**

O fornecedor deve ter todos os registros de projeto, incluindo registros de projeto de componentes e os volumes estabelecidos no contrato de fornecimento.

### **3.7.2 Documentos de Modificação de Projeto**

O fornecedor deve ter todos da montadora autorizando uma modificação de engenharia se a mudança ainda não foi incorporado nos registros do projeto. Isso pode acontecer quando for necessária a utilização de um SREA conforme citado no APQP.

### **3.7.3 Aprovação de Engenharia de Produto do Cliente**

Quando especificado pelo registro de projeto, o fornecedor deve ter evidência de homologação do pneu realizada em conjunto com a engenharia do produto do cliente.

### **3.7.4 FMEA de Projeto**

O FMEA de projeto deve ser desenvolvido de acordo com os requisitos da ISO/TS16949:2002 e requisitos específicos do cliente<sup>[572]</sup>, além de usar os manuais adequados<sup>[570]</sup>. O objetivo é ter um documento que seja um reflexo dos controles existentes para inibir que os modos de falha conhecidos, provenientes do projeto, atuem sobre a peça.

### **3.7.5 Fluxograma do Processo de Manufatura**

O fornecedor deve ter um fluxograma do processo no formato especificado pelo cliente e que descreva claramente todas as operações de fabricação.

### **3.7.6 FMEA de Processo**

O FMEA de processo deve ser desenvolvido de acordo com os requisitos da ISO/TS 16949 e requisitos específicos do cliente<sup>[572]</sup>, além de usar os manuais adequados<sup>[570]</sup>. O objetivo é ter um documento que seja um reflexo dos controles existentes para inibir que os modos de falha conhecidos, provenientes do processo de manufatura, atuem sobre a peça.

### **3.7.7 Resultados Dimensionais**

Todas as verificações dimensionais exigidas pelos registros de projeto e o plano de controle devem ser feitos.

### **3.7.8 Resultados dos Ensaios dos Materiais e de Desempenho do Produto**

Os ensaios devem ser elaborados para todas as peças e materiais quando exigido pelos registros de projeto e o plano de controle.

### **3.7.9 Estudos Iniciais do Processo**

O nível de capacidade inicial do processo deve ser determinado, antes da submissão, para todas as características especiais definidas pela montadora. O fornecedor deve executar as análises do sistemas de medição para entender como os instrumentos afetam as verificações. Depois de realizados os testes estatísticos verifica-se que os processos produtivos de pneus seguem distribuições normais. De maneira simplificada determina-se que Cpk seja o índice de desempenho de um processo estável no longo prazo. O Ppk é o índice de desempenho do processo no curto prazo. O estudo inicial deve ter no mínimo de 125 peças retiradas do lote de 300 peças. Os seguintes critérios de aceitação devem ser usados para os estudos iniciais do processo: Ppk maior ou igual a 1,67 atende plenamente aos requisitos. Entre 1,37 e 1,67 o processo é aceitável porém requer melhorias. Inferior a 1,37 não é aceitável. Em

situações nas quais esse seja o valor de Ppk um sistema de detecção deve ser aplicado em 100% das peças. Uma ilustração das diferenças entre esses conceitos é apresentada na figura 3.4. De maneira complementar, apresenta-se um exemplo numérico obtido através de uma determinada medição em um estudo realizado em fornecedores de pneus. Tal exemplo é mostrado na figura 3.5. Segundo o trabalho de W. Torelli, Cpk é calculado usando a variação entre sub-grupos das amostras analisadas, já o Ppk é relacionado ao processo como um todo. Caso o Cpk e o Ppk tenham o mesmo valor, então o Desvio Padrão do processo é igual ao desvio padrão de sua amostra. Portanto, a amostragem coletada é representativa do processo. A análise foi feita empregando-se um programa denominado Mini-Tab. Ppk=0,60 e Cpk=2,49.

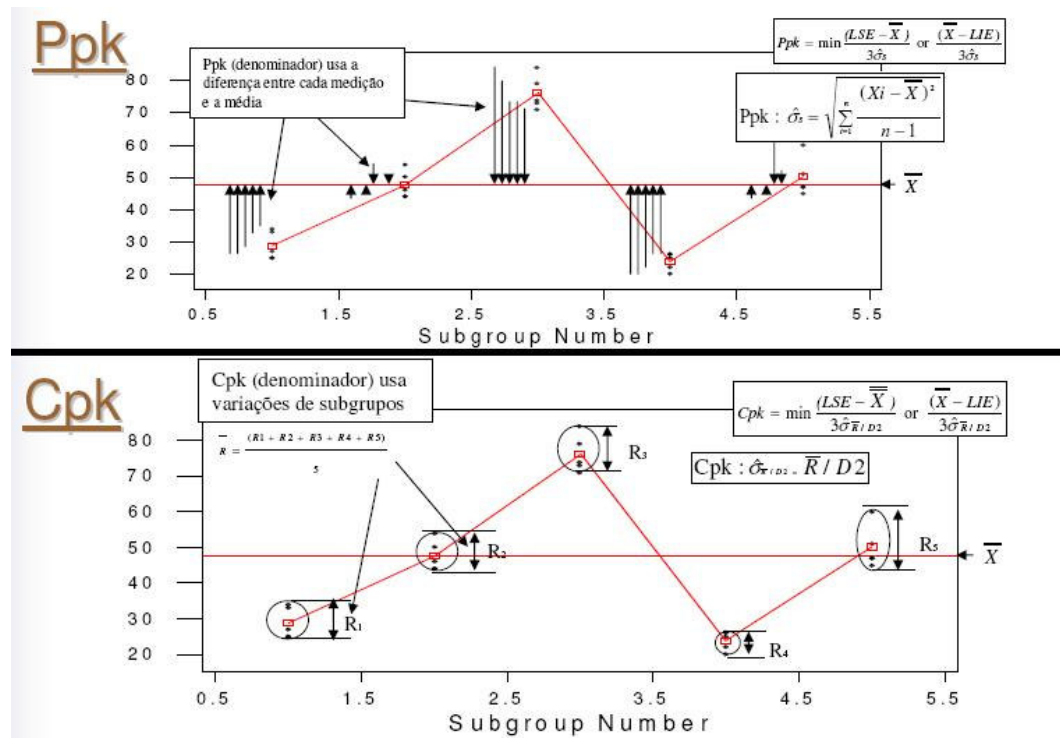


Fig. 3.4: Diferenças conceituais entre Ppk e Cpk.

Fonte: TORELLI, W. T. **PPAP 3<sup>rd</sup> edition engagement process**. Aug-2006. Não está disponível em literatura aberta.

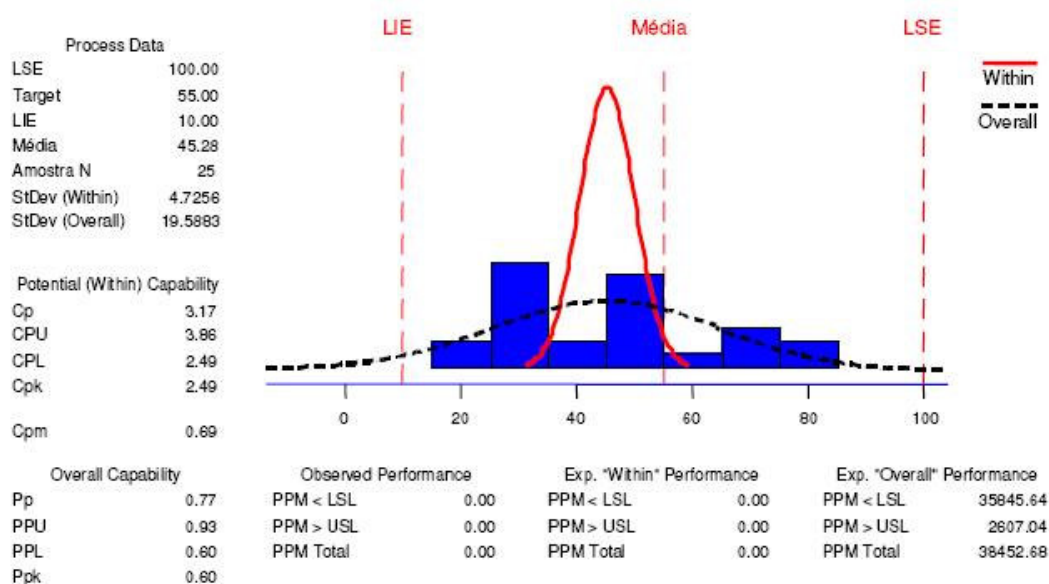


Fig. 3.5: Diferenças conceituais entre Ppk e Cpk.

Fonte: TORELLI, W. T. **PPAP 3<sup>rd</sup> edition engagment process**. Aug-2006. Não está disponível em literatura aberta.

### 3.7.10 Análise do Sistema de Medição

O fornecedor deve realizar os estudos adequados<sup>[574]</sup> e apresentar os resultados de R&R dos instrumentos utilizados. Principalmente daqueles que são empregados nas medições de características especiais definidas nos FMEAs.

### 3.7.11 Documentação de Laboratório de Testes

O fornecedor deve utilizar laboratórios que estejam qualificados a atender seus requisitos específicos<sup>[572]</sup>.

### 3.7.12 Plano de Controle

Além dos detalhes providos no APQP, o fornecedor deve se referir à ilustração 3.6. Nessa estão exemplificadas as relações entre os documentos de qualidade.

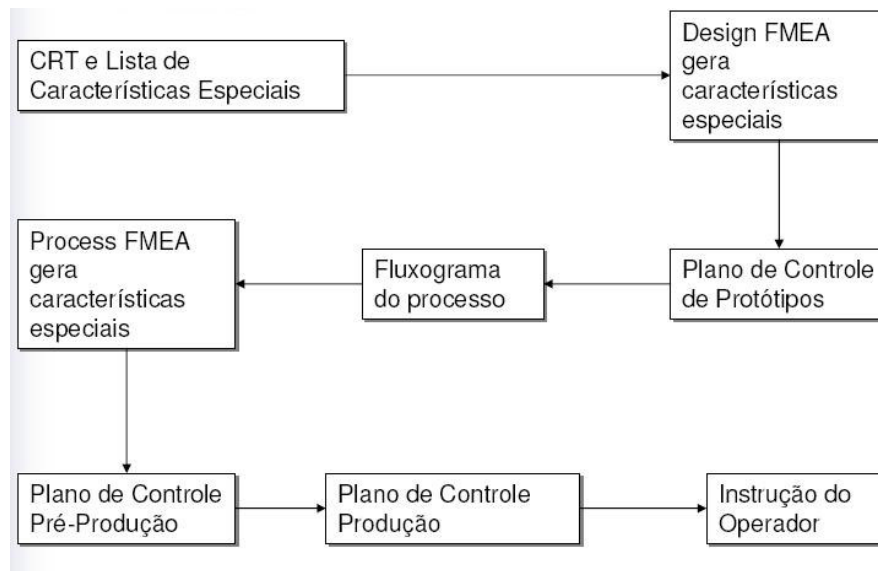


Fig. 3.6: Relações entre os documentos de qualidade.

Fonte: TORELLI, W. T. **PPAP 3<sup>rd</sup> edition engagment process**. Aug-2006. Não está disponível em literatura aberta.

### 3.7.13 PSW

Assim que o DVP&R estiver aprovado pelo cliente e todos elementos anteriores estiverem disponíveis e em condições de serem aceitos, a montadora pode aprovar finalmente o pneu.



## Capítulo 4: Resultados

“Uma sequência de pequenos atos de vontade conduz a grandes resultados”.

Frase de Baudelaire mencionada no livro *O Valor do Amanhã* escrito por Eduardo Giannetti.

“Perseverança, contra todas oposições, rompendo todas limitações. Pura força através de solidez, disciplina e determinação”.

Tradução minha da letra da música *Perserverance* da banda *Hatebreed*.

## 4 Resultados

### 4.1 Introdução

Nesse item serão apresentados os resultados obtidos com a implementação do modelo de gestão nos indicadores de qualidade referentes ao fornecimento de pneus global. Não são apresentados dados absolutos por questões de confidencialidade. Pelo mesmo motivo não são apresentados os dados financeiros.

Estatisticamente o ideal seria aguardar a consolidação dos dados em pelo menos 10 anos. Entretanto, sabe-se que uma montadoras de grande porte pode gastar anualmente mais de 1,5 bilhões de dólares na aquisição de pneus para suportar suas operações mundiais. O time de STA é o responsável, em conjunto com o fornecedor, por evitar que quaisquer problemas ocorram. Com a implantação do modelo percebeu-se uma redução demasiadamente significativa nos gastos diretos e indiretos decorrentes dos problemas de qualidade. Todos resultados a seguir referem-se aos dados da montadora na qual o modelo foi implementado. O período de análise é de 2004 até junho de 2008.

### 4.2 Campanhas de serviço e notificações aos consumidores

O conceito de recall já foi apresentado no capítulo 1. A figura 4.1 apresenta o histórico de qualidade mundial em relação às campanhas de serviço e notificações aos consumidores.

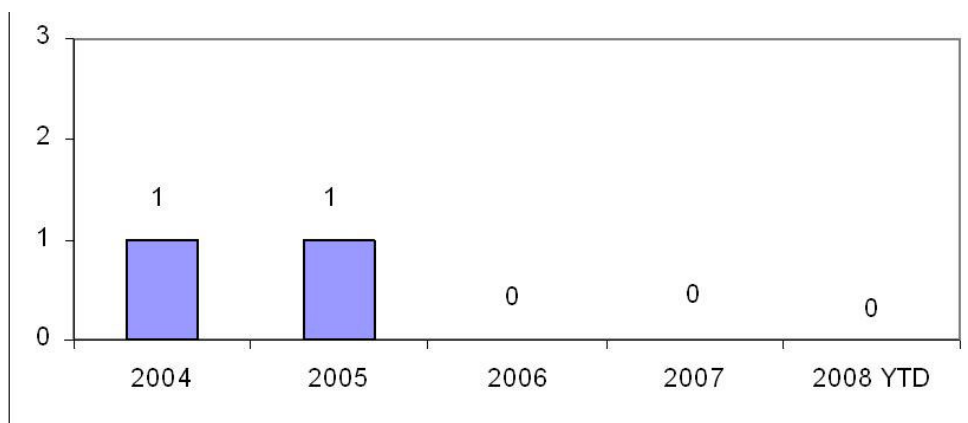


Fig. 4.1: Evolução do número de campanhas de serviços.

### 4.3 Impedimentos de embarque

Um impedimento de embarque consiste na ação tomada pela montadora em impedir que os veículos que estão produzidos sejam liberados para venda e saiam da fábrica. Um exemplo seria de um veículo que foi montado em agosto de 2008 com pneus de um lote hipotético “A” que teria sido produzido em junho de 2008. Imaginando que por qualquer motivo o fabricante de pneu suspeite, apenas em agosto, que o referido lote tenha algum problema. O fornecedor entraria em contato com a montadora, que por sua vez, identificaria que os veículos montados com tais pneus ainda estariam dentro das dependências físicas da fábrica. Nesse caso iniciar-se-ia um impedimento de embarque. O exemplo é igualmente válido se a montadora detectasse o problema (ao invés do fornecedor). Seria necessário conter os veículos com os pneus suspeitos para que não haja risco de que o cliente receba um carro com algum problema.

A figura 4.2 apresenta o histórico de qualidade mundial em relação aos impedimentos de embarque.

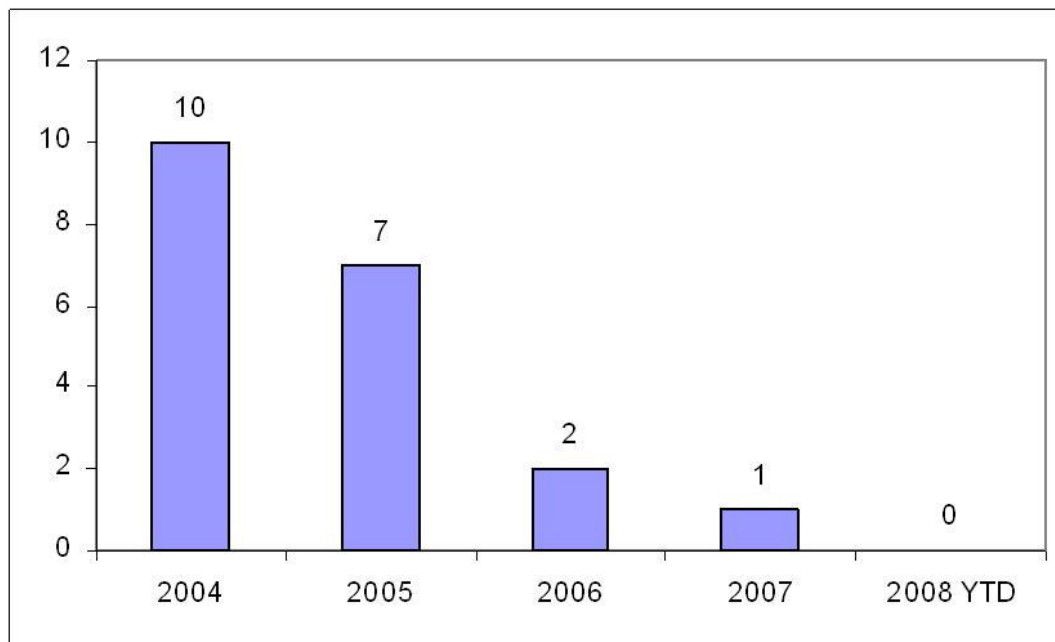


Fig. 4.2: Evolução da quantidade de impedimento de embarques.

#### 4.4 Defeitos por milhão – PPM

O PPM é um indicador bastante utilizado pelas indústrias em geral. Inicialmente, calcula-se a divisão do número de peças com defeito pelo número de peças fornecidas. Finalmente, multiplica-se por um milhão.

A figura 4.3 apresenta o histórico de qualidade no continente da América do Sul em relação à quantidade de defeitos dos pneus recebidos.

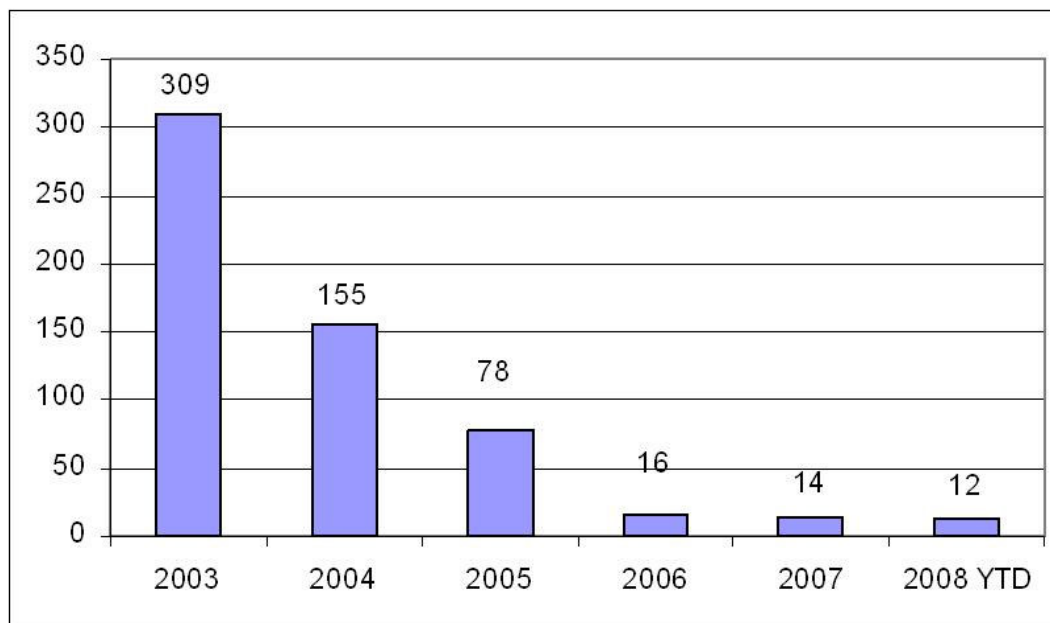


Fig. 4.3: Evolução do indicador de defeitos.

Pode-se imaginar que exista uma forte relação entre o número de peças defeituosas que a montadora receba e o custo para o retrabalho das mesmas. Mesmo não sendo a montadora que faça o retrabalho é fundamental que a OEM mantenha uma estrutura interna para monitorar defeitos, rastrear veículos, executar a emissão de notas fiscais para devolução de peças e outros tantos departamentos que serão envolvidos no processo de recuperação do veículo. Ao reduzir o número de peças com defeito cria-se a possibilidade de redução direta de custos. Todavia, esse assunto financeiro não é alvo desse trabalho de pesquisa. Acaba sendo uma importante consequência.

## 4.5 Rejeições de qualidade

Cada evento no qual a fábrica montadora recusa uma peça por qualidade ou até mesmo segrega as mesmas por suspeita de quebra de qualidade, corresponde a uma reclamação de qualidade.

A figura 4.4 apresenta o histórico global de reclamações por qualidade.

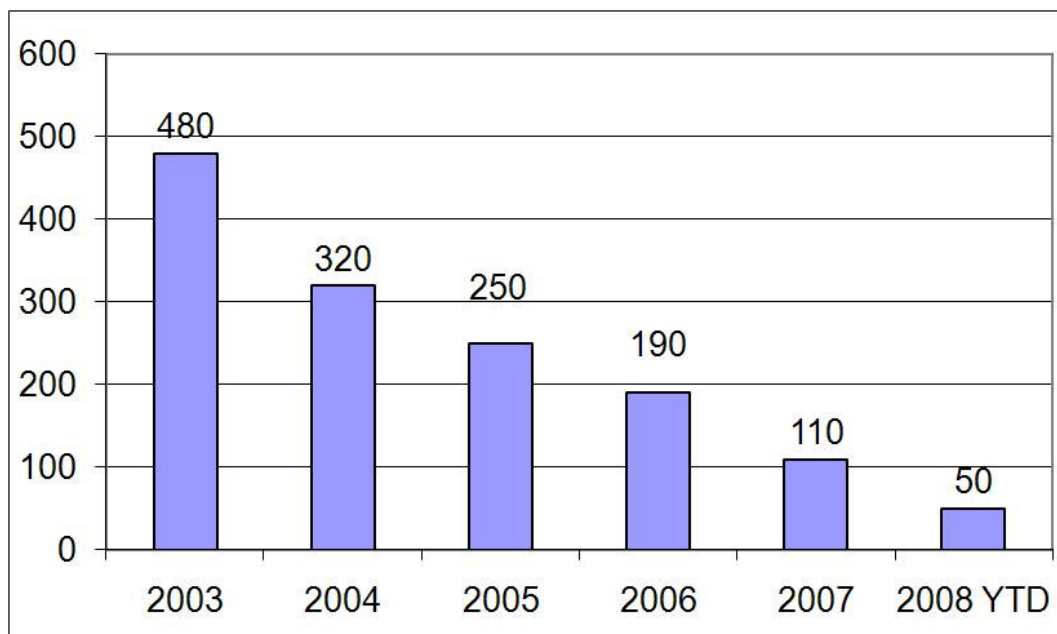


Fig. 4.4: Evolução de reclamações de qualidade das fábricas.

## Capítulo 5: Conclusões

“Vencer, vencer, vencer. Esse é o nosso ideal”.

Trecho do Hino ao Clube Atlético Mineiro, escrito por Vicente Motta em 1969

## 5 Conclusões

Abortar indevidamente alguma etapa de projeto implica o aparecimento de “custos escondidos”<sup>[568]</sup> que nem sempre são rapidamente detectados. A adoção dessa postura deve ser realizada mediante criterioso estudo de impacto tecnológico para evitar-se o surgimento de efeitos colaterais não previstos<sup>[1]</sup>. Em muitas situações na indústria automobilística as montadoras reduzem o tempo de desenvolvimento de seus veículos e muitas etapas são extirpadas do processo. Os efeitos acabam sendo percebidos pelos consumidores que relatam problemas de qualidade nos primeiros anos de um modelo<sup>[209]</sup>. Corroborando com essa afirmação é a declaração do Presidente da Toyota, em 2006, quando anunciou que resultados de uma investigação interna apontaram que engenheiros de desenvolvimento apressaram projetos ou conduziram validações nas quais ensaios de protótipos físicos eram necessários<sup>[170]</sup>.

Uma detalhada fase de estudos preliminares não só economiza recursos, mas proporciona maior domínio sobre o conhecimento do comportamento do produto servindo para futuros desenvolvimentos (tanto para criação de novos produtos quanto para eventuais reduções de custo mediante redução controlada e conhecida de desempenho).

Para melhor avaliação do produto o mesmo deve ser estudado como uma “parte do conjunto” e não apenas como um sistema isolado.

Nem sempre existe uma teoria matemática capaz de prever o comportamento dos sistemas. O ensaio experimental torna-se uma poderosa e indispensável ferramenta de projeto e controle de qualidade. De acordo com o astrônomo Carl Sagan, “devemos quantificar as coisas senão nosso entendimento sobre elas não é substancial”.

Toda e qualquer modelagem possui limitações. Caso não existissem, o processo seria de emulação (ao invés de simulação). É fundamental que as hipóteses de simplificação sejam consideradas na etapa de análise de resultados.

Segundo Monteiro<sup>[575]</sup> “determinar, teoricamente, a evolução temporal das grandezas que caracterizam um sistema, pode ser importante nas seguintes

situações: o sistema não existe fisicamente (...), espera-se explicar o comportamento de sistemas já existentes (...) ou o ensaio experimental exige gasto de elevados recursos financeiros ou é extremamente perigoso (...). Para tanto, é necessário conhecer como as coisas são e compreender as regras que governam as mudanças que ocorrerão”.

Muitos trabalhos consultados demonstram prepotência ao valorizar excessivamente os modelos apresentados sem ao menos mencionar suas limitações. Essa atitude é incompreensível e seu uso deve ser descontinuado pois o reconhecimento “da fragilidade e dos defeitos” do sistema é o ponto inicial para sua solução. Autores como Jun et al. <sup>[412]</sup> tem postura cientificamente rigorosa ao enumerar as limitações de seu modelo.

A aplicação de técnicas estatísticas e conceitos de confiabilidade aumenta o rigor científico dos trabalhos.

Uma das ferramentas de prevenção de falhas mais utilizada na indústria automotiva é o FMEA. Um time multifuncional com experiência (seja no projeto do produto ou processo produtivo) utilizando adequadamente esse método pode obter alta eficiência na prevenção de falhas. Os modos de falha em potencial citados nesse documento devem culminar com a confecção de um plano de controle quando para cada uma delas haverá um sistema de detecção eficaz. Entretanto caso aconteçam falhas deve-se empregar as técnicas de detecção da causa raiz e ponto de escape para problemas com causas especiais. Depois de resolvidos os mesmos devem ser retro-alimentados no FMEA para obtenção da melhoria contínua e aprimoramento do conjunto de lições aprendidas.

As indústrias devem mudar a mentalidade dos seus sistemas de qualidade alternando para a prevenção e ao invés da detecção. Para atingir tal objetivo é determinante a aplicação de técnicas e investigações para determinação da confiabilidade das peças e sistemas.

Não existe sistema a prova de falhas. Mas existe sistema cujas pessoas buscam aprimoramento à todo custo e isso depende muito da atuação da alta gerência e da diretoria da corporação<sup>[320]</sup>.



Geralmente melhorias na qualidade tem custo<sup>[103,104,442]</sup> inicial alto porém acabam se justificando tanto financeiramente quanto pelos consumidores finais que muitas vezes valorizam e reconhecem o melhor desempenho.

Sugere-se uma mudança de objetivo-estratégia das montadoras alternando de alto volume para alta qualidade<sup>[276]</sup> e se necessário estender os tempos de desenvolvimento<sup>[453]</sup>. O consumidor está preocupado com a qualidade<sup>[181,182]</sup> e diversas são as evidências que os carros atuais não apresentam desempenho satisfatórios<sup>[186]</sup>.

Se a montadora tem foco na alta confiabilidade do projeto da peça pode oferecer maior garantia<sup>[127]</sup>. Isso certamente gera vantagem competitiva no mercado.

O número de campanhas de serviço é um útil indicador do desempenho, qualidade e competência da montadora<sup>[11]</sup>.

Muitos artigos apresentados referem-se aos problemas de qualidade da Toyota. Mas essa empresa apresenta bons resultados<sup>[467,479]</sup> e filosofia baseada em qualidade. Dessa maneira atrai a atenção quando um erro ou deslizamento ocorre<sup>[180]</sup>. Mesmo assim alguns autores constataram que os consumidores parecem não se impressionar<sup>[38,39]</sup> e que os outros fabricantes sugerem que os defeitos da Toyota não são julgados tão duramente<sup>[77,190]</sup>.

O modelo de gestão apresentado demonstrou ser bastante robusto. Os resultados denotam uma melhora significativa nos indicadores de qualidade quando comparados com um histórico recente. Ainda assim carece de melhorias para aperfeiçoamento contínuo. O mesmo é baseado no conceito da verificação por parte da montadora dos trabalhos e atividades realizados pelo fornecedor. Idealmente o fornecedor deveria incorporar definitivamente esses preceitos tornando sua fábrica e sistemas fundamentados em prevenção ou invés de detecção. Significativos resultados financeiros foram obtidos com sua implantação.

Sugestões para futuros trabalhos: as montadoras têm grande potencial de ganho pois os pneus são apenas umas das milhares de peças com as quais os veículos são construídos. Todas as peças deveriam seguir um modelo de gestão de desenvolvimento específico, criado após investigações científicas. Outros autores podem estudar a criação de uma técnica para generalizar a

gestão de diferentes peças, componentes e sistemas veiculares. Além disso sugere-se a incorporação no modelo da análise de risco uma vez que fornecedores externos estão envolvidos e, na maioria das vezes, possuem cultura empresarial distinta da OEM. Essa diferença pode se configurar em um grande fator de risco, pois o STA geralmente não tem poder direto na gestão dos recursos, humanos, físicos e financeiros, do fornecedor. Sugere-se ainda que uma análise de maior prazo. Mesmo que a tendência dos dados apresentados no capítulo 5 seja bastante favorável para confirmar a utilidade do modelo, é ideal aguardar-se um tempo maior para consolidar seu desempenho.

# Capítulo 6: Referências Bibliográficas

“Uma sala sem livros se assemelha a um corpo sem alma”.

Frase atribuída a Cícero – autor, orador e político romano (106 a.C – 43 a.C.)

## 6 Referências Bibliográficas

- [1] NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION. **Research report to Congress on tire aging**. Washington, EUA, August, 2007.
- [2] MALUF FILHO, W. M. **Rudimentos da Mecânica dos Pneumáticos**. São Paulo, 2002. 231p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- [3] COSTA, A. L. A. **Estudo de desgaste de pneus de caminhões e ônibus utilizando-se o método dos elementos finitos**. São Paulo, 2000. 90p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- [4] HAVARIAS, J. G.; DE SOUZA, G. F. M. Truck fleet tires reliability and cost reduction methodology. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4048.
- [5] RATROUT, N. T.; MAHMOUD, I. A. Adequacy of the tensile/elongation test as a quality control criterion for vehicle tires. **Polymer Testing**, v.25, ISS. 5, p.588-596.
- [6] CHON, G. Mercedes seeks to reverse damage to its image. **The Wall Street Journal**, 30 Jan. 2006.
- [7] FACKLER, M. Japan inquiry into accident could tarnish Toyota image. **New York Times**, 13 Jul. 2006.
- [8] MAYNARD, M.; FACKLER, M. Repairing some dents in an image. **New York Times**, 5 Ago. 2006.
- [9] NAKAMOTO, M.; SANCHANTA, M. Japan struggles to restore its tarnished name for quality. **Financial Times**, 16 Out. 2006.
- [10] **US: Leaked report shows Toyota quality reputation concerns**. Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 9 Fev. 2007.
- [11] BATES, H.; HOLWEG, M.; LEWIS, M.; OLIVER, N. Motor vehicle recall: Trends, patterns and emerging issues. **Omega: International Journal of Management Science**, v.35, ISS. 2, p. 202–210, 2007.
- [12] **Japan: Toyota makes biggest car recall ever**. Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 18 Out. 2005.

- [13] Toyota switch glitch sparks recall of 1.27 million vehicle. **The Wall Street Journal**, 19 Out. 2005.
- [14] MCGAVIN, C. Oh what a recall feeling for Toyota. **The Age**, 26 Out. 2005.
- [15] Toyota recalls some Scion models. **The Wall Street Journal**, 20 Out. 2005.
- [16] Toyota recalls 246592 vehicles in Japan. **Associated Press Newswires**, 8 Nov. 2005.
- [17] Toyota says may recall 1.05 million exported vehicles. **Revolution**, 9 Nov. 2005.
- [18] Honda recalls Civic. **Detroit Free Press**, 11 Nov. 2005.
- [19] **USA: Toyota recalls up a million this year.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 2 Dez. 2005.
- [20] Toyota's recalls rise. **The Detroit News**, 27 Dez. 2005.
- [21] Toyota recalls 351 SUVs in China on warning labels. **Dow Jones**, 7 Dez. 2005.
- [22] Ford recalls truck parts due in Feb. **The Detroit News**, 21 Dez. 2005.
- [23] HYDE, J. Ford is leader in recalled vehicles; Toyota is up too. **Detroit Free Press**, 4 Jan. 2006.
- [24] 17 million sold, 17 million recalled. **Automotive News**, 9 Jan. 2006.
- [25] **USA: Lexus to replace seat bolts in some RX330 SUVs.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 30 Jan. 2006.
- [26] Nissan, Toyota to recall faulty vehicles. **Jiji Press English News Service**, 23 Fev. 2006.
- [27] **UK: Toyota blames complexity, not quality, for recall rise.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 24 Mar. 2006.
- [28] Toyota recalls 57000 Lexus cars globally. **The Detroit News**, 13 Apr. 2006.
- [29] US investigates Toyota's '04 Tundra. **The Detroit News**, 18 Apr. 2006.
- [30] HUDSON, J. Total recall: sour taste. **Sydney Morning Herald**, 21 Apr. 2006.
- [31] Toyota to recall 1113 Lexus vehicles in China. **Asia Pulse**, 1 Mai. 2006.

- [32] Toyota Motor Korea recalls 1037 units of three Lexus models. **Japanese News Digest**, 8 Mai. 2006.
- [33] Toyota recalls Prado 4WD. **The Age**, 18 Mai. 2006.
- [34] Toyota recalls some Prius cars. **The Wall Street Journal**, 31 Mai. 2006.
- [35] Toyota recall not so total. **Business Week**, 1 Jun. 2006.
- [36] Honda is recalling more than 480000 vehicles in Japan. **Detroit Free Press**, 16 Jun. 2006.
- [37] BLOOMBERG. Chrysler announces second Jeep recall in 2 days. **USA Today**, 14 Jun. 2006.
- [38] MULLER, J.; FAHEY, J. Teflon Toyota: Consumers don't seem bothered by a rash of recalls. **Forbes**, 3 Jul. 2006.
- [39] Recalls fail to dent Toyota. **Sydney Morning Herald**, 24 Jun. 2006.
- [40] SHEPARDSON, D. Toyota to recall Tundra air bags. **The Detroit News**, 10 Jul. 2006.
- [41] Toyota recalling Tundras. **CNN Money**, 10 Jul. 2006.
- [42] Toyota recalls 24000 vehicles in Japan. **Washington Post**, 4 Jul. 2006.
- [43] THOMAS, K. Court upholds guidelines on regional recall for automobiles. **The Detroit News**, 25 Jul. 2006.
- [44] **US: More Nissan and Toyota recalls**. Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 13 Jul. 2006.
- [45] **Toyota recalling Lexus RX, Highlander models**. Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 12 Jul. 2006.
- [46] TIERNEY, C.; SHEPARDSON, D. Recall woes grip Toyota. **The Detroit News**, 19 Jul. 2006.
- [47] Toyota to recall 400000 vehicles in US to fix sensor, console box. **Kyodo News**, 20 Jul. 2006.
- [48] Toyota files report on SUV recalls. **The Detroit News**, 20 Jul. 2006.
- [49] TAKAHASHI, Y. Toyota recalls 206388 Corollas in Europe, other regions. **Dow Jones**, 25 Jul. 2006.
- [50] TIERNEY, C. Recall probes add new blows to Toyota. **The Detroit News**, 8 Ago. 2006.
- [51] SZCZESNY, J. Toyota recalls mounting. **The Detroit News**, 14 Ago. 2006.

- [52] MAZURAK, J. Recalls: Makers take it safe – not sorry. **Clarion-Ledger**, 6 Ago. 2006.
- [53] McDONALD, K. M. Commentary: Is it time to end vehicle safe recalls?. **The Detroit News**, 16 Ago. 2006.
- [54] Letters: Recall questions. **The Detroit News**, 29 Set. 2006.
- [55] **Exclusive: Brazil: Volkswagen recalls 40800 vehicles.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 16 Ago. 2006.
- [56] HYDE, J. Chrysler plagued by surge in recalls. **Detroit Free Press**, 21 Ago. 2006.
- [57] HOWES, D. Toyota recalls prove auto juggernaut is fallible, but fixable. **The Detroit News**, 28 Ago. 2006.
- [58] SHEPARDSON, D. Recalled Dodge trucks fill lots. **The Detroit News**, 15 Set. 2006.
- [59] MERX, K. Recalls anchor Rams to dealership lots. **Detroit Free Press**, 21 Set. 2006.
- [60] FUJIMURA, N. Toyota will recall 187131 cars to fix drive shafts. **Bloomberg**, 26 Set. 2006.
- [61] Honda to recall 240000 units in 3 models. **Down Jones**, 5 Out. 2006.
- [62] HYDE, J. Toyota must modify recall. **Detroit Free Press**, 6 Out. 2006
- [63] Ford recall. **ABC TV**, 12 Out. 2006.
- [64] KAGEYAMA, Y. Recalls tarnish workers' pride. **The Detroit News**, 24 Out. 2006.
- [65] **US/UK: VW Passats recalled globally for two faults.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 11 Dec. 2006.
- [66] Volkswagen of America recalls Passats. **Associated Press Newswires**, 8 Dez. 2006.
- [67] WILSON, R. Local outfit dodges US recall. **The Australian**, 29 Nov. 2006.
- [68] Automakers lax in reporting recalls to government. **Daily Yomiuri**, 29 Nov. 2006.
- [69] Volvo, Chrysler, Ford cars recalled. **Detroit Free Press**, 23 Nov. 2006.
- [70] YON-SE, K. Toyota tops in total foreign recalls. **Korea Times**, 16 Nov. 2006.

- [71] BUTLER, G. Commodore recalled again. **The Age**, 10 Nov. 2006.
- [72] SCHOENBERGER, R. Toyota cuts recall total in half cuts amount of recalls. **Louisville Courier-Journal**, 7 Dez. 2006.
- [73] **Toyota recalls half-million Sequoias, Tundras**. Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 19 Jan. 2007.
- [74] NAKAMOTO, M.; REED, J.; SANCHANTA, M. Toyota to recall 500000 vehicles in US. **Financial Times**, 20 Jan. 2007.
- [75] Lex: Toyota to recall. **Financial Times**, 20 Jan. 2007.
- [76] SANCHANTA, M. Huge recall a setback for Toyota in US. **The Australian**, 22 Jan. 2007.
- [77] LEVIN, D. Do Toyota's vehicle recalls signal a quality skid? **Bloomberg**, 25 Jan. 2007.
- [78] Toyota chief: Recalls woke company up. **The Detroit News**, 9 Fev. 2007.
- [79] PARK, B. Civic hybrid loses its spark. **The Age**, 14 Fev. 2007.
- [80] Honda to issue global recall of 45335 Civic hybrid sedans. **The Wall Street Journal**, 12 Fev. 2007.
- [81] HEPWORTH, K. Luxury cars in Toyota's biggest recall. **Daily Telegraph (Australia)**, 8 Mar. 2007.
- [82] **China: Honda recall a new industry record**. Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 16 Mar. 2007.
- [83] **US/South Korea: Honda fuel pump recall reaches Us, Canada, Korea**. Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 20 Mar. 2007.
- [84] Chrysler recalling Durango, Liberty SUV's. **The Detroit News**, 10 Mar. 2007.
- [85] **US/Japan: Nissan recalls 1,01m cars for fuel tank fix**. Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 30 Mar. 2007.
- [86] MILKWARD, D. Volvo recalls models amid fear of fire. **The Daily Telegraph (London)**, 4 Apr. 2007.
- [87] **JAPAN: Mazda begins largest-ever domestic recall**. Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 31 Mai. 2007.



- [88] Toyota mulls recall of Tundra pickup. **The Wall Street Journal**, 2 Jun. 2007.
- [89] Nissan recalls over 92000 vehicles. **Associated Press Newswires**, 7 Jun. 2007.
- [90] INNES, S. Three recall popular modes. **Herald-Sun (Melbourne, Australia)**, 14 Jun. 2007.
- [91] JENSEN, C. A powerful workhorse for odd jobs. **New York Times**, 17 Jun. 2007.
- [92] MATEJA, J.; POPELY, R. Recalls. **Chicago Tribune**, 13 Mai. 2007.
- [93] **Germany: VW delays coupe-cabriolet launch.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 15 Nov. 2005.
- [94] SHULDINER, H. **Slow production ramp-up delays Volvo C70 sales.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 17 Mai. 2006.
- [95] POPE, B. **Ford pushes back Super Duty launch.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 17 Mai. 2006.
- [96] **Land Rover address IQS results.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 9 Jun. 2006.
- [97] SHIROUZU, N. Toyota may delay new models to address rising quality issues. **The Wall Street Journal**, 25 Ago. 2006.
- [98] WOODYARD, C. Toyota delays some new models as quality control scrutinized. **USA Today** , 28 Ago. 2006.
- [99] Toyota not planning broad model slowdown. **Detroit Free Press**, 5 Set. 2006.
- [100] PORTER, I. Oops! Corolla's steering slips up. **The Age**, 17 Mai. 2007.
- [101] **UK: Actuarial techniques claimed to improve warranty cost forecasts.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 11 Nov. 2005.
- [102] MURAD, C. A.; DE SOUZA, G. F. M. Vehicle warranty extension: Application for engine and transmission. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-3997.
- [103] MAYNE, E. **Short-circuiting quality.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 1 Mar. 2006.

- [104] MAYNE, E. **Quality improvements short circuited, CR says.**  
Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 2 Mar. 2006.
- [105] Who has the best warranty? **USA Today**, 17 Mar. 2006.
- [106] DEY, A.; TRYON, R; NASSER, L.; RUDY, R.; NORTH, M. Reliability prediction and allocation of repairable systems. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0393.
- [107] BAUKUS, T. M. Did you want an extension with that warranty?. **The New York Times**, 28 Mai. 2006.
- [108] JENSEN, C. Honda extends warranty on problematic battery of insight hybrid. **Cleveland Plain Dealer**, 31 Mar. 2006.
- [109] MALLOY, G. Ford extends warranties. **Toronto Star**, 22 Jul. 2006
- [110] JENSEN, C. Warranties differ by where you live. **Cleveland Plain Dealer**, 30 Jul. 2006.
- [111] **US: GM increases powertrain warranties to 100000 miles.**  
Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 7 Set. 2006.
- [112] Marketing report: GM upgrades warranties, Scion retiring twins. **Car Connection**, 18 Set. 2006.
- [113] ANDERSON, S. **GM boasts quality, boosts warranty coverage.**  
Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 7 Set. 2006.
- [114] **Paris Show: KIA shows new warranty Ceed.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 28 Set. 2006.
- [115] Seven up – KIA's new guarantee. **New Zealand Herald**, 5 Out. 2006.
- [116] **UK: Kia Europe wins award for long warranty.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 16 Nov. 2006.
- [117] SCHWEITZER, K. GM becomes latest to go forth and long on warranties. **Chicago Tribune**, 24 Set. 2006.
- [118] WEBSTER, S. A. Ford Motor to unload auto warranty company. **Detroit Free Press**, 12 Out. 2006.
- [119] **US: Hyundai extends long warranty availability.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 23 Out. 2006.

- [120] MAJESKE, K. D. A non-homogeneous Poisson process predictive model for automobile warranty claims. **Reliability Engineering and System Safety**, v.92, ISS. 2, p. 243-251.
- [121] CATO, J. The warranty wars. **The Globe and Mail (Canada)**, 16 Nov. 2006.
- [122] EDSALL, L. Subaru extras keep warranty. **The Detroit News**, 29 Nov. 2006.
- [123] RINSAKA, K; SANDOH, H. A stochastic model on an additional warranty service contract. **Computers & Mathematics with Applications**, v.51, ISS. 2, p. 179-188. January 2006.
- [124] ANDERSON, S. **Most GM used models get 5-year warranty.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 2 Fev. 2007.
- [125] FINLAY, S. **GM certified used cars get powertrain warranty.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 4 Fev. 2007.
- [126] MANNA, D. K.; PAL, S.; SINHA, S. A use-rate based failure model for two-dimensional warranty. **Computers & Industrial Engineering**, v.52, ISS. 2, p. 229-240.
- [127] HUDSON, J. Hyundai backs itself. **Sydney Morning Herald**, 9 Mar. 2007.
- [128] Most and least reliable used cars. **WJBK (Fox) Channel 2 (Detroit)**, 13 Mar. 2007.
- [129] BANKS, C. **Extended warranty firm closes; Dealers feel effects.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 2 Mar. 2007.
- [130] SHULDINER, H. **Survey rankings, warranty declines equal improved quality, GM says.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 7 Set. 2006.
- [131] **US: Hyundai launches 10-year powertrain warranty.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 31 Mai. 2007.
- [132] GENOFF, E. P. **GM, Ford in warranty-cost dogfight.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 8 Jun. 2007.
- [133] Chrysler may extend warranty coverage – daily auto insider. **Car & Driver**, 14 Jun. 2007.

- [134] VALCOURT, J. Chrysler may up warranty coverage. **The Detroit News**, 13 Jun. 2007.
- [135] MACKINTOSH, J. Toyota warns of Prius problems. **Financial Times**, 15 Out. 2005.
- [136] VARTABEDIAN, R. Is Toyota's make-good offer fair? **Los Angeles Times**, 30 Nov. 2005.
- [137] O'GRADY, S. Saving the planet will kill you, it seems. **The Independent**, 1 Nov. 2005.
- [138] **Japan: Chinese-built export Honda has quality problems.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 21 Out. 2005.
- [139] LUNDEGAARD, K. Nissan is faulted for reliability in survey by consumer reports. **The Wall Street Journal**, 27 Out. 2005.
- [140] Ghosn vows to improve quality at Canton. **Automotive World**, 5 Jan. 2006.
- [141] HOFFMAN, B. G. Quality costs at Ford rise \$500 million. **The Detroit News**, 23 Out. 2005.
- [142] **UK/Germany/USA: ZF automatic gearbox problem affects premium vehicles worldwide.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 9 Nov. 2005.
- [143] **UK: Motor industry group unhappy with reliability survey.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 30 Nov. 2005.
- [144] Fact check: Are American cars really that bad? **CNN Money**, 25 Jan. 2006.
- [145] TRUETT, R. Quality alone is not enough, Harbour warns. **Automotive News**, 23 Jan. 2006.
- [146] STURGIS, S. Automaker's latest goofs. **Cleveland Plain Dealer**, 2 Apr. 2006.
- [147] Letters: GM has far to go on quality. **Detroit Free Press**, 12 Apr. 2006.
- [148] POPE, B. **Bad parts shuts Ford plants.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 28 Abr. 2006.
- [149] COLLIER, J. G. Toyota finds problem in Camrys. **Detroit Free Press**, 27 Apr. 2006.

- [150] TOLJAGIC, M. Youthful Volvo marred by repair record. **Toronto Star**, 20 Mai. 2006.
- [151] STURGIS, S. 2 Teflon models victims of automaker's goofs. **Cleveland Plain Dealer**, 18 Jun. 2006.
- [152] Scion Tc car probed. **Detroit Free Press**, 12 Jul. 2006.
- [153] **Japan: Rare public rebuke for Toyota.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 21 Jul. 2006.
- [154] TAKAHASHI, Y. Toyota outlines plans to improve quality control. **The Wall Street Journal**, 4 Ago. 2006.
- [155] **Japan: Toyota promises to fix defect-check system.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 3 Ago. 2006.
- [156] **EU rapid safety alert system wins auto maker's support.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 25 Jul. 2006.
- [157] LEVIN, D. Toyota's defects irk US automakers, not buyers. **Bloomberg**, 25 Jul. 2006.
- [158] SARANOW, J. U.S. Cars slip in durability study. **The Wall Street Journal**, 10 Ago. 2006.
- [159] Honda Jazz is the most reliable car while Ford's Focus C-Max is the least reliable car. **Azer Press (Azerbaijan)**, 8 Ago. 2006.
- [160] **US: Domestics close quality gap on imports.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 15 Ago. 2006.
- [161] JENSEN, C. For long-turn dependability, check the initial quality. **New York Times**, 13 Ago. 2006.
- [162] FLACKLER, M. Japanese fret that quality is in decline. **New York Times**, 21 Set. 2006.
- [163] STURGIS, S. Auto industry's latest goofs. **Cleveland Plain Dealer**, 24 Set. 2006.
- [164] **US: Problems with heavy-duty truck engines increase.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 6 Out. 2006.
- [165] **Study reports engine problems in the emission-controlled diesel engines.** Disponível em: <<http://www.DieselNet.com/>>. Acesso em: 10 Out. 2006.
- [166] Scions recalled. **Detroit Free Press**, 25 Out. 2006.

- [167] ENGLISH, B. How to fight if it is a lemon. **The Globe and Mail (Canada)**, 16 Nov. 2006.
- [168] WELSH, J. Balking at costly brake maintenance. **The Wall Street Journal**, 20 Dec. 2006.
- [169] QUINT, M. New York's top court upholds refund rights under car lemon law. **Bloomberg**, 14 Dec. 2006.
- [170] SHIROUZU, N. Toyota review reveals need for more quality check. **The Wall Street Journal**, 12 Dec. 2006.
- [171] WILLIAMS, R. L. Goodyear union to rally, claiming quality reduced. **Birmingham News**, 1 Dec. 2006.
- [172] Too many Chinese cars are lemons. **Asia Pulse**, 4 Dec. 2006.
- [173] Editorial: Reliability reality lost in perception of cars, trucks. **The Detroit News**, 8 Jan. 2007.
- [174] Toyota to settle call-action suit over engine oil sludge. **Associated Press Newswires**, 10 Jan. 2007.
- [175] COLLIER, J. G. Toyota settles oil sludge cases. **Detroit Free Press**, 18 Jan. 2007.
- [176] WELSH, W. Toyota agrees to sludge pact. **The Wall Street Journal**, 30 Jan. 2007.
- [177] INCANTALUPO, T. Deal in Toyota engine case near. **Newsday**, 31 Jan. 2007.
- [178] TIERNEY, C. Sludge smudges Toyota. **The Detroit News**, 7 Feb. 2007.
- [179] O'DELL. Toyota settles class-action suit on oil sludge buildup. **Los Angeles Times**, 9 Feb. 2007.
- [180] ROWLEY, I. Even Toyota isn't perfect. **Business Week**, 22 Jan. 2007.
- [181] MAZURAK, J. Clearing hurdles. **Clarion-Ledger**, 7 Jan. 2007.
- [182] FORD, R. No wrench required. **Boston Globe**, 8 Jan. 2007.
- [183] **US: Magazine junks child seat test.** Disponível em: <http://www.just-auto.com/>. Acesso em: 19 Jan. 2007.
- [184] CRESWELL, J. Consumer reports apologizes for botched tests. **New York Times**, 26 Jan. 2007.

- [185] SEELYE, K. Q. Magazine will begin consulting with experts. **New York Times**, 21 Mar. 2007.
- [186] STURGIS, S. Some Honda, Acura SUVs need new horn buttons. **Cleveland Plain Dealer**, 21 Jan. 2007.
- [187] SPINKS, J. 4WD brands hit rock bottom in reliability survey. **The Age**, 29 Jan. 2007.
- [188] Engine sludge: When good oil goes bad. **New York Times**, 4 Fev. 2007.
- [189] TIERNEY, C. Toyota to pay owners for engine damages. **The Detroit News**, 10 Fev. 2007.
- [190] HAGLUND, R. Toyota troubles. **Cleveland Plain Dealer**, 9 Fev. 2007.
- [191] SHEPARDSON, D. Honda settles suit over defective odometers. **The Detroit News**, 20 Fev. 2007.
- [192] **US: Lexus slips on predicted reliability – consumer survey.**  
Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 1 Mar. 2007.
- [193] VARTABEDIAN, R. For a Mustang owner, it's torture by rack-and-pinion system. **Los Angeles Times**, 4 Apr. 2007.
- [194] JENSEN, C.; JENSEN, C. The ultimate road test. **Boston Globe**, 22 Apr. 2007.
- [195] HEASTER, R. Quality gaps narrowing between automaker's products. **Kansas City Star**, 15 Mai. 2007.
- [196] Volkswagen Passats probed. **Los Angeles Times**, 16 Mai. 2007.
- [197] VLASIC, B. Changing minds: What Detroit can do to win back car buyers. **The Detroit News**, 3 Jan. 2007.
- [198] HOFFMAN, B. G. Gaining insight into the heart of the car buyer. **The Detroit News**, 4 Jan. 2007.
- [199] CATO, J. Detroit again shut out of magazine's top picks. **The Globe and Mail (Canada)**, 8 Mar. 2007.
- [200] BLACKBURN, R. Top secret! The quality survey every car buyer must see. **Sydney Morning Herald**, 11 Mai. 2007.

- [201] DIEM, W. **Toyota drops, Renault gains in German group's reliability ratings.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 8 Mai. 2007.
- [202] STURGIS, S. Mechanics keep an eye on Audi transmissions, BMW seat belts. **Cleveland Plain Dealer**, 7 Mai. 2007.
- [203] **US: Engine failures hit key new Toyota.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 31 Mai. 2007.
- [204] WOODYARD, C. Toyota catches engine defect. **USA Today**, 30 Mai. 2007.
- [205] DOWLING, J. 200000 Falcons need Ford's fix. **Sydney Morning Herald**, 1 Jun. 2007.
- [206] VALCOURT, J. Chrysler rethinks design after duds. **The Detroit News**, 8 Jun. 2007.
- [207] Jeep probed for stalling. **Detroit Free Press**, 5 Jun. 2007.
- [208] WHITE, J. B. Is initial quality still relevant? **The Wall Street Journal**, 11 Jun. 2007.
- [209] CATO, J. Be wary of models in first year, study indicates. **The Globe and Mail (Canada)**, 14 Jun. 2007.
- [210] DENNEHY, D. J.; JONES, R. P. Drive-by-tire. **Tire Technology International**, The annual technology review, United Kingdom, 2001, p. 50–53.
- [211] BROWNE, A.; LUDEMA, K. C.; CLARK, S. K. Contact between the tire roadway. In: CLARK, S. K. **Mechanics of pneumatic tires**, Washington: Department of Transportation – National Highway and Traffic Safety Administration, 1981, Cap. 5, p.249–364.
- [212] ATAKA, H.; YAMASHITA, F. Analysis of tire performance on sand. **Tire Science and Technology**, v.23, n.1, p.52–67, jan./mar. 1995.
- [213] MUNDL, G.; MESCHKE, G.; LIEDERER, W. Friction mechanism of tread blocks on snow surface. **Tire Science and Technology**, v.25, n.4, p.245–264, out./dez. 1997.
- [214] SAKAI, H.; ARAKI, K. Thermal engineering analysis of rubber vulcanization and tread temperatures during severe sliding of a tire. **Tire Science and Technology**, v.27, n.2, p. 22–47, jan./mar. 1999.



- [215] COLLACOTT, R. A. Failure types, investigations and occurrences. In: **Mechanical Fault Diagnosis**. London, 1977. Cap. 1, p. 1–15.
- [216] CALLISTER, W. D. Failure. In: **Materials Science and Engineering: an introduction**, USA, 1997. Cap. 8, p. 178–235.
- [217] CAUVIN, A.; TESTA, R. B. Damage mechanics: basic variables in continuum theories. **International Journal of Solids and Structures**, Great Britain, v.36, p. 747–761, 1999.
- [218] MAZARS, J.; CABOT, G. P. From damage to fracture mechanics and conversely: a combined approach. **International Journal of Solids and Structures**, Great Britain, v.33, n.20–22, p. 3327–3342, 1996.
- [219] TANG, C. Y.; TAI, W. H.; LEE, W. B. Modeling of damage behaviors of high impact polystyrene. **Engineering Fracture Mechanics**, Great Britain, v.55, n.4, p. 583–591, 1996.
- [220] VOYIADJIS, G. Z.; PARK, T. Local and interfacial damage analysis of metal matrix composites using the finite element method. **Engineering Fracture Mechanics**, Great Britain, v.56, n.4, p. 483–511, 1997.
- [221] VOYIADJIS, G. Z.; DELIKTAS, B. A coupled anisotropic damage model for the inelastic response of composites materials. **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, v.183, p. 159–199, 2000.
- [222] ARRAGON, Y. P.; MEHRABADI, M. M.; MARTIN, D. W.; COWIN, S. C. A multidimensional anisotropic strength criterion based on Kelvin modes. **International Journal of Solids and Structures**, Great Britain, v.37, p. 2915–2935, 2000.
- [223] RAUSAND, M.; OIEN, K. The basic concepts of failure analysis. **Reliability Engineering and System Safety**, Northern Island, v.53, p. 73–83, 1996.
- [224] HAUGEN, K.; HOKSTAD, P.; SANDTORV, H. The analysis of failure data in the presence of critical and degraded failures. **Reliability Engineering and System Safety**, Northern Island, v.58, p. 97–107, 1997.

- [225] FRAGOLA, J. R. Reliability and risk analysis data base development: a historical perspective. **Reliability Engineering and System Safety**, Northern Island, v.51, p. 125–136, 1996.
- [226] MAHADEVAN, S.; RAGHOTHAMACHAR, P. Adaptive simulation for system reliability analysis of large structures. **Computer and Structures**, v.77, p. 725–734, 2000.
- [227] SHEN, H.; LIN, J.; MU, E. Probabilistic model on stochastic fatigue damage. **International Journal of Fatigue**, v.22, p. 569–572, 2000.
- [228] FATEMI, A.; YANG, L. Cumulative fatigue damage and life prediction theories: a survey of the state of the art for homogeneous materials. **International Journal of Fatigue**, v.20, n.1, p. 9–34, 1998.
- [229] LIU, Y. WAN, Z.; TIAN, Z.; DU, X.; JIANG, J.; YAO, M. Fatigue of unidirectional cord-rubber composites. **Tire Science and Technology**, v.27, n.1, p.48-57, jan./mar. 1999.
- [230] WALTER, J. D. Cord reinforced rubber. In: CLARK, S. K. **Mechanics of pneumatic tires**, Washington: Department of Transportation – National Highway and Traffic Safety Administration, 1981, Cap. 3, p.123–202.
- [231] CHOW, C. L.; LU, T. J. Fatigue crack propagation in metals and polymers with a unified formulation. **Tire Science and Technology**, v.20, n.2, p.106-129, abr./jun. 1992.
- [232] TAKEYAMA, T.; MATSUI, J.; HIJIRI, M. Tire cord and cord to rubber bonding. In: CLARK, S. K. **Mechanics of pneumatic tires**, Washington: Department of Transportation – National Highway and Traffic Safety Administration, 1981, Cap. 2, p.37–122.
- [233] CLARK, S. K. Loss of adhesion of cord-rubber composites in aircraft tires. **Tire Science and Technology**, v.14, n.1, p.33-43, jan./mar. 1986.
- [234] ORJELA, G.; RIVA, G.; FIORENTINI, F. The compression properties of tire reinforcements. **Tire Science and Technology**, v.26, n.4, p.208-21, out./dez. 1998.
- [235] REZENDE, M. C.; BOTELHO, E. C. O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.10, n.2, p.E4–E10, abr./jun. 2000.

- [236] GONÇALVES, A.; ALMEIDA, S. F. M.; NETO, F. L. Comportamento de cilindros de carbono/epóxi submetidos à cargas compressivas axiais. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.11, n.2, p.94–101, abr./jun.2000.
- [237] MORAIS, W. A.; ALMEIDA, J. R.; GODFROID, L. B. Efeito de impactos repetidos de baixa energia em compósitos pultrudados. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.11, n.1, p.27–34, jan./mar. 2001.
- [238] PARK, H. C.; YOUN, S. K.; SONG, T. S.; KIM, N. J. Analysis of temperature distribution in a rolling tire due to strain energy dissipation. **Tire Science and Technology**, v.25, n.3, p.214–228, jul./set. 1997.
- [239] OH, B. S.; KIM, Y. N.; KIM, N. J.; MOON, H. Y.; PARK, H. W. Internal temperature distribution in a rolling tire. **Tire Science and Technology**, v.23, n.1, p.11–25, jan./mar. 1995.
- [240] NAKATSUJI, T.; HOSSEINLOU, M. H.; KAWAMURA, A.; ONODERA, Y. Taking tire slip ratio into account and estimating friction coefficients in rear-end collisions on winter roads. **Transportation-Research-Record**, n.1741, p.97–103, 2001.
- [241] MARC Analysis Research Corporation. Damage and failure. In: **Non Linear Finite Element Analysis of Elastomers**, EUA, 1996, Cap. 4, p.24.
- [242] SIMO, J. C. On a fully three-dimensional finite strain viscoelastic damage model: formulation and computational aspects. **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, v.60, p. 153–173, 1987.
- [243] GOVINDJEE, S.; SIMO, J. C. A micro-mechanically based continuum damage model for carbon black filled rubbers incorporating Mullin's effect. **Journal of Mechanics and Physics of Solids**, v.39, n.1, p.97–112, 1991.
- [244] GOVINDJEE, S.; SIMO, J. C. Transition from micro-mechanics to computationally efficient phenomenology: carbon black filled rubber incorporating Mullin's effect. **Journal of Mechanics and Physics of Solids**, v.40, n.1, p.213–233, 1992.
- [245] CHENG, J. H.; BECKER, E. B. Finite element calculation of energy release rate for 2-D rubbery material problems with non-conservative

- crack surface tractions. **International Journal of Numerical Methods in Engineering**, v.33, n.1, p.907–927, 1992.
- [246] PIDAPARTI, R. M. V.; YANG, H. T. Y.; SOEDEL, W. Modeling and fracture prediction of single ply cord rubber composites. **International Journal of Composite materials**, v.26, n.2, p.152–170, 1992.
- [247] JONES, N.; WIERZBICKI, T. In: **Structural Crashworthiness and Failure**, 1993.
- [248] SHALEV, D. M.; TIRAN, J. Condition-based fault tree analysis (CBFTA): A new method for improved fault tree analysis (FTA), reliability and safety calculations. **Reliability Engineering and System Safety**, v.92, ISS. 9, p. 1231-1241.
- [249] ABDULLAH, S.; CHOI, J. C.; GIACOMIN, J. A.; YATES, J. R. Bump extraction algorithm for variable amplitudes fatigue loading. **International Journal of Fatigue**.
- [250] SVENSSON, T.; JOHANNESSON, P. MARE, J. Fatigue life prediction based on variable amplitudes tests – Specific applications. **International Journal of Fatigue**, v.7, ISS. 4, p. 966–973, 2005.
- [251] YANG, X.; MEGSON, G. M.; EVANS, D. J. Pancyclicity of Mobius cubes with faulty nodes. **Microprocessors and Microsystems**, v.30, ISS. 3, p.165-172.
- [252] BENSLIMANE, T. Analysis of open-switch fault two-level, three-phase voltage inverter behavior and automatic detection and location using zero harmonic component. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1474.
- [253] BENSELY, A.; STEPHEN, J. S.; MOHAN, D. L.; NAGARAJAN, G.; RAJADURAI, A. Failure investigation of crown wheel and pinion. **Engineering Failure Analysis**, v.13, ISS. 8, p.1240-1245.
- [254] BAYRAKCEKEN, H. Failure analysis of an automobile differential pinion shaft. **Engineering Failure Analysis**, v.13, ISS. 8, p.1240-1245.
- [255] ASI, O. Failure analysis of a crankshaft made from ductile cast iron. **Engineering Failure Analysis**, v.13, ISS. 8, p.1260-1267.
- [256] ASI, O. Fatigue failure of rear axle shaft of an automobile. **Engineering Failure Analysis**, v.13, ISS. 8, p.1293-1302.

- [257] XU, X.; YU, Z.; DING, H. Failure analysis of a diesel engine gear shaft. **Engineering Failure Analysis**, v.13, ISS. 8, p.1351-1357.
- [258] XU, X.; YU, Z.; DING, H. Failure analysis of a diesel engine piston-pin. **Engineering Failure Analysis**, v.14, ISS. 1, p.110-117.
- [259] DAS, S. K.; MUKHOPADHYAY, N. K.; KUMAR, B. R.; BHATTACHARYA, D. K. Failure analysis of a passenger car coil spring. **Engineering Failure Analysis**, v.14, ISS. 1, p.158-163.
- [260] WU, G.; YU, L. Fatigue life prediction method in rear suspension analysis. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Apr-2007. 2007-01-0563. **19 Apr- 2007**
- [261] ERYUREK, I. B.; EREK, M.; GOKSENLİ, A. Failure analysis of the suspension spring of light duty truck. **Engineering Failure Analysis**, v.14, ISS. 1, p.170-178.
- [262] SECKERCIOGLU, T.; KOVAN, V. Pitting failure of truck spiral bevel gear. **Engineering Failure Analysis**, v.14, ISS. 4, p.614-619.
- [263] WU, W.F.; FU, T. T.; YANG, C. H. Study of fatigue damage accumulation and fatigue reliability based on rotating bending test data. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Apr-2006. 2006-01-1334.
- [264] PALIN-LUC, T.; BANVILLET, A.; VITTORI, L. How to reduce the duration of multiaxial fatigue tests under proportional service loadings. **International Journal of Fatigue**, v.28, ISS. 5-6, p. 554–563, 2006.
- [265] BAYRAKTAR, E. GARCİAS, I. M.; BATHIAS, C. Failure mechanisms of automotive metallic alloys in very high cycle fatigue range. **International Journal of Fatigue**, v.28, ISS. 11, p. 1590–1602, 2006.
- [266] BONTE, M. H. A.; DE BOER, A.; LIEBREGTS, R. Determining the von Mises stress power spectral density for frequency domain fatigue analysis including out-of-phase stress components. **Journal of Sound and Vibration**, v.302, ISS. 1-2, p.379-386.
- [267] EJAZ, N.; SALAM, I.; TAUQIR, A. An air crash due to failure of compressor rotor. **Engineering Failure Analysis**, v.14, ISS. 5, p.831-840.

- [268] BLOCKUS, K. M.; BRALY, G. W.; HAUSER, B. R. An improved method of accelerated crankshaft fatigue testing for reciprocating aircraft engines. **General Aviation Technology Conference and Exhibition 2006**, Wichita, Kansas, USA, 2006-01-2421.
- [269] MCDOWELL, N.; MCCULLOUGH, G.; WANG, X.; KRUGER, U.; IRWIN, G. W. Fault diagnostics for internal combustion engines – current and future techniques. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1603. **19 Apr- 2007**
- [270] CAVALCA, K. L.; MORELLO, M. G.; DE CASTRO SILVEIRA, Z. Sensitivity analysis of Fault Tree (FTA) in gearboxes to commercial vehicles using reliability concepts and design of experiments. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4005.
- [271] AMORIM, G. B.; AZEVEDO, T. S.; LOPES, L. C. R.; MOREIRA, L. P.; TAVARES, F. L.; DE CASTRO, J. A.; DE GOUVEA, J. P. Thermal fatigue life analysis of brake drums made with gray cast iron and vermicular cast iron via FEM simulation. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4119.
- [272] LEE, T.; SUH, N. P. Introduction of functional periodicity to prevent long-term failure mechanism. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [273] GEBRAEEL, N. Sensory-based prognostics and life prediction for components with exponential degradation. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [274] ROSA, C. B. Practical application of FMEA and QFD to improve product quality. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-3972.
- [275] DE CARVALHO, T. R.; DE OLIVEIRA E SOUZA, M. L. The fault avoidance and the fault tolerance approaches for increasing the reliability of aerospace and automotive systems. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4157.
- [276] PAPADOPOULOS, Y.; TRAN, A.; FAURE, J. M.; GRANTE, C. Component failure behavior: Patterns and reuse in automated system

safety analysis. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.

[277] SEMP, B. W.; PATHAN, A.; DESSERT, P. E. The role of automated FMEA in automotive reliability improvement. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.

[278] CASSANELLI, G.; MURA, G.; FANTINI, F.; VANZI, M.; PLANO, B. Failure analysis-assisted FMEA. **Microelectronics Reliability**, v.46, ISS. 9-11, p.1795-1799.

[279] RAMU, P.; KIM, N. H.; HAFTKA, R. T. Error application in failure probability estimates of small errors in response surface approximations. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0549.

[280] GOODYEAR. Tire Service Life. In: **Tire Business Databook**, February 2005.

[281] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Highway Statistics of 1973. In: **Annual publication of the Federal Highway Administration**, 1974.

[282] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Highway Statistics 2004. In: **Annual publication of the Federal Highway Administration**, 2005.

[283] HANKOOK. Hankook Optimo H727 tire detail. <[www.hankooktireusa.com](http://www.hankooktireusa.com)>. Acesso em Fevereiro, 2008.

[284] FIRESTONE. **Engineering Analysis Report and Initial Decision Regarding EA00-023: Firestone Wilderness AT Tires**. Oct. 2001.

[285] BLYTHE, W. **The importance of tire tread depth and placement for wet traction**. International Tire Exhibition and Conference (ITEC), 2006.

[286] NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION. **Vehicle Miles Traveled and survival rates by age for light trucks**. Page VIII-15, Table VIII-2, 2002.

[287] ANDRES, N. S.; JANG, B. C. Development of a machine vision system for automotive part-car seat frame inspection. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.

- [288] YOU, H.; RYU, T.; OH, K.; YUN, M. H.; KIM, K. J. Development of customer satisfaction models for automotive interior materials. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v.36, ISS. 4, p.323-330.
- [289] SHIM, T.; VELUSAMY, P. C. Influence of suspension properties on vehicle roll stability. **SAE Automotive Dynamics, Stability and Controls Conference and Exhibition**, Novi, Michigan, USA, Feb-2006. 2006-01-1950.
- [290] LIAO, H.; LEE, J. A predictive monitoring and failure prevention of vehicle electronic components and sensor systems. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [291] PUERSCHEL, M. Extended qualification of power MOSFET to fulfill today's requirements of automotive applications. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [292] RAI, B. K.; SINGH, N. Optimization of a low pass filter circuit efficiency using computer-based robust engineering. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [293] SIEBERT, T.; BECKER, T.; SPLITTHOF, K. High speed digital image correlation techniques. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [294] WAGNER, M.; UNGER, W.; WONDRAK, W. Part average analysis – a tool for reducing failure rates in automotive electronics. **Microelectronics Reliability**, v.46, ISS. 9-11, p.1433-1438.
- [295] PIERSON, J. R. Control of vital chemical processes in the preparation of lead-acid battery active materials. **Journal of Power Sources**, v.158, ISS. 2, p.868-873.
- [296] NOGUEIRA, M. N.; DE MELLO, A. L. Design of experiment for improvement of an Aluminum tube production process. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4131.
- [297] FLESCHE, G.; JASKULSKI, L.; LISBOA, J. V. The application of design of experiments as a support tool for a drive shaft retention system development. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4034.



- [298] HAVARIAS, J. G.; DE SOUZA, G. F. M. A field method for calculation of Weibull distribution shape and scale parameters. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4046.
- [299] GEA, H. C.; OZA, K. Prediction of probabilistic design models for uncertain propagation. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [300] TREDINNICK, M. R. A. C.; DE OLIVEIRA E SOUZA, M. L. Stability/instability regions for sampled-data control systems as a function of the sampling period and the plant obtained from a Liapunov function. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4088.
- [301] SONG, J.; CREPEAU, P. N.; MOURELATOS, Z. P.; GU, R. J. Monte Carlo simulation of overstress probe testing for fatigue strength. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-1335.
- [302] REAGAN, J.; STEVEN, W. Simple, closed-form expressions relating long-term (Z score) and short-term (defects per opportunity) variability. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0993.
- [303] BABAEI, E.; MOVAHHEDY, M. R. Probabilistic tolerance analysis of compliant assemblies. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0408.
- [304] DONDEERS, S.; D'IPPOLITO, R.; VAN DER AUWERAER, H.; HACK, M.; TZANNETAKIS, N.; FARKAS, L.; DESMET, W. Uncertainty-based design in Automotive and Aerospace engineering. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0355.
- [305] BATEL, M.; MOLLER, N. Obtaining maximum value from source/path contribution analysis. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4183.
- [306] HAIK, B. Axiomatic design quality. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-1204.

- [307] TSAI, C. F. An intelligent adaptive system for the optimal variable selections of R&D and quality supply chains. **Expert Systems With Applications**, v.31, ISS. 4, p.808-825.
- [308] WANG, E. T. G.; CHEN, J. H. F. Effects of internal support and consultant quality on the consulting process and ERP system quality. **Decision Support Systems**, v.42, ISS. 2, p. 1029-1041.
- [309] ITABASHI-CAMPBELL, R. Application of Bayesian process to annual validation strategy. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [310] JIANG, X.; MAHADEVAN, S. Bayesian risk-based decision method for model validation under uncertainty. **Reliability Engineering and System Safety**, v.92, ISS. 6, p.707-718.
- [311] CHAKRABORTY, S.; TAH, D. Real time statistical process advisor for effective quality control. **Decision Support Systems**, v.42, ISS. 2, p. 700-711.
- [312] GONG, Z. Estimation of mixed Weibull distribution parameters using the SCEM-UA algorithm: Application and comparison with MLE I automotive reliability analysis. **Reliability Engineering and System Safety**, v.91, ISS. 8, p.915-922.
- [313] DHARMADHIKARI, A. D.; JANARTHANAM, B.; DHANWANTHARY, H. Role of statistics in robust design. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0083.
- [314] ATTARDI, L.; GUIDA, M; PULCINI, G. A mixed-Weibull regression model for the analysis of automotive warranty data. **Reliability Engineering and System Safety**, 87,2, 265, 273, 2005/2.
- [315] AL-GARNI, A. Z.; JAMAL, A.; AHMAD, A. M.; AL-GARNI, A. M.; TOZAN, M. Neural network-based failure rate prediction for De Havilland Dash-8-tires. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v.19, ISS. 6, p.681-691.
- [316] NORMAN, T.; SURGENOR, B.; KILLING, J.; MECHEFSKE, C.; BONE, G.; DEMIRLI, K; SUN, Q.; XI, F. A neuro-Fuzzy approach to a machine vision-based parts inspection problem. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.

- [317] BOMBARDIER, V.; MAZAUD, C.; LHOSTE, P.; VOGRIG, R. Contribution of fuzzy reasoning method to knowledge integration in a defect recognition system. **Computers In Industry**, v.58, ISS. 4, p. 355-366.
- [318] BUYUKOZKAN, G.; FEYZIOGLU, O.; RUAN, D. Fuzzy group decision-making to multiple preference formats in quality function deployment. **Computers In Industry**, v.58, ISS. 4, p. 355-366.
- [319] BATOCCHIO, A.; CASSETTARI, E. C.; MARCONDES, A. B. Lean Manufacturing and Six Sigma. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4047.
- [320] DA GRACA JR, J. C. Lean Manufacturing and Six Sigma: The role of top management. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4102.
- [321] THOMAS, M.; SINGH, N. Design for Lean Six Sigma (DFLSS): Philosophy, tools, potential and deployment challenges in automotive product development. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [322] RAMAMURTHY, A. C.; REYES, A. Experimental learning: Hands on experiments for Six Sigma green belt and black belt training, part I~Manufacturing environment. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [323] WASHINGTON, D. M.; AMORI, R.; GEARHART, C. A generic teaching case study for teaching design for Six Sigma. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0501.
- [324] AUSTIN, T. E. Application of Six Sigma methodologies to improve requirements management for customer programs. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0553.
- [325] STOLETOVA, M. V. Metrological aspects of Six Sigma applications. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0554.
- [326] LOGAN, R. W.; NITTA, C. K.; CHIDESTER, S. K. Design for Six Sigma with critical to quality metrics for research investments. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0995.

- [327] JIKAR, V. K.; CUDNEY, E.; ELIZABETH, R. K. M.; HUI, C. T. Unifying value methodology and robust design to achieve design for Six Sigma. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0998.
- [328] ZHOU, J.; LI, D. Failure mode avoidance through design for Six Sigma and transfer function. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0999.
- [329] LAVAL, C.; LONGENBERGER, E.; NIELSEN, W. The application of lean Six Sigma at Brush Wellman Inc. **Aerospace Manufacturing and Automated Fastening Conference and Exhibition 2006**, Toulouse, France, 2006-01-3121.
- [330] RICHARDSON, K. The Six Sigma factor for home depot. **The Wall Street Journal**, 4 Jan. 2007.
- [331] ANDREAS, E. Investigation of torque output variation in a duo-servo park brake using Six-Sigma tools and FE analysis. **Annual Brake Colloquium and Exhibition**, Grapevine, Texas, USA, Out-2006. 2006-01-3139.
- [332] Six Sigma: So yesterday? **BusinessWeek Online**, 11 Jun. 2007.
- [333] GARCIA, P.; BAUNMANN, A.; KARLSCH, R. Six Sigma applied for transactional area. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0535.
- [334] BO, Z. Development of advanced dimensional control method for Design for Six Sigma (DFSS). **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0536.
- [335] WELLS, L. J.; YOUN, B. D.; XI, Z. Innovative Six Sigma Design using the Eigenvector Dimension-Reduction (EDR) method. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0799
- [336] STOLETOVA, M. V. Leveraging success of Six Sigma initiatives with TRIZ. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0529.
- [337] LOGANATHAN, Y. D.; ANSARI, A. A. MAKKAPATI, S.; UPADHYAY, V.; VENKATASUBRAMANIAN, S. H. Establishing a process for the validation of an electronic control unit using Six Sigma methodology.

- SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0534.
- [338] BRAND, J. F.; BERG, S.; GARCIA, P. Using Six Sigma concepts in the engineering process at automotive suppliers: Analysis of an acoustical test bench. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0530.
- [339] MANCINI, D. J. The Design for Six Sigma approach for the development of a Carbon Canister for tier II, LEV II and PZEV emissions levels. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1090.
- [340] MITCHELL, R. W.; SCHULTZ, B. A case study: Improvements in automotive motion simulators using Six Sigma methodologies. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0533.
- [341] BIONDO, W.; GRIFFIN, J. Improving a vehicle theft deterrent system's communication using the Design for Six Sigma (DFSS). **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0800.
- [342] AVUTAPALLI, B.; MUTLU, H.; STAGNER, D.; ZUTSHI, A. Applying Six Sigma tools to the rear driveline system for improved vehicle-level NVH performance. **SAE Noise and Vibration Conference and Exhibition**, St. Charles, Illinois, USA, Mai-2007. 2007-01-2286.
- [343] WANG, P.; YOUN, B. D.; WELLS, L. J. Bayesian reliability-based design optimization using Eigenvector Dimension-Reduction (EDR) method. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0559.
- [344] LI, J.; MOURELATOS, Z. P. A time-dependent reliability analysis method using a Niching genetic algorithm. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0548.
- [345] CHOI, K. K.; NOH, Y.; DU, L. Reliability-based design optimization with correlated input variables. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0551.

- [346] MAHADEVAN, S.; REBBA, R. Model error quantification for reliability-based design. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1743.
- [347] XI, Z.; YOUN, B. D.; GORSICH, D. A. Reliability-based robust design optimization using the EDR method. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0550.
- [348] LAMB, D. A.; GORSICH, D. A.; KRAYTERMAN, D.; CHOI, K. K.; HARDEE, E.; YOUN, B. D.; GHIOCEL, D. Predicting military ground vehicle reliability using high-performance computing. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1421.
- [349] TWISK, D.; SPIT, H. H.; BEEBE, M.; DEPINET, P. Effect of dummy repeatability on numerical model accuracy. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1173.
- [350] LIANG, J. MOURELATOS, Z. P.; NIKOLAIDIS, E. System reliability-based design using a single-loop method. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0555.
- [351] NIKOLAIDS, E. Assessment of imprecise reliability using efficient probabilistic reanalysis. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0552.
- [352] KLYATIS, L. M.; KLYATIS, E. L. The strategy to improve engineering concepts of automotive reliability, durability and maintainability integrated with quality. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [353] ITABASHI-CAMPBELL, R. Product development process from quality and reliability perspectives. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-1421.
- [354] GUNAWAN, S; KOKKOLARAS, M.; PAPALAMBROS, P. Y.; MOURELATOS, Z.P. Design optimization and reliability estimation with incomplete uncertainty information. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0962.
- [355] KECECIOGLU, D. B.; SARAkakIS, G. Much needed attention to car reliability demonstration testing and test sample size determination. **SAE**

- 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-1616.
- [356] KLYATIS, L. M.; KLYATIS, E. Why we have problems with effective reliability testing performance. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1769.
- [357] CHEN, K. Y. Forecasting systems reliability based on support vector regression with genetic algorithms. **Reliability Engineering and System Safety**, v.92, ISS. 4, p.423-432. 2007.
- [358] DONDEERS, S.; HERMANS, L.; MOENS, D.; VAN DER AUWERAER, H.; VANDEPITTE, D.; D'IPPOLITO, R. Reliability-based design optimization of automotive structures. **Symposium of International Automotive Technology - SIAT 2007**, Pune, India, USA, Jan-2007. 2007-26-055.
- [359] TANAKA, F.; KISHINAMI, T. STEP-based quality diagnosis of shape data of product models for collaborative e-engineering. **Computers in Industry**, v.57, ISS. 3, p.245-260.
- [360] CHEN, G.; ZHOU, J.; CAI, W.; LAI, X.; LIN, Z.; MENASSA, R. A framework for an automotive body assembly process design system. **Computer Aided Design**, v.38, ISS. 5, p.531-539.
- [361] BHIDE, G. D.; CHAVAN, S. P.; SOBALE, A. CAE used for durability analysis. **International Mobility Engineering Congress & Exposition 2005 – SAE India Technology for Emerging Markets**, Chennai, India, Out-2005. 2006-01-0090.
- [362] CTIA special report: Hyundai Motor R&D at a glance. **Competitive Technology Intelligence Assessment**, Issue No.2006-02, Junho, 20, 2006.
- [363] JUERGEN, G. W. Cost and quality advantages through components integration and assembly automation. **Convergence 2006**, Detroit, Michigan, USA, Out-2006. 2006-21-0023.
- [364] YANG, S. F.; SU, H. C. Adaptive control schemes for two dependent process steps. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.20, ISS. 1, p. 15–25, 2007.

- [365] OLABI, A. G.; CASALINO, G.; BENYOUNIS, K, Y.; HASHMI, M. S. J. An ANN and Taguchi algorithms integrated approach to the optimization of CO2 laser welding. **Advances in Engineering Software**, v.37, ISS. 10, p. 643–648, Out-2006.
- [366] GONCALVES, S.; ROLIN, P.; VILABOIA, E. Design to cost (D2C): A methodology within an electronic process. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4064.
- [367] CARMO JR, C.; KATO, G. M.; SILVA, I. S.; DO ESPIRITO SANTO, I. L. Vehicle accelerator pedal development using CAE analysis. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4108.
- [368] MOURELATOS, Z. P.; ZHOU, J. Design optimization under uncertainty using evidence theory. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0388.
- [369] BEUGEL-KRESS, P. RAMS~Useable and useful concept for automotive. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [370] TSAI, S. C. Taguchi s/n ratios and direct robustness measurement for computational robust design. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [371] YUAN, W. Analytical approach to the robust design of dimensional datum schemes. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [372] IWATA, T.; KOIDE, K. Deployment of a global Kanban system. **Aerospace Manufacturing and Automated Fastening Conference and Exhibition 2006**, Toulouse, France, 2006-01-3133.
- [373] ASTORGA, J. R.; DEL POZO, J.; EGEEA, E.; MARIN, D. P.; MUNOZ, F.; VALLECILLOS, V.; ZAERA, F. New concept of artificial vision system applicability to measure and control the quality of automated fastening. **Aerospace Manufacturing and Automated Fastening Conference and Exhibition 2006**, Toulouse, France, 2006-01-3175.
- [374] CROTHERS, T. J.; NEWBERRY, J.; STEELE, P.; VAN DUIN, S. A comparison between indoor GPS versus laser tracking metrology for



- robotic drilling. **Aerospace Manufacturing and Automated Fastening Conference and Exhibition 2006**, Toulouse, France, 2006-01-3177.
- [375] ANSCOMBE, R.; BRANDRICK, P.; BRAYANT, A.; BUCKINGHAM, R.; FERGUSON, G.; GRAHAM, A.; GREEN, B.; LICHON, M.; PARRY, N.; REDMAN, M.; SUMMERS, M. Snake-arm robots: A new approach to aircraft assembling. **Aerospace Manufacturing and Automated Fastening Conference and Exhibition 2006**, Toulouse, France, 2006-01-3141.
- [376] CLAUDE, C.; PRAT, P.; REDMAN, M. Automation for the assembly of the botton ring panels on stringers for the A320. **Aerospace Manufacturing and Automated Fastening Conference and Exhibition 2006**, Toulouse, France, 2006-01-3143.
- [377] BECKWITH, T. G.; MARANGONI, R. D.; LIENHARD, J. H. The process of measurement: an overview. **Mechanical Measurements**, 5<sup>a</sup> ed., 1995, Cap. 1, p.3–20
- [378] MONTGOMERY, C. M. Introduction. **Design and Analysis of Experiments**, 5<sup>a</sup> ed., 2001, Cap. 1, p.1–19.
- [379] SAGAN, C. O meio ambiente: onde reside a prudência? In: **Bilhões e Bilhões: reflexões sobre a vida e morte na virada do milênio**, São Paulo: Companhia das Letras, 1998, Cap. 7, p.73–78.
- [380] SCHUTH, M.; VOESSING, F. Optical measuring speckle systems for NDT. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0767.
- [381] REPP, J.; SAMPSON, S. Use of personal digital assistants (PDA) to collect corrosion inspection data. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-1648.
- [382] LANGE, D. A. Gas-based production leak testing techniques for automotive components. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-1408.
- [383] MAHALE, P. S.; RAJU, S. Sound quality analysis of a two wheeler at idling. **International Mobility Engineering Congress & Exposition 2005 – SAE India Technology for Emerging Markets**, Chennai, India, Out-2005. 2006-01-0090.

- [384] GUO, Q.; HIERONS, R. M.; HARMAN, M.; DERDERIAN, K. Improving test quality using robust unique input/output circuits sequence (UIOCs). **International Mobility Engineering Congress & Exposition 2005 – SAE India Technology for Emerging Markets**, Chennai, India, Out-2005. 2006-01-0090.
- [385] HUANG, P.; ZHANG, G.; WU, Z.; CAI, J.; ZHOU, Z. Inspection of defects in conductive multi-layered structures by an eddy current scanning technique: Simulation and experiments. **NDT and E International**, v.39, ISS. 7, p.578-584.
- [386] ZHANG, M; DJURDJANOVIC, D.; NI, J. Diagnosibility and sensitivity analysis for multi-station machining processes. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v.47, ISS. 3-4, p.646-657. 2007.
- [387] BIRNALE, A. P.; DODDS, C. J. The application of virtual test technology in component design and process validation. **Commercial Vehicle Engineering Congress and Exhibit**, Chicago, Illinois, USA, Out-2006. 2006-01-3459.
- [388] DHARMADHIKARI, A. D.; SRIDHAR, M.; SUSHMA, Y. Experiments planning for robust design through CAE. **Commercial Vehicle Engineering Congress and Exhibit**, Chicago, Illinois, USA, Out-2006. 2006-01-3459.
- [389] KEITMANN-CURDES, O.; KNOLL, P.; MEIER, H.; ERMET, H. Contour tracking of specularly reflecting surfaces. **Ultrasonics**, v.44, Supplement 1, Proceedings of Ultrasonic International (UI'05) and World Congress on Ultrasonics (WCU), p. e1089–e1092, Dec-2007.
- [390] PUENTE, F.; KAMMEL, S. Inspection of specular and painted surfaces with centralized techniques. **Measurement**, v.39, ISS. 6, p.536-546. 2006.
- [391] ADAMCZAK, S.; ORZECOWSKI, T.; STANCZYK, T. L. The infrared measurement of form deviations of machine parts in motion. **Measurement**, v.40, ISS. 1, p.28-35. 2007.
- [392] KIM, K.; OARK, C. G. Drift error analysis caused by RLG dither axis bending. **Sensors and Actuators**, v.133, ISS. 2, p.425-430.

- [393] LOPEZ, L. A. N. M.; TING, D. K. S.; UPADHYAYA, B. R. Fuzzy logic applied to eddy-current inspection of metallic automotive components. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4104.
- [394] OLIVA, A. P.; DE JESUS TEIXEIRA, A.; DE OLIVEIRA E SOUZA, M. L. Multiples faults detection and isolation in sensors of dynamic systems. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4136.
- [395] MOZURKEWICH, G. Measuring reliability of spot-weld nondestructive tests. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [396] GAUTAM, N.; YADAV, O. P. Model-based development and auto testing: A robust approach for reliable automotive software development. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [397] LADOS, D. A.; NICOLICH, J. P.; MACCHIAROLA, K. Surface residual stress in automotive components: Measurements and effects of fatigue life. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [398] SUTTON, M. A.; YAN, J. Computer vision for shape and deformation measurements: Recent developments and applications. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [399] LIU, S.; YANG, L. Absolute phase measurement method for digital 3D profilometry system. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [400] TANG, W.; OLIFENT, A.; ROY, R.; BEHRENS, B. Development of a generic measurement point system to improve the dimensional control processes in automotive body-in-white manufacturing. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.
- [401] HEIM, R.; FISCHER, G.; SONSINO, C. M. Early stage rig testing for durability approval. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0116.

- [402] FRANK, K.; CHECKEL, D. Fuel tank and charcoal canister fire hazards during EVAP system leak testing. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1235.
- [403] ANSGAR, S. Impacts and benefits of ODX in the diagnostic tool chain. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1604.
- [404] LIU, S.; SAMALA, P. R.; ZHU, Z.; YANG, L. A new calibration method for digital 3D profilometry system. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1380.
- [405] AGGARAPU, H. S. B.; SAKUNKHE, S. R. Accelerated life test to predict fatigue life of small manual steering gearbox. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0635.
- [406] MARC, V. High-speed non-contact measurement solution "A new vision in coordinate measurement". **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1382.
- [407] ZHAO, X.; MI, B.; QIAN, T.; OWENS, S. E.; ROYER, J.; ROGER, L.; RAJU, B. B. A portable hybrid ultrasound-eddy current NDI system for metal matrix composite track shoes. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1470.
- [408] COOK, C.; ENSOR, D. Derivation of durability targets and procedures based on real-world usage. **Symposium of International Automotive Technology - SIAT 2007**, Pune, India, USA, Jan-2007. 2007-26-074.
- [409] BOREANAZ, G.; CELIBERTI, L.; FALASCA, V. In-plant fast diagnostics of vibration-acoustic quality of cars. **SAE Noise and Vibration Conference and Exhibition**, St. Charles, Illinois, USA, Mai-2007. 2007-01-2211.
- [410] FRANKE, B.; SOHN, Y. H.; CHEN, X.; PRICE, J.R; MUTASIM, Z. Monitoring damage evolution in thermal barrier coatings with thermal wave imaging. **Surface and Coatings Technology**, v.200, ISS. 5-6, p.1292-1297.
- [411] BALAKRISHNAN, S.; KHARUL, R.; PATIL, M. G.; SINGANAMALLI, A. V. Methodology adopted to establish rig conversation with customer

- usage for two wheelers. **SAE/JSAE Small Engine Technology Conference**, Bangkok, Thailand, Oct-2005. 2005-32-0029.
- [412] JUN, H. B.; KIRITSIS, D.; GAMBERA, M.; XIROUCHAKIS, P. Predictive algorithm to determine the suitable time to change automotive engine oil. **Computers and Industry Engineering**, v.51, ISS. 4, p.671-683. 2006.
- [413] AIKO, H.; ATSUTA, K.; HONMA, A.; HORIE, K.; KAMEOKA, A.; KANEKO, T.; KIKUCHI, T.; KOSEKI, K.; OKABE, N.; WAKITA, M.; WATANABE, M. Investigations of compatibility of ETBE gasoline with current gasoline vehicles. **Powertrain and Fluid Systems Conference and Exhibition**, Toronto, Ontario, Canada, Oct-2006. 2006-01-3381.
- [414] NIKANJAM, M.; RUTHERFORD, J. Improving the precision of the HFRR lubricity test. **Powertrain and Fluid Systems Conference and Exhibition**, Toronto, Ontario, Canada, Oct-2006. 2006-01-3363.
- [415] BAYRAKÇEN, H.; TASGETİREN, S.; YAVUZ, I. Two cases of failure in the power transmission system on vehicles: A universal joint yoke and a drive shaft. **Engineering Failure Analysis**, v.14, ISS. 4, p.716-724.
- [416] BOUKEBBAB, S.; BOUCHENITFA, H.; BOUGHOUAS, H.; LINARES, J. M. Applied iterative closest point algorithm to automated inspection of gearbox tooth. **Computers and Industrial Engineering**, v.52, ISS. 1, p.162-173.
- [417] KAYA, I.; ENGIN, O. A new approach to define sample size at attributes control chart in multistage processes: An application in engine piston manufacturing process. **Journal of Materials Processing Technology**, v.183, ISS. 1, p.38-48.
- [418] ANTONELLI, J.; BARBOZA JR, W.; RAMINELLI, L. F. Cumulative fatigue damage in the Diesel engines application. **SAE Brazil 2005 Congress and Exhibit**, São Paulo, Brazil, Nov-2005. 2005-01-4110.
- [419] VELLA, M. Diesels come clean. **Business Week**, 26 Mar. 2007.
- [420] CATO, J. Hyundai Canada puts Toyota in the crosshairs. **The Globe and Mail (Canada)**, 17 Nov. 2005.
- [421] MALLOY, G. Japanese lead in reliability. **Toronto Star**, 19 Nov. 2005.

- [422] **South Africa: GM's Chevrolet tops JD Power survey.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 22 Nov. 2005.
- [423] **Thailand: Toyota tops JD Power initial quality survey.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 30 Nov. 2005.
- [424] **Belgium: Toyota turns to workers for better quality in Europe.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 12 Dez. 2005.
- [425] DIEM, W. **Renault puts focus on quality.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 28 Dez. 2005.
- [426] DAVIS, M. **Yes Siree, a new survey.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 1 Jan. 2006.
- [427] Back for more. **Chicago Tribune**, 22 Jan. 2006.
- [428] Get some satisfaction. **Chicago Tribune**, 29 Jan. 2006.
- [429] HOFFMAN, B. G. Japanese cars rule in reliability. **The Detroit News**, 2 Mar. 2006.
- [430] HAMMONDS, D. Dueling car-rating firms can cause confusion. **Pittsburgh Post-Gazette**, 3 Mar. 2006.
- [431] **US: Ford executives offered incentives for initial quality.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 10 Mar. 2006.
- [432] MURPHY, T. M. **Faro measures up with power gage.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 8 Mar. 2006.
- [433] Initial quality the second time around. **Chicago Tribune**, 12 Mar. 2006.
- [434] STOFFER, H. Fear remains a Toyota motivator. **Automotive News**, 20 Mar. 2006.
- [435] How a recall earned Lexus a top reputation. **Automotive News**, 20 Mar. 2006. Book excerpt from the authors DENOVE, C.; POWER IV, J. D. book: Satisfaction: How every great company listens to the voice of the customer.
- [436] JENSEN, C. Car issues magazine available. **Washington Times**, 31 Mar. 2006.
- [437] PINKELMAN, B. Understanding and modeling seat J. D. Power and associates APEAL results. **SAE 2006 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2006. 2006-01-0090.

- [438] BOOTH, M. Volvo C70 convertible: designing quality classics? It's a breeze for Volvo. **The Independent**, 3 Abr. 2006.
- [439] GREVE, F. Cars last longer with rust on the run. **Detroit Free Press**, 13 Abr. 2006.
- [440] PHELAN, M. GM's quality quandary. **Detroit Free Press**, 10 Apr. 2006.
- [441] LIENERT, P.; LIENERT, A. Chevy Tahoe takes huge leap in quality. **The Detroit News**, 12 Apr. 2006.
- [442] MURALI, D. Perception is reality. **Business Line (The Hindu - India)**, 13 Apr. 2006.
- [443] DECLERCQ, N. Opinion: Why Japanese cars are so popular. **Sun Sentinel**, 26 Apr. 2006.
- [444] SCHEFFLER, R. **Honda determined to further improve quality, IC engines**. Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 4 Mai. 2006.
- [445] WALSH, T. With quality of US vehicles up, trust can follow. **Detroit Free Press**, 7 Mai. 2006.
- [446] ELLIS, M. Consumers to get more details on car quality. **Detroit Free Press**, 11 Mai. 2006.
- [447] WEBER, P. M. Opinion: Auto warranties. **Sun Sentinel**, 9 Mai. 2006.
- [448] Top 10 most reliable cars are Japanese. **What car?** 18 Mai. 2006.
- [449] VAUGHAN, M. Quality, not quantity, rules Aston Martin. **The Globe and Mail (Canada)**, 25 Mai. 2006.
- [450] Happening hybrids. **The Wall Street Journal**, 24 Mai. 2006.
- [451] GRIFFITHS, J. Consumers rate UK-built cars highly. **Financial Times**, 2 Jun. 2006.
- [452] WEBSTER, S. A. J. D. Power survey: Hyundai leapfrogs Toyota in quality. **Detroit Free Press**, 8 Jun. 2006.
- [453] JENSEN, C. Really, really satisfied. **New York Times**, 4 Jun. 2006.
- [454] SCHEELE, N. Fifty lessons: quality requires a proper team effort. **The Daily Telegraph (London)**, 8 Jun. 2006.
- [455] McCORNICK, J. Finding pleasure in Jaguars past and present. **The Detroit News**, 12 Jun. 2006.

- [456] JENSEN, C. Confusion reigns. **The Age**, 16 Jun. 2006.
- [457] CATO, J. Porsche is the surprise brand winner. **The Globe and Mail (Canada)**, 15 Jun. 2006.
- [458] JENSEN, C. Design quirks erode '06 quality ratings. **New York Times**, 11 Jun. 2006.
- [459] NEIL, D. Sales and quality are way up at Hyundai. Nevermind that the boss is in jail. **Los Angeles Times**, 14 Jun. 2006.
- [460] KARUSH, S. US cars score well in quality, study says. **The Detroit News**, 19 Jun. 2006.
- [461] Mazda wins first ever Taguchi Award from the Japan Quality Engineering Society. **AME Info**, 21 Jul. 2006.
- [462] KRISHER, T. Porsche tops in satisfaction; domestics improve. **The Detroit News**, 29 Jun. 2006.
- [463] TERLEP, S. U-M hospital takes page from Toyota. **The Detroit News**, 26 Jun. 2006.
- [464] CHAPMAN, S. Opinion: Golden age for car buyers. **Washington Times**, 4 Jul. 2006.
- [465] ANDERSON, S. **Smyrna epicenter of Nissan's quest for quality.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 27 Jun. 2006.
- [466] WHITE, J. B. Ford takes a page for Iacocca. **The Wall Street Journal**, 17 Jul. 2006.
- [467] CATO, J. Buyers want passion as well as reliability. **The Globe and Mail (Canada)**, 27 Jul. 2006.
- [468] SHULDINER, H. **Quality Chief says Nissan's warranty claims on decline.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 26 Jul. 2006.
- [469] JENSEN, C. Dealers improve car repair satisfaction. **Cleveland Plain Dealer**, 4 Ago. 2006.
- [470] MATEJA, J. What Mercedes mystique. **Chicago Tribune**, 31 Jul. 2006.
- [471] SHEPARDSON, D. Auto buyers more satisfied. **The Detroit News**, 15 Ago. 2006.



- [472] SUTTON, M. **Consumer satisfaction with vehicles at record high.**  
Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 15 Ago. 2006.
- [473] McCORMICK, J. Long term quality survey reveals Detroit's progress  
and challenges. **The Detroit News**, 22 Ago. 2006.
- [474] Study: Toyota leads in US customer satisfaction report. **Down  
Jones**, 15 Ago. 2006.
- [475] MAYNE, E. **Jeep makes case for improved cost, quality.**  
Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 22 Ago. 2006.
- [476] SMITH, R. The hottest rod in Detroit. **Motley Fool**, 28 Ago. 2006.
- [477] Porsche Boxster tops owners' league table. **Reuter News**, 1 Set.  
2006.
- [478] BUNKLEY, N. Ford and GM talk of quality as they try to court  
buyers. **New York Times**, 7 Set. 2006.
- [479] ZIMMERMAN, F. Cometary: Is it, GM, Ford and fall on our sword.  
**Minneapolis Star-Tribune**, 3 Set. 2006.
- [480] BRIGNALL, N. Eastern promise stands the test. **The Guardian (UK)**,  
2 Set. 2006.
- [481] **Germany: Auto Zeitung brings Jaguar some good news.**  
Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 15 Set. 2006.
- [482] GERDEL, T. W. Michelin, Pirelli no. 1 in customer satisfaction.  
**Cleveland Plain Dealer**, 14 Set. 2006.
- [483] **South Korea: Hyundai-KIA swaps volume goal for quality hike.**  
Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 3 Out. 2006.
- [484] MACKINTOSH, J. Carmaker in drive on quality. **Financial Times**, 2  
Out. 2006.
- [485] GM is highly rated in value survey. **Detroit Free Press**, 10 Out.  
2006.
- [486] **France: Toyota extend development times in pursuit of higher  
quality.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 9 Out.  
2006.
- [487] Best luxury SUVs. **CNBC On the money**, 12 Out. 2006.
- [488] MERX, K. DCX execs to test old vehicles. **Detroit Free Press**, 14  
Out. 2006.

- [489] MATEJA, J. **GM executive tell all about quality obsession.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 19 Out. 2006.
- [490] INCANTALUPO, T. Customers most satisfied with Jaguar. **Newsday**, 16 Nov. 2006.
- [491] CATO, J. GM, Ford gaining ground. **The Globe and Mail (Canada)**, 16 Nov. 2006.
- [492] Consumer reports names most reliable vehicles. **CNBC**, 10 Nov. 2006.
- [493] CHAO, M. Manufacturing challenges and opportunities in emerging markets. **Convergence 2006**, Detroit, Michigan, USA, Out-2006. 2006-21-0093.
- [494] SPECTOR, U.S. auto makers gain a bit on Japan's quality. **The Wall Street Journal**, 10 Nov. 2006.
- [495] TIERNEY, C. Ford, GM gain with redesigns. **The Detroit News**, 9 Nov. 2006.
- [496] Most reliable cars. **CNN Money**, 9 Nov. 2006.
- [497] **US: US car ratings improve as Asians dominate.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 10 Nov. 2006.
- [498] Study: Japanese still most reliable. Domestic making gains. **Down Jones**, 10 Nov. 2006.
- [499] BENSINGER, G. Toyota again leads US in reliability, survey says. **Bloomberg**, 9 Nov. 2006.
- [500] SCHWEINSBERG, C. **Domestics improving in consumer reports reliability survey.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 9 Nov. 2006.
- [501] TIERNEY, C. Honda leads car quality in China. **The Detroit News**, 15 Dec. 2006.
- [502] **Malaysia: Vehicle quality improving.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 13 Dec. 2006.
- [503] HAMMONDS, D. U.S. automakers in search of respect. **Pittsburgh Post-Gazette**, 29 Nov. 2006.
- [504] MAYNE, E. **Chrysler scales down launch cadence for 2007.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 3 Jan. 2007.

- [505] CHAKRAVORTY, J. Toyota tops customer satisfaction survey. **Reuters News**, 6 Dec. 2006.
- [506] GREEN, J. GM, touting quality, will sell Opel model in US. **Bloomberg**, 8 Dec. 2006.
- [507] Seek quality when trying for maximum resale value. **Detroit Free Press**, 3 Dec. 2006.
- [508] SHEPARDSON, D. NHTSA aging-tires tests clear hurdle. **The Detroit News**, 21 Dec. 2006.
- [509] COLLIER, J. G. GM's Lansing plants turn it around. **Detroit Free Press**, 18 Dec. 2006.
- [510] LATURNUS, T. The epitome of driver-friendliness. **The Globe and Mail (Canada)**, 28 Dec. 2006.
- [511] TIERNEY, C. Consumers take patriotism to heart, showroom. **The Detroit News**, 3 Jan. 2007.
- [512] ROBINSON, P. **Korean auto makers turn the table on European quality**. Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 3 Jan. 2007.
- [513] ANDERSON, S. **Lutz: GM market share about quality, not quantity**. Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 8 Jan. 2007.
- [514] Ford ranks high on consumer reports survey. **WXYZ-TV (ABC), Channel 7 (Detroit)**, 7 Jan. 2007.
- [515] POPE, B. **Ford's Codina out to change perceptions**. Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 18 Jan. 2007.
- [516] **US: Ford claims Super Duty QC improvement**. Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 18 Jan. 2007.
- [517] DHAFFR, N.; AHMAD, M.; BURGESS, B.; CANAGASSABABADY, S. Improvement of quality performance in manufacturing organizations by minimization of production defects. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v.22, ISS. 5-6, p.536-540. 15<sup>th</sup> International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Out-Dez. 2006.
- [518] McKINNON, B. Welcome to the big league. **Sydney Morning Herald**, 2 Fev. 2007

- [519] McKINNON, B. Hyundai Elantra. **Sydney Morning Herald**, 7 Fev. 2007.
- [520] **France: Renault recognizes supplier quality.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 6 Fev. 2007.
- [521] BRIGNALL, N. Car reliability. **The Guardian (UK)**, 3 Fev. 2007.
- [522] HYDE, J. Ford and GM praised in quality categories. **Detroit Free Press**, 1 Mar. 2007.
- [523] Kia gets soft-roof and top marks. **New Zealand Herald**, 1 Mar. 2007.
- [524] NAUMAN, M. Japanese cars dominate Consumer Report's picks. **San Jose Mercury News**, 2 Mar. 2007.
- [525] What is really the best car, truck? **Cleveland Plain Dealer**, 25 Fev. 2007.
- [526] **Germany: VW launches quality offensive.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 26 Fev. 2007.
- [527] POPE, B. **Ford quality VP cites progress in latest CR survey.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 7 Mar. 2007.
- [528] HAMMONDS, D. Ford Fusion offers affordable all-wheel drive. **Pittsburgh Post-Gazette**, 8 Mar. 2007.
- [529] SCHWEINSBERG, C. **Lexus predicts better scores in upcoming quality study.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em: 12 Mar. 2007.
- [530] RAUWALD, C.; POWER, S. VW's profit increases; CEO wagers on quality. **The Wall Street Journal**, 10 Mar. 2007.
- [531] CHOI, H. R.; KIM, S. J.; HAN, S. W.; LEE, S. H.; OH, Y. H.; LEE, U. K. Development of optimized actuator for active geometry control suspension. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-4049.
- [532] SHARMA, N. K.; RAGSDELL, K. M. Quality loss function – common methodology for nominal-the-best, smaller-the-better, and larger-the-better cases. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0797.
- [533] ESPINOSA, R. H.; DAS, S.; WEAVER, J. Simulation of warm forming assisted hemming to study the effect of process parameters on

- product quality. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1743.
- [534] DELOR, J. P.; WONG, J. Future truck steering effort optimization. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1155.
- [535] ANTANAITS, D. Diagnosing brake system compliance issues on the race track with system modeling and the Mahalanobis-Taguchi system. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0588.
- [536] MOVAHHEDY, M. R.; KHODAYGAN, S. Tolerance analysis of mechanical assemblies with asymmetric tolerances. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0407.
- [537] FEY, I.; STAXRMER, I. Quality assurance methods for model-based development: A survey and assessment. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-0506.
- [538] JIAN, W.; KONGHUI, G.; YULONG, L.; HUA, T. Support vector machine theory-based shift quality assessment for automated mechanical transmission (AMT). **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1588.
- [539] CUDNEY, E. A.; DRAIN, D.; RAGSDALL, K. M.; PARYANI, K. A comparison of techniques to forecast consumer satisfaction for vehicle ride. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1537.
- [540] HAN, L.; HEWITT, R.; SHERGOLD, M.; CHRYSANTHOU, A.; STEPINSKI, T. An evaluation of NDT for self-pierce riveting. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1364.
- [541] LU, M. W.; FORREST, M. D.; WANG, C. J. Model simulation study of central composite design and uniform design. **SAE 2007 World Congress**, Detroit, Michigan, USA, Abr-2007. 2007-01-1662.
- [542] **Ford says study shows quality on par with Toyota, Nissan.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em 18 Apr. 2007.
- [543] **Ford quality reports bolster consumer perception.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em 26 Apr. 2007.

- [544] Ford says quality on par with Toyota. **The Auto Channel**, 23 Apr. 2007.
- [545] Letters: Give US autoworkers credit for quality work. **Detroit Free Press**, 28 Apr. 2007.
- [546] HEAPS, R. Camry's secret is quality. **Washington Times**, 25 Mai. 2007.
- [547] **UK: Nanjing turns to Briton for MG quality.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 30 Mai. 2007.
- [548] Super Duty tops quality rankings. **Louisville Courier-Journal**, 5 Jun. 2007.
- [549] **Ford wins big in initial quality study.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em 6 Jun. 2007.
- [550] CHOI, H. Hyundai tops US car quality survey. **Korea Herald**, 6 Jun. 2007.
- [551] BHAT, A.; VASHISTH, A. K. Fuel economy: a Kaizen approach. **Symposium of International Automotive Technology - SIAT 2007**, Pune, India, USA, Jan-2007. 2007-26-024.
- [552] COLLIER, J. G. Reinvented Saturn boosts GM. **Detroit Free Press**, 4 Jun. 2007.
- [553] HALVORSON, B. Hyundai tops strategic vision TQI. **Car Connection**, 4 Jun. 2007.
- [554] **US: Hyundai tops new quality survey.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 5 Jun. 2007.
- [555] Letter: Auto good news prevails. **The Detroit News**, 14 Jun. 2007.
- [556] HOFFMAN, B. G. Ford launches ads, deals. **The Detroit News**, 14 Jun. 2007.
- [557] WALSH, T. New quality ratings lift Ford spirits. **Detroit Free Press**, 12 Jun. 2007.
- [558] **Germany: Mazda tops Auto Bild quality report again.** Disponível em: <<http://www.just-auto.com/>>. Acesso em: 11 Jun. 2007.
- [559] Mazda awarded first place in Auto Bild Magazine's quality report for third consecutive year. **The Auto Channel**, 18 Jun. 2007.

- [560] HOFFMAN, B. G. Ford sees new quality gains. **The Detroit News**, 21 Jun. 2007.
- [561] PETERSEN, D. E. Letter: At Ford, quality was our motto in the 1980s. **The Wall Street Journal**, 22 Jun. 2007.
- [562] SCHOENBERGER, R. Ford van quality fires up factory. **Cleveland Plain Dealer**, 19 Jun. 2007.
- [563] **Nissan North America quality never ending challenge.** Disponível em: <<http://www.wardsauto.com/>>. Acesso em 20 Jun. 2007.
- [564] Advanced Product Quality Planning (APQP) 3.2 manual. **Ford Motor Company**, Dearborn, Michigan, EUA, 2003.
- [565] PPAP 3<sup>th</sup> edition handbook – Production Part Approval Process, **Ford Motor Company**, Dearborn, Michigan, EUA, 2003.
- [566] MALUF FILHO, W. M. **Advanced Product Quality Planning Tire Specific manual.** Ford Motor Company Brazil – FSAO, São Bernardo do Campo, Brazil, 2005.
- [567] PPAP 4<sup>th</sup> edition and Phased PPAP handbook – Production Part Approval Process, **Ford Motor Company**, Dearborn, Michigan, EUA, 2006.
- [568] Tire Engineering Specification ES-XU5A-1508-AA Version IZ, **Ford Motor Company**, Dearborn, Michigan, EUA, 2006.
- [569] CRAWFORD, C. M. The hidden costs of accelerated product development. **Journal of Product Innovation Management**, n.9, p.188–199. 1992.
- [570] Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Handbook Version 4.1. **Ford Motor Company**, Dearborn, Michigan, EUA, 2007.
- [571] Reverse FMEA for Error Proofing Procedure, **Ford Motor Company**, Dearborn, Michigan, EUA, 2007.
- [572] Ford ISO/TS16949:2002 Specific Requirments, **Ford Motor Company**, Dearborn, Michigan, EUA, 2003.
- [573] Global SREA – Supplier Request for Engineering Approval handbook, **Ford Motor Company**, Dearborn, Michigan, EUA, 2006.
- [574] MSA – Measurment System Analysis handbook, **Ford Motor Company**, Dearborn, Michigan, EUA, 2004.

- [575] MONTEIRO, L. H. A. Justificativas e definições envolvendo sistemas dinâmicos. In: **Sistemas Dinâmicos**, 2002, Cap. 2, p.39–52.



## Capítulo 7: Apêndices

“A Ciência pode definir limites para o conhecimento, mas não deve definir  
limites para a imaginação”.

Bertrand Russel (1872-1970), autor, matemático e filósofo inglês.

## 7 Apêndice

Os apêndices são elementos opcionais que consistem em texto ou documento elaborado pelo autor, a fim de complementar sua argumentação, sem prejuízo da unidade nuclear do trabalho.

### 7.1 Apêndice A: Campanhas de serviço.

As campanhas de serviço são uma preocupação estratégica para as empresas automotivas pois têm o enorme potencial de depreciar sua imagem perante o mercado consumidor<sup>[6 a 10]</sup>, reduzir o valor das ações assim como causar grandes perdas financeiras diretas. As campanhas de serviço são de responsabilidade da montadora.

Bates et al.<sup>[11]</sup> explicam que um *recall* (termo inglês para definir campanha de serviço) ocorre quando a montadora convoca donos de veículos (que já foram vendidos e estão em uso) a trazerem os mesmos de volta às concessionárias para reparos devido a questões de segurança. Esses pesquisadores estudaram um banco de dados de 23 milhões de veículos registrados na Inglaterra entre 1992 e 2002. A análise dos dados aponta que existe uma tendência de aumento na incidência de campanhas de serviço. Nesse país, entre 1998 e 2002, cerca de 120 ocorrências foram registradas por ano enquanto que no período de 1992 e 1994 registraram-se apenas 50. Entre 1992 e 2002 11 milhões de carros foram convocados para alguma campanha o que representa 47% dos veículos registrados na Inglaterra nesse mesmo período. O artigo ainda sugere que o número de campanhas de serviço é um útil indicador do desempenho, qualidade e competência da montadora.

No Apêndice A as referências bibliográficas utilizadas para evidenciar o alto número de campanhas de serviço são posteriores a Outubro de 2005. Todas foram publicadas após o problema gerador do *recall* ter sido reconhecido e divulgado publicamente pela montadora em questão. Infelizmente os artigos referem-se apenas ao problema em si e não à sua causa raiz. O fato das causas raízes não serem encontradas em literatura aberta é bastante compreensível uma vez que constitui parte do processo de aprendizado das montadoras sendo portanto assunto confidencial.

A seguir apresentam-se em ordem cronológica as principais publicações referentes ao tema.

Em Outubro de 2005 a Toyota anunciou durante o *Tokyo Motor Show* seu maior *recall* até aquele momento. Cerca de 1,4 milhões de carros (16 modelos incluindo o Corolla) seriam convocados no mundo para troca de peças devido a um problema elétrico<sup>[12,13,14]</sup>. Outro problema foi anunciado pela mesma empresa nos EUA quando 71 mil veículos Scion produzidos entre 2005 e 2006 foram incluídos na convocação. O item em questão foi o defletor de vidro localizado próximo ao teto solar que poderia trincar se atingido por pequenos objetos provenientes da estrada<sup>[15]</sup>.

Em Novembro de 2005 a Toyota anunciou no Japão que mais de 246 mil veículos produzidos entre 1998 e 2005 seriam alvo de campanha por conta de uma provável corrosão em peças do motor<sup>[16]</sup>. Nesse mesmo mês a mesma empresa publicou uma convocação para mais de 1 milhão de carros que foram exportados por conta de um problema nos parafusos de fixação dos motores a Diesel<sup>[17]</sup>. A Honda publicou um edital<sup>[18]</sup> informando que os usuários de 25 mil Civics deveriam conduzir os automóveis a uma revenda autorizada para sofrerem troca obrigatório do pedal do acelerador. O mesmo havia sido instalado incorretamente nos Civics modelo 2006 e corria o risco de quebrar inadvertidamente o que aumentaria a velocidade e potencializaria os efeitos de um acidente.

Em Dezembro de 2005 o governo norte americano apresentou registros<sup>[19,20]</sup> nos quais o número de veículos da fabricante Toyota envolvidos em campanhas havia dobrado em comparação com 2004. Na China a montadora iniciou uma campanha de serviço em 351 *Sport Utility Vehicles (SUV)* do tipo Land Cruiser Prado<sup>[21]</sup> pois as etiquetas de instrução dos bancos estavam escritas em inglês ao invés de serem redigidas em chinês como prevê a regulamentação governamental daquele país. Já a Ford informou que peças de reposição que seriam usadas na campanha de troca de 3,8 milhões de pickups e SUVs não estariam disponíveis a tempo devido a um atraso de produção. Os carros Ford F150, Expedition, Bronco e Lincoln Navigator tinham risco de incêndio no motor devido à má qualidade do dispositivo de controle de velocidade do piloto automático<sup>[22]</sup>.

Em Janeiro de 2006 os jornais dos EUA Detroit Free Press<sup>[23]</sup> e Automotive News<sup>[24]</sup> constataram que o número de veículos envolvidos em campanhas para conserto de problemas de segurança havia caído drasticamente no ano de 2005 em todas as montadoras exceto na Toyota e Ford. Ambas haviam convocado mais de 1 milhão de veículos a mais em 2005 do que em 2004. Em 2004 a indústria automotiva registrou recorde negativo ao ter quase 31 milhões de produtos envolvidos em campanhas de serviço.

Em Fevereiro de 2006 a Toyota voluntariamente<sup>[25]</sup> lançou uma convocação em conjunto com a NHTSA a fim de reparar o cinto de segurança em cerca de 4 mil Lexus RX330 modelo 2004.

Em Março de 2006 dois dos mais importantes fabricantes japoneses Nissan e Toyota iniciaram<sup>[26]</sup> uma campanha afetando 173 mil automóveis sendo que a última repararia 26 mil unidades devido a cintos de segurança defeituosos. Na época o presidente da Toyota na Europa Shinichi Sasaki<sup>[27]</sup> afirmou que a alta complexidade dos projetos e não a queda de qualidade seria a responsável pelo aumento dos *recalls*.

Em Abril de 2006 a Toyota anunciou<sup>[28]</sup> que 57 mil veículos Lexus espalhados globalmente sofreriam reparos obrigatórios por causa de peças defeituosas que compunham o cinto de segurança. Órgãos de regulação de segurança dos EUA anunciaram<sup>[29]</sup> que caminhonetes Tundra modelo 2004 produzidas pela Toyota estavam sendo investigadas. A causa principal do *recall* iniciado em 2004, que envolveu 790 mil veículos, foi um defeito no sistema de direção. Hudson<sup>[30]</sup> publica um artigo propondo uma interessante indagação uma vez que o número de campanhas veiculares não havia diminuído: estariam os veículos sendo produzidos com má qualidade ou as montadoras teriam melhorado seus sistemas de detecção? A autora ainda constata que a Toyota produz significativamente mais veículos do que antes porém a taxa de campanhas não havia aumentado. Enquanto modelos produzidos pela Jaguar, Peugeot, Mitsubishi, Ford, Holden e Land Rover teriam experimentado aumento nesse indicador.

Em Maio de 2006 a Toyota anuncia<sup>[31,32]</sup> que planejava uma convocação de mais de mil Lexus na China devido a problemas no cinto de segurança, mais de 210 mil unidades globalmente da Land Cruiser Prado por conta de

eixos traseiros defeituosos<sup>[33]</sup> e quase 1 milhão do seu veículo híbrido Prius devido a um problema no sistema de direção<sup>[34,35]</sup>. Nesse último mais da metade dos carros estava no Japão.

Em Junho de 2006 a Honda convocou no Japão mais de 480 mil automóveis com problemas no sistema de ignição<sup>[36]</sup>. Outros 77 mil produtos de exportação do mesmo modelo também foram afetados. A Chrysler<sup>[37]</sup> publicou o edital para que 131 mil Jeep Grand Cherokee com problemas no motor fossem reparados. Foi a segunda campanha anunciada em um período de apenas 2 dias. Um artigo muito interessante é publicado na Forbes por Muller e Fahey<sup>[38]</sup>. Os autores afirmam que os consumidores da Toyota não pareciam se afetar pelo alto número de problemas de qualidade da montadora nos últimos anos. Segundo eles em 2005 a empresa teve 2,2 milhões de veículos envolvidos em 12 campanhas nos EUA. Esse número equivalia a 10% dos veículos que a Toyota produziu e se encontravam nos EUA. Além disso era o dobro dos carros que experimentaram uma campanha de serviço no ano anterior. E ainda assim a empresa apresentou dominância na renomada pesquisa inicial anual de qualidade realizada por J. D. Power & Associates publicada naquele mês. O fato foi reforçado pelo artigo publicado no Sydney Morning Herald<sup>[39]</sup>. A reputação de qualidade da Toyota parecia não se abalar perante seus clientes nos EUA. Ainda em Junho de 2006 a GM experimentou 30 campanhas afetando 5,1 milhões de unidades enquanto a Ford apresentou 17 que impactaram 6 milhões de automóveis. Nesse mesmo mês a montadora japonesa anunciou o *recall* de 160 mil carros do tipo Tundra devido a problemas no *airbag*<sup>[40,41]</sup> e 24 mil veículos no Japão em consequência de problemas na suspensão traseira<sup>[42]</sup>. A corte de apelo federal dos EUA definiu alguns padrões para a agência de segurança que permite as montadoras limitar o escopo das campanhas por regiões<sup>[43]</sup> afetadas.

Em Julho de 2006 a Toyota publica algumas campanhas. Em uma delas mais de 367 mil veículos SUVs sofreriam reparos nos EUA pois uma peça no console frontal poderia se desprender e interferir com o pedal do acelerador<sup>[44,45,46]</sup>. Em outro 420 mil veículos globalmente deveriam ter uma peça no motor trocada<sup>[47]</sup>. Ocorreu uma investigação policial nos EUA na SUV Hilux<sup>[48]</sup>. Outra campanha da Toyota abrangia cerca de 200 mil veículos

Corolla Verso, fabricados na Turquia, com problemas no dispositivo que controla a operação do *airbag* dianteiro<sup>[49]</sup>.

Em agosto de 2006, a NHTSA atualizou uma investigação relacionada a desgastes excessivos em componentes da suspensão dianteira de picapes Toyota Tundra fabricadas em 2003 e 2004<sup>[50]</sup>. Cerca de 220 mil veículos estavam sob investigação. A NHTSA ainda estava revisando a campanha realizada pela Toyota de 775 mil picapes e investigando a possível falha de um dispositivo de segurança na *minivan* Sienna<sup>[51]</sup>.

Os custos de uma campanha de serviço podem atingir milhões de dólares, dependendo da extensão do problema, da complexidade do reparo e de quantos veículos estão afetados. Para os consumidores, o aborrecimento pode variar do incômodo de ficar sem o veículo durante um dia atarefado até a rejeição da marca para compras futuras. Mas, sob a ótica das empresas, tais campanhas não são tão ruins quanto o embaraço que eles trazem. Em alguns raros eventos jornalistas considerados especialistas do setor automotivo as vêem como algo positivo<sup>[52]</sup> uma vez que poderia mostrar ao consumidor que a empresa reconhece seus erros. Tal opinião não é compartilhada pelo autor dessa tese de doutorado. A experiência adquirida até então leva a crer que a maioria dos consumidores instruídos valorizaria a qualidade e a ausência de problemas em detrimento a se sentir feliz ao notar que a montadora reconhece em público suas falhas.

Em algumas publicações<sup>[53,54]</sup> sistema de campanhas de serviço tem sua eficiência e eficácia questionadas em relação a sua habilidade em prevenir e diminuir suas ocorrências. Há quarenta anos atrás apontava-se que as OEMs não realizavam *recalls*. Atualmente, dificilmente passa-se um mês sem que uma empresa importante do setor não anuncie uma campanha de reparo. Também questiona-se se os custos dos *recalls* compensariam seus benefícios<sup>[53]</sup>. Por outro lado, afirma-se que a NHTSA nunca assumiria que os custos das campanhas não compensam seus benefícios<sup>[54]</sup>. Tais publicações desconsideram que a segurança dos motoristas e passageiros deve ser item inegociável e portanto não devem ser poupados esforços para preservá-la em quaisquer circunstâncias.

Ainda em agosto de 2006, a VW anunciou o *recall* de cerca de 40 mil veículos fabricados no Brasil e na Argentina<sup>[55]</sup>.

A Chrysler anunciou 16 *recalls* até o primeiro semestre de 2006 totalizando cerca de 1,8 milhões de veículos. O aumento do número de campanhas foi destacada na imprensa<sup>[56]</sup>.

Constatou-se que em 2005 as campanhas da Toyota nos EUA afetaram 2,4 milhões de veículos. Esse montante é superior ao número de veículos que haviam sido vendidos nesse país no mesmo período (2,3 milhões). Executivos da companhia estavam sob investigação por falharem em remediar um componente do sistema de direção que resultou em acidentes fatais<sup>[57]</sup>.

Em setembro de 2006, os distribuidores de veículos Chrysler estiveram impedidos de vender picapes Dodge RAM até que a companhia providenciasse a substituição de peças defeituosas<sup>[58,59]</sup>. A Toyota anunciou a convocação de cerca de 180 mil veículos com problemas nos eixos motrizes dianteiros<sup>[60]</sup>.

Em outubro de 2006 a Honda anunciou um edital de convocação abrangendo 240 mil veículos Life, Odyssey e Civic<sup>[61]</sup>. Autoridades governamentais dos EUA obrigaram a Toyota a modificar a campanha na qual 157 mil veículos Tundra foram convocados para reparos em função de uma violação dos padrões de segurança para crianças. As autoridades afirmara que a proposta do fabricante de remover a chave de desligamento manual do *airbag* seria insuficiente<sup>[62]</sup>. A Ford anunciava o *recall* de mais de 150 mil veículos devido a transmissões defeituosas (2005 Ford Five Hundred e Mercury Montego e 2005-06 Freestar)<sup>[63]</sup>. Ainda nesse período a imprensa norte-americana relatou que os trabalhadores japoneses mostravam-se preocupados com o crescente número de campanhas realizadas pela indústria japonesa. O presidente da Toyota, Sr. Watanabe, teria ordenado que todos os estágios do desenvolvimento e produção fossem revistos, em prol da melhoria da qualidade<sup>[64]</sup>.

Em novembro de 2006, a VW americana anunciou a convocação de modelos Passat fabricados em 2006 e 2007. Os problemas também levaram à implantação de um programa de inspeção nos distribuidores dessa montadora instalados na Europa<sup>[65]</sup>. No mercado dos EUA 62 mil veículos apresentaram falhas no limpador de pára-brisas e no sistema de freio<sup>[66]</sup>. A Volvo da Austrália

anunciava que os veículos desse mercado não estavam sujeitos a campanha anunciada nos EUA de 360 mil veículos. Muitos consumidores contataram a imprensa sobre problemas de ruído nos motores australianos, mas a Volvo insistiu que o módulo de controle eletrônico do motor, trocado nos EUA, não era responsável pelo eventual problema detectado na Austrália<sup>[67]</sup>. No Japão, foi relatado que os fabricantes de automóveis atrasavam em relatar e assumir para as agências de governo a necessidade de uma campanha de serviço<sup>[68]</sup>. O governo dos EUA anunciou quatro *recalls* que afetavam 300 mil veículos. Mais da metade eram Volvos fabricados entre 1999 e 2002. Os demais haviam sido produzidos pela Chrysler e Ford<sup>[69]</sup>. O governo da Coreia do Sul constatou que dos 10 mil veículos importados envolvidos em campanhas recentes, mais da metade eram de fabricação da Toyota<sup>[70]</sup>. A Holden anunciou a segunda campanha em quatro semanas do veículo Commodore. 13 mil veículos foram afetados por causa do funcionamento incorreto da mola dos cintos de segurança traseiros<sup>[71]</sup>.

Em dezembro de 2006, a Toyota anunciou que conseguiu reduzir o número de veículos envolvidos em campanhas em mais da metade, em comparação aos números de 2005. Apesar dessa evolução houve o anúncio nesse mês do *recall* de 220 mil SUVs<sup>[72]</sup>.

Em janeiro de 2007 a Toyota confirmou a convocação para reparos de meio milhão de veículos Tundras e Sequoia, anos 2004 a 2006<sup>[73,74,75,76]</sup>. Tal evento estimulou discussões sobre o comprometimento da imagem de qualidade da companhia, sobre qual as vendas são principalmente alavancadas<sup>[77]</sup>. E apesar dos números, a Toyota anunciava que outros fabricantes de automóveis não estavam perto de igualar o padrão de qualidade das empresas japonesas<sup>[78]</sup>.

Em fevereiro de 2007, a Honda emitiu um edital global para o Civic híbrido após falhas eletrônicas terem ocorrido em seus veículos<sup>[79]</sup>. Cerca de 45 unidades estavam envolvidas nesse evento<sup>[80]</sup>.

Em março de 2007 a Toyota anunciou uma campanha de serviço em 137 mil Land Cruiser e Lexus 4WD, devido a um problema nos parafusos de retenção do sistema de freio dianteiro. O mesmo foi descoberto durante a manutenção preventiva de diversos veículos<sup>[81]</sup>. A Honda anunciou uma



campanha de serviço de cerca de 530 mil veículos produzidos na China, para solucionar problemas na tubulação da direção hidráulica, nas bombas e nos relés das bombas de combustível<sup>[82]</sup>. O problema no relé das bombas de combustível também afetou 166 mil veículos nos EUA e 11 mil no Canadá em sete modelos diferentes<sup>[83]</sup>. A DaimlerChrysler AG anunciou uma campanha de serviço para 478 mil veículos Dodge Durango e Jeep Liberty, devido a problemas no sistema de ar-condicionado e no circuito eletrônico no painel de instrumentos<sup>[84]</sup>. A Nissan anunciou um *recall* massivo de cerca de 1 milhão de veículos Micras fabricados na planta britânica, devido a problemas no tanque de combustível<sup>[85]</sup>.

Em abril de 2007 a Volvo anunciou uma campanha de serviço em diversos modelos com problemas de arrefecimento no motor que poderiam causar incêndios nos veículos<sup>[86]</sup>.

Em maio de 2007 é anunciado que a Mazda enfrentará seu maior *recall* no Japão, incluindo veículos exportados para a Ásia e Pacífico<sup>[87]</sup>.

Em junho, a Toyota anunciava que estaria avaliando a possibilidade de realizar uma campanha de serviço em sua nova picape Tundra. A mesma era vendida no mercado norte-americano e apresentou problemas no motor. Segundo a publicação tal postura poderia arruinar a reputação de qualidade da Toyota no mercado dos EUA<sup>[88]</sup>. A Nissan faria a convocação para reparos de 92 mil veículos, de vários modelos, no mercado japonês. Os problemas detectados estavam associados ao sistema de embreagem e ao revestimento dos bancos<sup>[89]</sup>. Na Austrália, Ford, Toyota e Holden anunciaram o *recall* de 200 mil, 134 mil e 12 mil veículos, respectivamente, com problemas nos sistemas de freio<sup>[90]</sup>.

Ainda em junho de 2007, a Ford anunciou uma campanha de serviço de 37,5 mil veículos Super Duty por causa de problemas no sistema de escapamento. Os veículos a serem reparados receberiam novo *software* de controle que alertaria o motorista do problema e reduziria o volume de combustível enviado ao motor<sup>[91]</sup>. Até Julho de 2007, o contexto de campanhas de serviço no mercado norte-americano era o seguinte<sup>[92]</sup>:

- ✓ Ford estava convocando proprietários de mais de 500 mil veículos Escape 2001-04, devido a problemas de incêndio no motor ligados a problemas de corrosão nos conectores dos freios ABS.
- ✓ Honda estava convocando proprietários de 166 mil veículos Accord 2005, Odyssey 2005, Ridgeline 2006 e 2005 Acura a fim de reparar falhas no relé da bomba de combustível.
- ✓ Chrysler estava convocando proprietários de cerca de 480 mil veículos Dodge Durango 2004-06 e Jeep Liberty 2006-07 para reparos no sistema de ar-condicionado e nos circuitos do painel de instrumento, e 11 mil Dodge Avenger modelo 2008 para modificação das travas da porta dianteira.
- ✓ Ford estava convocando proprietários de 110 mil Crown Victoria 2003-05, modelo viatura de polícia, devido a trincas nas rodas de aço, que podem ocasionar rápida perda de ar dos pneus, e 155 mil unidades de diversas picapes e SUVs, para reparos na chave de controle do sistema de velocidade de cruzeiro.
- ✓ GM estava convocando proprietários de cerca de 13 mil, praticamente todos, Saturn Outlook 2007 e Acadia SUVs devido a problemas no *airbag* dianteiro, que podem falhar em inflar numa colisão.
- ✓ VW estava convocando proprietários de cerca de 800 mil Golfs 1999-06, Jettas 2001-05, Beetles 2001-07 e R32s 2004 devido a problemas na chave da luz-freio central.
- ✓ Chrysler estava convocando proprietários de cerca de 86 mil Dodge Rams 2006 devido à insuficiência de graxa nos rolamentos do eixo dianteiro.
- ✓ Toyota estava convocando proprietários de mais de meio milhão de picapes Tundra 2004-06 de Sequoias 2004-07 devido a problemas potenciais no sistema de direção.
- ✓ Chevrolet estava convocando proprietários de 100 mil veículos Cobalt 2005-06 a fim de atualizar o sistema de proteção de cabeça em impactos.
- ✓ Honda estava convocando proprietários de 81 mil veículos Accord 2004-05 devido à falhas potenciais de um sensor do sistema de *airbag*.
- ✓ Chevrolet estava convocando proprietários de 100 mil veículos Cobalt 2005-06 a fim de atualizar o sistema de proteção de cabeça em impactos.

✓ Honda estava convocando proprietários de 81 mil veículos Accord 2004-05 devido à falhas potenciais de um sensor do sistema de *airbag*.

Em Janeiro de 2008, o número de veículos automotores (incluindo automóveis de passageiros, caminhões leves e pesados, ônibus, *motor-home*, motocicletas) envolvidos em campanhas de serviço nos EUA era de 263184. As 10 principais empresas estavam distribuídas conforme a figura 7.1 e a tabela III.

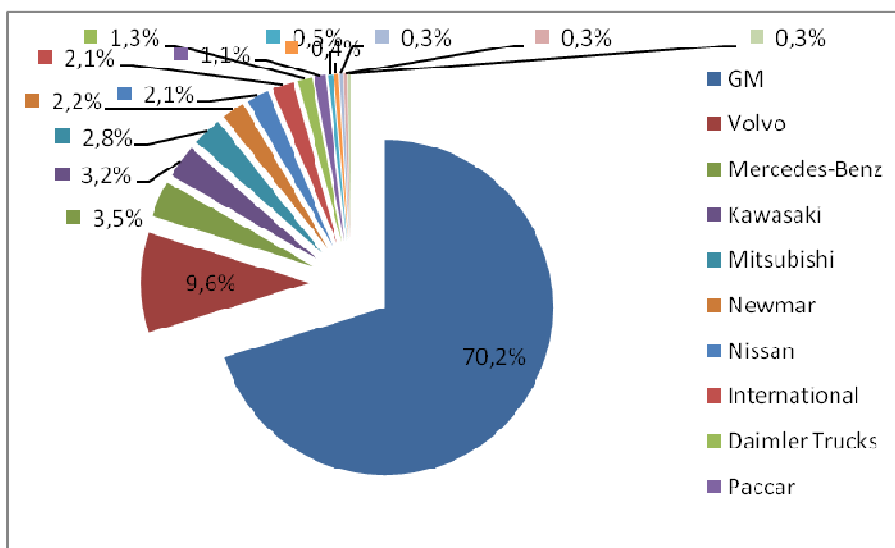


Fig. 7.1: Veículos envolvidos em campanhas de serviço nos EUA em Janeiro de 2008.

Fonte: *Safety defect/no compliance notices received during January 2008*. Publicado e disponível no site do Dot: [www.dot.gov](http://www.dot.gov)

Tabela III – Veículos envolvidos em campanhas de serviço nos EUA em Janeiro de 2008.

Montadora	Veículos
1. GM	181516
2. Volvo	24900
3. Mercedes-Benz	9004
4. Kawasaki	8256
5. Mitsubishi	7340
6. Newmar	5701
7. Nissan	5523
8. International	5387
9. Daimler Trucks	3453
10. Paccar	2794

Fonte: *Safety defect/no compliance notices received during January 2008*. Publicado e disponível no site do Dot: [www.dot.gov](http://www.dot.gov).

Em Fevereiro de 2008, no mercado brasileiro três casos atraíram a atenção da mídia. O jornal O Estado de São Paulo<sup>Ψ</sup> publicou 4 matérias envolvendo grandes montadoras. A primeira delas era sobre o veículo compacto Fox produzido pela VW. Segundo o jornal a montadora estava sofrendo uma investigação do Ministério da Justiça em função de acidentes sofridos por usuários ao acionar o mecanismo existente para ampliar o espaço do porta-malas. Na ocasião a montadora reconhecia a possibilidade da falha porém afirmava que a mesma só ocorreria em caso de desrespeito do usuário aos procedimentos descritos no manual. Caso fosse confirmada a necessidade de uma campanha de serviço a montadora seria obrigada a convocar os proprietários de pelo menos 500 mil veículos. Na mesma edição havia outro artigo referindo-se a picapes Pantanal produzidos pela Troller. Esse fabricante de jipes foi adquirido pela Ford em 2007. Segundo a montadora, existia o risco do surgimento e propagação de trincas nos chassis o que poderia comprometer a integridade dos mesmos. O ineditismo desse evento reside no fato de que a montadora não iria promover reparos nos veículos. Os mesmos seriam recomprados junto aos proprietários para posterior destruição. Até essa ocasião foi a primeira vez em que houve a recompra dos automóveis. Dias depois duas montadoras de veículos de luxo que não possuíam fábrica no Brasil anunciaram campanhas de serviço em veículos que circulavam no mercado nacional. A Porsche iria convocar um número até então desconhecido de proprietários do Cayenne para um reparo no sistema de distribuição de combustível. Já a Land Rover convocaria 796 usuários do veículo Freelander 2 devido à necessidade de consertos nos tetos solares.

Todos esses eventos descritos acima denotam que todas as empresas experimentaram sérios problemas de qualidade independente do preço do veículo ou até mesmo da sua reputação.

---

<sup>Ψ</sup> A notícia relativa ao VW Fox e à Troller Pantanal foram publicados em 16 de Fevereiro de 2008 no caderno de economia, página B10. Já a notícia sobre as campanhas de serviço da Porsche Cayenne e da Land Rover Freelander 2 foram publicadas em 19 de Fevereiro de 2008 no caderno de negócios, página B17.

## **7.2 Apêndice B: Atrasos de lançamento.**

Em novembro de 2005, VW anunciava que atrasaria em dois meses o lançamento do veículo Eos, previsto para março de 2006, devido a questões de qualidade<sup>[93]</sup>.

Em maio de 2006, Volvo e Pininfarina anunciaram que otimizariam a qualidade do modelo C70 antes da produção em larga escala. Para tanto iriam postergar o lançamento<sup>[94]</sup>. A Ford negou, apesar dos relatórios não oficiais, que lançamento da Super Duty estivesse atrasado em função de problemas potenciais de qualidade<sup>[95]</sup>.

Em junho de 2006, Land Rover anunciava atraso de lançamento em seus veículos em função de problemas com os sistemas de controle de estabilidade<sup>[96]</sup>.

Em agosto de 2006, jornalistas anunciaram que a Toyota atrasaria o lançamento de alguns modelos em 6 meses, devido ao excesso de problemas de qualidade<sup>[97,98]</sup>. Em contrapartida a Toyota, apesar de reconhecer os problemas, anunciava que não reduziria o ritmo de lançamentos de maneira geral<sup>[99]</sup>.

## **7.3 Apêndice C: Impedimentos de embarque – *Stop Shipment*.**

No conjunto de artigos estudados apenas em maio de 2007 foi encontrada referência sobre impedimentos de embarque. A mesma referia-se ao lançamento do carro que poderia em breve ser o mais vendido da Austrália. O lançamento teve um início difícil, quando a Toyota descobriu uma falha no sistema de direção do Corolla. Embarques do novo modelo foram cancelados ao mesmo tempo em que a companhia procurava a causa raiz do problema. Esse foi descoberto quando os carros eram descarregados dos navios após a viagem para o Japão. O problema na direção foi um severo embaraço para a Toyota, que tornou-se o maior fabricante mundial de veículos, fundamentada na reputação de qualidade dos seus produtos<sup>[100]</sup>.

## **7.4 Apêndice D: Custos de garantia.**

Nesse apêndice a revisão cronológica é novamente feita de outubro de 2005 em diante.

Em novembro de 2005, a Business Development & Marketing garantiu os direitos europeus de distribuição de um sistema que poderia ajudar os fabricantes de veículos e distribuidores a identificarem tendências futuras de garantias e previsão de custos<sup>[101]</sup>. Alguns pesquisadores brasileiros afirmaram que as extensões de garantia poderiam significar um diferencial no mercado, e que os dados coletados no serviços de garantia poderiam apontar ações de correção e prevenção. Um modelo foi apresentado relacionando o aumento de qualidade com os dados provenientes do campo<sup>[102]</sup>.

Em março de 2006, jornalistas do setor automotivo apontavam que melhorias na qualidade dos veículos não ocorreriam enquanto avanços nos sistemas eletrônicos não estivessem disponíveis. Afirmaram que a confiabilidade dos produtos estaria no mesmo patamar desde 2002, e o que as empresas japonesas eram líderes com 12 falhas a cada 100 veículos produzidos<sup>[103]</sup>. Tais empresas ainda levavam vantagem sobre os competidores, pois procuravam aumento de confiabilidade nos dispositivos eletrônicos embarcados<sup>[104]</sup>. A Suzuki afirmou que teria a melhor garantia do mercado norte-americano, com 7 anos ou 100 mil milhas abrangendo o trem de força. Por sua vez a Hyundai afirmou ter o melhor sistema ao oferecer a seus clientes a garantia de 10 anos ou 100 mil milhas, porém limitada ao primeiro proprietário<sup>[105]</sup>.

Em abril de 2006 Dey et al.<sup>[106]</sup> apresentaram um procedimento para simulação e predição de confiabilidade de sistemas reparáveis. Tal sistema permitia que fosse possível prever a confiabilidade de um sistema a partir dos dados dos componentes integrantes ou, contrariamente, determinar a confiabilidade necessária para um componente, dada a confiabilidade desejada para o sistema.

Em maio, problemas com garantia estendida foram apontados por Baukus<sup>[107]</sup>, especialmente quando as companhias ligadas ao fornecimento de tal garantia solicitam falência. A Honda decidiu aumentar a durabilidade da bateria de seu veículo híbrido, devido à possibilidade de falha prematura<sup>[108]</sup>. Tal veículo foi considerado como o veículo mais eficiente disponível no do mercado norte-americano em termos de consumo de energia.

Em julho, Ford do Canadá anunciava que estenderia a garantia do trem de força de suas picapes e SUVs para 100 mil km ou cinco anos<sup>[109]</sup>. Os jornalistas do setor automotivo discutiam sobre o fato da garantia de veículos híbridos depender do local onde o usuário morasse nos EUA. O exemplo citado no artigo comparava a seguinte situação: em Ohio, a garantia para o sistema híbrido de um Toyota Camry era de 8 anos ou 100 mil milhas. Na Califórnia ou estados do Nordeste era de 15 anos ou 150 mil milhas, exceto para as baterias, que era de 10 anos ou 150 mil milhas<sup>[110]</sup>.

Em setembro de 2006, a GM anunciava que estenderia a garantia do trem de força para 100 mil milhas ou cinco anos, para toda a linha de carros e picapes, nos EUA e Canadá<sup>[111,112]</sup>. A GM ainda afirmou que o incremento nos prazos de garantia não era possível apenas devido a melhorias no sistema de qualidade, mas também aos bilhões de dólares obtidos em ações de redução de custos<sup>[113]</sup>. A KIA anunciava a melhor garantia no mercado europeu: 7 anos ou 150 mil km, para a linha Ceed<sup>[114,115]</sup>, e, posteriormente, recebia o prêmio da revista Autocar pela iniciativa<sup>[116]</sup>. A entrevista de um analista financeiro de mercado automotivo publicada em um jornal de Chicago apontava que há alguns anos o consumidor era atraído por taxas nulas de financiamento e grandes descontos. Agora, os novos atrativos seriam as garantias de longa duração<sup>[117]</sup>.

Em outubro de 2006 a Ford decidiu desfazer-se do negócio de garantia estendida conhecida como APCO<sup>[118]</sup>. A Hyundai estendeu a garantia dos veículos para o final de 2010, cobrindo cerca de 2,8 milhões de unidades<sup>[119]</sup>. Majeske<sup>[120]</sup> apresentou um modelo de predição de processo de Poisson não homogêneo (NHPP). Tal modelo permite predizer o número de unidades reclamadas de uma frota de veículos em um prazo de 3 a 5 anos após a venda, a partir dos dados coletados nos primeiros sete meses de vida da frota.

Em novembro de 2006 a Mitsubishi introduziu no Canadá garantias de longa duração como forma de melhorar a percepção da marca pelo mercado<sup>[121]</sup>.

Em dezembro a Subaru divulgava que a garantia de seus veículos não seriam invalidadas se o usuário instalasse acessórios permitidos.

Adicionalmente, a própria empresa comprometeu-se a instalar os mesmos com o objetivo de aproximar-se de seus clientes<sup>[122]</sup>.

Em janeiro de 2007 Rinsaka e Sandoh<sup>[123]</sup> divulgavam um modelo estocástico de predição dos custos de um sistema de garantia estendida na qual o fabricante propunha-se a substituir o sistema na primeira ocorrência de uma falha. Nas falhas subseqüentes o sistema apenas receberia reparos mínimos até o término da garantia.

Em fevereiro de 2007, a GM anunciava que muitos dos seus veículos usados receberiam garantia de 5 anos. O mesmo anúncio era esperado da divisão Saturn<sup>[124,125]</sup>. Manna, Pal e Sinha<sup>[126]</sup> apresentavam um modelo para predição do custo da garantia considerando a influência da taxa de uso sobre a vida do sistema.

Em março de 2007, na Austrália, a Hyundai aumentava sua garantia para 5 anos, sem limite de distância percorrida. A Hyundai afirmava que as reclamações durante a garantia diminuiriam 57% nos últimos 5 anos<sup>[127]</sup>. O canal de televisão Fox<sup>[128]</sup> apresentou uma reportagem sobre veículos usados no mercado dos EUA. Os veículos Lincoln Town Car, Buick Regal, Honda Accord, Nissan Pathfinder, e Toyota 4Runner foram considerados os carros usados mais confiáveis. Os menos confiáveis foram Lincoln Navigator, Chevy Blazer, Jeep Grand Cherokee, Oldsmobile Cutlass e VW New Beetle. Similar ao artigo<sup>[107]</sup> publicado em maio de 2006 Banks<sup>[129]</sup> escreveu sobre problemas com garantia estendida ocasiões que as companhias ligadas ao fornecimento de tal garantia apresentam problemas financeiros requisitam pedido de falência.

Em maio de 2007, a GM admitiu que, embora os índices de qualidade tenha aumentado, a marca continuava com uma má reputação no mercado<sup>[130]</sup>. A Hyundai anunciava no mercado americano a garantia de 10 anos ou 100 mil milhas para o trem de força, para veículos usados certificados<sup>[131]</sup>.

Em junho, a GM e a Ford discutiram os custos da garantia e a maneira como os mesmos afetavam os negócios<sup>[132]</sup>. A Chrysler anunciava que aumentaria a cobertura da garantia dos seus veículos para melhor competir com as garantias ofertadas pela Hyundai e GM<sup>[133,134]</sup>.



## **7.5 Apêndice E: Outros problemas e questões relacionadas à qualidade e confiabilidade de veículos terrestres automotores e seus subsistemas.**

Além dos problemas citados anteriormente – campanhas de serviço, atrasos de embarque e questões de garantia – há episódios sistemáticos de falhas no sistema de qualidade. Usualmente são problemas de pequena monta, mas que normalmente geram perturbação e desconforto para o usuário além de possuir a capacidade de afetar a reputação das OEMs no mercado.

Como ilustração, relatam-se os seguintes casos:

Em outubro de 2005, a Toyota notificou seus clientes que os veículos híbridos da série Prius poderiam sofrer pane completa quando em movimento<sup>[135,136]</sup>. A NHTSA divulgou que recebeu reclamações de usuários de Prius com a essa pane contudo quando o veículo era conduzido em altas velocidades<sup>[137]</sup>. O presidente da Honda admitiu que a versão fabricada na China do veículo Fit, que era exportado para Europa, apresentava problemas de acabamento<sup>[138]</sup>. Um relatório de consumidores apontava que 4 de 5 veículos produzidos na nova planta da Nissan nos EUA apresentavam a pior avaliação em termos de confiabilidade. Outros veículos citados no relatório eram os Ford Five Hundred e Freestyle<sup>[139,140]</sup>. A Ford anunciava que, apesar dos esforços em melhoria da qualidade dos veículos, os custos relacionados à qualidade aumentaram de meio bilhão de dólares em relação ao ano anterior<sup>[141]</sup>.

Em novembro de 2005, a ZF alemã anunciou que milhares de veículos equipados com suas transmissões automáticas deveriam ser inspecionados. A abrangência da ação foi global<sup>[142]</sup>. A associação britânica de fabricantes de veículos demonstrou preocupação com a confiabilidade dos veículos produzidos no arquipélago<sup>[143]</sup>.

Em janeiro de 2006, uma pesquisa<sup>[144]</sup> junto a consumidores no mercado norte-americano apontavam que a baixa percepção de qualidade dos veículos Ford e GM não era o único fator que trazia dificuldades a esses fabricantes. Tal fato corroborava com a constatação feita pela Harbour Consulting que a qualidade ruim dos carros norte-americanos não era a única causa do declínio na participação de tais veículos no mercado<sup>[145]</sup>. A Mercedes-Benz, Ford e GM

tentavam eliminar problemas de qualidade de seus veículos, de maneira a melhorar suas imagens perante aos consumidores norte-americanos, mas esses ainda acreditavam que os fabricantes japoneses possuíam melhor desempenho de qualidade<sup>[6]</sup>.

Em abril de 2006, um artigo do Cleveland Plain Dealer revelava uma espécie de ironia em relação aos últimos problemas de qualidade verificados nos veículos comercializados nos EUA. O artigo citava Lincolns e Acuras com conversores de torque defeituosos, Cobalts e Toyotas que não ligavam<sup>[146]</sup>. Uma interessante carta publicada no Detroit Free Press relatava a desistência de um consumidor em relação a aquisição de veículos produzidos pela GM. O autor relatava que seu veículo sempre apresentou problemas. Durante o período de garantia a GM o consertou porém, após o término da mesma, o proprietário arcou com os custos dos reparos<sup>[147]</sup>. A Ford interrompeu a produção em 7 fábricas em função de peças defeituosas<sup>[148]</sup>. A Toyota anunciou ter descoberto um problema na transmissão do seu veículo Camry, antecipando que a quebra pode ocorrer em 160 dos 32 mil vendidos no início de 2006<sup>[149]</sup>.

Em maio de 2006, um problema na suspensão do novo Volvo S40, construído sobre uma plataforma Mitsubishi, levou a recordes de reparos pós-venda<sup>[150]</sup>.

Em junho de 2006, jornalistas relatavam problemas de vazamento de óleo nos motores do Honda Civic e leituras errôneas nos instrumentos do Toyota Camry<sup>[151]</sup>. O NHTSA iniciou uma investigação sobre o problema de quebra súbita do teto-solar de veículos Scion Tc da Toyota. Tal problema era suspeito de ter causado vários acidentes com ferimentos graves em passageiros<sup>[152]</sup>. O ministério de transporte japonês solicitou que a Toyota melhorasse seu sistema de gerenciamento de defeitos em veículos<sup>[153,154,155]</sup>.

Em julho de 2006, um sistema de divulgação de problemas em produtos, incluindo problemas de segurança em veículos, foi lançado na Europa. Tal sistema permitiria que informações fossem rapidamente divulgadas, sem atraso, a todos os membros da comunidade européia<sup>[156]</sup>.

Em agosto de 2006, os executivos de montadoras americanas reclamaram que os problemas de qualidade dos veículos domésticos eram

muito mais duramente julgados que os problemas dos fabricantes estrangeiros, especialmente os da Toyota<sup>[157]</sup>. Os jornalistas relatavam que a durabilidade dos carros havia aumentado. Entretanto que muitas vezes, os fabricantes norte-americanos falhavam em acompanhar essa tendência. Para o Ford Mercury, por exemplo, a cada 100 veículos havia 151 problemas relatados<sup>[158]</sup>. Ainda nesse mês, uma pesquisa de confiabilidade no mercado britânico apontava o Honda Fit como o veículo mais confiável, e o Ford Focus como o menos confiável<sup>[159]</sup>. A Toyota, ao mesmo tempo em que ultrapassava a GM como o maior fabricante mundial de veículos, sofria com o crescente aumento de problemas de qualidade, tendo aumentado em 10 vezes o número de campanhas de serviço em relação ao ano de 2003<sup>[8]</sup>. Veículos fabricados nos EUA melhoravam de qualidade em relação aos importados, mas ainda havia uma distância considerável, conforme apontavam as pesquisas junto aos consumidores<sup>[160]</sup>. Outras pesquisas constatavam que havia uma forte correlação entre o número de defeitos iniciais num veículo e sua confiabilidade em longo prazo. Os modelos que apresentam poucos defeitos quando são novos tendem a apresentar alta confiabilidade ao longo do tempo<sup>[161]</sup>.

Em setembro de 2006, alguns jornalistas relatavam que a crescente onda de campanhas de serviço e problemas de qualidade no mercado japonês (não apenas restritas aos produtos automotivos), gerou uma crise no Japão<sup>[162]</sup>. Inclusive, investigações criminais cercavam a Toyota, cujos executivos eram acusados de atrasar uma campanha de serviço em 8 anos<sup>[31]</sup>. A Hyundai e a GM publicaram que alguns de seus veículos apresentavam problemas de vazamento de óleo em seus sistemas de transmissão de potência<sup>[163]</sup>.

Em outubro de 2006, enquanto fabricantes de motores de alta capacidade para caminhões pesados tentavam atingir os limites de emissão de poluentes através da adoção de novas tecnologias, os usuários experimentavam crescentes problemas nesses motores<sup>[164,165]</sup>. Os problemas de qualidade no Toyota Scion Tc, que geraram uma campanha de serviço, resultaram em uma falha curiosa: acionamento indevido dos *airbags* laterais quando as portas eram fechadas<sup>[166]</sup>.

Em novembro de 2006, English<sup>[167]</sup> forneceu sugestões aos usuários de procedimento quando a empresa fabricante resiste em solucionar os problemas de qualidade de suas unidades.

Em dezembro de 2006, o Wall Street Journal acusou os veículos Touareg fabricados pela VW de necessitarem de constantes trocas do disco de freio<sup>[168]</sup>. A alta corte de justiça do estado americano de NY decidiu que compradores de veículos novos teriam o direito a troca ou ressarcimento do veículo que sofresse 4 ou mais tentativas infrutíferas de reparo de um mesmo problema<sup>[169]</sup>. O presidente da Toyota anunciava que resultados de uma investigação interna apontaram que engenheiros de desenvolvimento apressaram projetos ou conduziram validações nas quais ensaios de protótipos físicos eram necessários<sup>[170]</sup>. Em 2005 Maluf<sup>[2]</sup> apresentou sua dissertação de mestrado a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Em suas conclusões o autor reforçava a importância de respeitar-se a necessidade de ensaios físicos sob o risco de falhas após o lançamento do projeto.

Ainda em dezembro, os trabalhadores em greve na planta da Goodyear em Gadsden criavam uma campanha nacional para demonstrar que pneus fabricados por trabalhadores substitutos poderiam resultar em produtos potencialmente perigosos<sup>[171]</sup>. A incrível redução dos preços dos veículos chineses foi citada pelo jornal Asia Pulse<sup>[172]</sup>. Segundo a publicação em 77% dos veículos novos eram relatados problemas nos primeiros 6 meses de uso. Os principais defeitos eram nos pneus, ar-condicionado, sistemas de freio, travas e sistemas de direção. Para cada 100 carros fabricados, havia uma média de 338 defeitos, o dobro do índice de um carro americano considerado fraco nessa análise.

Em janeiro de 2007 os analistas financeiros afirmaram que o real problema dos três grandes fabricantes norte-americanos de automóveis seria a percepção de que seus produtos que eram qualitativamente inferiores aos concorrentes asiáticos<sup>[173]</sup>. A Toyota tentou um acordo extra-judicial com alguns proprietários que reclamavam que os motores dos seus carros danificaram-se devido a falhas no sistema de lubrificação, apesar dos proprietários terem seguido todos os procedimentos de manutenção<sup>[174 a 179]</sup>. Apesar da excelência incomparável da Toyota em fabricar veículos livres de defeitos, os problemas

teriam se agravado, com quase 10 milhões de unidades convocadas para serviço em menos de 4 anos. Tal fato levou o presidente da empresa, Katsuaki Watanabe, a pedir desculpas a seus consumidores<sup>[180]</sup>. Após mais de dois anos, a planta da Nissan nos EUA parecia ter resolvido os problemas de qualidade. Iniciou-se um ciclo de aumento de produção e redução da fuga de mão-de-obra<sup>[181]</sup>. Os consumidores começavam a se unir, através da rede mundial de computadores, para compartilhar os problemas de seus veículos. Tal atitude teria forçado os fabricantes a reconhecerem problemas crônicos de qualidade que em outras circunstâncias seriam classificados como casos isolados<sup>[182]</sup>. Nove entre doze cadeiras infantis foram reprovadas em testes conduzidos por uma revista norte-americana<sup>[183]</sup>. Contudo, os testes conduzidos pelo governo dos EUA mostraram outros resultados e levaram a revista a pedir desculpas a seus leitores e a prometer investigações<sup>[184,185]</sup>. Os boletins técnicos de serviço<sup>[186]</sup> mostravam que alguns veículos fabricados pela Honda apresentavam falhas no interruptor da buzina durante acionamento do sistema de direção e alguns carros da BMW apresentavam problemas no sistema de aceleração.

Ainda em janeiro, jornalistas afirmaram que as piores marcas em termos de confiabilidade de veículos utilitários 4x4 eram Land Rover e Jeep, sendo que os concorrentes japoneses eram os favoritos<sup>[187]</sup>.

Em fevereiro de 2007, a Toyota afirmou que compensaria os proprietários sobre o problema de lubrificação dos motores citado anteriormente. O total de veículos considerados no acordo foi de cerca de 3,5 milhões. Outras marcas também apresentavam problemas de lubrificação, mas os fabricantes alegavam que a causa era a manutenção inapropriada. Alguns fabricantes como Audi, Lexus, Saab, Toyota e VW apresentavam programas de compensação em caso de falha de lubrificação, embora alguns consumidores deveriam fornecer evidências de que as manutenções foram adequadamente realizadas. A Saab exigia, inclusive, que os filtros de óleo utilizados fossem aqueles usados como equipamento original<sup>[188,189]</sup>. Uma vez mais, confirmou-se a percepção de que os problemas de qualidade da Toyota eram minimizados na imprensa americana, enquanto que os dos três grandes americanos eram

destaque na mídia<sup>[190]</sup>. A Honda ampliaria a garantia de cerca de 6 milhões de veículos devido a falhas nos odômetros<sup>[191]</sup>.

Em março de 2007, a taxa de confiabilidade dos automóveis de luxo da Toyota, os Lexus, regrediu do primeiro para o quinto lugar, segundo a pesquisa anual do *Consumer Reports*<sup>[192]</sup>.

Em abril de 2007, jornalistas constataram que os produtos da Ford eram os melhores da história, mas ainda sofriam com problemas de qualidade<sup>[193]</sup>. A revista *Consumer Reports*, após a falha embaraçosa com os testes das cadeiras infantis, citados anteriormente, resolveu empreender um grande teste de pneus<sup>[194]</sup>.

Em maio de 2007, dos seis maiores fabricantes de veículos no mundo, a Toyota era o que menos realizava campanhas em relação ao seu volume de vendas<sup>[195]</sup>. Os Veículos VW Passat eram investigados pela NHSTA devido a 19 episódios de incêndio causados por falhas nas bobinas de ignição<sup>[196]</sup>. Os três maiores fabricantes americanos mostravam-se preocupados em reverter as reservas dos consumidores em relação aos veículos domésticos. Reservas essas relacionadas à qualidade e confiabilidade dos automóveis norte-americanos<sup>[197]</sup>. E apesar dos esforços da Ford em incrementar a qualidade dos seus veículos, tendo como conseqüência os produtos Fusion e Milan, que superavam os veículos competidores em termos de qualidade, a percepção dos consumidores persistia<sup>[198,199]</sup>. No mercado australiano, havia a percepção de que os veículos europeus e domésticos eram inferiores em qualidade aos asiáticos<sup>[200]</sup>. O índice de confiabilidade alemão de veículos apontava ganhos para os automóveis fabricados pela Renault e perdas para os veículos fabricados pela Toyota<sup>[201]</sup>. Alguns jornalistas do mercado automotivo apontavam falhas nas transmissões de automóveis fabricados pela Audi e cintos de segurança nos produtos da BMW<sup>[202]</sup>. A Toyota constatava problemas adicionais no seu novo e importante veículo lançado nos EUA<sup>[203]</sup>. Os problemas relacionavam-se com a quebra da árvore de manivelas da picape Tundra V8<sup>[204]</sup>. A Ford australiana alegava que 200 mil Falcons não precisariam de campanha de serviço, apesar dos clamores da imprensa especializada em mercado automotivo<sup>[205]</sup>.

Em junho de 2007, alguns jornalistas apontavam que a Chrysler, numa sessão interna e franca de perguntas e respostas com os empregados, avaliou erroneamente o mercado ao desenvolver seus veículos Sebring e Nitro<sup>[206]</sup>. O Jeep Wrangler estava sendo investigado por agências governamentais norte-americanas sobre relatos dos motores desligarem espontaneamente quando os veículos eram conduzidos em altas velocidades<sup>[207]</sup>. Algumas empresas de pesquisa apontavam que o veículo com melhor índice de qualidade inicial era o Porsche, com 91 defeitos em 100 carros, e o pior era o Land Rover, com 170 problemas em 100 veículos<sup>[208]</sup>. Outros estudos apontavam que um veículo de um novo *design* ou *re-design* aumentava em 10 o número de falhas por 100 veículos<sup>[209]</sup>.

## 7.6 Apêndice F: Falhas estruturais em pneus<sup>[2]</sup>.

A falha é definida como o “fim da habilidade de um item desempenhar suas funções”<sup>[215]</sup>. A falha em materiais de engenharia é quase sempre um evento indesejável. Geralmente a escolha equivocada de materiais, sua fabricação, o projeto inadequado ou a incorreta utilização de um sistema, são os responsáveis pelo surgimento de falhas. Espera-se que os responsáveis pelo projeto sejam capazes de antecipar o colapso da estrutura e prever seu comportamento na presença de falhas. Inúmeras pesquisas, realizadas nas últimas décadas, tornaram possível a evolução de duas importantes áreas científicas: a Mecânica da Fratura<sup>[216]</sup> e a Mecânica do Dano<sup>[217]</sup>. Segundo Mazars e Cabot<sup>[218]</sup> as duas teorias estão correlacionadas sendo que a primeira aplica-se quando uma trinca inicia sua propagação e a segunda preocupa-se com a evolução das propriedades mecânicas do contínuo devido à propagação da trinca (exemplo: degradação da resistência mecânica). Os autores apresentam, à luz da termodinâmica, a relação existente entre elas. O trabalho de Tang, Tai e Lee<sup>[219]</sup> apresenta um modelo capaz de estimar a evolução do dano em polímeros. A validade do modelo é limitada uma vez que se assume que os danos e as deformações do material sejam isotrópicos. O estudo de Voyiadjis e Park<sup>[220]</sup> propõe um modelo constitutivo, baseado no MEF, para prever a evolução dos danos anisotrópicos em materiais compósitos. Voyiadjis e Deliktas<sup>[221]</sup> propuseram um modelo que incorpora o dano anisotrópico e a

teoria da plasticidade para materiais compósitos. O artigo de Arramon et al.<sup>[222]</sup> apresenta um critério de falha para materiais anisotrópicos que exibem comportamento elastoplástico.

Existem diversos mecanismos capazes de provocar a falha de um componente ou sistema. Alguns deles foram citados no item 5.6. Segundo Collacott<sup>[215]</sup> pode-se classificar a falha de cinco maneiras. São elas:

a) Classificação de engenharia: dividido em falha intermitente (o componente deixa de exercer sua função durante um pequeno período de tempo, retomando sua atividade normal) e falha permanente (onde o componente perde definitivamente a capacidade de exercer sua função. Retomará suas atividades normais após intervenção/substituição de alguma “peça”).

b) Classificação do grau da falha: falha completa (onde o sistema não consegue desempenhar sua função principal) ou parcial (exerce parcialmente sua função principal). O autor cita que essa classificação é baseada na interpretação das funções do equipamento/sistema.

c) Classificação da velocidade da falha: gradual (pode ser prevista por ensaios ou observação) ou repentina (não pode ser prevista por métodos experimentais ou observação).

d) Classificação das causas da falha: desgaste, erro de utilização (solicitações não previstas pelo projeto) ou projeto inadequado (não desempenha adequadamente as funções para as quais foi especificado).

e) Classificação de risco: perigosos (uma máquina falha ao ser ligada causando danos ao operador) ou “seguros” (uma máquina apenas falha ao ser ligada).

O artigo de Rausand e Oien<sup>[223]</sup> discorre sobre os conceitos básicos da análise de falhas. O trabalho de Haugen, Hokstad e Sandtorv<sup>[224]</sup> apresenta um modelo alternativo para análise de falhas. Segundo os autores o modelo sugerido é mais realístico do que o modelo padrão (exponencial), pois considera o efeito da manutenção. Outro conceito de fundamental importância para interpretar-se as falhas é a confiabilidade dos sistemas. A leitura do artigo de Fragola<sup>[225]</sup> provê uma perspectiva histórica do desenvolvimento da confiabilidade e da análise de risco. O trabalho de Mahadevan e Raghothamachar<sup>[226]</sup> propõe uma metodologia de simulação para estimar a



confiabilidade de grandes estruturas. O método proposto emprega uma abordagem híbrida: técnica analítica probabilística seguida de simulação numérica (baseada no MEF).

O artigo de Shen, Lin e Mu<sup>[227]</sup> apresenta um modelo probabilístico para estimar o dano acumulado devido à fadiga. Os autores citam que a utilização da curva determinista S/N (tensão x número de ciclos) implica em erros uma vez que a mesma desconsidera que o dano acumulado é uma variável aleatória. O estudo de Fatemi e Yangg<sup>[228]</sup> apresenta uma revisão de diversos modelos para análise de fadiga. O trabalho publicado por Liu et al.<sup>[229]</sup> destaca um estudo sobre fadiga unidirecional em compósitos. Walter<sup>[230]</sup> afirma que a fadiga dos materiais é o mecanismo de falha mais importante no que se refere à Mecânica de pneumáticos. Esse estudo conclui que a falha em pneus é um fenômeno “auto excitado”.

Chow e Lu<sup>[231]</sup> propõem um estudo unificado para metais e polímeros no que se refere à propagação de trincas de fadiga. Takeyama, Matsui e Hijiri<sup>[232]</sup> estudaram falhas em pneus devido à deterioração da adesão entre os materiais compósitos. A perda de adesão (em pneus de avião) devido à presença de elevadas temperaturas foi estudada por Clark<sup>[233]</sup>. Orjela, Riva e Fiorentini<sup>[234]</sup> estudaram o comportamento dos materiais quando submetidos à compressão e tração. Determinaram algumas propriedades mecânicas como a carga crítica para a flambagem e formação das “ondas de Euler”. Rezende e Botelho<sup>[235]</sup> salientam a importância do uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial.

Gonçalves, Almeida e Neto<sup>[236]</sup> apresentaram um programa experimental para determinar as tensões e os modos de falha de cilindros submetidos à cargas axiais. Morais, Almeida e Godfroid<sup>[237]</sup> discutiram os danos decorrentes de impactos repetidos em compósitos de matriz polimérica.

Os acidentes provocados por falhas em sistemas veiculares são objeto de estudo de diversos trabalhos. Atualmente sabe-se da importância dos sistemas de intervenção na segurança veicular. Os mesmos devem garantir que a falha seja reconhecida em tempo suficiente. Um exemplo clássico é o sistema de monitoração de pressão. Caso o pneu opere em alta velocidade e com pressão de inflação inferior àquela especificada, as chances de ocorrerem graves

acidentes são substancialmente elevadas. O regime térmico exerce forte influência sobre a distribuição de probabilidade de ocorrência de falhas. Esse tema é estudado por Park et al.<sup>[238]</sup> e Oh et al.<sup>[239]</sup>. Nakatsuji et al.<sup>[240]</sup> propôs um modelo para calcular o coeficiente de atrito para evitar acidentes em estradas cobertas por neve ou gelo.

Uma das entradas de projeto mais importantes, e talvez a mais difícil, é a previsão da falha. Os principais mecanismos de falha em borrachas são<sup>[241]</sup>: imperfeições “adquiridas” no processo de fabricação (exemplo: extrusão ou vulcanização), fadiga, degradação do material devido ao ambiente de utilização (condições térmicas e mecânicas). Simo<sup>[242]</sup> desenvolveu um modelo de falha para polímeros simulando a perda de rigidez e a dissipação energética. Govindjee e Simo<sup>[243,244]</sup> simularam o dano em polímeros utilizando modelos fundamentados em “Micro-Mecânica”.

Recentemente Cheng e Becker<sup>[245]</sup> simularam a propagação de trincas em elastômeros utilizando o conceito do “J-integral” da mecânica da fratura. Utilizando o método de “virtual crack extension” Pidaparti, Yang e Soedel<sup>[246]</sup> calcularam os carregamentos críticos para propagação de trincas. Além da fratura da matriz polimérica, os modos críticos de falha em pneus que utilizam materiais compósitos são o descolamento existente entre as camadas de materiais dissimilares, o arrancamento de material (por “falta” de adesão) e a micro flambagem das cordas<sup>[241]</sup>. Outros fatores secundários são: esforços mecânicos, térmicos e os efeitos da viscoelasticidade. Informações mais profundas sobre impacto e falhas podem ser encontradas na coletânea de artigos editada por Jones e Wierzbicki<sup>[247]</sup>.

Shalev e Tiran<sup>[248]</sup> propuseram um novo método para incrementar o *Fault tree analysis* – FTA convencional. Sua sugestão recai em utilizar taxas de falhas reais provenientes de monitoramento ao invés de empregar aquelas definidas nos manuais convencionais. Abdullah et al.<sup>[249]</sup> empregaram métodos matemáticos para evitar a falha em componentes mecânicos automotivos em função da fadiga. Picos característicos são analisados nas bandas de frequência do espectro de carga usando ondas de *Daubechies* da 12ª ordem. Trabalho similar foi realizado por Svensson et al.<sup>[250]</sup> que usaram a hipótese de Palmgreen-Miner para estudar fadiga em pontos de soldas da carroceria.

Yang et al.<sup>[251]</sup> estudaram a ocorrência de falhas em nós de redes de informação e Benslimane<sup>[252]</sup> propôs análise de falha em inversores de tensão elétrica. Ambos os artigos versam sobre componentes comumente usados no gerenciamento de sistemas eletrônicos veiculares.

Bensely et al.<sup>[253]</sup> apresentaram trabalho sobre a investigação da falha em engrenagens da caixa de conversão de torque enquanto Bayrakceken et al.<sup>[254]</sup> fizeram estudo similar em eixos diferenciais. Asi realizou análise de falha em componentes veiculares fabricados em Ferro Fundido dúctil<sup>[255]</sup> e também sobre modos de falhas de fadiga em eixos traseiros<sup>[256]</sup>. Xu et al.<sup>[257,258]</sup> realizaram análises de falha em componentes de motores que operam segundo ciclo Diesel. Das et al.<sup>[259]</sup> e Wu e Yu<sup>[260]</sup> apresentaram um trabalho sobre falhas em molas da suspensão de veículos de passeio. Estudos similares foram feitos por Eryurek et al.<sup>[261]</sup>, Seckercioglu e Kovan<sup>[262]</sup> porém em veículos de carga.

Wu et al.<sup>[263]</sup> mostraram uma investigação sobre o acúmulo de fadiga e a confiabilidade de elementos sujeitos ao teste de flexão rotativa. Palin-Luc et al.<sup>[264]</sup> propuseram maneiras de reduzir a duração de testes de fadiga multiaxial usando carregamento proporcional aquele que o elemento estará sujeito quando em serviço.

Bayraktar et al.<sup>[265]</sup> investigaram os mecanismos de falha de ligas metálicas usadas na construção automotiva quando expostas a ciclos de fadiga com alta amplitude. Bonte et al.<sup>[266]</sup> determinaram a tensão de von Mises como uma função densidade de potência espectral na análise de fadiga de componentes mecânicos.

Ejaz et al.<sup>[267]</sup> investigaram a causa raiz de um acidente aeronáutico com um caça de combate e concluíram que o mesmo foi causado por uma falha no rotor do compressor axial de 9 estágios da turbina. A propagação da trinca nos estágios foi mapeada e estudada para ser utilizada como ação de correção nos projetos existentes. Por sua vez Blockus et al.<sup>[268]</sup> apresentaram um método de fadiga acelerado a ser aplicado no estudo de motores aeronáuticos. McDowell et al.<sup>[269]</sup> propuseram estudo sobre diagnóstico de falha em motores de combustão interna.

Cavalca et al.<sup>[270]</sup> usaram análise de sensibilidade e FTA para estudar falhas em caixas de mudança de velocidades de veículos comerciais. Conceitos de confiabilidade e DoE foram empregados. Amorim et al.<sup>[271]</sup> usaram o método dos elementos finitos para simulações numéricas com o intuito de investigar a fadiga térmica em disco de freios construídos em Ferro Fundido Cinzento.

Lee e Suh<sup>[272]</sup> escreveram um artigo com sugestões de como prevenir-se mecanismos de fadiga em longo prazo enquanto Gebraeel<sup>[273]</sup> propôs a utilização de prognósticos e monitoramento a base de sensores específicos para aumento da vida útil de componentes que apresentam degradação exponencial.

Rosa<sup>[274]</sup> escreveu um artigo no qual descreve o uso combinado das ferramentas *Quality Function Deployment* (QFD) e *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) para aumentar a qualidade do produto. No fim do mesmo o autor lista algumas recomendações para a aplicação prática de ambas as técnicas. De Carvalho e De Oliveira<sup>[275]</sup> propuseram trabalho similar porém voltado especificamente para sistemas automotivos e aeroespaciais. Papadopoulos et al.<sup>[276]</sup> realizaram estudo sobre o comportamento da falha em componentes usados em sistemas de segurança. De acordo com os autores o consciente uso de padrões de falha em conjunto com FTA e FMEA automatizados pode ser extremamente útil para racionalizar e simplificar a análise de complexos sistemas de segurança. Semp et al.<sup>[277]</sup> também citaram a importância do uso automatizado do FMEA para aumento da confiabilidade de sistemas automotivos. Cassanelli et al.<sup>[278]</sup> reforçaram a importância do uso do FMEA para a obtenção de significativas melhorias de qualidade.

Ramu et al.<sup>[279]</sup> explicaram a relevância de considerar-se a propagação de pequenos erros nas estimativas das probabilidades de falha de sistemas.

## **7.7 Apêndice G: Estudo sobre durabilidade e envelhecimento de pneus<sup>[1]</sup>.**

Em 1973 a durabilidade média para veículo de passageiro era em torno de 24 mil milhas (38624 km). Em 2004 esse valor era aproximadamente 44700 milhas (71938 km)<sup>[280]</sup>. A distância média percorrida por um carro de passeio

em 1973 era de 9992 milhas (16081 km)<sup>[281]</sup> e em 2004 era de 12497 milhas (20112 km)<sup>[282]</sup>. Então a média de tempo em serviço de um pneu em 1973 era de 2,4 anos comparado com 3,6 anos em 2004 (um aumento de 49%). A durabilidade da banda de rodagem aumentou tanto que atualmente alguns pneus são oferecidos com garantia limitada de até 100 mil milhas (160934 km)<sup>[283]</sup>. A durabilidade média aumentou. O mesmo aconteceu com a preocupação sobre a degradação relacionada ao envelhecimento. Por isso o tema tornou-se interesse dos órgãos vinculados ao estudo da segurança automotiva. A NHTSA estabeleceu requisitos para o desempenho mínimo de durabilidade aceitável para pneus novos, porém não possuía maneiras de avaliar o desempenho de pneus ao longo de sua vida útil. Entretanto, os dados provenientes dos acidentes da Firestone mostram que pneus defeituosos possuíam desempenho aceitável nos primeiros anos de serviço e seu desempenho degradou-se após algum tempo<sup>[284]</sup>.

As colisões envolvendo o veículo utilitário da Ford mais vendido nos EUA trouxeram considerável atenção da sociedade norte-americana para a área de segurança dos pneus. Em 2000 membros do congresso dos EUA sugeriram que a NHTSA considerassem a opção de incluir nas normas de teste métodos de ensaio que simulassem o fenômeno do envelhecimento. Tais testes deveriam avaliar o risco de acontecer uma falha em um pneu em um período maior do que aquele previsto pelas regulamentações vigentes na época. Desde então a agência conduziu uma expressiva revisão literária e promoveu diversos encontros com especialistas da indústria de pneus. Em 2002 a agência propôs 3 alternativas de testes para avaliar a durabilidade de pneus no longo prazo. Estes 3 testes incluíam: resistência ao arrancamento, durabilidade estendida em dinamômetro e durabilidade precedida de envelhecimento artificial. Em função dos resultados dessas três alternativas de testes a agência optou por realizar em 2003 uma nova pesquisa a fim de elaborar um teste único de envelhecimento acelerado em laboratório.

Os pneus diferem em desempenho em suas taxas de degradação de desempenho durante o serviço. Esse fato torna muito difícil prever durabilidade em longo prazo baseado em testes de novos pneus. Igualmente desafiador é definir o fim da vida útil do pneu. Tradicionalmente, o fim da vida útil de um

pneu é independente da data de fabricação do pneu e é definida por um indicador de desgaste da banda de rodagem<sup>[285]</sup>. Contudo, dependendo do uso do veículo, os pneus podem estar em serviço após muitos anos e ainda acumular pouca, ou, em caso de pneus sobressalentes, nenhuma distância percorrida. A NHTSA estima que 50% dos veículos leves ainda estarão em serviço após 14 anos e 25% após 20 anos de uso<sup>[286]</sup>. Tal fato traz preocupação imediata sobre os pneus sobressalentes desses veículos uma vez que poucos proprietários os substituem quando trocam os pneus usados.