

**CARLOS ALBERTO MURAD**

**EXTENSÃO DA GARANTIA DE VEÍCULOS:  
Aplicação para Motor e Transmissão**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo, para  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Automotiva (Mestrado  
Profissionalizante).

São Paulo

2005

**CARLOS ALBERTO MURAD**

**EXTENSÃO DA GARANTIA DE VEÍCULOS:  
Aplicação para Motor e Transmissão**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo, para  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Automotiva (Mestrado  
Profissionalizante).

**Área de concentração:**

Engenharia Automotiva (Mestrado  
Profissionalizante)

**Orientador:**

Prof. Dr.

Gilberto Francisco M. de Souza

São Paulo

2005

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Murad, Carlos Alberto**

**Extensão da garantia de veículos: aplicação para motor e transmissão / C.A. Murad. -- São Paulo, 2005.  
145 p.**

**Trabalho de curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.**

**1. Indústria automobilística (Confiabilidade) 2. Garantia da qualidade I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. II. t.**

Dedico este trabalho a minha esposa Marley e ao meu filho Gabriel pelos momentos de minha ausência onde não foi possível dar a merecida atenção. Não menos importante a minha mãe professora Sada que sempre me incentivou nos momentos mais difíceis da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao orientador Prof. Dr. Gilberto Francisco M. de Souza pela motivação, confiança e constante incentivo durante a condução deste trabalho.

Os meus sinceros agradecimentos aos professores e colegas da 3ª turma do Mestrado em Engenharia Automotiva de 2005, pelos momentos de convivência.

Finalmente, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho.

## RESUMO

A abertura do mercado brasileiro e o fenômeno da globalização observado nos últimos anos, influenciaram em que as quatro tradicionais empresas do setor automobilístico (VW, Ford, FIAT e GM) passassem a dividir a participação de mercado brasileiro com os concorrentes estrangeiros. Devido a este fato, a demanda por qualidade e confiabilidade nos produtos oferecidos cresceu continuamente. Nenhuma empresa gosta de gastar com garantia, isto significa que algo saiu errado, um cliente está insatisfeito e isto custará à montadora. Deste modo as empresas automotivas necessitam desenvolver veículos com qualidade superior e com menores custos e para isso utilizam diversas ferramentas de engenharia. Atingir a satisfação dos clientes, melhorar a qualidade de seus produtos, reduzir custo de garantia tem sido a missão de todas as empresas no mercado brasileiro e em especial nas empresas do setor automobilístico, já que um dos principais fatores na decisão de compra de um veículo tem sido preço e confiabilidade, torna-se necessário oferecer cada vez mais opções de escolha para os clientes e acredita-se que a extensão da garantia oferecida pela empresa automotiva pode ser um fator decisivo de compra. Portanto o objetivo deste estudo é desenvolver um modelo para descrever o comportamento de um produto e prever sua confiabilidade no campo. O modelo considera a utilização dos dados de reclamações de garantia, incluindo a consideração da existência de veículos que não apresentaram falhas ao final deste período. De posse da estimativa da confiabilidade do veículo ou subsistema e considerando os recursos gastos com falhas no período de garantia, propõe-se um modelo de análise baseado nos conceitos da Teoria da Decisão, que permite avaliar o efeito da extensão da garantia sobre o valor monetário economizado do total reservado para os gastos com garantia. Esta análise subsidia unicamente a tomada de decisão estratégica à respeito da viabilidade da extensão da garantia de um veículo. O modelo ora proposto é aplicado no intuito da extensão da garantia do conjunto motor e transmissão de um veículo popular.

## ABSTRACT

As the Brazilian market opened to foreigner automakers and the phenomenon of globalization started some years ago, the four traditional automakers began to share its market with many others competitors. As a result, demand for quality and reliability on products offered to the customers grew continuously and it is more perceptible on the automobile business. Nobody likes warranty expenses; it is a universally recognized evil. It means that something went wrong, a customer is not satisfied and it probably will cost to the manufacturer. As it happens, automakers need to develop vehicles with superior quality, less manufacturing costs and better processes, shorten development process and to accomplish this goal it is necessary to use engineering tools available as much as possible. Many companies are setting as their goal: customer satisfaction, quality improvement, warranty cost reduction and it happens more often on the automobile market that is because reliability and warranty became one of the key points when making decisions of purchasing a vehicle. Today it is necessary to offer more options to the customers so they can decide which one is the best deal for them. It is believed that warranty extension already offered by some companies in this market can be a significant differential on the moment of a purchase decision in buying a vehicle. Therefore, the main objective of this study is to develop a model to describe the behavior of a product and predict its reliability in the field. The model considers the use of warranty claims and also the use of a number of vehicles which did not have any warranty claim in the subsystem under analysis. As one have the subsystem predicted reliability and the expenses on warranty failures occurred during their warranty period, it is possible to draw a model based on the concept of Decision Theory which allows the analysis of warranty extension effects over the warranty accrual. This analysis only helps on the decision making strategy regarding the warranty extension feasibility. The model proposed on this study is applied for warranty extension of the subsystems engine and transmission.

## SUMÁRIO

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

### LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Considerações Iniciais .....	1
1.2 Objetivo do Trabalho .....	5
<b>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>6</b>
2.1 Análise da Confiabilidade de Sistemas .....	6
2.2 Métodos de Crescimento de Confiabilidade .....	10
2.2.1 Computer-Aided-Engineering – Método dos Elementos Finitos .....	13
2.2.2 Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA) .....	14
2.2.3 Métodos e Análise de Projetos .....	27
2.2.4 Meio Ambiente .....	50
2.2.5 Análise da Árvore de Falhas .....	52
2.3 Tomada de Decisão .....	55
2.3.1 Identificação dos Critérios para Tomada de Decisão .....	56
2.3.2 Decisão em Situação de Incerteza ou Risco .....	58
2.3.3 Árvores de Probabilidades e Decisão .....	62
<b>3. EXTENSÃO da GARANTIA - MODELO de TOMADA de DECISÃO .....</b>	<b>70</b>
3.1 Configuração de um Banco de Dados para Falhas Típicas .....	70
3.2 Proposta de Utilização dos Dados e Garantia .....	77
3.3 Modelo de Decisão .....	82
<b>4. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>85</b>
4.1 Coleta de Dados .....	87
4.1.1 Primeira Hipótese – 10.000 km/ano (Motor/Transmissão: Separados) .....	95
4.1.2 Segunda Hipótese – 15.000 km/ano (Motor/Transmissão: Separados) .....	103
4.1.3 Terceira Hipótese – 20.000 km/ano (Motor/Transmissão: Separados) .....	107



4.1.4 Quarta Hipótese – 15.000 km/ano (Motor/Transmissão: Sistema Único) ...	112
4.2 Melhoria Contínua do Produto .....	121
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>127</b>
5.1 Conclusão .....	127
5.2 Recomendações Futuras .....	129
Anexo A: Desdobramento da Função Qualidade.....	131
Anexo B: 40 Componentes de falha do motor - ordenados por incidência.....	139
Anexo C: 30 Componentes de falha do motor - ordenados por custo.....	140
Anexo D: 20 Componentes de falha da transmissão - ordenados por incidência .	141
Anexo E: 20 Componentes de falha da transmissão - ordenados por custo .....	142
Anexo F: 42 Componentes de falha do motor.....	143
Anexo G: 25 Componentes de falha da transmissão.....	144
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>145</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cenário de fábricas de automóveis em 1996 no Mercosul. (Relatório Interno: R.Bibo, 2005) .....	1
Figura 2 - Cenário de fábricas de automóveis em 2005 no Mercosul. (Relatório Interno: R.Bibo, 2005) .....	2
Figura 3 - Participação no mercado nacional de 1995 até 2004: Veículos de passageiros. (Anuário ANFAVEA, 2005) .....	3
Figura 4 - Confiabilidade e custos do ciclo de vida: Visão tradicional. (O'Connor, 2002) .....	8
Figura 5 - Confiabilidade e custos do ciclo de vida: Visão moderna. (O'Connor, 2002) .....	9
Figura 6 - Custo das mudanças durante diferentes fases do projeto. (Hyman, 1998) .....	11
Figura 7 - Etapas de um programa de confiabilidade. (Neubeck, 2004) .....	12
Figura 8 - Processo de desenvolvimento do produto. (Dubenski, 1996) .....	14
Figura 9 - Propósito da FMEA. (Martha de Souza, 2003) .....	15
Figura 10 - Benefício da ferramenta QFD. (Banerjee, 2001) .....	29
Figura 11 - Estrutura da matriz QFD. (Hyman, 1998) .....	29
Figura 12 - Matriz QFD Parcial: Pára-choque de um veículo. (Hyman, 1998) .....	30
Figura 13 - Matriz QFD – Pára-choque de um veículo. (Hyman-1998) .....	33
Figura 14 - Representação da curva da banheira. (Neubeck-2004) .....	34
Figura 15 - Dados Censurados (Krishnamoorthi, 1992) .....	35
Figura 16 - Função densidade de probabilidade de Weibull. (Bressan, 2002) .....	38
Figura 17 - Processo de ES utilizado na Chrysler. (Hsieh, Lee and Torma, 1998) .....	43
Figura 18 - Modelo de revisão de projeto. (Shimizu, 2003) .....	49
Figura 19 - Símbolos padronizados usados na construção da árvore de falhas. (O'Connor, 2002) .....	54
Figura 20 - Etapas de construção da árvore de falhas. (Clemens, 2002) .....	55
Figura 21 - Árvore de probabilidades. (Costa Neto, 1995) .....	64
Figura 22 - Elementos da árvore de decisão. (Hyman, 1998) . .....	65
Figura 23 - 1º Estágio de construção de uma árvore de decisão. (Hyman, 1998) .....	65

Figura 24 - 2º Estágio de construção de uma árvore de decisão. (Hyman, 1998) .....	66
Figura 25 - 3º Estágio de construção da árvore de decisão. (Hyman, 1998) .....	67
Figura 26 - Estágio final da árvore de decisão. (Hyman, 1998) .....	68
Figura 27 - Solucionando a árvore de decisão – 1º Passo. (Hyman, 1998) .....	69
Figura 28 - Árvore de decisão solucionada. (Hyman, 1998) .....	69
Figura 29 - Peça falhada para o código de mão de obra J1000 .....	75
Figura 30 - Representação gráfica do coxim traseiro central .....	77
Figura 31 - Diagrama de Pareto por incidência: Falhas do subsistema motor .....	81
Figura 32 - Diagrama de Pareto por custo: Falhas do subsistema motor .....	82
Figura 33 - Variação da Confiabilidade para 1/2/3 anos de uso do subsistema .....	83
Figura 34 - Modelo da árvore de decisão .....	83
Figura 35 - Função de confiabilidade R(t). (Leitch, 1995) .....	86
Figura 36 - Diagrama de Pareto por incidência: Falhas do subsistema transmissão .	87
Figura 37 - Diagrama de Pareto por custo: Falhas do subsistema transmissão .....	88
Figura 38 - Distribuição do número de veículos censurados – Subsistema Motor (Campean, 2002) .....	91
Figura 39 - Distribuição do número de veículos censurados – Subsistema Transmissão. (Campean, 2002) .....	92
Figura 40 - Quilometragem estimada para os estudos de caso .....	93
Figura 41 - Dados de falhas e dados censurados. (Subsistema Motor) .....	96
Figura 42 - Parâmetros de forma e escala da distribuição de Weibull. (Subsistema Motor) .....	96
Figura 43 - Curva da confiabilidade do subsistema motor .....	97
Figura 44 - Confiabilidade do subsistema Motor. (10.000 km/ano) .....	97
Figura 45 - Árvore de decisão – Primeira hipótese. (Subsistema Motor) .....	98
Figura 46 - Dados de falhas e dados censurados. (Subsistema Transmissão) .....	100
Figura 47 - Curva da confiabilidade do subsistema Transmissão .....	100
Figura 48 - Confiabilidade do subsistema Transmissão. (10.000 Km/ano) .....	101
Figura 49 - Árvore de decisão – Primeira hipótese. (Subsistema Transmissão) ....	102
Figura 50 - Confiabilidade do subsistema Motor. (15.000 km/ano) .....	103
Figura 51 - Árvore de decisão – Segunda hipótese. (Subsistema Motor) .....	104
Figura 52 - Confiabilidade do subsistema Transmissão. (15.000 km/ano) .....	105

Figura 53 - Árvore de decisão – Segunda hipótese. (Subsistema Transmissão) .....	106
Figura 54 - Confiabilidade do subsistema Motor. (20.000 km/ano) .....	108
Figura 55 - Árvore de decisão – Terceira hipótese. (Subsistema Motor) .....	109
Figura 56 - Confiabilidade do subsistema Transmissão. (20.000 km/ano) .....	110
Figura 57 - Árvore de decisão – Terceira hipótese. (Subsistema Transmissão) .....	111
Figura 58 - Distribuição dos veículos censurados - Subsistema Motor/Transmissão. (Campean, 2002) .....	113
Figura 59 - Dados de falhas e dados Censurados. (Subsistema Motor/Transmissão) .....	113
Figura 60 - Curva da confiabilidade do subsistema Motor/Transmissão. (15.000 km/ano) .....	114
Figura 61 - Confiabilidade do subsistema Motor/Transmissão. (15.000 km/ano) ..	114
Figura 62 - Árvore de decisão – Quarta hipótese. (Subsistema Motor/Transmissão) .....	115
Figura 63 - Árvore de decisão – Quarta hipótese. (Subsistema Motor/Transmissão) Custo da falha variando para 2 e 3 anos .....	118
Figura 64 - Curva de Confiabilidade do subsistema Motor/Transmissão com a melhoria do coxim central do motor .....	122
Figura 65 - Confiabilidade do subsistema Motor/Transmissão com a melhoria do coxim central do motor. (15.000 km/ano) .....	123
Figura 66 - Árvore de decisão – Quarta hipótese subsistema Motor/Transmissão com a melhoria do coxim central do motor. (15.000 km/ano) .....	125

## LISTA DE TABELAS

Tabela I - Tabela da FMEA de Projeto Conforme SAE J-1739.....	21
Tabela II - Avaliação de Severidade. FMEA de Projeto (SAE J-1739) .....	22
Tabela III - Critério de Avaliação de Ocorrência. FMEA de Projeto. (SAE J-1739) .....	24
Tabela IV - Critério de Avaliação de Detecção Sugerido. FMEA de Projeto (SAE J-1739) .....	26
Tabela V - Distribuição da quilometragem dos veículos que não apresentaram falhas durante o período de garantia. ....	36
Tabela VI - Índices de reciclagem no Reino Unido. (Harrison, 2003) .....	51
Tabela VII - Modelo de notas para critério de decisão .....	57
Tabela VIII - Custos das combinações .....	61
Tabela IX - Garantia no segmento sub-econômico .....	70
Tabela X - As dez maiores reclamações por incidência .....	72
Tabela XI - Diagrama de Pareto para os modos de falha .....	73
Tabela XII - Rastreabilidade dos veículos reclamados .....	74
Tabela XIII - Reclamações mês a mês para o código de mão de obra J1000 .....	76
Tabela XIV - Valor esperado para cada hipótese assumida .....	119
Tabela XV - Valor esperado antes e depois da melhoria do coxim do motor .....	126

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ARCs	Automotive Recycling Centers
AVTOVAZ	Russian Automotive Manufacturer
CAE	Computer Aid Engineering
DRBFM	Design Review Based on Failure Mode
ELV	End of Life Vehicle
ES	Engenharia Simultânea
FEA	Finite Element Analysis
FMEA	Failure Mode, Effects and Analysis
FTA	Failure Tree analysis
GD-CUBED	Good Design, Good Discussion, Good Design Review, – “Toyota Quality Prevention Method”
IPTV	Incidentes Per Thousand Vehicle
JUSE	Japanese Union of Scientists and Engineers
MIS	Months In Service
NIV	Número de Identificação do Veículo
NPR	Número de Prioridade de Risco
POKA YOKE	A Prova de Erros
QFD	Quality Function Deployment
SAE	Society of Automotive Engineering
UM	Unidade Monetária
VSA	Variation Simulation Analysis

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\beta$	Constante de Forma na distribuição de Weibull.
$F(t)$	Função de Probabilidade Acumulada.
$f(t)$	Função Densidade de Probabilidade.
$\eta$	Constante de Escala – Define o espalhamento da distribuição ao longo do eixo das abcissas.
$t_0$	Constante de Localização – Define a posição em que a função densidade de probabilidade tem origem.
$t$	Tempo.
$p$ (falha)	Probabilidade de Falha.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações Iniciais

O mercado do Mercosul e em especial o mercado brasileiro vive hoje uma situação impar no cenário mundial, pois até o final de 1996 haviam sido instaladas 26 fábricas de montagem de automóveis associadas a 12 fabricantes de automóveis conforme mostra a Figura 1.

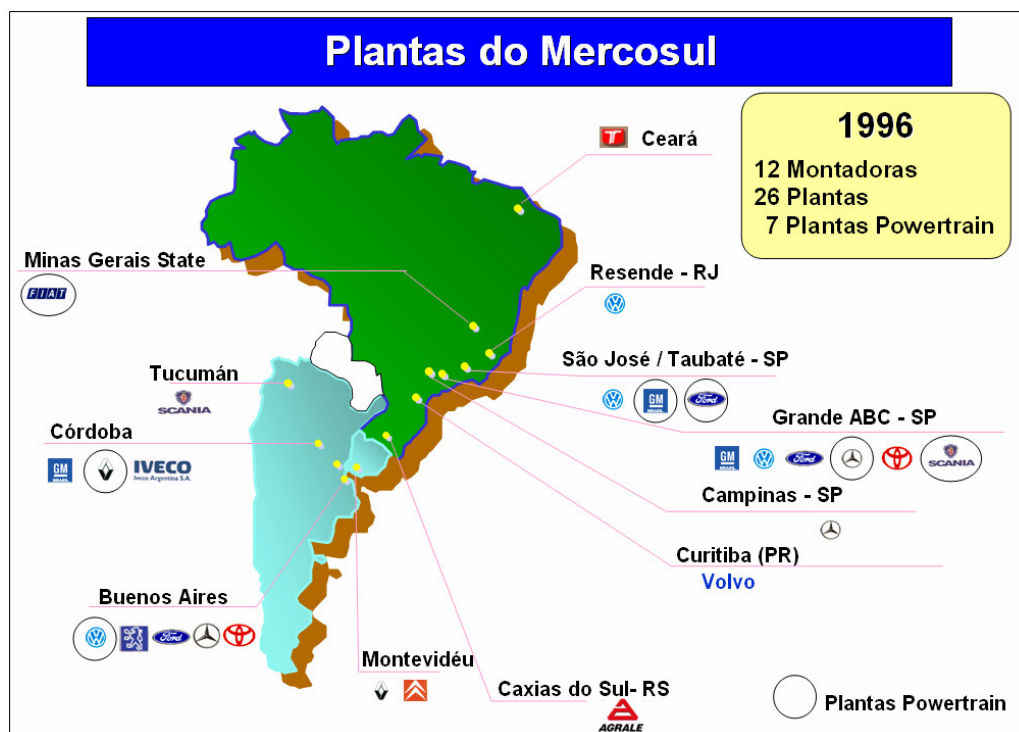


Figura 1 - Cenário de fábricas de automóveis em 1996 no Mercosul.  
(Relatório Interno: R.Bibo, 2005)

Segundo a ANFAVEA, os três maiores fabricantes de automóveis General Motors do Brasil, Volkswagen e FIAT disputavam o primeiro lugar no mercado brasileiro sendo que a Volkswagen tinha uma relativa vantagem na participação de mercado de vendas internas de veículos produzidos no Brasil.

Em 2005 este cenário mudou drasticamente e o mercado brasileiro passou a abrigar mais 7 montadoras e mais 15 plantas, conforme mostra a Figura 2. Assim, o Brasil passa a ter os dez maiores fabricantes de automóveis do mundo. Neste cenário, cada



empresa procura ser mais agressiva e cada vez mais inovadora, não somente em novos lançamentos, mas também na solução rápida das insatisfações de seus clientes.

Mesmo um produto estando dentro de suas especificações não que dizer que ele atenda plenamente as necessidades dos clientes. A insatisfação dos clientes tem origem em deficiências, que são os motivos de reclamações. Deficiência em um veículo pode afetar os lucros, pois o cliente encontrando um defeito toma uma atitude que esta relacionada a custos, registra uma reclamação, exige um reparo do produto, devolve o produto, faz exigências e pode até mesmo abrir processos contra a empresa.

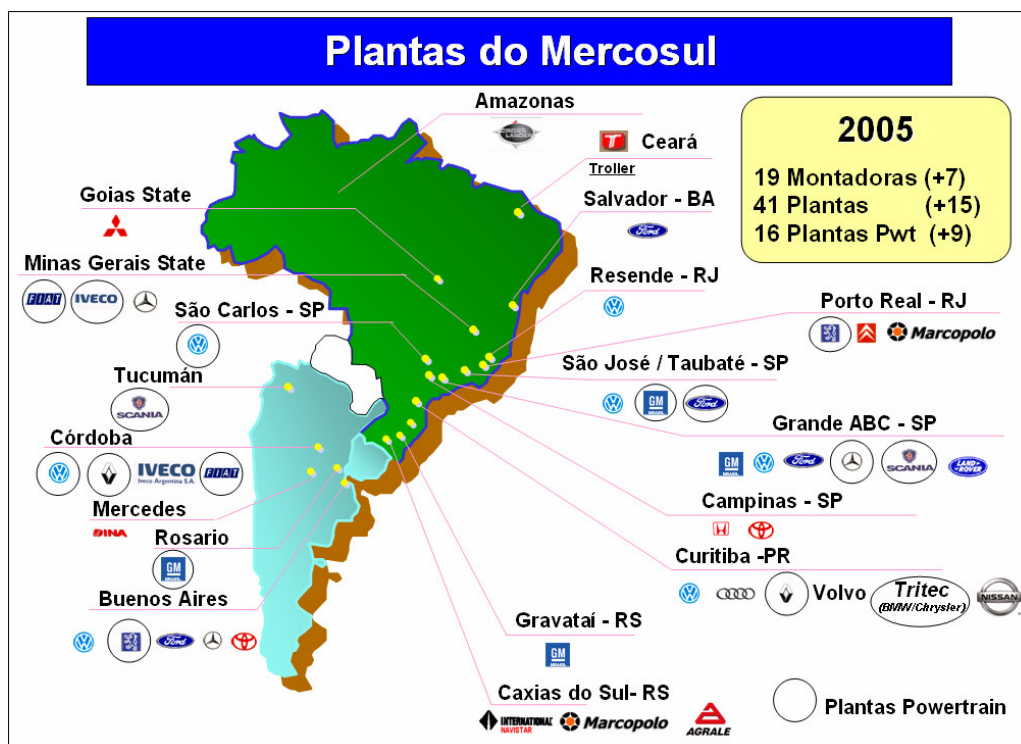


Figura 2 - Cenário de fábricas de automóveis em 2005 no Mercosul.  
 (Relatório Interno: R.Bibo, 2005).

Deste modo a demanda por qualidade e confiabilidade dos produtos cresce continuamente e este fenômeno é mais perceptível no setor automobilístico.

A Figura 3 mostra, segundo o anuário da ANFAVEA, como este mercado é disputado entre as quatro maiores empresas fabricantes de automóveis do país, isto

significa dizer que a cada ano as empresas têm que ser mais competitivas mais inovadoras e procurar atender cada vez mais a satisfação e as expectativas de seus clientes, ou seja, cada cliente conta para garantir a liderança de mercado.

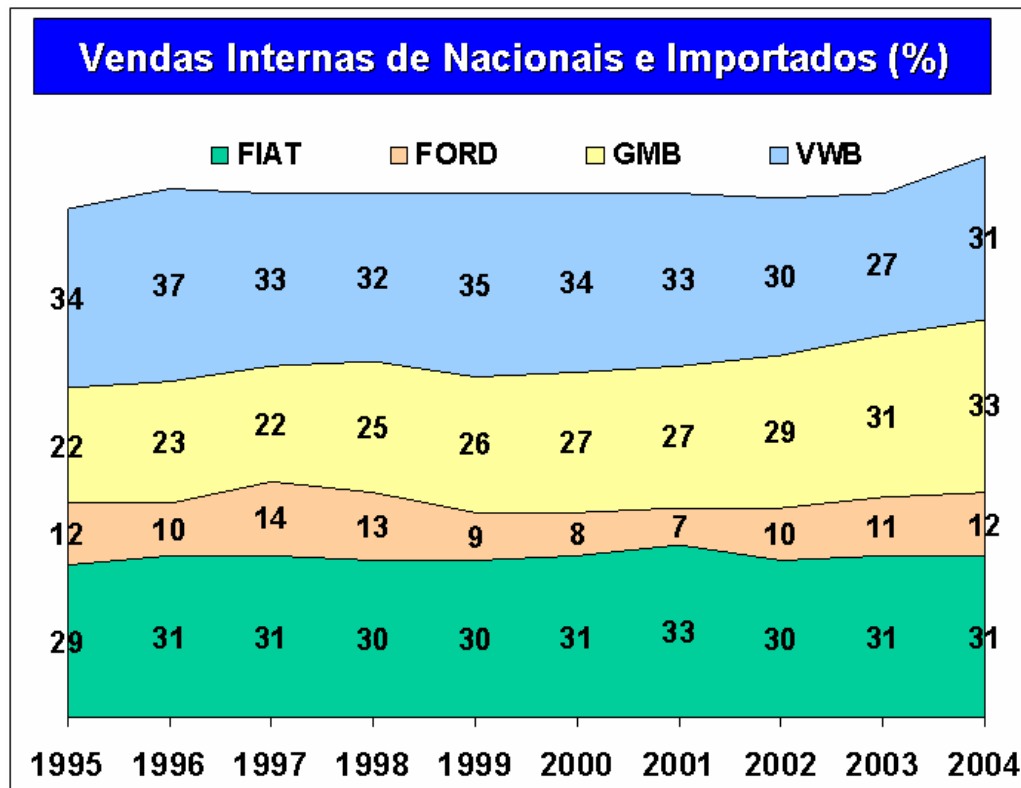


Figura 3 - Participação no mercado nacional de 1995 até 2004: Veículos de passageiros. (Anuário ANFAVEA, 2005)

Nenhuma empresa aprecia os custos causados pela garantia, isto quer dizer que alguma coisa saiu errado no projeto e com certeza ter-se-á um cliente insatisfeito que acabará levando seu veículo até uma concessionária para que ele seja reparado e gerando custos para a empresa.

Os custos de garantia são universalmente conhecidos como um mal e há uma grande concentração de esforços para reduzi-los. Infelizmente, quando se trata com uma população de milhares de veículos e cada um contendo aproximadamente 15.000 peças, a estatística nos mostra que sempre se observa algum nível de defeito. O lado positivo de tudo isto é que todos estes dados coletados durante o período de garantia são informações muito úteis para os engenheiros de confiabilidade e engenheiros do

produto, indicando onde as respectivas ações corretivas e preventivas podem ser implementadas.

A coleta e análise destes dados de campo é uma tarefa muito importante, pois ela reflete o verdadeiro desempenho da confiabilidade dos componentes e/ou subsistemas de um veículo quando usado para os mais diversos tipos de trabalho, envolvendo condições de carregamento e do meio ambiente associadas ao uso de um cliente, e não necessariamente são as previstas como condições de projeto do veículo.

As indústrias automotivas cobrem um período de garantia e uma quilometragem acumulada, normalmente o que acontecer primeiro, por exemplo:

- 12 meses ou 50.000 km,
- 12 meses e sem limite de quilometragem,
- 24 meses ou 50.000 km,
- 36 meses ou 60.000 km

Por exemplo, empresas como Mitsubishi e Citroen oferecem hoje dois anos de garantia completa e sem limite de quilometragem, outras empresas como a Ford, FIAT e GM oferecem um ano de garantia com limite de quilometragem de 50.000 km, dependendo do modelo do veículo esta garantia pode ser de dois anos. É durante este período que a empresa automotiva irá reparar a custo zero para o cliente todas as falhas reportadas por ele e todas estas informações são mantidas em bancos de dados das empresas durante um período superior ao de garantia. Todos estes dados podem ser usados para o acompanhamento da solução de um problema, comparação de modelos e avaliação do desempenho entre diferentes fábricas. Em resumo pode-se dizer que os dados de campo ajudam a reduzir os problemas e os gastos de garantia.

Dentro do período de garantia se um veículo falha uma, duas ou muitas vezes, o cliente não tem muita ação sobre isto, desde que a empresa repare seu veículo. Se isto ocorre com frequência o cliente ficará insatisfeito e a empresa terá grandes custos de garantia. Estando o veículo fora do período de garantia, o cliente pagará pelos custos de reparo, porém a empresa sofrerá com isto também, criando uma reputação de veículo não confiável e provavelmente afetando futuros negócios.

## **1.2 Objetivo do Trabalho**

Nos últimos anos a demanda por confiabilidade e baixo custo de um produto cresceram, assim como os clientes também se tornaram mais exigentes e muito bem informados, especialmente no setor automotivo. Atualmente, com a crescente competitividade no mercado nacional, as empresas estão estendendo o período de garantia de seus veículos procurando atrair mais clientes para sua marca, já que confiabilidade e preço são os principais fatores de decisão de compra de um veículo.

Portanto é necessário desenvolver métodos para descrever o comportamento dos produtos e prever sua confiabilidade e este é o objetivo deste estudo, desenvolver um modelo de tomada de decisão da extensão da garantia dos veículos baseado na análise de confiabilidade do produto existente. O modelo ora proposto é genérico, podendo ser aplicado a qualquer veículo.

O modelo baseia-se no emprego do conceito de confiabilidade para estimar a probabilidade de o veículo operar sem falhas por um período de tempo previamente especificado sob condições específicas de uso. Para esta análise utilizam-se os registros de falha durante o período de garantia do veículo, constantes do banco de dados da montadora, obtendo-se, com o emprego da técnica da análise de dados “censurados”, a curva de confiabilidade para o veículo ou para alguns subsistemas básicos como chassis, motor e transmissão, freios, refrigeração, entre outros.

De posse da curva de confiabilidade pode-se estimar qual a probabilidade do veículo ou subsistema falhar em diversos instantes de tempo.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 Análise da Confiabilidade de Sistemas

A palavra confiabilidade é amplamente utilizada nos dias de hoje. Segundo O'Connor (2002), o ponto de vista mais simplista de confiabilidade seria quando um produto é avaliado através de determinadas especificações ou conjunto de atributos e se aprovado seria então entregue ao cliente. O cliente tendo aceitado o produto sabe que ele poderá falhar no futuro, esta simples definição está associada ao custo de garantia da empresa. Se as falhas ocorrerem ou não, os respectivos tempos de falha podem raramente ser determinados com precisão. Confiabilidade é, portanto um aspecto de incerteza de engenharia. Se um item irá funcionar por um período de tempo, é somente uma questão de probabilidade. Isto resulta na definição usual de confiabilidade como sendo:

*“Confiabilidade é a probabilidade de um item realizar sua função especificada, sem falhas sob condições de uso previamente determinadas, em um período de tempo estabelecido”.*

Confiabilidade pode também ser expressa como o número de falhas ocorridas por um período de tempo. Durabilidade é um aspecto particular da confiabilidade, relacionado com o desempenho de um item através do tempo, ela é normalmente definida como o mínimo de tempo antes da ocorrência de falhas por desgaste. Mas quantas especificações e/ou atributos estarão funcionando após o período de garantia? É neste momento que entram as definições de confiabilidade. A qualidade de um produto é um atributo instantâneo para o início de vida do produto e sua confiabilidade é um retrato móvel de sua utilização. As falhas ocorridas em tempo zero são aquelas que passaram pelos métodos de garantia da qualidade da empresa e as falhas que ocorreram durante o tempo de uso são as falhas de confiabilidade.

Portanto os objetivos da engenharia de confiabilidade, em ordem de prioridade são:

1. *Aplicar os conhecimentos de engenharia e técnicas especiais para prevenir ou reduzir a frequência de falhas,*

2. *Identificar e corrigir a causa das falhas que ocorreram, apesar dos esforços para preveni-las,*
3. *Aplicar métodos para estimar a confiabilidade de novos projetos e para analisar os dados de campo.*

A razão para se priorizar deve-se ao fato de facilitar a observação de resultados intermediários que melhora a confiabilidade do produto em produção, atingindo o objetivo imediato de redução de custo, como objetivo futuro, ter-se-á o projeto e a produção de componentes e sistemas de maior confiabilidade.

Logo, os requisitos necessários são a habilidade de entender e antecipar as possíveis causas de falhas e o conhecimento de como preveni-las. Também é necessário conhecer os métodos que podem ser usados para analisar os projetos e os dados de campo. Estes requisitos nada mais são do que experiência e bons conhecimentos de engenharia e a engenharia de confiabilidade é a melhor a ser usada durante desenvolvimentos de novos projetos.

Os veículos atualmente são mais complexos, através da adição de mais componentes e de novas tecnologias com a intenção de competir melhor com seus concorrentes. Deste modo estes veículos que precisam apresentar uma confiabilidade aceitável pelo cliente devem ser monitorados constantemente, pois este aumento de complexidade pode causar um decréscimo de confiabilidade. Se uma empresa automotiva aumenta a confiabilidade de seus veículos, ela conseqüentemente aumentará os custos de projeto ou de produção. O custo total de um veículo não é calculado baseando-se simplesmente no custo de quando o veículo deixa a fábrica, mas sim com todo o custo até o final de sua garantia. Na aprovação de um novo projeto, todos os gastos esperados e retorno do investimento estão inclusos inclusive os gastos estimados de garantia durante a vida útil do produto. A Figura 4, conforme O'Connor, (2002), é uma representação teórica da relação custo benefício dos esforços gastos em atividades de análise de confiabilidade. Todavia, apesar de seu apelo e freqüente uso em livros e cursos de qualidade e confiabilidade, esta figura ainda não reflete

totalmente a realidade. Sabe-se que não será atingida a confiabilidade perfeita, ou seja, 100%, logo sempre ter-se-á algum tipo de falha, mas deveríamos perguntar: Quais seriam os custos para prevenir ou corrigir estas falhas, comparado com os custos de não preveni-las, ou seja, não fazer nada?

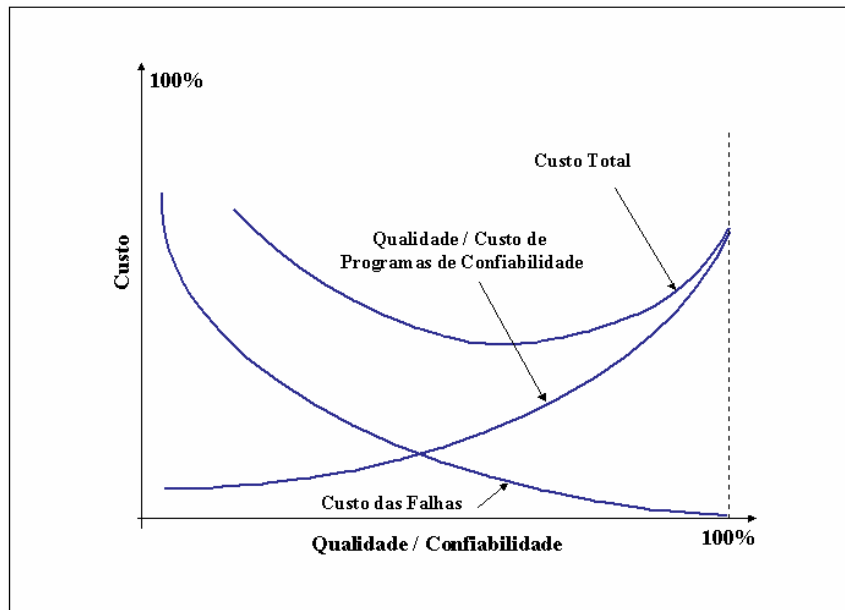


Figura 4 - Confiabilidade e custos do ciclo de vida: Visão tradicional. (O'Connor, 2002)

Quando cada modo de falha potencial é analisado desta maneira, é claro na grande maioria das vezes que o custo total continua a diminuir assim como a confiabilidade é melhorada. Em outras palavras, todo esforço gasto em programas de confiabilidade nada mais são do que investimentos, geralmente com grande retorno em curto período de tempo. A grande dificuldade enfrentada nos dias de hoje é que não é tão simples quantificar os efeitos dos programas de confiabilidade como quantos testes devem-se realizar para se atingir a confiabilidade planejada. A experiência tem mostrado que a maneira mais realista de se ilustrar este conceito esta representada na Figura 5. Deming, W.E. foi quem primeiro propos esta relação em suas aulas de qualidade.

Desenvolver produtos confiáveis requer uma integração total entre projeto, treinamento, teste e produção assim como programas de confiabilidade. Logo, torna-se difícil separar e identificar os custos de cada atividade, especialmente aquelas

voltadas para a confiabilidade. É importante a participação dos especialistas em confiabilidade nos times funcionais durante todas as fases de um projeto.

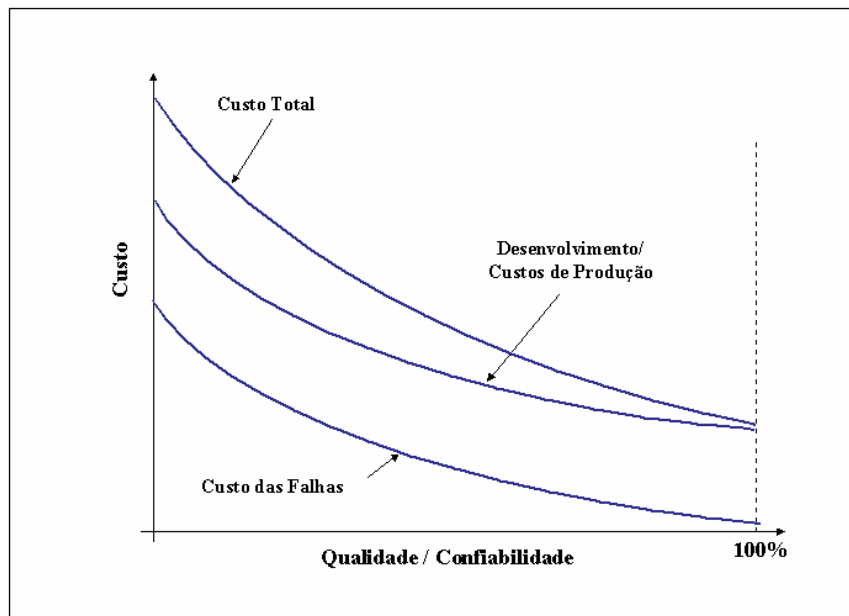


Figura 5 - Confiabilidade e custos do ciclo de vida: Visão moderna.  
(O'Connor, 2002)

Existem três tipos de engenharia do produto, sob a perspectiva de prevenção de falhas:

a) *Componentes confiáveis*: são aqueles que têm uma grande margem entre suas especificações e a sua solicitação de trabalho que poderia causar a falha, não sofrem com o uso durante o ciclo de vida do produto. Tais componentes são quase todos eletrônicos (quando usados corretamente) e quase todos os componentes mecânicos que não se movimentam.

b) *Componentes não confiáveis*: são aqueles que têm uma pequena margem entre suas especificações e a sua solicitação de trabalho que poderia causar a falha, sofrem com o uso durante o ciclo de vida do produto. Tais componentes podem ser lâmpadas, componentes em movimentação em contato com outros componentes como peças internas de transmissões, rolamentos, correias, bombas de óleo e água, entre outros.



c) *Sistemas*: incluem muitos componentes onde existem relações entre eles, funcionam em conjunto e o comportamento de um componente pode afetar o outro, existindo muitas possibilidades de falhas, por exemplo, calibrações de motores com erros, interferência eletromagnética, etc.

Deste modo, o trabalho dos engenheiros de projeto é assegurar que todos os componentes sejam corretamente analisados para que suas especificações estejam de acordo com as necessidades a que serão submetidos durante o ciclo de vida do produto.

## **2.2 Métodos de Crescimento de Confiabilidade**

Durante os estágios iniciais do desenvolvimento de um novo produto, estudos de confiabilidade são necessários como parte do projeto, pois eles influenciam muito nas futuras decisões.

Muitos destes estudos que formam o programa de confiabilidade são derivados de solicitações e de reclamações formuladas pelo próprio cliente e são adicionados ao projeto pela empresa. A confiabilidade é uma parte importante para se ter uma visão preliminar do projeto, onde se pode também estabelecer o nível de confiança desejado para que o produto tenha a confiabilidade esperada no campo.

Deficiências nesta fase do projeto afetarão o produto e certamente custará mais para corrigi-las nas fases mais adiantadas do desenvolvimento ou mesmo após o início de produção, conforme mostra a Figura 6, Hyman (1998). Portanto, torna-se necessário para todo time funcional ter disciplina durante o projeto, pois isto minimiza a possibilidade de ocorrência de erros e permite que as deficiências de projeto sejam detectadas nas fases iniciais e corrigidas o quanto antes.

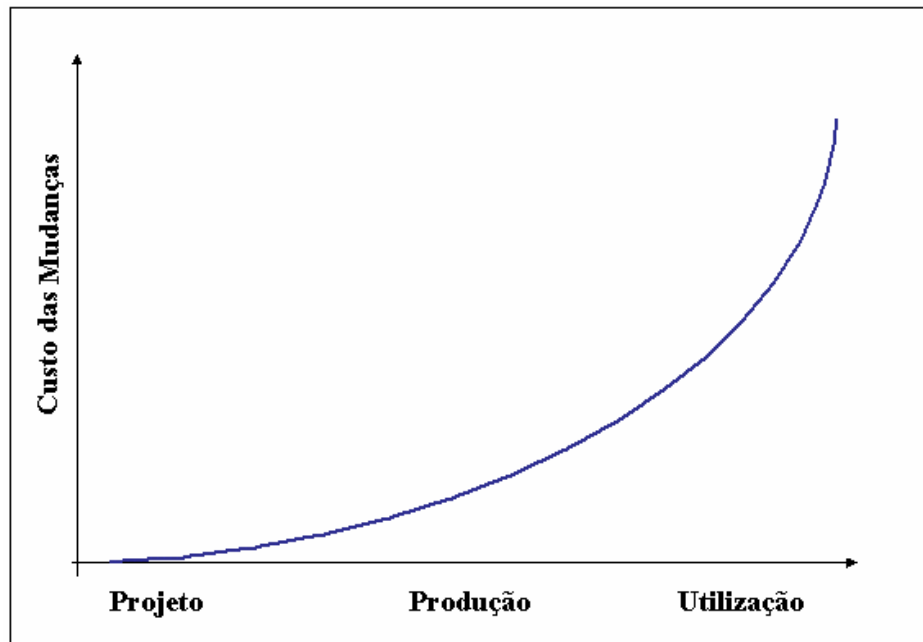


Figura 6 - Custo das mudanças durante diferentes fases do projeto.  
(Hyman, 1998)

Conforme Neubeck (2004), em geral estes estudos podem ser divididos em duas categorias: análise de componente e análise de subsistema. Análise de componente pode ser: análise de solicitação externa e predição da taxa de falha.

Quando se aplica estes dois tipos de análise, obviamente inicia-se uma análise de subsistema, dos quais os componentes são parte. Isto inclui análise de modo e efeitos de falha potencial (*failure mode and effects analysis - FMEA*) e análise da árvore de falhas (*failure tree analysis - FTA*). A Figura 7 mostra um programa típico de confiabilidade para um produto.

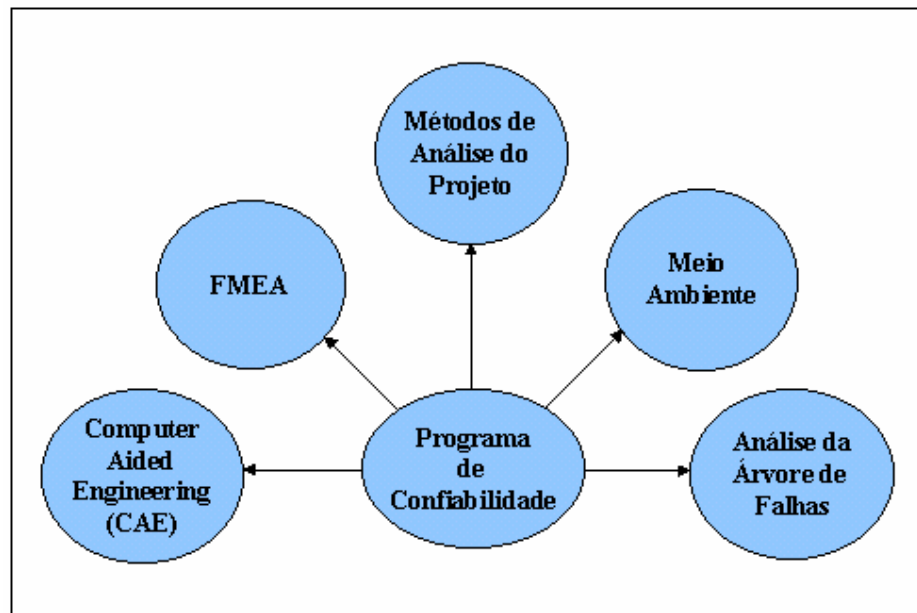


Figura 7 - Etapas de um programa de confiabilidade.  
(Neubeck, 2004)

A análise da confiabilidade depende de uma série de dados que devem ser tratados estatisticamente. Estes dados, neste estudo de caso, são extraídos dos dados de campo de um veículo em produção corrente que será o modelo de trabalho. Mas também podem ser levantados em diversas situações diferentes como testes em laboratórios para avaliar a durabilidade, desgastes, propriedades relativas ao tempo de vida dos materiais dos componentes e testes de subsistemas completos.

Existe sempre a preocupação quando do uso de dados de garantia automotiva, pois a informação proveniente dos bancos de dados não são consistentes. Isto se deve ao fato que a informação de campo representa somente aqueles veículos que apresentaram as falhas em seus componentes ou subsistemas durante o período de garantia. Pouco ou quase nada se sabe dos veículos que não apresentaram tais falhas durante o período de garantia (incluindo qual sua quilometragem ao término da garantia). Outra informação necessária para o bom andamento do projeto é o conhecimento da causa raiz das falhas ocorridas. Somente com uma análise precisa das peças fallhadas pode-se obter a causa raiz dos problemas reportados e assim propor mudanças de projeto adequadas para se ter resultados satisfatórios e

confiáveis no campo, caso contrário às correções acabam sempre em tentativa e erro e neste caso a efetividade das correções serão quase nulas.

### **2.2.1 Computer-Aided-Engineering – Método dos Elementos Finitos**

Os métodos computacionais de engenharia (CAE) estão disponíveis para ajudar em grande variedade de projetos. Esta ferramenta em crescente uso devido ao seu baixo custo em equipamentos computacionais e de *software* é o resultado de sua crescente aplicabilidade. A ferramenta CAE pode melhorar muito a produtividade de engenharia e se propriamente utilizada nas fases iniciais do desenvolvimento do produto pode gerar informações úteis ao projeto antes da montagem dos protótipos.

Segundo Dubensky (1996), o uso desta ferramenta na criação de protótipos pode reduzir até 27% do tempo de desenvolvimento e reduzir o custo em 32%. Kaminski (2000) relata que os sistemas mais utilizados são os sistemas baseados no método dos elementos finitos. Esta ferramenta nos fornece a capacidade de avaliar opções de projeto diferente, analisar o efeito das tolerâncias, variações e modo de falha. Dubensky (1996) acrescenta que o método dos elementos finitos é uma análise numérica para se obter a solução de problemas de engenharia que não tem uma solução matemática exata. Desde que o método foi desenvolvido para prever as tensões em estruturas complexas, tem sido aplicado em todos os tipos de estruturas de navios até conectores elétricos.

CAE deve ser considerada como uma ferramenta poderosa para as correções de um projeto e não como uma maneira de se acelerar o projeto. Todavia o uso eficiente da ferramenta CAE necessita de técnicos com habilidade, conhecimento e experiência. Logicamente tem suas limitações e cabe aos engenheiros do produto estar sempre alertas quanto a estas limitações.

Enquanto a engenharia simultânea é usada para acelerar o tempo de desenvolvimento de um produto, a ferramenta CAE é usada para a simulação de componentes ou de processos. O processo de desenvolvimento de um produto pode ser representado simplificado pela Figura 8, conforme Dubensky (1996). Existem três fases,

projeto, tempo de desenvolvimento e nível de confiabilidade desejado onde os números mostrados são apenas como exemplo, na realidade um processo de desenvolvimento de veículo real é muito mais complexo e mais detalhado, mas este não é o objetivo neste momento, o importante é saber que a ferramenta precisa ser usada na fase conceitual do projeto e sempre completar uma análise de CAE antes que qualquer teste de protótipo seja testado. Outro ponto a ser considerado é a existência de duas ou três alternativas para auxiliar na tomada de decisão.

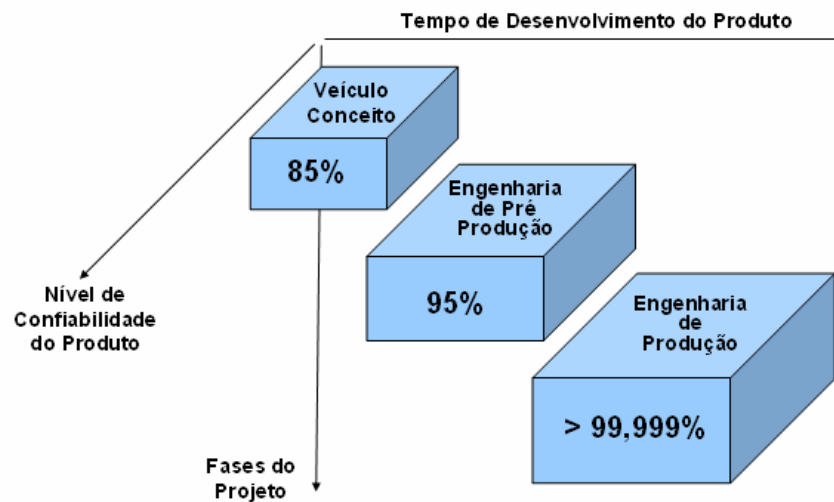


Figura 8 - Processo de desenvolvimento do produto.  
(Dubensky, 1996).

### 2.2.2 Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA)

A análise dos modos e efeitos das falhas é provavelmente uma das ferramentas mais usadas nas fases iniciais de desenvolvimento de um novo produto, podendo também ser usado em produtos já em produção normal. Seu propósito é identificar os potenciais modos de falha do produto e seus possíveis efeitos, consequentemente aumentando a confiabilidade do produto, conforme Martha de Souza (2003) a Figura 9 exemplifica o propósito da FMEA, a análise do tipo FMEA tem como princípio considerar cada modo de falha de todos os componentes de um sistema ou subsistema, baseando-se em conhecimento de especialistas ou em histórico de itens similares. Cada um destes potenciais modos de falha é classificado em uma escala

numérica. A classificação desta escala considera três aspectos separados para cada modo de falha.

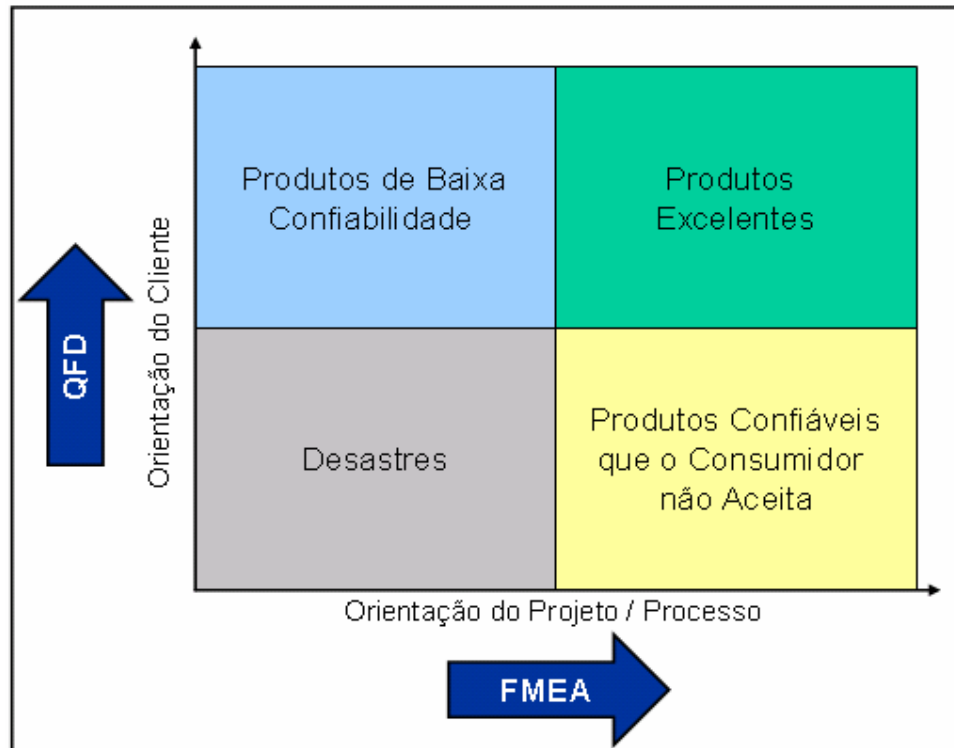


Figura 9 - Propósito da FMEA. (Martha de Souza, 2003)

Primeiro, é a escala que considera a probabilidade de que o modo de falha em análise ocorrerá. Segundo o modo de falha também é classificado pela severidade que poderá causar no funcionamento do sistema e o terceiro, é a escala que considera a probabilidade que o modo de falha será detectado e/ou corrigido.

Um dos aspectos de importância do processo da análise do tipo FMEA é a classificação dos fatores de ocorrência, severidade e detecção. Estes três números quando multiplicados, nos fornece o fator de risco (denominado *Risk Priority Number* – *RPN*) para o modo de falha em análise. Quando este fator de risco é considerado para cada previsão de modo de falha em potencial, pode-se rapidamente identificar quais itens do sistema causarão problemas de segurança, confiabilidade ou qualidade. O uso da análise da FMEA permite ao engenheiro responsável corrigir e

implementar melhorias no projeto ou processo que podem eliminar ou diminuir os efeitos do modo de falha.

A execução de uma análise do tipo FMEA pode ser aplicada ao projeto ou processo. Caso seja uma FMEA de projeto, as causas das falhas serão aquelas relacionadas a problemas de projeto, como dimensionamento errôneo, interferência, desconhecimento das solicitações e/ou tensões do componente, material mau especificado, torque especificado abaixo da necessidade etc. A FMEA de projeto não deve contar com controles de processo para diminuir deficiências do projeto, mas deve considerar os limites físicos para um processo de manufatura, como necessidade de ângulo de saída de molde, limites de endurecimento de aços, tolerâncias, espaço para montagem, etc. também devem ser considerados os limites físicos da manutenção do produto como acesso a ferramenta, capacidade de diagnóstico, etc.

Quanto a análise da FMEA de processo são consideradas as falhas decorrentes de um processo de produção inadequado, por exemplo, um parafuso de grande solicitação, pode ter sido produzido conforme o projeto especificou, porém, se no material houver um bolha de ar não detectada, isto com certeza causará uma falha no parafuso, mas não por erro de projeto e sim de processo. Logo, a FMEA é um documento dinâmico e deverá ser continuamente atualizado de acordo com as alterações ocorridas durante as fases de desenvolvimento do produto e deverá estar concluído antes da liberação dos desenhos de produção para a ferramentaria.

Identificar as causas potenciais de mau funcionamento de um produto ou sistema é apenas parte do trabalho, a missão principal é transformar esta análise de risco em ação.

### ***i) FMEA de Projeto***

Uma FMEA de projeto é uma técnica analítica usada fundamentalmente pelo engenheiro ou equipe responsável pelo projeto com a finalidade de assegurar que os modos de falha potencial e suas causas/mecanismos associados foram considerados e

abordados. Conforme SAE J-1739, a FMEA de projeto dá suporte no desenvolvimento do processo do projeto reduzindo os riscos de falhas pelos seguintes motivos:

- a) Auxiliar na avaliação objetiva do projeto, incluindo requisitos funcionais e alternativos do projeto.
- b) Avaliar o projeto inicial em relação aos requisitos de manufatura, montagem assistência técnica e reciclagem.
- c) Aumentar a probabilidade de que os modos de falha potencial e seus efeitos no sistema e na operação do veículo tenham sido considerados no processo de desenvolvimento do projeto.
- d) Fornecer informações adicionais para auxiliar no planejamento eficiente e completo do projeto, desenvolvimento e programas de validação.
- e) Desenvolver uma lista com pontuação dos modos de falha potencial de acordo com seus efeitos no “cliente”, estabelecendo assim um sistema de priorização para melhorias do projeto, desenvolvimento e ensaios/análises de validação.
- f) Proporcionar uma forma de documentação aberta para recomendar e rastrear ações de redução de risco.
- g) Proporcionar referência para no futuro ajudar na análise de problemas de campo, na avaliação de alterações de projeto e no desenvolvimento de novos projetos.

#### ***ii) FMEA de Processo***

Uma análise de FMEA de processo é uma técnica analítica usada pelo engenheiro responsável pela manufatura com a finalidade de assegurar que os modos de falha potencial e suas causas foram considerados. De uma forma mais precisa uma análise



de FMEA é um resumo dos pensamentos da equipe durante o desenvolvimento de um processo incluindo a análise de itens que poderiam falhar baseados em experiências passadas, podemos sempre ter em mente a seguinte pergunta: O que poderia falhar no processo? Assim cada parte do processo terá então seus problemas identificados e métodos ou controles poderão ser implementados.

A FMEA de processo:

- a) Identifica as funções e requisitos do processo,
- b) Identifica os modos de falha potencial relacionados ao produto e processo,
- c) Avalia os efeitos potenciais das falhas no cliente,
- d) Identifica as causas potenciais de falhas do processo de manufatura ou montagem e as variáveis que deverão ser controladas,
- e) Identifica as variáveis do processo para enfocar os controles de processo,
- f) Classifica os modos de falha potencial e prioriza as ações corretivas e preventivas,
- g) Documenta os resultados do processo.

### ***iii) Etapas para se fazer um bom FMEA***

Segundo O'Connor (2002), uma análise do tipo FMEA realizada com sucesso necessita de suporte total dos responsáveis pelo projeto e da alta administração da empresa. O primeiro passo é obter todas as informações disponíveis do projeto, isto inclui especificações, desenhos, dados de CAE (*Computer Aid Engineering*), análise de solicitações externas, resultados de testes, etc., para um resultado ainda melhor as informações de predição de confiabilidade também devem estar disponíveis ou poderá ser elaborada paralelamente. Um bom time de FMEA inclui não somente os engenheiros responsáveis pelo projeto, mas também todo pessoal que esta diretamente envolvido com o processo de análise, podendo ser, por exemplo, os técnicos mecânicos de manutenção, técnicos especialistas mecânicos e elétricos e se possível até um representante do fornecedor do produto em análise.

Um facilitador deverá ser treinado para questionar o time com perguntas chaves e estar preparado para por a prova o time quanto ao funcionamento do produto em

análise, seus modos de falha e seus efeitos. No início, um período de tempo deve ser dedicado aos novos membros do time da FEMA para que eles se familiarizem com o processo antes do início da execução da análise. O time deve entender claramente quais são os propósitos e benefícios da FMEA e se o tempo permitir uma FMEA de um produto de menor complexidade deve ser feito como prática da ferramenta. Segundo Dodson e Nolan (1995) um exercício deste tipo pode ser realizado em aproximadamente quatro horas.

O uso de computadores com projetores de imagem é recomendado durante as reuniões, pois os formulários (ou *software* específico para FMEA) em branco podem ser preenchidos durante a reunião com todos os dados fornecidos pelos membros do time, uma cópia deste trabalho deve ser distribuída aos membros do time ao final de cada reunião, para que qualquer mudança possa ser recomendada na próxima reunião. Embora o uso de computadores e *software* não seja absolutamente necessário para um bom FMEA ser realizado, esta prática não somente poupa tempo, mas também mantém as idéias do time organizadas e todos focados no mesmo ponto.

Com isso, os engenheiros dedicam mais tempo ao trabalho de engenharia propriamente ao invés de fazer compilações tediosas de dados. Após realizar um FMEA um relatório final deve ser elaborado mostrando todas as sugestões de ações corretivas e um plano de implementação deve ser apresentado para aprovação.

#### ***iii) Preenchimento da Tabela***

A Tabela I representa, segundo a SAE J-1739, o formulário para o preenchimento da FMEA de projeto. Os passos seguintes explicam de uma maneira simples o significado das principais colunas, como segue:

1. Item / Função (coluna 1): Escreva brevemente a que o item ou sistema foi projetado a fazer, seja o mais objetivo possível. Caso o item em análise tenha mais de uma função com diferentes modos de falha potenciais, liste todas as funções separadamente.

2. Modo de Falha Potencial (coluna 2): Nesta coluna descreva como o item potencialmente falharia ao cumprir a sua função. Determine cada modo de falha potencial e assumo-se que a falha pode ocorrer, mas não necessariamente vai ocorrer. Neste momento é sempre aconselhável ter conhecimento de problemas ocorridos no passado, relatórios e discussão com o time. Modos de falha potencial que poderiam ocorrer somente sob certas condições de uso (quilometragem acumulada acima da média, terreno acidentado, somente uso urbano, etc.) e de operação (calor, frio, poeira, umidade, etc.) deveriam ser considerados.

Os modos de falha potencial mais típicos são:

- Trincado
- Solto
- Engripado
- Quebrado
- Desliza (não segura o torque total)
- Suporte inadequado (estrutural)
- Desengata muito rápido
- Sinal intermitente
- Deformado
- Vazado
- Oxidado
- Não transmite torque
- Sem suporte (estrutural)
- Arranha ao engatar
- Sinal inadequado
- Sem sinal

*Nota: seja sempre específico. Por exemplo:*

1. “Bomba da direção hidráulica com vazamento na mangueira de entrada da bomba” ao invés de “sistema da direção hidráulica falhou”.
2. “Rolamento do compressor do ar condicionado engripou” ao invés de “ar condicionado não funciona”.



3. Efeito(s) Potencial (is) da Falha (coluna 3): Descreva o que acontecerá como resultado de cada modo de falha. Defina se o modo de falha poderia afetar a segurança ou a legislação. Os efeitos deveriam ser sempre definidos em termos de um sistema, subsistema e/ou componente que esta em análise.

4. Severidade(s) (coluna 4): Severidade é a classificação do modo de falha, usando uma escala conforme Tabela II, indicando menores números de severidade para problemas de pouca importância e maiores números para problemas de grande importância. A redução do índice de severidade somente é possível com uma mudança de projeto.

Tabela II - Avaliação de Severidade. FMEA de Projeto. (SAE J-1739)

<b>Efeito</b>	<b>Critério: severidade do Efeito</b>	<b>Índice de Severidade</b>
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental com aviso prévio.	9
Muito alto	Veículo/item inoperável (perda da função primária)	8
Alto	Veículo/item inoperável, mas, com nível de desempenho reduzido. Cliente bastante insatisfeito.	7
Moderado	Veículo/item operável, mas com item(s) de conforto/conveniência inoperável (is). Cliente insatisfeito.	6
Baixo	Veículo/item operável, mas com item(s) de conforto/conveniência inoperável (is) com nível de desempenho reduzido. Cliente um tanto insatisfeito.	5
Muito Baixo	Itens de ajuste: acabamento/Chiado e barulho não-conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais de 75%).	4
Menor	Itens de ajuste: acabamento/Chiado e barulho não-conformes. Defeito notado por 50% dos clientes.	3
Muito Menor	Itens de ajuste: acabamento/Chiado e barulho não-conformes. Defeito notado por clientes acurados (menos de 25%).	2
Nenhum	Sem efeito perceptível.	1

5. Classificação (coluna 5): Esta coluna pode ser usada para classificar qualquer característica especial do produto, onde o sistema, subsistema e/ou componente possa requerer controles adicionais do projeto ou processo. Podendo também ser

usada para destacar modos de falha com maior prioridade para uma avaliação da engenharia.

6. Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha (coluna 6): Liste, de forma mais completa possível, todos os mecanismos e/ou causas potenciais de falha para cada modo de falha. Tente antecipar a causa do modo de falha descrito, o que poderia causar este modo de falha? Árvore de análise de falhas é uma ferramenta útil neste momento se o tempo permitir, para se determinar o causa raiz. Causas de falhas típicas podem incluir, mas não limitar-se a:

- Especificação incorreta de material;
- Consideração inadequada da vida do projeto;
- Capacidade de lubrificação ineficiente;
- Instruções de manutenção inadequada;
- Especificação de acabamento superficial inadequado;
- Ferramental desgastado ou quebrado;
- Solda imprópria;
- Arrefecimento ineficiente;
- Manuseio inadequado.

Mecanismos de falha típicos podem incluir, mas não limitar-se a:

- Escoamento;
- Fadiga;
- Desgaste;
- Corrosão.

7. Ocorrência (coluna 7): Ocorrência é a probabilidade de um mecanismo/causa específico irá ocorrer durante a vida do projeto. A única maneira de se reduzir efetivamente o índice de ocorrência é controlando as causas/mecanismos do modo de falha, através de uma alteração no projeto ou no processo. A escala de avaliação (1 a 10) da Tabela III mostra a probabilidade de ocorrência da causa/mecanismo de falha potencial. Na determinação da probabilidade de ocorrência algumas questões deveriam ser consideradas:

- a) Qual a experiência/histórico de campo com componentes, subsistemas e sistemas familiares?
- b) A aplicação do componente mudou?
- c) Quais são as modificações no meio ambiente?
- d) O componente é completamente novo?
- e) Controles preventivos foram colocados em prática?

Tabela III - Critério de Avaliação de Ocorrência. FMEA de Projeto. (SAE J-1739)

Probabilidade de falha	Taxas de falha possíveis	Índice de Ocorrência
Muito alta: Falha persistente	$\geq 100$ por mil veículos/itens	10
	50 por mil veículos/itens	9
Alta: Falhas freqüentes	20 por mil veículos/itens	8
	10 por mil veículos/itens	7
Moderada: Falhas ocasionais	5 por mil veículos/itens	6
	2 por mil veículos/itens	5
	1 por mil veículos/itens	4
Baixa: Relativamente poucas falhas	0,5 por mil veículos/itens	3
	0,1 por mil veículos/itens	2
Remota: Falha improvável	$\leq 0,01$ por mil veículos/itens	1

8. Controles Atuais do Projeto (coluna 8 e 9): Liste as atividades de prevenção, por exemplo, o plano de validação do veículo e/ou sistema(s) em teste, ou qualquer outra atividade que irá assegurar a adequação do projeto para o modo de falha e/ou causa / mecanismo em estudo.

Controles atuais são aqueles que são ou foram usados em projetos similares, tais como, ensaios de laboratório, testes de protótipos, testes de rodagem, testes em frotas de veículos, etc., mas é preciso também buscar a melhoria dos processos e controles

atuais e a implementação de um novo projeto pode ser a oportunidade para tal. Existem dois tipos de controles de projeto a considerar:

- **Prevenção:** prevenir a ocorrência da causa/mecanismo de falha ou modo de falha, ou reduzir a sua taxa de ocorrência.
- **Detecção:** detectar a causa/mecanismo da falha ou do modo de falha, tanto por métodos analíticos ou físicos, antes do componente ou sistema entrar em produção.

9. Detecção (coluna 10): Conforme a Tabela IV, a detecção é a classificação associada com o melhor controle de detecção listado no controle do projeto.

Detecção é um índice relativo no escopo da FMEA individual. O Critério de avaliação sugerido conforme a norma SAE J-1739 diz que a equipe deverá concordar com um critério/índice de avaliação que seja consistente, mesmo se modificado para análise individual de um sistema.

10. Número de Prioridade de Risco – NPR (coluna 11): O número de prioridade de risco é o produto dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D).

$$(S) \times (O) \times (D) = NPR$$

O NPR é utilizado para determinação de prioridade das ações a serem tomadas.

11. Ações Recomendadas e Tomadas (coluna 12): Aqui as recomendações têm por objetivo direcionar as ações corretivo-preventivas conforme a severidade e o NPR. A intenção é reduzir os índices na seguinte ordem: severidade, ocorrência e detecção. Na prática quando a severidade for 9 ou 10 é necessário uma atenção especial para assegurar que o risco será abordado através dos controles de projeto existentes ou ações preventivas/corretivas não considerando o NPR. O objetivo das ações recomendadas é reduzir os riscos e aumentar a satisfação do cliente através da melhoria do projeto.



Tabela IV - Critério de Avaliação de Detecção Sugerido. FMEA de Projeto.  
(SAE J-1739).

<b>Detecção</b>	<b>Critério: Probabilidade de Detecção pelo Controle de Projeto</b>	<b>Índice de Severidade</b>
Absoluta incerteza	Controle de Projeto não irá e/ou não pode detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha; ou não existe controle de Projeto.	10
Muito remota	Possibilidade muito remota que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	9
Remota	Possibilidade remota que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	8
Muito baixa	Possibilidade muito baixa que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	7
Baixa	Possibilidade baixa que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	5
Moderadamente alta	Possibilidade moderadamente alta que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	4
Alta	Possibilidade alta que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	3
Muito alta	Possibilidade muito alta que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	2
Quase certamente	O Controle de Projeto irá quase certamente detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	1

Segundo Kaminski (2000) o responsável pelo projeto do produto deve assegurar-se de que as medidas propostas sejam devidamente implementadas. O documento resultante da FMEA deve refletir o último nível de atualização do projeto, bem como as ações recomendadas. O responsável pela FMEA pode ser o engenheiro responsável pela análise da qualidade e confiabilidade do produto em questão, estimulando a troca de idéias entre as áreas envolvidas.

### 2.2.3 Métodos de Análise de Projeto

Mesmo com grande experiência no desenvolvimento de um produto, é inevitável que algum tipo de erro ocorra em um novo projeto. Os métodos de análise de projeto foram desenvolvidos para ajudar os engenheiros a identificar e a focar maior atenção nos pontos críticos do projeto. Normalmente estas análises mostram que todos os pontos críticos do projeto estão sob controle e que todo o esforço foi unicamente gasto para mostrar algumas poucas deficiências. Porém, a descoberta de tais deficiências nas fases iniciais do projeto pode causar grandes ganhos ao programa, pois, qualquer mudança nas fases mais adiantadas causam aumento de custo ou a necessidade de convivência com o problema até a implementação de sua correção, que às vezes pode se estender após o início de produção do produto. Algumas das principais ferramentas para ganho de confiabilidade aplicadas na análise de projeto são:

- Desdobramento da Função Qualidade (*Quality function deployment - QFD*),
- Predição da Confiabilidade,
- Peças, Materiais e Análise do Processo,
- Engenharia Simultânea,
- Revisão de Projeto Baseado em Modo de Falha

#### 1) *Desdobramento da Função Qualidade (QFD)*

A criação do desdobramento da função qualidade (*Quality Function Deployment – QFD*) ou também conhecida pelo nome de Casa da Qualidade, é geralmente atribuída a Mitsubishi no Japão. Segundo David Hutton (2002), a primeira idéia foi concebida no final dos anos 60 e foi adotada e desenvolvida por outras empresas japonesas, notavelmente pela Toyota e seus fornecedores.

Em 1986 um estudo realizado pelo Sindicato de Cientistas e Engenheiros Japoneses (*Japanese Union of Scientists and Engineers - JUSE*) revelou que 54% das 148 empresas pesquisadas estavam usando o conceito de *QFD*. Os setores de maior

penetração de uso do *QFD* eram o de transporte (86%), construção (82%), máquinas de precisão (66%) e eletrônicos (63%).

Nos EUA as primeiras empresas a usarem o *QFD* foram a Ford, GM e Chrysler conhecidas como as “três grandes” empresas automotivas nos anos 80 e poucas outras empresas no setor de eletrônicos, mas não existe nenhuma pesquisa como a japonesa *JUSE* que mostre quanto à ferramenta *QFD* foi difundida nos EUA. Atualmente existe alguma relutância entre os usuários de *QFD* em publicar e dividir informações, muito mais do que qualquer outra metodologia relacionada a qualidade. Isto se deve ao fato de que os dados obtidos e as decisões tomadas usando *QFD* referem-se a produtos futuros e, portanto não podem ser divulgadas para os competidores.

Esta simples técnica tem como objetivo identificar todos os pontos que podem afetar o produto em atender as expectativas do cliente. Segundo O'Connor (2002) *QFD* é uma maneira da voz do cliente ser ouvida na empresa e vai mais além da confiabilidade, pois, também são cobertos itens de preferência dos clientes como toque, aparência, estilo, textura, etc. É uma ferramenta útil para direcionar e controlar as atividades de projeto e processo para a garantia da confiabilidade. A técnica de *QFD* traz grandes vantagens ao processo de desenvolvimento do produto tais como, redução do tempo de implementação do produto ao mercado, melhora a comunicação do time de trabalho, pois todos os participantes terão um entendimento comum dos objetivos durante o desenvolvimento, reduz de 30 a 50% de mudanças em projetos. A Figura 10 mostra de uma maneira simples, segundo Banerjee e Das (2001), o benefício da técnica *QFD*.

Assim pode-se dizer que a ferramenta *QFD* mantém o foco no cliente, faz o elo entre requisitos do cliente e desenvolvimento das especificações do produto, redução do ciclo de desenvolvimento do produto e finalmente melhora a satisfação do cliente.

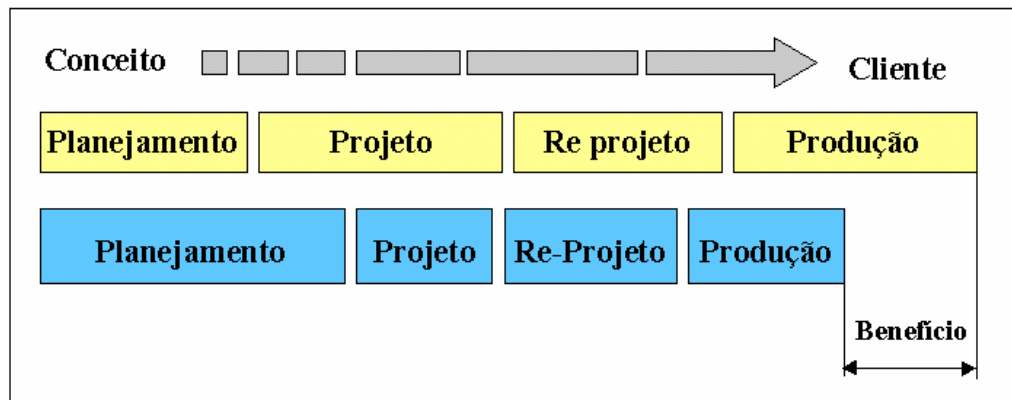


Figura 10 - Benefício da ferramenta QFD. (Banerjee, 2001)

O grupo de aplicação de *QFD* é formado por um time de trabalho onde todas as áreas da empresa participam. A este time cabe identificar e definir as características que necessitam ser controladas, quais métodos de controle precisam ser usados e quais os responsáveis por tais tarefas.

Segundo Hyman (1998) a matriz *QFD* é construída de forma que reproduza as relações entre os requisitos dos clientes, os requisitos de engenharia e as características dos produtos da concorrência. A Figura 11 mostra, segundo Hyman (1998), a estrutura básica da matriz *QFD*.

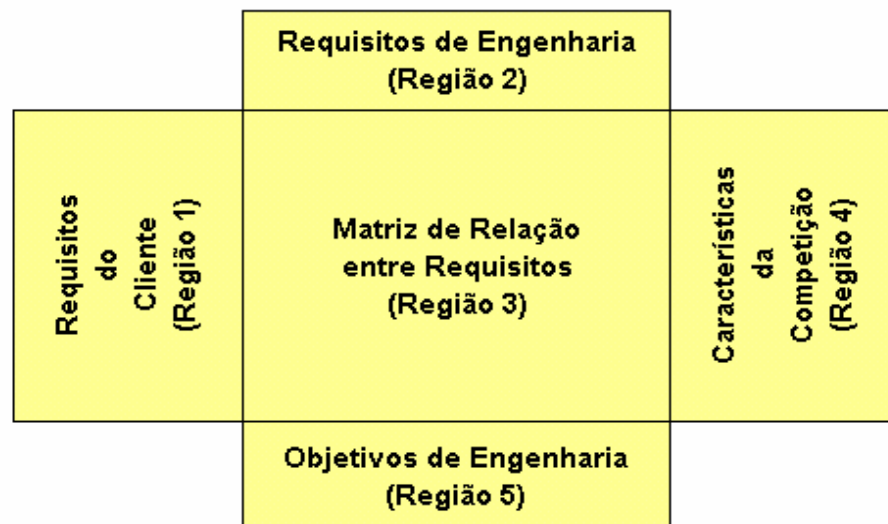


Figura 11 - Estrutura da matriz *QFD*. (Hyman, 1998)

a) *Requisitos do Cliente (VOZ do CLIENTE)*

A região 1 da Figura 11 contém a lista de requisitos do cliente, mostrando o que o cliente quer e neste ponto deve-se estar atento ao que o cliente quer e qual a sua real necessidade. E assim, cada item é classificado por ordem de importância (alguns autores classificam em uma escala de 1 até 5). Estes itens são obtidos através de pesquisa direta com o cliente ou através de observações de clientes que usam produtos similares. Um aspecto importante na Região 1 é que a lista de necessidades do cliente esta em suas próprias palavras e não foi ainda interpretada pelos engenheiros. Isto ajudará nas decisões futuras, pois são as necessidades reais dos clientes e não o que chamamos atualmente de qualidade percebida. Um exemplo de aplicação da matriz QFD de um para-choque é representado na Figura 12, conforme Hyman (1988).

		Requisitos de Engenharia								Benchmarks Competidor A Competidor B		
		Resistência a Deformação	Módulo de Elasticidade	Separação dos Furos de Montagem	Espessura da Chapa	Constante Efetiva da Mola	Momento de Inércia do Perfil	Peso	Deflexão Máxima			Custo
Requisitos do Cliente	Boa Aparência				X							0
	Suporta Placa de Licença			X							0	
	Resistente a Batidas de Pedregulhos	X	X								0	
	Proteje os Fârois	X	X			X	X		X			0
	Não Oxida				X							0
	Durável				X							0
	Barato	X			X			X		X		0
	Proteje Para-Lama e Capo	X	X			X	X		X			
Unidades		psi	psi	in.	in.	lb/in.	in. <sup>4</sup>	lb	in.	\$		
					0,05			50		100		
		Objetivos de Engenharia										

Figura 12 - Matriz QFD Parcial: Pára-choque de um veículo. (Hyman, 1998)

### *b) Requisitos de Engenharia*

A região 2 da Figura 11 contém a lista dos requisitos de engenharia. Esta lista é gerada pelo grupo de engenheiros do produto e transforma requisitos do cliente em requisitos de engenharia mensuráveis, neste ponto pode-se incluir o maior número possível de requisitos. Aqui se deve também responder como satisfazer cada necessidade do cliente, quais os requisitos do produto e transformá-los em ações de engenharia.

### *c) Matriz de Relação entre os Requisitos*

A região 3 da Figura 11 é a matriz formada por linhas onde estão os requisitos do cliente e colunas onde estão os requisitos de engenharia. Cada relação entre os requisitos do cliente e os requisitos de engenharia é marcada com um “X” na célula correspondente da matriz, mostrando que existe relação entre eles. Outros autores até quantificam esta relação usando a escala de 1 até 5 como O’Connor (2002) , outros quantificam como Alto = 9, Médio = 3 e Baixo = 1. Todos estão corretos, não existe uma norma para isto e todos os usuários são encorajados a desenvolver métodos e formatos que atendam aos seus produtos e suas necessidades.

### *d) Melhores Competidores (Benchmarking)*

Um dos pontos chaves da matriz *QFD* é a comparação do seu produto com os competidores e isto é chamado de “*benchmarking*” e está representado na região 4. Podem ser incluídos quantos competidores forem necessários. Os competidores que melhor atenderem as necessidades dos clientes são indicados com o sinal “o” , outros autores classificam o grau de atendimento as necessidades dos clientes usando a escala de 1 a 5. No exemplo na Figura 12 o item que melhor atende as necessidades do cliente esta classificado conforme Hyman (1988). Neste estão selecionados somente dois competidores, mas isto não é uma regra e podem-se ter quantos forem necessários.

#### *e) Objetivos de Engenharia*

Os objetivos de engenharia definem quais são os itens de maior importância técnica, onde cada requisito do cliente estará realmente associado aos requisitos de engenharia. Os objetivos de engenharia para cada requisito do cliente podem ser os valores que cada item de necessidade do cliente precisa ter para estar competitivo com o produto usado como “*Benchmarking*”. A Figura 12 mostra um objetivo de custo para o pára-choque de até \$100 para que este custo esteja competitivo com o “*benchmarking*”. Todavia, não é necessário que cada objetivo de engenharia tenha um valor igual, ou melhor, que seu competidor.

#### *f) Variações da Matriz QFD*

Como mencionado anteriormente, alguns autores sugerem o uso de valores nas regiões 3 e 4 ao invés de somente um “x”. Tais valores não somente identificam as relações entre requisitos como também quantificam estes requisitos. Isto ajuda a identificar quais requisitos de engenharia terá maior impacto no requisito do cliente e ajuda a estabelecer prioridades para as atividades de projeto. Desta forma, tendo os itens de maior impacto nos requisitos do cliente e também os valores dos competidores fica mais fácil estabelecer objetivos de qualidade.

Outra variação da matriz *QFD* é a adição de um triângulo acima da região 2, conforme mostra a Figura 13. Esta região é usada para que se tenha um melhor entendimento das relações existentes entre os requisitos de engenharia. O Anexo A mostra passo a passo a construção de uma matriz *QFD*.

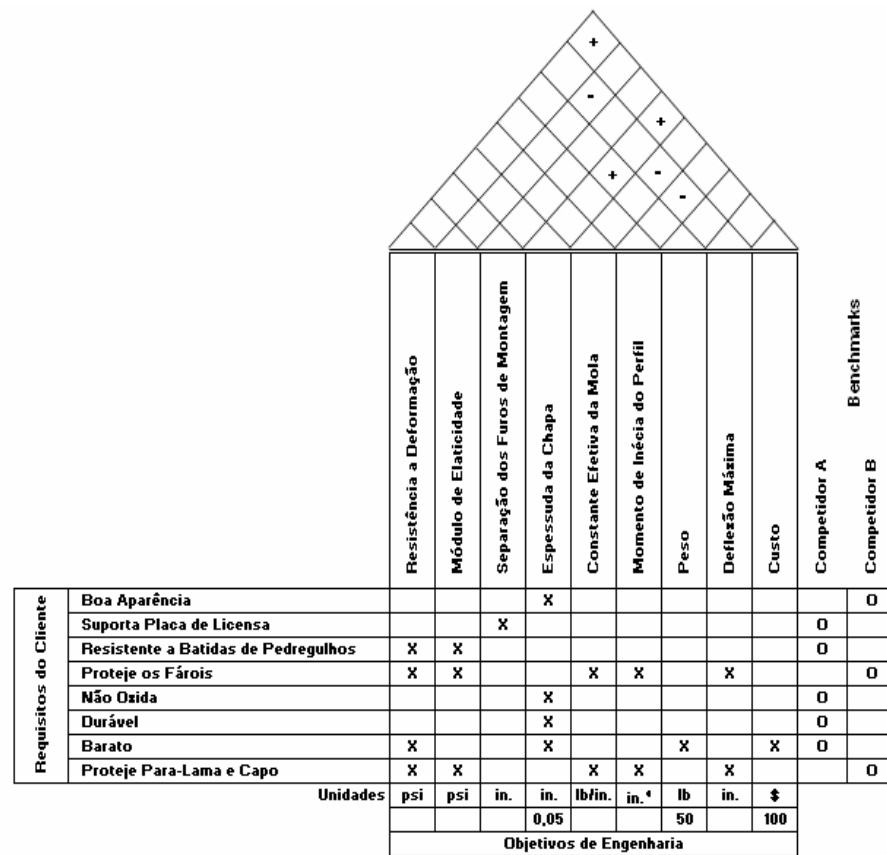


Figura 13 - Matriz QFD – Pára-choque de um veículo. (Hyman-1998)

## 2) Predição da Taxa de Falhas

Segundo O'Connor (2002), uma predição exata da confiabilidade é muito desejada em qualquer desenvolvimento de um novo produto. O conhecimento avançado da confiabilidade do produto permite prever e suportar custos de desenvolvimento e custos de garantia. Por outro lado, a predição exata da confiabilidade implica em conhecimento das causas de falhas e como elas poderiam ser eliminadas. Podem-se separar três classes distintas de falhas: falha prematura ou precoce, falha aleatória e falha por desgaste ou por durabilidade.

A falha prematura é o resultado de defeitos introduzidos durante qualquer fase do processo de manufatura ou na montagem do produto e normalmente esta relacionada a algum tipo de erro humano. Falha aleatória é o defeito de componentes submetidos



a carregamentos inevitáveis e inesperados e são falhas inerentes ao produto. A falha por desgaste dos mecanismos ocorre como o resultado de um uso prolongado e exposição ao meio ambiente que irá ocorrer a toda população que estiver em uso prolongado. A Figura 14 mostra a curva da banheira (*bathtub curve*) onde as três classes de falhas estão representadas.

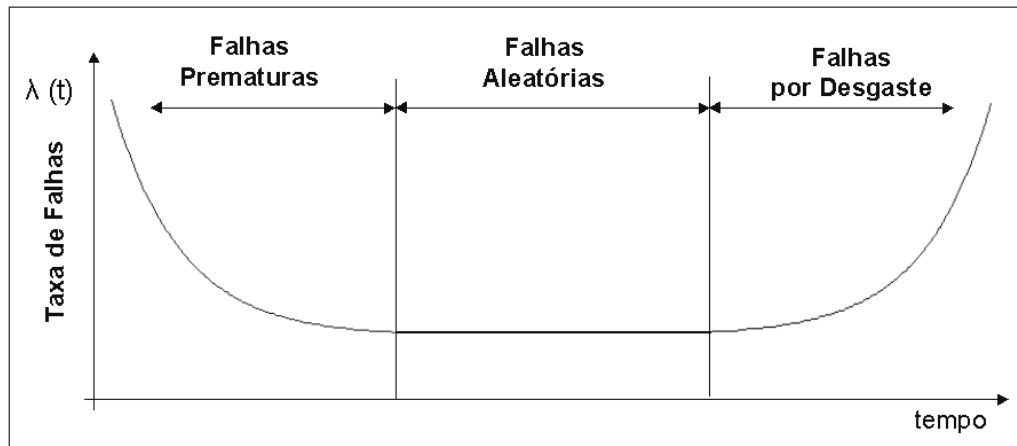


Figura 14 - Representação da curva da banheira. (Neubeck-2004)

Segundo O'Connor (2002) a predição da confiabilidade de um produto requer o conhecimento sobre todos os componentes do projeto, do processo de manufatura e das condições de uso esperadas para o produto. Técnicas empíricas de predição de confiabilidade baseadas em dados de produtos que estão em uso no campo fornecem bons resultados de estimativa de confiabilidade para produtos similares ou modificados, porém não funcionam bem com produtos novos e condições diferentes de uso.

A qualidade da informação é de grande importância para a exatidão da predição da confiabilidade do componente ou sistema em análise. Mas sempre é necessário estar alerta aos dados de campo, pois as falhas reportadas ocorreram durante o período de garantia e pouco ou quase nada é conhecido sobre os veículos que passaram pelo período de garantia e não apresentaram nenhuma falha no componente ou sistema em análise. Assim, do ponto de vista da estatística, amostras de falhas de campo extraídas dos bancos de dados de garantia são consideradas censuradas. Segundo

Dodson e Nolan (1995) dados censurados incluem informações sobre componentes que falharam e componentes que sobreviveram a um teste específico ou no caso automotivo passaram pelo período de garantia sem apresentar o modo de falha em análise.

Segundo Coit (1998) os dados de campo geralmente são censurados, existindo dois tipos: Tipo I e Tipo II. Os dados censurados do Tipo I são aqueles em que o teste termina após um período de tempo pre determinado e os dados de falhas depois deste período são desconhecidos. Os componentes que permanecem funcionando após este período são chamados de censurados. Os dados censurados do Tipo II são aqueles em que se determina um número de falhas desejado após um período estipulado previamente e encerra-se o teste. A Figura 15 ilustra os dois tipos de dados censurados.

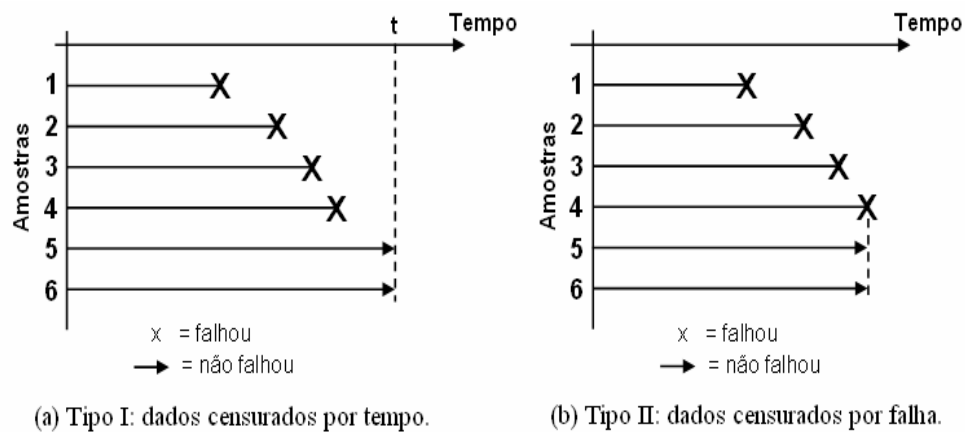
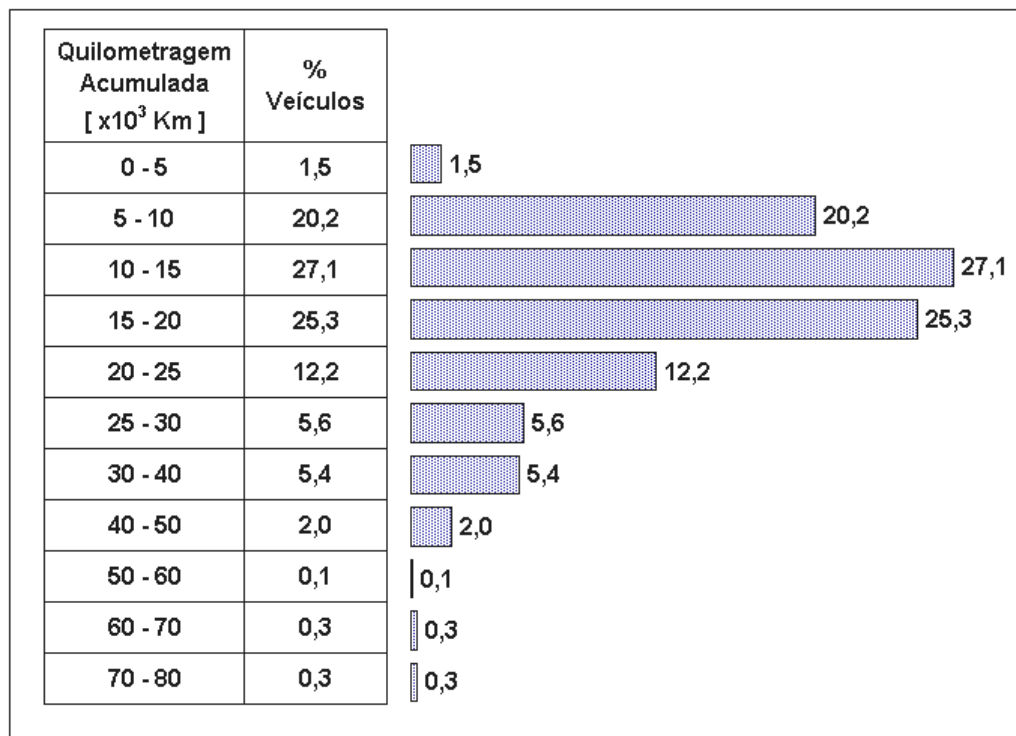


Figura 15 - Dados Censurados (Krishnamoorthi, 1992)

Conforme Campean (2000) e Kuhn (2000), uma maneira de superar as dificuldades de análise estatística deste tipo de dados, consiste na investigação e obtenção de informações de veículos que não falharam, por exemplo, a quilometragem acumulada por veículos que não apresentaram falhas durante o período de garantia. Uma pesquisa adicional foi realizada para se obter uma distribuição do acúmulo de quilometragem durante o período de garantia (12 meses). A Tabela V mostra o resultado desta pesquisa que foi realizada com 353 veículos que não apresentaram registros de falhas durante os doze meses de exposição no campo (*12 MIS – Months*

*In Service*), ou seja, o período de garantia para o veículo em análise. Segundo Suzuki (1985), uma outra maneira, seria a montadora montar um programa especial de acompanhamento de uma porcentagem dos veículos vendidos. Com estes dados, mesmo que não se tenha nenhuma falha durante este período, a montadora terá a quilometragem dos veículos que não falharam, embora isto seja apenas uma parte da amostra total de veículos que não falharam, é possível aplicar estimativas para estes dados censurados. Neste estudo estar-se-á assumindo as porcentagens da Tabela V como referência aos dados censurados,

Tabela V - Distribuição quilometragem para veículos que não apresentaram falhas durante o período de garantia. (Campean, 2000).



Finalmente, com os dados de campo do sistema de garantia mais a distribuição de acúmulo de quilometragem da Tabela V pode-se:

- a) Predizer a confiabilidade de um produto durante o seu período de garantia tão logo o produto é lançado no mercado.

- b) Monitorar o desempenho de um componente ou sistema compará-lo com os objetivos traçados para o produto e finalmente priorizar ações corretivas para que todo o conjunto esteja dentro do objetivo planejado.
- c) Detectar componentes onde o nível de confiabilidade tem apresentado mudança significativa ao longo do tempo.

Existem várias distribuições de probabilidade utilizadas na caracterização da função densidade de probabilidade dos tempos de falha e da função de taxa de falha. Estas distribuições são utilizadas na modelagem de várias fases do ciclo de vida do produto como, por exemplo, a fase denominada período de falhas prematuras, a fase denominada período de falhas aleatórias e a fase denominada período de falhas por desgaste, representadas na Figura 14.

Neste estudo ter-se-á assumindo a distribuição conhecida por “Distribuição de Weibull”. Segundo Luko (1999), em 1951 Wallodi Weibull um cientista de materiais sueco publicou no “*Journal of Applied Mechanics*” uma série de artigos descrevendo a aplicabilidade desta distribuição, sendo que a distribuição de Weibull foi melhor sumarizada no artigo “*A Statistical Distribution Function of Wide Applicability*”.

Mais de 50 anos se passaram desde este evento e o tempo provou que o professor Weibull estava correto. Na engenharia de confiabilidade a distribuição de Weibull é amplamente utilizada e sua popularidade é o resultado de sua flexibilidade, podendo ser usada em estudos mecânicos, químicos, elétricos, eletrônicos e de materiais. A função densidade de probabilidade  $f(t)$  de Weibull é mostrada na Equação (1).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot \exp \left[ - \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (1)$$

Onde:

$t_0$  : constante de localização – define a posição em que a função densidade de probabilidade tem origem;

$\eta$ : constante de escala – define o espalhamento da distribuição ao longo do eixo das abscissas (eixo x);

$\beta$ : constante de forma.

Sendo  $\beta$  e  $\eta$  sempre valores positivos. Assim, pode-se dizer que a distribuição de Weibull é definida por três parâmetros:  $t_0$ ,  $\beta$  e  $\eta$ . Isto a torna bastante flexível, sob o ponto de vista de permitir a representação gráfica de uma grande variedade de fenômenos. Variando a constante de forma  $\beta$  a função densidade de probabilidade assume uma grande variedade de formas conforme mostra a Figura 16.

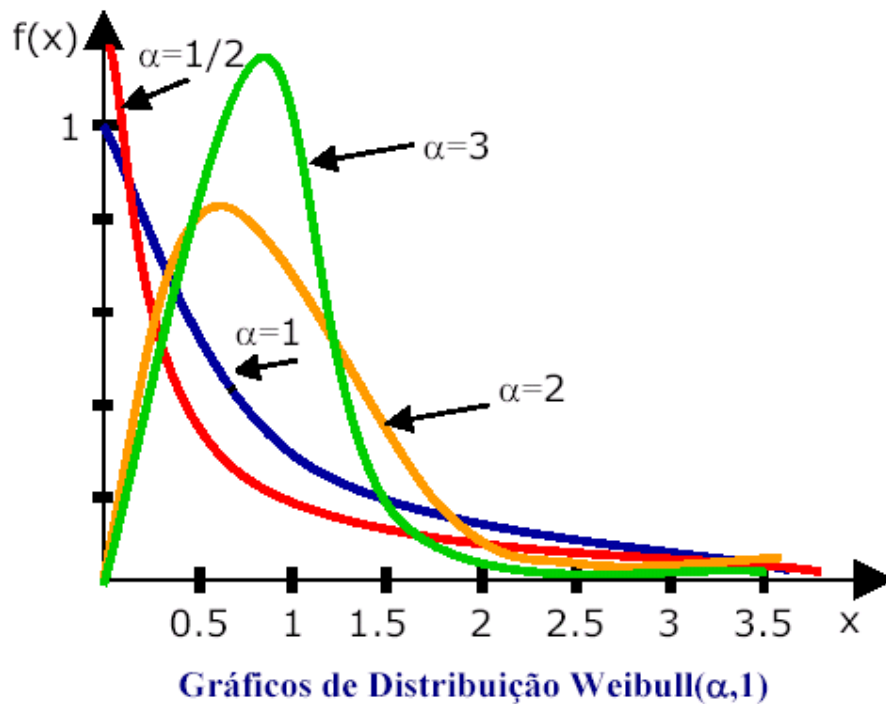


Figura 16 - Função densidade de probabilidade de Weibull. (Bressan, 2002)

Segundo Dodson e Nolan (1995), tipicamente, o parâmetro de forma  $\beta$  varia de 0,5 até 8,0. Conforme mostra a Figura 16, a distribuição de Weibull pode ser usada em uma grande variedade de situações e depende apenas do parâmetro de forma  $\beta$  como, por exemplo:

- Para valores de  $\beta = 1$  a distribuição de Weibull é idêntica a distribuição exponencial;

- b) Para valores de  $\beta < 1$  a função densidades de probabilidade é decrescente para um aumento da magnitude de  $t$ ;
- c) Para valores de  $\beta > 1$  a curva da função densidade de probabilidade apresenta picos bem definidos;
- d) Para valores de  $\beta = 3,44$  a distribuição de Weibull aproxima-se da distribuição normal (mediana = média).

Por causa de sua grande flexibilidade, existem algumas poucas falhas observadas que não podem ser modeladas pela distribuição de Weibull, conforme Dodson e Nolan (1995):

- a) Resistência de materiais quebra e/ou ruptura, a solicitação necessário para fatigar um metal;
- b) Tempo de falha para componentes eletrônicos;
- c) Tempo de falha para componentes em desgaste (durabilidade avançada) como os pneus;
- d) Sistemas que falham quando o componente de menor resistência falha.

### ***3) Peças, Materiais e Análise do Processo.***

Todas as peças novas, materiais e processos devem ter identificados e claramente descritos os níveis de desempenho esperados para as peça a serem usadas no sistema, baseando-se em experiências anteriores mencionar quais tipos são proibidas de serem usadas.

Quando refere-se a peça como “nova”, a mesma está sendo classificada como nova para o projeto e para a empresa. Os engenheiros do projeto assumem que estas peças novas ou os materiais irão funcionar conforme os especificado e as áreas responsáveis por estas novas peças e materiais devem certificar-se disto. Peças, materiais e processos novos devem ser testados antes de serem usados deste modo todos os envolvidos terão a oportunidade de um treinamento adequado a fim de que todas as necessidades de manufatura, qualidade e produção possam ser identificadas e planejadas. Segundo O’Connor (2002), existe uma grande variação na propriedade dos materiais tais como, aços, ligas de alumínio, plásticos e borrachas e não é prático generalizar todos estes materiais em relação a confiabilidade, podendo ser assegurado que cada aplicação tenha uma atenção apropriada.

O objetivo básico de todo este controle é a seleção e uso de componentes padronizados e não padronizados. Segundo Dodson e Nolan (1995), ocasionalmente, dependendo do sistema, torna-se necessário o uso de peças e/ou componentes não padronizados e isto deve ser aceito somente quando todas as opções de uso de peças padronizadas foram analisadas e descartadas.

*a) Modos de Falhas não Relacionados ao Material*

Uma preocupação muito grande dos engenheiros de confiabilidade é a falha do material causada por carregamento excessivo ou por degradação. Porém a grande maioria dos modos de falha que ocorre em um veículo, não é causada por falha do material, mas causam conseqüências de mesma intensidade. Como exemplos podem citar:

1. Elementos de fixação (parafusos, rebites, abraçadeiras) que fixam vários conjuntos e subconjuntos em um veículo, podem ser fixados com baixo torque, por exemplo, e não serem detectadas durante a montagem.
2. Anéis de vedação ou anéis “*O ring*” impropriamente especificados, causam vazamentos de baixa pressão em sistemas hidráulicos e sistemas de ar condicionado.

3. Aumento da resistência elétrica criada por aterramento inadequado ou pela criação de oxido.
4. Falhas em acabamento superficial como, pintura, vários tipos de depósito de metal ou superfícies anodizadas.
5. Chicotes elétricos com conectores e fixação inadequada causando falhas intermitentes, ou ainda rotas impróprias causando interferências o possíveis curto circuitos.
6. Outras falhas humanas causadas por falta de manutenção, manuseio e armazenagem dos componentes.

Todas estas falhas podem ser observadas durante o uso do produto e também na falha de qualquer sistema encontra-se uma porcentagem destes modos de falha presente. Muitos destes modos de falha não causada pelo material podem passar pelos testes sem serem detectados e por este motivo devem ser cuidadosamente estudados aplicando as devidas ferramentas de qualidade durante o desenvolvimento do produto.

#### *b) Adequação entre Projeto e Processo*

Todos os processos que serão usados durante a produção de um veículo devem ser claramente definidos e otimizados. É essencial que estes processos sejam capazes de produzir corretamente e eficientemente. Assim, é necessário que os engenheiros do produto projetem sabendo dos métodos usados, suas capacidades e limitações, lembrando sempre do conjunto produto e processo. O programa de testes deve incluir todos os testes de todos os processos considerados importantes ou críticos durante sua análise. Todos os processos de manufatura estão sujeitos a variações assim como qualquer dimensão de um componente ou um conjunto. As pessoas que trabalham na produção e os processos inevitavelmente variam seu desempenho em termos de conhecimento técnico e exatidão e tudo isto deve ser considerado no projeto para minimizar a possibilidade de falha. Uma das maneiras de evitar este tipo de falha é o uso de ferramentas como um “*POKA YOKE*” que é uma expressão em japonês que



significa “a prova de erros” onde se considera maneiras possíveis onde o processo pode falhar assim, aplicando o “*poka yoke*” tornando-o mais difícil ou impossível de acontecer. Outra maneira seria testar e analisar os circuitos eletrônicos e sistemas após sua montagem para garantir que eles estão corretos e indicar a fonte de sua(s) falha(s) e finalmente a análise da manutenção do processo em geral, onde são necessárias a lubrificação, limpeza e conserto das máquinas, calibração, diagnóstico de falhas para que as tarefas possam ser realizadas corretamente pelas pessoas responsáveis.

#### **4) Engenharia Simultânea (ES)**

O surgimento de novas tecnologias e a crescente complexidade dos produtos resultou em um aumento do tempo de desenvolvimento de um projeto de engenharia. Entretanto, conforme explicado na introdução deste trabalho, as montadoras para se manterem competitivas precisam lançar novos produtos em espaços de tempo cada vez menores. Assim as empresas em geral passaram estudar e desenvolver novos métodos para reduzir seu tempo de desenvolvimento de produtos.

Uma das soluções adotadas pelas empresas, no início dos anos 80, foi o aumento do paralelismo das atividades de desenvolvimento. O processo da engenharia tradicional é caracterizado por um caminho sequenciado de liberações do desenvolvimento. As atividades que eram realizadas somente após o término e aprovação das atividades anteriores são antecipadas de forma que seu início não dependa dos demorados ciclos de aprovação.

Segundo Hsieh, Lee e Torma (1998) a Chrysler concluiu que suas práticas tradicionais não eram suficientes para acompanhar o crescente aumento da competição, assim o processo de ES em conjunto com ferramentas de confiabilidade foram usadas para desenvolver uma nova família de motores Chrysler. Houve então a necessidade de criar grupos de trabalho da ES com representantes de todas as áreas da empresa, como engenharia do produto, engenharia da confiabilidade, engenharia da manufatura, engenharia de serviços, finanças, planejamento e fornecedores.

A confiabilidade de um produto cresce através de projetos robustos, embora seja possível identificar falhas de confiabilidade em testes de durabilidade, esta prática não gera um crescimento de confiabilidade de um produto, indicando apenas modos de falha cuja solução depende de alterações de projeto. A melhor maneira de se obter ganho de confiabilidade é através da melhoria do projeto e do processo de desenvolvimento, tornando-se de grande importância a participação dos engenheiros desde fase inicial do projeto, pois estes engenheiros tornarão o projeto viável para o mercado.

Ainda pode-se acrescentar segundo Prasad (1996) que a ES é uma abordagem sistemática para o desenvolvimento integrado e paralelo do projeto de um produto e processos relacionados. Esta nova estrutura organizacional procura fazer com que todo time de trabalho envolvido no desenvolvimento considere, desde o início, todos os elementos do ciclo de vida do produto, da concepção ao descarte, incluindo qualidade, custo, prazos e requisitos dos clientes conforme explicados em capítulos anteriores. A Figura 17 mostra segundo Hsieh, Lee e Torma (1998) os doze passos do processo de confiabilidade na implementação da ES utilizado na Chrysler para o desenvolvimento da nova família de motores, desde os objetivos do programa até a sua validação na produção.

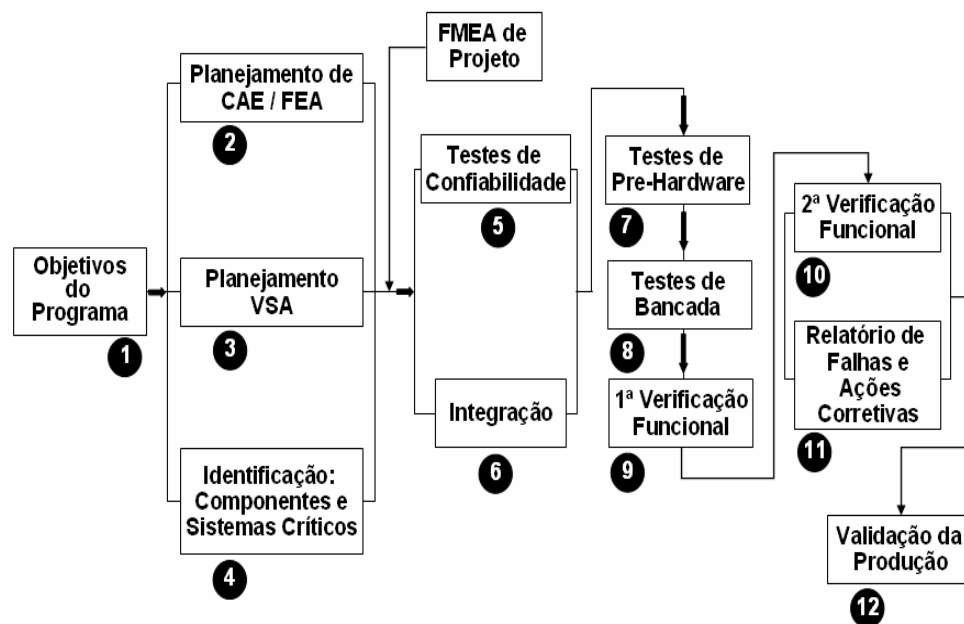


Figura 17 - Processo de ES utilizado na Chrysler. (Hsieh, Lee and Torma, 1998).

Este modelo de aplicação da ES adotado na Chrysler e mostrado na Figura 17, contou com as seguintes etapas:

1. Objetivos do Programa: nesta fase todas as expectativas dos clientes e do mercado para os novos motores são definidas. O sucesso para atender todos os requisitos nesta fase foi considerar confiabilidade como medidas funcionais de desempenho, nível de ruído e vibrações em geral.
2. Planejamento de CAE (computer aid engineering), FEA (finite element analysis): nesta fase são desenvolvidos os planos para identificação e análise de todas as estruturas críticas no projeto, aplicando as ferramentas CAE e FEA.
3. Planejamento do VSA (variation simulation analysis): os planos de VSA são desenvolvidos nesta fase para garantir que variações de manufatura e montagem sejam analisadas antes do projeto e ferramental serem liberados.
4. Identificação dos Componentes e Sistemas Críticos: nesta fase são identificados os componentes e sistemas que podem afetar a confiabilidade do projeto. A análise do tipo FMEA é conduzida pelo time onde se tem as ações de melhoria e como resultado final algumas propostas devem ser executadas em avançado como prevenção.
5. Testes de Confiabilidade: nesta fase devem-se planejar todos os testes necessários para os sistemas, subsistemas e desenvolvimento dos componentes. Também se deve estimar a quilometragem equivalente que cada cliente faria com seu veículo para que se possam testar os motores com esta base.
6. Integração: nesta fase deve ocorrer a integração dos componentes e sistemas para os testes. Controlando assim o processo de teste desde o desenvolvimento de teste da engenharia, teste do componente, teste do sistema e teste em veículos.

7. Testes de Pre-Hardware: nesta fase é testada a integridade estrutural dos componentes.
8. Testes de Bancada para Componentes: nesta fase é verificada a vida dos componentes, analisando os componentes críticos identificados na fase 4, normalmente no caso do motor estes componentes são bomba de óleo, bomba d'água, bielas, blocos etc.
9. Primeira Verificação Funcional: nesta fase é desenvolvida a capacidade do sistema atingir seus objetivos funcionais, ou seja, atender as necessidades exigidas e em seguida desenvolve-se a durabilidade do sistema.
10. Segunda Verificação Funcional: nesta fase são desenvolvidos e verificados itens relativos a produção e testes finais.
11. Relatório de Falhas e Ações Corretivas: nesta fase é importante que qualquer falha ocorrida durante os testes seja investigada e cuidadosamente reportada para que as ações corretivas sejam implementadas o mais rápido possível.
12. Validação da Produção: esta finalmente é a última etapa no processo, onde o objetivo é validar o sistema de produção.

É importante salientar que o modelo acima foi utilizado pela Chrysler com sucesso, mas este modelo não é o único e pode ser adequado conforme as necessidades e objetivos de cada produto e/ou empresa. Com a demanda crescente por motores de maior potência, baixo consumo de combustível e custos de produção e de componentes menores, a prática da ES mostrou que isto é possível de se atingir com confiabilidade e sem adicionar custos.

### ***5) Revisão de Projeto Baseado em Modo de Falha***

Nos últimos anos têm aumentado o uso de peças plásticas e materiais de borracha como partes funcionais para redução de peso e redução do custo dos veículos. Peças funcionais de plástico e borracha devem resistir às condições severas de uso a que o veículo é submetido durante o seu ciclo de vida. Isto torna muito difícil até para engenheiros experientes assegurar que todos os requisitos de projeto atendam as condições a qual o veículo será submetido.

Devido ao grande número de variáveis faz-se necessário simular o maior número possível destas condições e quando existem vários fatores que podem afetar o desempenho, como peças plásticas ou de borracha, o primeiro passo para prevenir futuros problemas de confiabilidade é adotar projetos conservadores com desempenho já aprovado no campo.

Segundo Yoshimura (2002) e Shimizu (2003) um dos princípios fundamentais da confiabilidade é evitar mudanças das condições em projeto já validado. Com base neste princípio podem ser identificados elementos chaves como componentes isoladores de vibração. Por exemplo, coxins dos motores, quando observados propriamente pode-se trazer bons resultados para a prevenção de futuros problemas de confiabilidade. Embora evitar qualquer mudança em um bom projeto seja muito importante, modificações de projeto quase sempre ocorrem durante o desenvolvimento. E para alcançar um processo de desenvolvimento que integre projeto, produção e avaliação, o elemento chave para o sucesso esta na identificação de qualquer problema causado pelas modificações do projeto (mudanças intencionais) e mudanças nas condições de uso (mudanças acidentais) o mais cedo possível durante o desenvolvimento.

As peças automotivas são frequentemente construídas para atender especificações de projeto e a um número de requisitos do produto. Problemas podem estar latentes em tais projetos e devem ser identificados para que medidas de melhoria sejam tomadas ainda durante o desenvolvimento, porém esta medida requer tempo dos engenheiros

de desenvolvimento e isto não contribui aos objetivos do programa que é reduzir o ciclo de desenvolvimento. Um modelo sugerido por Shimizu (2003) é a implementação de Revisões de Projeto (*Good Design Review*) durante o processo de desenvolvimento.

Estas revisões de projeto têm por finalidade descobrir problemas causados por mudanças intencionais e nas condições de uso. Revisões de Projeto é um processo de discussão dos planos de projeto para descobrir os problemas latentes e assegurar que as medidas necessárias para corrigir estes problemas sejam todas implementadas. Este processo é chamado de *G-D-Cubed Activities* – Bom Projeto (*Good Design*), Boa Discussão do Projeto (*Good Discussion*) e Boa Revisão dos Resultados (*Good Dissection*). E o método desenvolvido para conduzir as Revisões de Projeto foi chamado de Revisão de Projeto Baseado no Modo de Falha (*Design Review Based on Failure Mode – DRBFM*). Assim o foco deve ser mantido em dois pontos, a saber:

- a) Atenção as mudanças de projeto e as condições de uso durante o desenvolvimento de novos componentes.
- b) Promover discussões baseadas nos resultados da Análise dos Modos e Efeitos de Falha (*FMEA*) e Análise da Árvore de Falha (*FTA*).

*DRBFM* é um método para identificar problemas e desenvolver medidas de correção através de discussões das modificações do projeto e de uso do produto e mostrou-se muito eficiente na prevenção de problemas de confiabilidade em desenvolvimento de novos componentes em função das seguintes características:

- a) Promover discussões que chamam a atenção quanto a mudanças intencionais e acidentais;
- b) Criar a discussão, encorajando os participantes a identificar qualquer item crítico no projeto usando a habilidade do ser humano de descobrir problemas;

c) Requer entrada de informações para assegurar que o produto esteja conforme, normas de projeto para discutir podendo identificar problemas ainda não detectados no projeto;

d) Permite aos participantes identificar as mudanças de projeto e discutir as condições e os métodos de teste.

Segundo Shimizu (2003), prevenir problemas de confiabilidade durante o desenvolvimento de peças ou sistemas dependerá da interação com o desenvolvimento para a produção em massa e do sucesso da identificação dos problemas durante as revisões de projeto. Shimizu (2003) sugere um modelo de envolvimento dos técnicos, desde o nível mais baixo até o mais alto na hierarquia do desenvolvimento do projeto. Este modelo foi chamado de Modelo de Revisão do Projeto, conforme mostra a Figura 18.

O primeiro passo no sistema de *DRBFM* usa uma das duas ferramentas, a *FMEA* na quais os modos de falhas potenciais do sistema são identificados e discutidos entre os times de trabalho; o outro é a *FTA* na qual os modos de falha são antecipados como um evento principal de um sistema, resultando assim a análise da árvore de falhas que é representada por símbolos lógicos. Em qualquer uma das ferramentas usadas, é importante examinar as causas dos problemas até o seu final, de um sistema até os componentes.

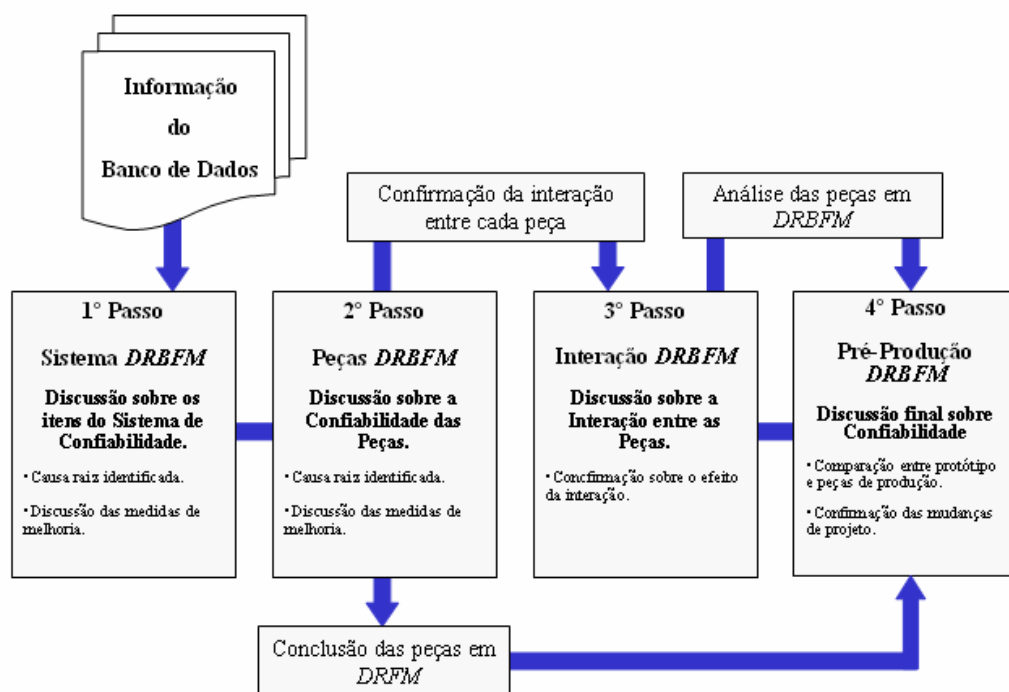


Figura 18 - Modelo de revisão de projeto. (Shimizu, 2003).

O segundo passo no sistema de *DRBFM* é a discussão detalhada até a decisão final das medidas de melhoria. Se o sistema é muito complicado, há uma interação *DRBFM* com o terceiro passo onde as discussões são realizadas até a confirmação da interação entre todos os componentes e o quarto passo é a revisão final do projeto, comparando os dados de construção dos protótipos com os dados da produção que foram avaliados durante o processo de desenvolvimento.

Este modelo é utilizado no sistema de produção da Toyota e mostrou bons resultados na solução dos problemas de confiabilidade durante o processo de desenvolvimento dos veículos. *DRBFM* faz o melhor uso das habilidades humanas de criar e descobrir. O desafio seguinte será construir um sistema que suportará a criatividade no processo de prevenção de problemas e assim capacitar até engenheiros de pouca experiência a descobrir problemas em curto espaço de tempo.



#### 2.2.4 Meio Ambiente

Atualmente quando se trata de meio ambiente preocupa-se com dois fatores importantes, o meio ambiente onde o produto irá operar e o impacto que ele poderá causar ao meio ambiente depois do final do seu ciclo de vida.

Primeiro, deve-se considerar a severidade esperada para seu uso e a duração. Esta avaliação deverá incluir todos os aspectos que podem afetar o produto como sua operação, segurança e confiabilidade. Fatores físicos incluem temperatura, vibração, umidade entre outros. Na aplicação automotiva, procura-se não somente reproduzir tais condições de meio ambiente rodando protótipos em várias regiões do país, mas também abastecendo o veículo com combustíveis de qualidade diferentes, encontrados durante estas avaliações externas. As condições ambientais devem ser revistas periodicamente e propriamente documentadas, qualquer mudança do perfil de uso do veículo pelo cliente deve ser adaptada às avaliações dos protótipos, excluindo apenas uso abusivo pelo cliente.

O segundo ponto a ser considerado é a quantidade de peças recicláveis contidas no veículo para que estas não afetem o meio ambiente. Segundo Petrov (2003) e Paul; Chung e Raney (2004) dezenas de milhões de novos veículos são produzidos no mundo e quase a mesma quantidade de veículos terminam seu ciclo de vida denominado ELV (*End-of-Life-Vehicle*) que é o período onde um produto será utilizado até o ponto de ser vendido como sucata. Somente no EUA de 10 a 12 milhões de veículos são descartados por ano. A grande maioria dos veículos são coletados para reciclagem através de uma infra-estrutura bem estabelecida conhecida como ARCs (*Automotive Recycling Centers*), formada por companhias de seguro, concessionárias de automóveis, centros de desmanches de veículos e processadores de sucatas de metal.

O mundo moderno tem mostrado uma grande preocupação em proteger o meio ambiente. Portanto tornam-se necessários projetos contemplando um plano para o destino final do veículo ao término do seu ciclo de vida. Isto mostra a necessidade e a preocupação com projetos de peças e/ou sistemas com redução de peso, melhoria da

eficiência e aumento das inovações tecnológicas. Estima-se que 95% dos veículos coletados no final do seu ciclo de vida nos EUA tenham pelo menos 84% de seu peso reciclado pelo seu conteúdo metálico. Embora os veículos sejam considerados os bens de maiores itens de reciclagem, existem ainda um grande interesse em melhorar a reciclagem dos veículos como parte da conservação do meio ambiente. Segundo Paul (2001), a União Européia emitiu através de seu parlamento o documento oficial 2000/53/EC, onde requer das montadoras a responsabilidade no final do ciclo de vida dos seus veículos como planos recuperação, reciclagem e reuso dos componentes, citando ainda requisitos de coleta, processo, tratamento e destruição dos veículos no final do ciclo de vida. Embora o documento oficial ponha grande responsabilidade sobre os fabricantes de automóveis, muitos requisitos também foram incluídos para outras empresas como as de tratamento, processamento de sucata, entre outras.

Veículos no final do ciclo de vida terão peças que serão recicladas e peças que não serão recicladas e poderão acabar sendo jogadas em aterros. Isto se deve ao fato destes projetos terem peças de difícil desmontagem e uma quantidade mínima de materiais de difícil reciclagem. Isto acaba sendo um dos maiores custos em uma empresa de reciclagem. A Tabela VI mostra os índices de reciclagem de 1.9 milhões de veículos descartados apenas no Reino Unido, para países de espaço territorial limitado estes valores acabam impressionando e criando a necessidade de leis ambientais que controlem este volume de peças sendo sucateadas.

Tabela VI - Índices de reciclagem no Reino Unido. (Harrison, 2003)

<b>Peças Re-Usadas</b>	<b>0,2 milhões de toneladas</b>	<b>10%</b>
<b>Material Reciclado</b>	<b>1,3 milhões de toneladas</b>	<b>65%</b>
<b>Total de Aproveitamento</b>	<b>1,5 milhões de toneladas</b>	<b>75%</b>

Um veículo não é somente um produto que é desenvolvido e manufaturado por uma indústria automotiva e depois vendido por uma concessionária e entregue a um

consumidor. O veículo deve ser projetado de tal forma que atenda as necessidades do cliente e tenha o mínimo de problemas durante seu ciclo de vida, engenheiros do produto são responsáveis pela escolha dos materiais de construção mecânica, levando em consideração não somente massa, durabilidade, confiabilidade e custo para cada peça ou sistema, mas também devem ser considerados fatores de segurança ao meio ambiente e sua utilização final. Em cada novo projeto de um veículo devem ser considerados os materiais usados, os elementos de fixação e a tecnologia deve ser analisada e otimizada para o ciclo de vida total, reduzindo os uso de recursos do meio ambiente e consequentemente reduzindo os custos de matéria prima.

Indústrias automotivas como a American Honda Motor Co., Inc nos EUA e a AVTOVAZ na Rússia estão melhorando seus projetos para reduzir o impacto ambiental de seus veículos seguindo tendências mundiais na proteção do meio ambiente, desenvolvendo produtos de fácil reciclagem e ecologicamente corretos. Um dos motivos pode ser a própria sobrevivência das empresas no futuro, pois exportar seus produtos para países com leis de proteção ao meio ambiente mais rígida necessitará destes tipos de veículos com alto índice de reciclagem.

### **2.2.5 Análise da Árvore de Falhas (FTA)**

Segundo Lambert (2004), a análise da árvore de falhas (*failure tree analysis – FTA*) é um método que foi desenvolvido através da indústria aeronáutica nos anos 60 para analisar eventos associados à balística de mísseis tais como, a falha no lançamento do míssil e evitar lançamentos inadvertidos. Assim como a análise do tipo FMEA, órgãos governamentais americanos logo reconheceram a utilidade da ferramenta análise da árvore de falhas e o método foi então difundido em outros setores do governo e também na indústria americana.

A análise da árvore de falhas é um modelo de dedução lógica e é amplamente utilizado na análise de risco e na engenharia de predição de confiabilidade. Enquanto a análise do tipo FMEA é um método de análise centrado no componente a análise da árvore de falhas é um método que considera a combinação dos modos de falha de vários componentes na ocorrência da falha principal. A análise da árvore de falhas é

formada por um diagrama lógico que representa várias combinações possíveis de ocorrência de condições operacionais dos componentes de um sistema, representando tanto a falha como o funcionamento normal do sistema. Estes eventos são representados por símbolos apropriados e padronizados que significam os diferentes tipos de eventos e as diferentes combinações possíveis entre eles.

Os eventos básicos que aparecem na parte inferior da árvore de falhas representam o limite da resolução de uma análise e podem ser a falha de um componente, um erro humano, uma falha de “*software*” ou ainda uma falha causada devido às condições ambientais de operação do sistema. A árvore de falhas é construída através de regras que estabelecem os procedimentos necessários em cada evento para determinar o tipo de símbolo a usar, sua evolução pode ser qualitativa e quantitativa. Os símbolos padronizados usados na construção da árvore de falhas para descrever os eventos e suas conexões lógicas estão representados na Figura 19, conforme O’Connor (2002). A construção da árvore de falhas deve ser construída conforme estes símbolos.

Os passos para se conduzir uma árvore de falhas são:

1º passo: identificar um evento principal;

Para se definir o evento principal a ser estudado o tipo de falha deve ser identificado.

Determine todos os eventos não desejados na operação do sistema.

2º passo: entender o sistema;

Toda informação sobre o funcionamento do sistema deve estar claramente entendida por todo time de trabalho.

3º passo: construir a árvore de falhas, conforme símbolos da Figura 19;

4º passo: validar a árvore de falhas;

Nesta etapa é preciso que um membro do time com bons conhecimentos da ferramenta FTA faça uma revisão da árvore de falhas para melhorar sua precisão.

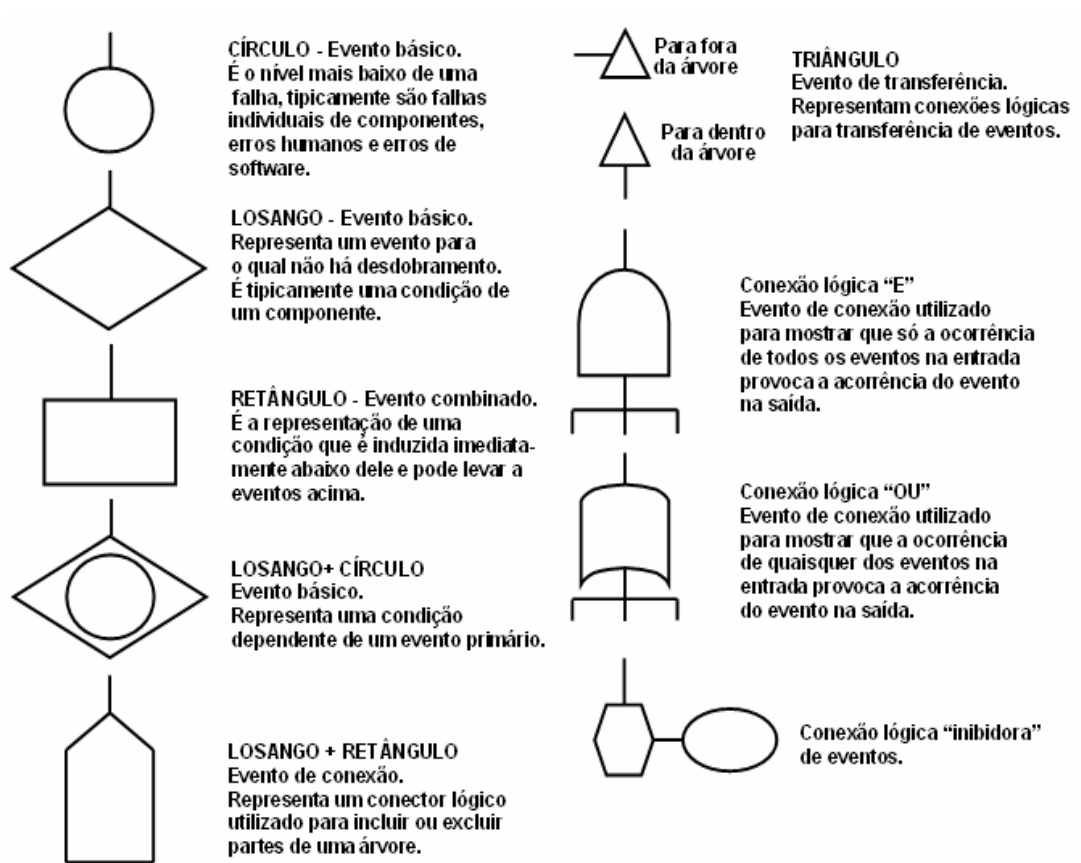


Figura 19 - Símbolos padronizados usados na construção da árvore de falhas. (O'Connor, 2002)

5º passo: avaliar a árvore de falhas;

Após o término da árvore de falhas, todas as áreas envolvidas na análise devem examinar o documento para aprovação e sugestões de possíveis alternativas de melhorias em processos ou materiais para diminuir a possibilidade de ocorrência de uma falha.

6º passo: estudar as propostas de melhorias;

Qualquer método alternativo proposto deve ser bem avaliado, permitindo assim ao time de trabalho verificar a existência de qualquer problema antes de sua implementação.

7º passo: tomada de decisões e recomendações;

Neste último passo em todo processo, deve-se fazer as recomendações das ações corretivas e das alternativas propostas.

8º passo: documentar os resultados.

A Figura 20 mostra os passos para a construção a análise da árvore de falhas.

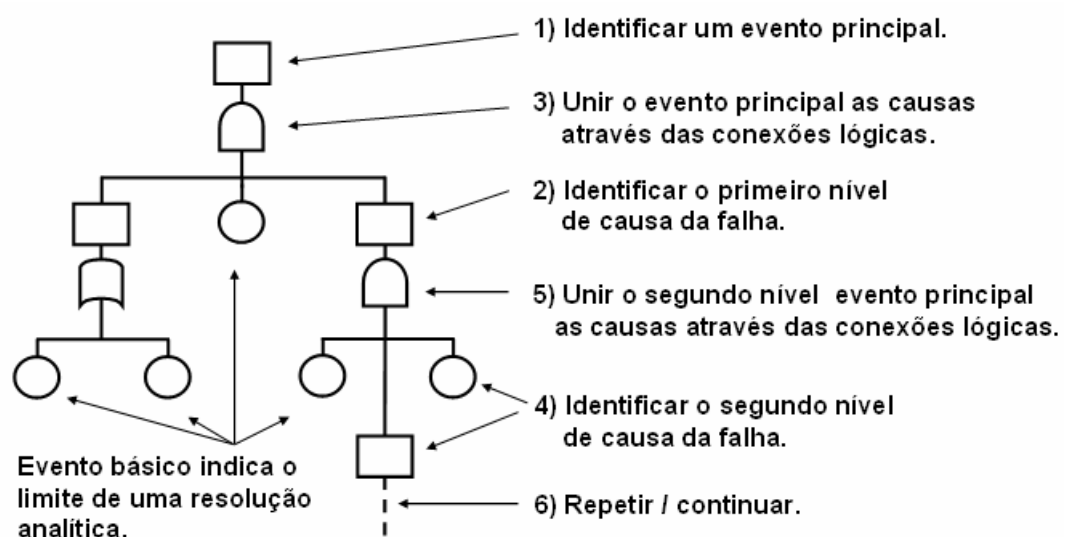


Figura 20 - Etapas de construção da árvore de falhas. (Clemens, 2002)

### 2.3 Tomada de Decisão

Segundo Hyman (1998), frequentemente descreve-se “projeto” como uma atividade de resolução de problemas. Sobre uma outra perspectiva pode-se descrever “projeto” como uma escolha entre várias alternativas. Neste estudo deve-se tomar a decisão em estender o período de garantia para dois anos ou mante-lo conforme modelo atual com um ano de garantia. Neste cenário certamente estar-se-à trabalhando com duas variáveis como o custo da extensão da garantia para dois anos e a satisfação dos clientes. O custo atual pode ser determinado através dos dados de garantia que ocorrem atualmente e a extensão da garantia nos dará o custo projetado para dois ou três anos baseados em análises de confiabilidade. Estas análises podem ser feitas de

duas maneiras distintas. Primeiro considerando somente a incidência de um item, ou seja, quantos itens falharam durante o período de garantia e considerando dados censurados estimar quantos não falharam durante este mesmo período, usando como referência a Tabela V. A segunda maneira será analisar quais foram os itens de maior custo que falharam durante o período de garantia e analogamente fazer os mesmos cálculos. Outra variável importante pode ser a satisfação dos clientes em possuir um veículo com dois ou três anos de garantia, pode-se assumir alguns riscos nesta decisão. Mas isto envolverá a preparação de uma pesquisa de campo para medir esta satisfação e isto fica como tema para outro estudo.

### **2.3.1 Identificação dos Critérios para Tomada da Decisão**

Segundo Hyman (1998) nem sempre é claro e definido qual o critério de decisão a ser utilizado. O que normalmente é adotado são critérios que possuem atributos que se diferenciam um dos outros. Por exemplo, se tem-se três opções de projeto com o mesmo custo, definitivamente pode-se eliminar “custo” como um dos critérios pois não existe diferença de valor a ser comparado entre estes projetos.

No início de um projeto os critérios de decisão a serem usados podem não estar claramente definidos ou também não possuem atributos de diferenciação entre eles, mas alguns destes critérios não podem ser descartados logo no início do projeto, pois, nas fases seguintes do projeto novas informações podem mudar estes critérios ou ainda o cliente pode mudar de opinião no meio do desenvolvimento do projeto e atribuir importância ao critério que inicialmente havia sido desprezado. Uma vez determinado qual será o critério utilizado deve-se então definir quais serão as unidades de medida destes critérios. Por exemplo, uma unidade de custo a ser definida em um projeto pode ser a moeda americana, o dólar. Conforme Hyman (1998) nem sempre a escolha das unidades é simples como o custo. No capítulo 2, no item referente ao meio ambiente foram comentados alguns pontos quanto a reciclagem dos componentes e neste caso pode-se adotar como uma das unidades, por exemplo a porcentagem de alumínio ou outro elemento qualquer de interesse para o estudo, ou seja, o quanto este material é reciclável.

Mesmo com as unidades definidas, pode-se ainda enfrentar situações onde é necessário, por exemplo, comparar um projeto “A” com um custo \$1000 contendo 15% de alumínio com um projeto “B” com um custo de \$2000 contendo 80% de alumínio. O critério tem unidades diferentes e neste ponto estar-se-ia comparando duas situações diferentes. Assim, deve-se melhorar a escala de avaliação, estabelecendo, por exemplo, mais três pontos de avaliação: excelente, adequado e pobre. Pode-se então afirmar que:

- Se o projeto tem um custo < \$1000, classifica-se como excelente,
- Se o projeto tem um custo > \$1000, porém < \$ 2000, classifica-se como adequado,
- Se o projeto tem um custo > \$2000, classifica-se como pobre.

Mesmo com estes critérios adotados pode-se ainda encontrar situações onde será necessário estabelecer mais um detalhamento, como o quanto “excelente” é melhor do que “adequado” e o quanto “adequado” é melhor do que “pobre”. Pode-se adotar, por exemplo, a Tabela VII, para definir melhor estes critérios. Estes são apenas exemplos de como diferenciar os critérios escolhidos nos projetos, para cada situação pode-se desenvolver novos critérios que atendam as necessidades do projeto.

Tabela VII - Modelo de notas para critério de decisão.

Notas para Critério de Decisão	
10	Excelente
9	Muito bom
8	Bom
7	Satisfatório
6	Aceitável
5	Marginal
4	Pobre
3	Muito pobre
2	Ruim
1	Péssimo
0	Não Aceitável



### 2.3.2 Decisão em Situação de Incerteza ou Risco

Segundo Costa Neto (2002) o critério de decisão nem sempre corresponde a uma maximização do valor monetário esperado ou uma minimização de uma perda esperada. A experiência prática, no entanto, mostra que muitas vezes as pessoas ou empresas não tomam suas decisões simplesmente tendo como base valores monetários esperados. O elemento risco desempenha um papel importante neste processo de decisão. Conforme Hyman (1998) existem cinco fases importantes na seleção de alternativas quando se trabalha com incertezas. Sempre é útil no processo de tomada de decisão certificar-se que cada uma das cinco fases abaixo foi identificada e propriamente avaliada. As fases compõem-se das seguintes etapas:

*a) Fase 1: Especificar todas as alternativas a serem incluídas no projeto.*

O ideal seria gerar muitas alternativas de conceitos de projeto para que a melhor fosse escolhida. Todavia, os recursos necessários para incluir todas estas alternativas de projeto no processo de tomada de decisão nem sempre esta disponível. Assim, torna-se necessário reduzir as alternativas para um número mais sensato, isto pode ser feito logo no início do projeto, eliminando as opções que pouco afeta no resultado final ou que pouco colabora para atingir os objetivos do projeto. Esta fase é de grande importância, pois todas as fases seguintes ajudarão a selecionar as melhores alternativas de projeto especificadas nesta primeira etapa. Seria frustrante completar a análise da decisão e descobrir a necessidade de incluir uma outra opção, ou mesmo ainda modificar uma alternativa já existente.

Logo, é aconselhável investir algum tempo de análise durante esta fase para certificar-se que as alternativas escolhidas são aquelas que realmente agregarão valor ao projeto e que realmente ajudarão a atingir os objetivos a que se pretende.

*c) Fase 2: Especificar todos os eventos relevantes que podem ocorrer após a tomada de decisão e que poderia afetar o resultado da decisão mas, que não temos controle sobre ele.*

Estes eventos são as fontes de incerteza neste tipo de análise. O governo irá ser mais rigoroso nas leis de emissões no próximo ano? O projeto em análise será submetido a ventos de até 200 Km/h durante seu ciclo de vida? O petróleo terá seu preço dobrado em cinco anos? Como foi mencionado na fase inicial, é aconselhável manter os eventos relevantes a um número administrável, ou ainda, podem-se especificar somente os eventos que podem afetar significativamente o resultado final. Lembre-se que o procedimento de análise da decisão baseia-se no uso de um modelo relativamente simples que ajuda a melhorar o entendimento de uma situação real bem mais complexa. Quanto mais simples for o modelo, mais simples será a sua utilização. É importante também não deixar de fora eventos que o grupo de trabalho considere crucial ao projeto sabendo que o balanço entre simplicidade e eventos importantes geralmente é uma tarefa difícil.

*c) Fase 3: Estimar a probabilidade de ocorrência de cada evento relevante especificado.*

Esta é a parte, segundo Hyman (1998), em que é necessário usar critérios para estimar, ou seja, adotar valores para quantificar a probabilidade de ocorrência dos eventos relevantes. Todavia, sabe-se que ninguém tem à priori condições de solucionar tais problemas, mas, embora não seja o objetivo deste trabalho, existem várias técnicas disponíveis para estimar tais probabilidades. Ao final os eventos relevantes devem estar completos e sua soma deve ser igual a uma unidade.

*d) Fase 4: Quantificar o resultado de cada combinação possível das alternativas de decisão e eventos relevantes.*

Aqui o termo “resultado” significa o valor de um parâmetro de projeto ou o desempenho de uma característica que foi decisória na escolha da opção do projeto.

*e) Fase 5: Usar uma regra de tomada de decisão pré determinada para selecionar a alternativa de projeto que mostre o melhor resultado possível.*

Nesta fase é preciso selecionar uma regra de decisão para escolher uma alternativa que maximize o valor monetário esperado ou minimize o custo de tais resultados. Neste trabalho estar-se-á fazendo um balanço entre duas alternativas. A primeira certamente será o custo, pois, quando dobramos o período de garantia trabalha-se com probabilidades de falhas maiores e por consequência custo de garantia maior. A segunda será a satisfação dos clientes em possuir um veículo com dois anos de garantia.

O exemplo a seguir mostra a aplicação dos quatro estágios da construção da árvore de decisão. Suponha que você seja o engenheiro responsável pelo desenvolvimento de um alternador. Você quer usar o alternador em um motor para um desenvolvimento de um projeto de um veículo. Você e o fornecedor do alternador estimam que o custo para conduzir o teste em um veículo seja de UM 10.000, se o alternador funcionar. Se o alternador falhar durante o teste, isto custará UM 25.000 para um novo protótipo e acréscimo aos custos do teste. Isto faz parte, conforme descrito na Fase 2: *Especificar os eventos relevantes*. O alternador funcionará ou não.

Uma vez iniciado o teste, você não tem mais controle se o alternador funcionará. Pode-se assumir que não teremos outras incertezas relevantes para este problema. Sua responsabilidade é decidir se gastará UM 15.000 a mais para examinar o alternador protótipo antes do início dos testes. Esta é a Fase 1: *Especificar as alternativas*. As alternativas são:

- Iniciar o teste com o alternador protótipo na condição atual,
- Examinar o alternador protótipo antes de iniciar o teste.

Não há alternativas neste momento, aqui se adota duas letras, representando respectivamente:

- *U* → usar o alternador;
- *E* → examinar o alternador.

Suponha que sua melhor estimativa é que exista 70% de possibilidade que o alternador protótipo irá funcionar se usado na sua condição atual. Isto significa dizer que:

$P(\text{uso} - U) = 0,7 \rightarrow$  probabilidade de usar e funcionar o alternador;

$P(\text{falha} - U) = 0,3 \rightarrow$  probabilidade de usar e falhar.

Você também está convencido que o alternador protótipo não falhará durante o teste se for examinado. Logo se tem que:

$P(\text{uso} E) = 1,00 \rightarrow$  probabilidade de não falhar se examinado;

$P(\text{falha} E) = 0,00 \rightarrow$  probabilidade de falhar se examinado.

Isto representa exatamente a Fase 3: *Estimar a probabilidade de cada evento relevante ocorrer*. Lembrando que:

$$P(\text{uso } U) + P(\text{falha } U) = 1,00$$

$$P(\text{uso } E) + P(\text{falha } E) = 1,00$$

Isto certifica que se têm todos os eventos associados a cada opção de escolha e que outros possíveis eventos são irrelevantes para este problema. Com todos os custos envolvidos conforme a Tabela VIII, tem-se a Fase 4: *Quantificar o resultado de cada combinação possível das alternativas de decisão e eventos relevantes*.

Tabela VIII - Custos das combinações. (Hyman, 1998)

Opções de Escolha	Eventos	
	Alternador Funciona (U)	Alternador Falha (F)
Usar o alternador protótipo na situação atual (U)	UM 10.000	UM 35.000
Examinar o alternador protótipo antes de usar (E)	UM 25.000	não disponível

Nesta parte inicia-se a Fase 5: *Aplicar uma regra de tomada de decisão pré determinada para selecionar a alternativa de projeto que mostre o melhor resultado possível.*

Adota-se como a melhor opção aquela que minimizar o custo do teste. Assim, tem-se que Custo (uso  $U$ ) como o custo do teste se o alternador funcionar sem ser examinado antes.

- O custo esperado de usar o alternador protótipo em sua condição atual é representado na Equação (2):

$$\text{Custo Esperado } (U) = \text{Custo}_{(usa U)} \times p_{(usa U)} + \text{Custo}_{(falha U)} \times p_{(falha U)} \quad (2)$$

$$\text{Custo Esperado } (U) = 10.000 \times 0,7 + 35.000 \times 0,3$$

$$\text{Custo Esperado } (U) = \text{UM } 17.500$$

- O custo esperado para examinar o alternador protótipo antes do teste é representado pela Equação (3):

$$\text{Custo Esperado } (E) = \text{Custo}_{(usa E)} \times p_{(usa E)} + \text{Custo}_{(falha E)} \times p_{(falha E)} \quad (3)$$

$$\text{Custo Esperado } (E) = 25.000 \times 1,0$$

$$\text{Custo Esperado } (E) = \text{UM } 25.000$$

Assim, com esta simples regra de decisão pode-se escolher baseando-se no menor custo em usar o alternador na condição atual para o teste. Variações na tomada de decisão ou o conjunto de eventos relevantes e respectivas probabilidades poderiam conduzir a uma escolha diferente.

### 2.3.3 Árvore de Probabilidades e Decisão

#### a) *Árvore de probabilidade*

Segundo Costa Neto e Cymbalista (1985) a construção de uma árvore de probabilidade fornece uma ferramenta muito útil para a solução de problemas envolvendo duas ou mais etapas. A árvore consiste em uma representação gráfica

onde as diversas possibilidades são representadas, juntamente com as respectivas probabilidades para cada situação. Isto permite, pela utilização direta da regra do produto das probabilidades, associarem a cada nó terminal da árvore a respectiva probabilidade. O exemplo abaixo ilustra a árvore de probabilidade:

Um fornecedor analisa seus componentes retornados em garantia, estes componentes podem ser aceitos (A) em ou rejeitados (R), sendo que 40% são aceitos. Um teste  $T_1$  indica com certeza se o componente é aceito (A), mas erra com probabilidade de 0,30 se ele for rejeitado. Um teste  $T_2$  acerta com probabilidade de 0,50 se o componente é aceito (A) e com probabilidade de 0,90 se ele for rejeitado. Os testes se aplicados ao mesmo componente, fornecem resultados independentes. Se ambos os testes forem aplicados a um mesmo componente, qual a probabilidade de que dêem resultados contraditórios? Se os resultados forem contraditórios, qual a probabilidade de que:

- O teste  $T_2$  tenha fornecido o resultado correto?

Será utilizada a árvore da Figura 21, nota-se que, ao se construir a árvore, os diversos eventos são organizados em uma ordem natural de condicionamento, o que corresponde a representar na árvore a realidade dos dados acima. Nestas condições não há decisões a tomar, pois todas as probabilidades são conhecidas.

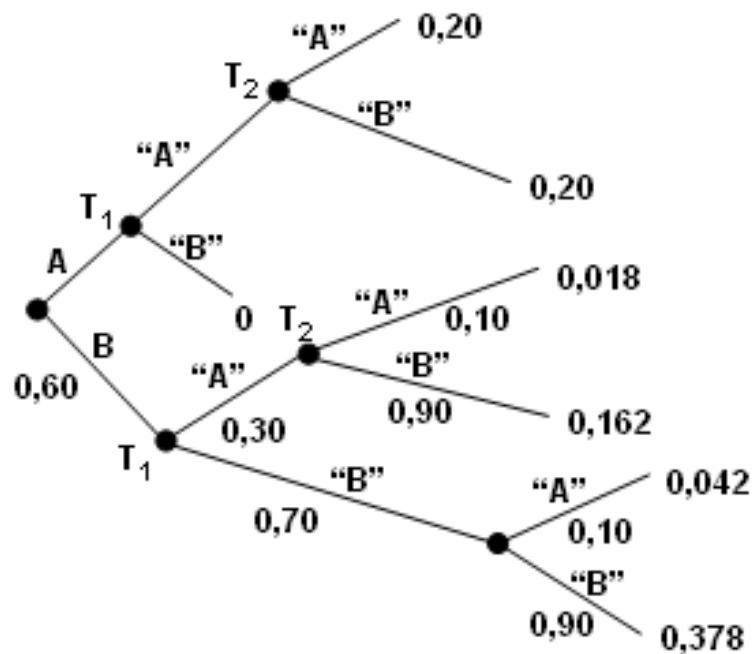


Figura 21 - Árvore de probabilidades. (Costa Neto, 1995)

*b) Árvore de decisão*

Se, além de ocorrerem eventos com probabilidades conhecidas, estiverem envolvidas decisões nos diversos estágios da árvore, tem-se uma árvore de decisões. Neste caso, as probabilidades e as decisões devem aparecer na árvore na sequência em que os fatos se revelam ao tomador de decisões.

Neste tipo de árvore, deve-se distinguir entre dois tipos de nós: nós de acaso e nós de decisão. Nos nós do acaso, os fatores acontecem segundo probabilidades conhecidas e nos nós de decisão o tomador de decisão escolherá a alternativa que lhe parecer melhor. O formato da árvore de decisões é usado por ser mais claro para a visualização geral do projeto.

Conforme Hyman (1998), árvores de decisões são representações gráficas que consistem dos elementos representados na Figura 22:

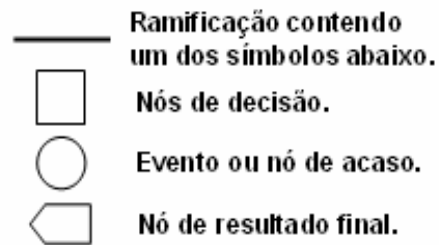


Figura 22 - Elementos da árvore de decisão. (Hyman, 1998)

Existem quatro estágios para a construção da árvore de decisão conforme segue:

*1) Nó inicial*

Todas as árvores de decisões são construídas da esquerda para a direita, começando com um nó de decisão que representa o primeiro ponto de decisão.

*2) Ramificação inicial*

Partindo do nó de decisão inicial, devem existir ramificações representando cada opção. Cada ramificação deve ser marcada para identificar a opção que ela representa. Conforme mostra a Figura 22.

*3) Cada ramificação deverá terminar em um nó*

A extrema direita de cada ramificação deverá terminar com um dos tipos de nós conforme mostra a Figura 23. Para determinar qual o tipo de nó a ser usado, deve-se perguntar: “Se continuarmos nesta ramificação, estar-se-a seguindo para outra decisão ou um evento sobre o qual não se tem controle?”.

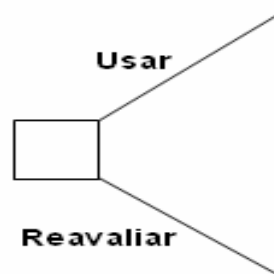


Figura 23 - 1º Estágio de construção de uma árvore de decisão. (Hyman, 1998)



Se confronta-se com uma outra decisão, termina-se a ramificação com um nó de decisão e passa-se para o item “4 – 1º passo”. Se confronta-se com um evento sobre o qual não tem-se controle, termina-se a ramificação com um nó de acaso e passa-se para o item “4 – 2º passo”. Se não confronta-se com uma decisão ou acaso, termina-se a ramificação com um nó de resultado final e passa-se para o item “4 – 3º passo”.

Neste exemplo do alternador protótipo, se a decisão for usar o alternador nas condições atuais, estar-se-à confrontando com uma possível falha do alternador. Conforme o item “4 – 2º passo” esta ramificação terminará em um nó de acaso. Por outro lado, se a opção for examinar o alternador antes de usá-lo, não existem mais decisões e incertezas. Deste modo, conforme item “4 – 3º passo” termina-se a ramificação em um nó de resultado final conforme a Figura 24.

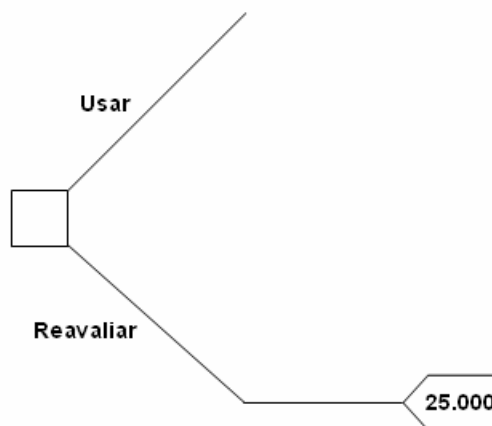


Figura 24 - 2º Estágio de construção de uma árvore de decisão. (Hyman, 1998)

#### 4) Repetir o ciclo até a conclusão

a) 1º Passo: Se a ramificação terminar em um nó de decisão, retorne ao item 2 para construir novas ramificações a partir deste ponto e representando as opções consideradas neste ponto de decisão.

b) 2º Passo: Se a ramificação terminar em um nó de acaso, construir uma nova ramificação a partir deste nó de acaso para representar cada possibilidade do evento. Cada ramificação saindo de um nó de acaso deverá ter probabilidade de este evento ocorrer. Neste exemplo sobre o alternador protótipo, devem-se representar duas

ramificações saindo do nó de acaso, alternador funciona ou falha com suas respectivas probabilidades, conforme mostra a Figura 25.

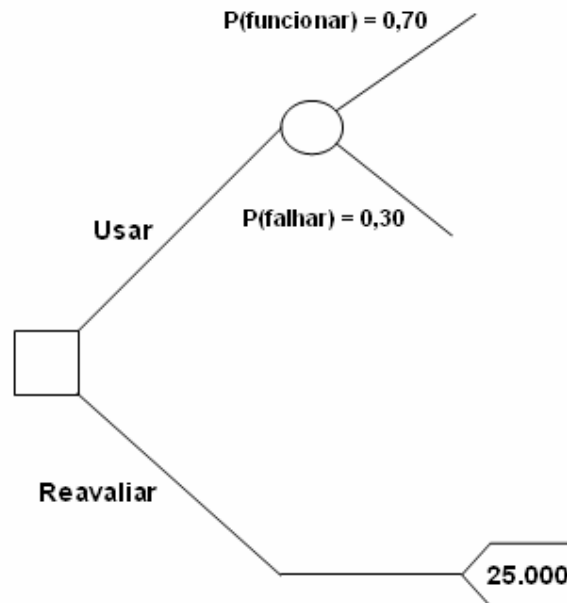


Figura 25 - 3º Estágio de construção da árvore de decisão. (Hyman, 1998)

c) 3º Passo: Se a ramificação terminar em um nó de resultado final, não é mais necessário construir novas ramificações. Cada combinação de ramificações e nós que iniciam com nó de decisão e terminam com nó de resultado final é chamado de “caminho”. Cada “caminho” deverá constar o resultado a ele associado.

Continuando com o exemplo sobre o alternador protótipo, retorna-se ao item 3 e continua-se a análise, completando a árvore de decisão conforme mostra a Figura 26.

##### 5) Solucionando a árvore de decisão

A idéia nesta fase é percorrer o caminho inverso da árvore (da direita para a esquerda) até encontrar o respectivo nó de origem. As regras para solucionar a árvore de decisão são sumarizadas nos seguintes passos:

a) 1º Passo: Percorrer o caminho inverso, partindo de um nó de resultado final.

Selecione qualquer nó de resultado final e faça o caminho da direita para a esquerda, até encontrar o próximo nó.

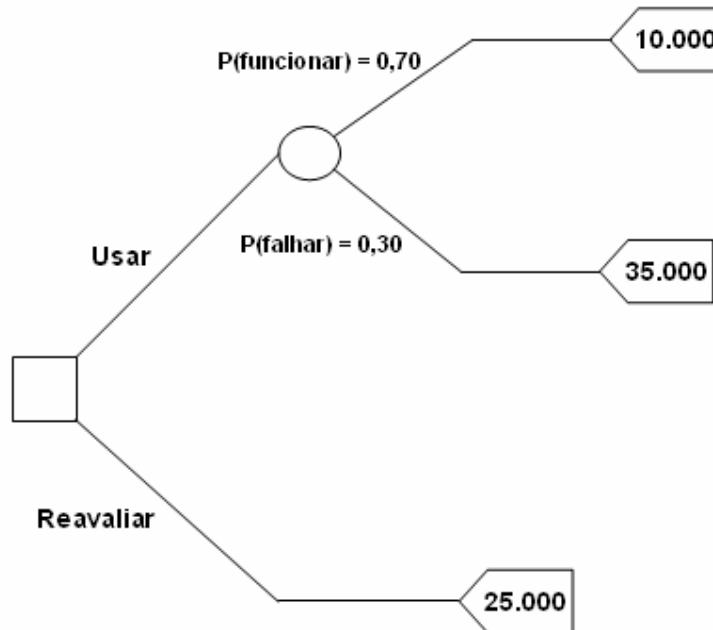


Figura 26 - Estágio final da árvore de decisão. (Hyman, 1998)

b) 2º Passo: Calcular o valor esperado no nó de acaso

Se o próximo nó encontrado é um nó de acaso, deve-se calcular o valor esperado de todos os nós (acaso, decisão e resultado final) conectados imediatamente a direita dele. Conforme mostrado na Figura 24, inicia-se do nó de decisão final de valor igual UM 10.000. Quando se percorre o caminho inverso, encontra-se um nó de acaso. O mesmo vale para o outro nó de resultado final com valor de UM 35.000. Portanto, o valor esperado para estes dois nós de resultado final são respectivamente representados pela Equação 4:

$$\text{Valor Esperado} = (0,70) \times (10.000) + (0,30) \times (35.000) = 17.500 \quad (4)$$

Em seguida, insere-se este valor no nó encontrado, conforme mostra a Figura 27.

c) 3º Passo: *Selecionar a melhor opção no nó de decisão.*

Se o próximo nó encontrado for um nó de decisão, selecionar a melhor ramificação que conduz ao melhor valor entre todos os nós (acaso, decisão e resultado final).

Transfira o melhor valor para o nó de decisão e elimine a ramificação rejeitada.

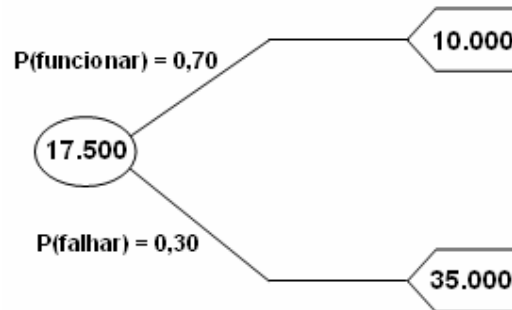


Figura 27 - Solucionando a árvore de decisão – 1º Passo. (Hyman, 1998)

Neste exemplo, continua-se caminhando para a esquerda e em seguida encontra-se um nó de decisão onde mostram as duas ramificações que saem dele, conforme mostra a Figura 27. Uma conduz ao custo esperado de UM 17.500 e o outro ao valor de UM 25.000, conforme mostra a Figura 26. A regra de decisão adotada foi a de menor valor de custo, ou seja, eliminamos a outra ramificação, conforme a Figura 28.

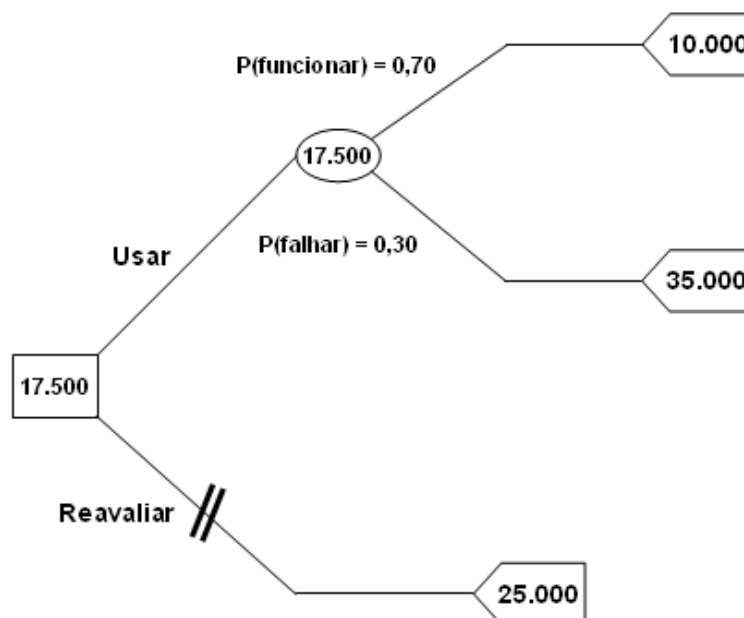


Figura 28 - Árvore de decisão solucionada. (Hyman, 1998)

### 3. EXTENSÃO DA GARANTIA - MODELO DE TOMADA DE DECISÃO

A proposta para o modelo de tomada de decisão é baseada em dois fatores já mencionados, incidência de falhas e custo. Porém, como o universo de veículos é o mesmo será feito uma comparação entre os itens de maior incidência de falhas e os itens de maior custo, pois será possível obter uma única lista de itens a ser estudado, contemplando as duas situações sem que existam itens sendo considerado duas vezes.

A empresas que possuem planos de garantia estendida considerando somente o seguimento dos veículos sub-econômicos estão representadas na Tabela IX e o objetivo final do estudo será igualar o período de garantia do veículo em estudo as empresas mencionadas nesta tabela.

Tabela IX - Garantia no segmento sub-econômico.

	<b>FIAT Palio</b>	<b>FORD KA</b>	<b>VW Gol</b>
<b>Garantia Normal</b>	12 meses	12 meses	36 meses
<b>Garantia Estendida</b> (sem custo para o cliente)	1 ano	3 anos	3 anos
<b>Primeira Revisão</b>	15.000 Km	10.000 Km	10.000 Km
<b>Plano de Revisão</b>	12 meses	6 meses	6 meses
<b>Plano de Corrosão</b>	5 anos	3 anos	5 anos

#### 3.1 Configuração de um Banco de Dados de Falhas Típicas

As informações de campo recebidas através de toda a rede de concessionárias no território nacional, são medidas através de incidentes por mil unidades vendidas (I/1000) ou ainda chamado de IPTV (*incidents per thousand vehicles*), este sistema é normalmente utilizado nas empresas automotivas americanas. Um incidente de garantia ocorre quando o veículo ou um de seus subsistemas perde sua

funcionalidade durante o período de garantia. O veículo pode ser dividido em doze categorias e/ou famílias de componentes, a saber:

- A – Pintura;
- B – Carroceria Externa;
- C – Carroceria Interna;
- D – Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento;
- E – Suspensão, Direção e Rodas;
- F – Eixo Traseiro;
- H – Freios;
- J – Motor;
- K – Transmissão;
- L – Sistema de Alimentação e Escapamento;
- N – Sistema Elétrico;
- R – Acessórios.

Os dados de garantia são os acúmulos de todos os incidentes ocorridos durante a garantia dada pelo fabricante do veículo de acordo com a maneira que cada cliente conduz seu o veículo.

Devido a sua grande versatilidade, estas informações são úteis para os engenheiros de confiabilidade na missão de análise e rastreabilidade das falhas de campo. Seu processamento é rápido e permite informações atualizadas das falhas de campo, neste método os códigos de mão de obra estão agrupados conforme as categorias dos subsistemas.

Durante a montagem dos veículos cada um recebe um número chamado de NIV (número de identificação do veículo) este número fornece todas as informações necessárias para a rastreabilidade do veículo, tipo do motor, carroceria, local de fabricação, ano modelo entre outros. Depois de produzido o veículo, é a concessionária que efetuará sua venda gerando uma notificação de venda. Esta notificação é registrada no banco de dados da empresa e o veículo passa oficialmente em circulação. Quando ocorre qualquer falha de um componente, a concessionária

efetua o reparo e envia ao Departamento de Serviços da montadora a solicitação de pagamento correspondente ao trabalho efetuado no veículo. Esta informação de falha entra no sistema com a quilomentragem, o código de defeito, data da reclamação etc. O processamento de todas estas informações separadas por cada tipo de veículo, permite a geração de inúmeros tipos de informações e relatórios sobre as falhas de campo facilitando assim as ações necessárias aos times de trabalho responsáveis por cada linha de veículo.

Por exemplo, analisa-se um veículo produzido durante o ano modelo de 2003, ou seja, início da data de produção em agosto de 2002 e término de produção em julho de 2003. A Tabela X mostra os dez itens de maior incidência pesquisados por código de mão de obra e reclamados durante a garantia do veículo em estudo.

Como metodologia de estudo e melhor entendimento, será considerando somente as dez maiores reclamações de campo para o veículo em questão, embora, seja possível consultar todas as incidências reclamadas por veículo durante seu período de garantia, sendo que esta informação fica disponível até cinco anos no banco de dados.

Tabela X - As dez maiores reclamações por Incidência.

ANO MODELO: 2003		LINHA DO VEÍCULO = Alpha		AMOSTRA = 120806	
SEQUÊNCIA no IPTV	CÓDIGO MÃO de OBRA	DESCRICAÇÃO do ITEM	QTDE	IPTV	% Custo Total
1	J1000	COXIM MOTOR TRASEIRO CENTRAL	4021	4,0	17,8%
2	B1000	LIMITADOR ABERTURA PTA DT.LE	3908	3,9	14,7%
3	B1001	LIMITADOR ABERTURA PTA DT.LD	2825	2,8	10,4%
4	J1001	COXIM MOTOR TRASEIRO LD	1626	1,6	5,5%
5	C1000	REGULADOR VDR.PORTA DT.LE MANUAL	1623	1,6	4,3%
6	C1001	CANALETA/GUARNIÇÃO VDR. PORTA DT. LE	1604	1,6	4,7%
7	N1000	CONJUNTO COMUTADORES - SUBST.	1461	1,5	9,5%
8	H1000	ALAVANCA FREIO ESTACIONAMENTO	1454	1,5	6,3%
9	L1000	MEDIDOR COMBUSTÍVEL RESERVATÓRIO	1384	1,4	4,4%
10	J1002	MOTOR PARTIDA - SUBST.	1124	1,1	22,4%
		TOTAL :	21027	21,0	100,0%

Em sequência a pesquisa de incidências da mesma plataforma do veículo representado na Tabela X, pode-se também pesquisar quais foram os modos de falha

para qualquer código de mão de obra, por exemplo, o componente J1000 COXIM do MOTOR TRASEIRO CENTRAL. O resultado desta pesquisa nos gerou a Tabela XI, que mostra os modos de falhas identificados pelas concessionárias para o código de mão de obra J1000 na forma de um diagrama de Pareto. Assim é possível identificar em qual modo de falha devem-se concentrar as medidas de melhoria do projeto atual. Ainda não se tem a causa raiz identificada, somente uma suspeita do que possa ser.

Até o momento têm-se como resultado em nossa pesquisa os dez itens de maior incidência na linha de veículo estudada e para o primeiro item tem-se um diagrama de Pareto dos modos de falha. Continuando a pesquisa, verificam-se quais são os veículos que formam a amostra para o código de mão de obra J1000 – COXIM do MOTOR TRASEIRO CENTRAL.

A Tabela XII a título ilustrativo mostra somente parte de todos os veículos reclamados com seus NIV's (Número de Identificação do Veículo), respectivo mês de produção e mês da reclamação, concessionária que efetuou o reparo, modo de falha, peça causadora da falha e custo do reparo. Estas informações são as mais importantes para o nosso estudo de caso, pois mostram exatamente em que data ocorreram às falhas que neste estudo é a quilometragem em que o veículo entrou em uma concessionária para efetuar um reparo.

Tabela XI - Diagrama de Pareto para os modos de falha.

ANO MODELO: 2003 TOTAL da AMOSTRA: 120806 LINHA DE VEÍCULO: Alpha J1000 COXIM MOTOR TRASEIRO CENTRAL		
CÓDIGO DEFEITO	DESCRIÇÃO	QTDE
4N	DEFORMADO	1339
1D	QUEBRADO	1090
4X	DESGASTADO	1051
4Q	FRACO	190
2F	FOLGA MUITO APERTADA	130
3A	DESAJUSTADO/DESALINHADO	95
2J	ASSENTAMENTO INCORRETO	90
4T	TORCIDO	18
1A	EMPENADO	6
1K	TRINCADO	5
1B	FALHA DE FUNDICAO	3
2T	TORQUE INCORRETO	3
4G	ESPANADA	1



Tabela XII - Rastreabilidade dos veículos reclamados.

ANO-MODELO : 2003 LINHA DE VEICULO : Alpha CODIGO DE MAO-DE-OBRA : J1000						
N.I.V.	KM VEÍCULO	DATA PRODUÇÃO	DATA RECLAMAÇÃO	MODO FALHA	PEÇA CAUSADORA	% CUSTO TOTAL (US\$)
ABCD100028	8062	6/fev	4/mar	4N	12148260	6,2%
ABCD100077	12080	4/fev	10/mar	4N	12148260	6,9%
ABCD100039	11082	4/fev	10/mar	1D	12148260	5,6%
ABCD100089	16436	6/fev	10/mar	1D	12148260	7,1%
ABCD100012	14450	6/fev	5/mar	4N	12148260	7,3%
ABCD100021	13499	6/fev	8/mar	4N	12148260	6,3%
ABCD100056	24218	6/fev	5/mar	1D	12148260	6,0%
ABCD100034	3780	7/fev	12/fev	1D	12148260	6,2%
ABCD100099	14133	6/fev	2/mar	1D	12148260	5,6%
ABCD100059	21602	7/fev	10/mar	4Q	12148260	7,8%
ABCD100044	13492	7/fev	9/mar	4Q	12148260	7,1%
ABCD100067	14739	7/fev	10/mar	2F	12148260	7,4%
ABCD100087	15015	7/fev	10/mar	4N	12148260	7,4%
ABCD100081	19251	7/fev	4/mar	1K	12148260	6,4%
ABCD100079	14750	6/fev	7/mar	4N	12148260	6,5%

Agora já são três itens pesquisados:

- Dez itens de maior incidência da linha de veículo em estudo;
- Elaboração da análise de Pareto dos modos de falha do item de maior incidência;
- Rastreabilidade de todos os veículos do item de maior incidência.

Pelos desenhos do produto, visualiza-se qual é a peça causadora do modo de falha de maior incidência, conforme mostra a Figura 29.

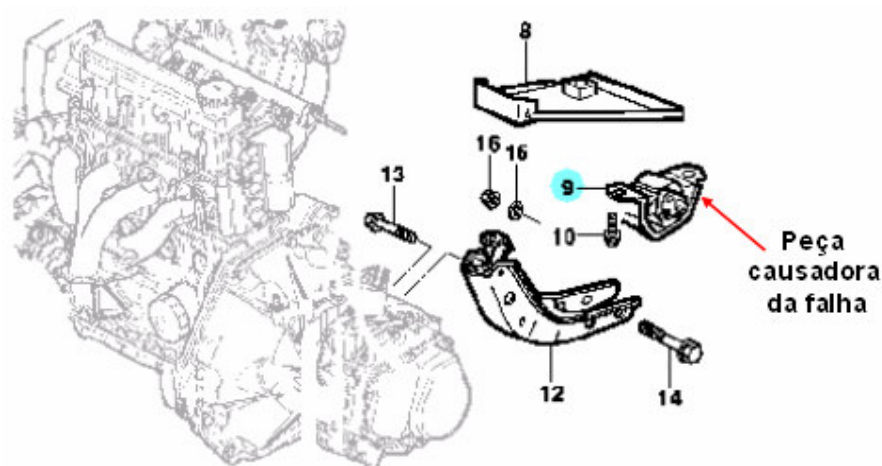


Figura 29 – Peça falhada para o código de mão de obra J1000.

Agora o próximo passo para o problema é a solicitação imediata de peças falhadas para análise junto ao fornecedor responsável. Além das pesquisas já efetuadas pode-se também consultar qual foi o comportamento deste item em questão durante o ano de produção. A Tabela XIII mostra quais foram as incidências em cada mês de produção do código de mão de obra durante o ano modelo de 2003.

Depois de tomada todas as ações corretivas para o item em análise, marca-se um ponto de corte para a introdução da melhoria, normalmente com o NIV (número de identificação do veículo) do veículo e o mês em que foi implementada a melhoria, deste modo é possível avaliar se a ação corretiva foi efetiva ou não, mas isto é um tema para outros estudos.

Tabela XIII - Reclamações mês a mês para o código de mão de obra J1000.

PRODUÇÃO	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
jul/02	0,4	1,3	2,1	3,6	5,5	9,3	15,8	20,7	28,1	38,2	47,7	64,1
ago/02	0,3	1,5	2,2	3,2	5,0	7,4	11,8	17,1	23,0	28,4	37,4	53,1
set/02	0,6	1,3	1,8	3,4	5,5	9,7	13,9	21,5	30,3	43,7	58,0	78,8
out/02	0,8	1,6	2,9	5,2	10,0	18,4	28,9	45,8	62,4	81,1	103,5	143,8
nov/02	1,1	1,8	3,3	4,9	7,6	13,1	23,4	38,8	55,1	73,6	93,8	132,2
dez/02	0,9	3,4	5,7	8,3	11,9	19,6	32,0	49,8	70,5	95,2	121,1	161,5
jan/03	1,6	3,4	4,6	8,3	12,8	21,2	33,5	51,4	69,9	94,4	120,4	154,1
fev/03	2,5	5,2	<b>Ponto de Corte (Implementação das Melhorias no Componente)</b>									157,6
mar/03	1,6	2,5	5,0	6,5	10,3	17,8	25,3	35,3	46,8	57,7	71,1	110,1
abr/03	1,2	2,1	4,1	7,3	13,2	21,9	30,3	43,0	57,2	70,4	83,8	105,3
mai/03	1,0	2,0	4,2	7,6	15,7	28,6	39,2	54,4	71,6	90,9	106,8	95,2
jun/03	0,4	1,8	3,5	7,6	13,9	22,1	33,4	49,5	67,4	88,7	105,7	90,4
jul/03	1,0	1,6	6,0	8,8	13,0	18,8	25,8	36,0	45,8	56,9	68,9	84,9

A Tabela XIII também pode ser usada para gerar gráficos de acompanhamento da implementação da melhoria. Adota-se como falha prematura os valores com dois meses de exposição no campo, conforme marcado na Tabela XIII na coluna de dois meses e para as falhas de durabilidade são os valores na coluna de doze meses.

A Figura 30 mostra o gráfico do componente em análise, representando dois e doze meses de exposição no campo, assim como o ponto de corte da implementação da melhoria no componente falhado. Após este ponto de corte, monitora-se o componente no campo para certificar-se que realmente a correção foi efetiva e isto passa a ser trabalho do engenheiro de confiabilidade responsável pela plataforma.

Normalmente quando se identifica corretamente o modo de falha e a causa raiz do problema de maior influência, estes não voltam a falhar em campo. Porém, quando isto não ocorre tem-se então pequenas reduções nos índices de falha de campo.

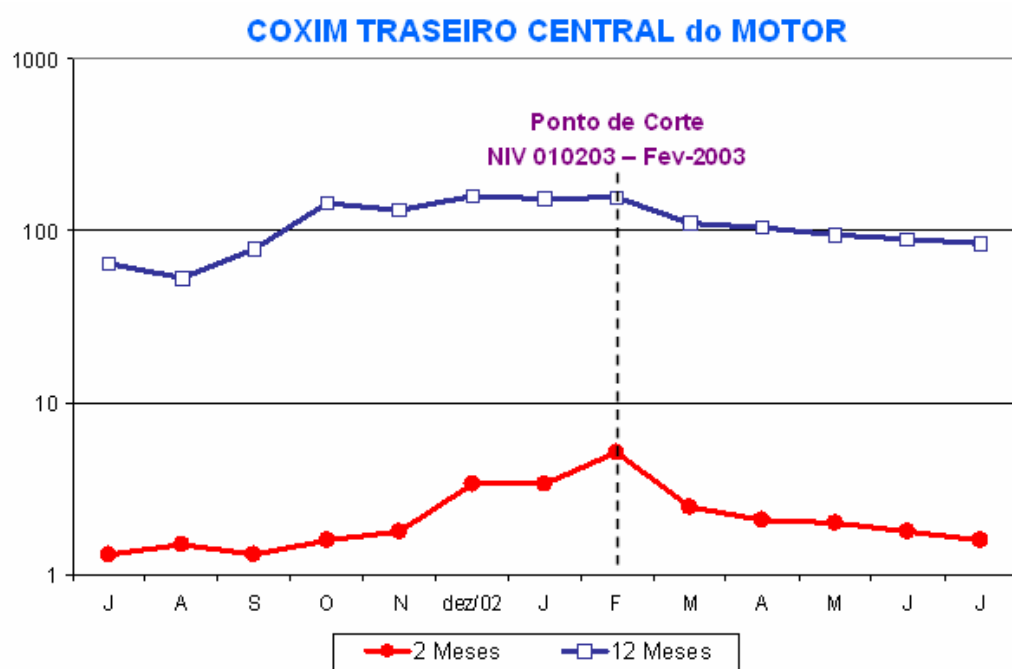


Figura 30 - Representação gráfica do coxim traseiro central.

Esta é uma das opções de construção de um banco de dados de falhas de campo, pode-se construir mais detalhadamente outros tipos de tabelas no sistema de banco de dados, isto depende das necessidades e recursos de cada empresa.

O foco deve ser mantido na rastreabilidade e no comportamento de cada veículo e/ou componente no campo, somente assim pode-se acompanhar não somente a deteriorização de um componente ou sistema de um veículo, como também as melhorias implementadas no processo produtivo e no produto.

### 3.2 Proposta de Utilização dos Dados de Garantia

Considerando que o objetivo deste trabalho é executar uma análise de confiabilidade de algum subsistema de um veículo baseando-se em dados de retorno de garantia, neste item apresenta-se um procedimento para o cálculo desta confiabilidade.

Inicialmente deve-se direcionar o subsistema para o qual se deseja executar a análise de confiabilidade, visando a extensão da garantia. Esta seleção inicialmente envolve

alguns objetivos estratégicos da empresa e não unicamente requisitos de projeto do veículo, sendo que este processo não será analisado neste estudo.

Uma vez direcionado os subsistemas a serem analisados deve-se inicialmente, direcionar os componentes destes subsistemas que representam a maior porcentagem das reclamações provenientes do retorno de garantia. Esta direção é necessária, pois os subsistemas de um veículo são normalmente constituídos por um grande número de componentes, sendo que alguns poucos representam a maior porcentagem de reclamações. Estes componentes devem ser considerados na análise de confiabilidade, pois realmente afetam a imagem e o desempenho do veículo nas condições normais de uso. Outros componentes que representam uma quantidade muito reduzida de falhas tendem a ser mais numerosos que os primeiros, mas estas falhas de reduzida incidência não são significativas para a análise de confiabilidade, pois podem representar situações onde o componente apresentava menor resistência que a solicitada em projeto, por falha em processo de manutenção ou por apresentar material com propriedades não-conforme com as especificações de projeto.

A relação dos componentes a serem considerados na análise de confiabilidade pode ser executada com o emprego de uma Análise de Pareto, que é uma ferramenta usualmente utilizada em estudos associados a qualidade de processos de manufatura e que tem por objetivo indicar a participação de alguns fatos no total de não-conformidades observadas em um produto.

Na análise ora proposta, deve-se executar a análise em função do número de vezes que certo componente é citado como causador da falha do subsistema analisado. Propõe-se para execução da análise de confiabilidade a consideração dos componentes cujas falhas representam 90% do total das reclamações registradas durante o período de garantia do subsistema em análise.

Esta mesma análise pode ser executada considerando-se o custo associado com a falha de cada um dos componentes citados nos dados de reclamações de garantia do subsistema em análise. Da mesma forma que o proposto anteriormente, utiliza-se na

análise de confiabilidade, os componentes cujo total dos custos associados à falha representam 90% do montante de recursos utilizados para atender as reclamações durante o período de garantia.

Definidos os componentes que farão parte da análise de confiabilidade, utiliza-se o banco de dados para registrar o tempo até a falha dos mesmos. Nesta fase é importante relacionar um ano base de produção do veículo em estudo e acompanhando-se os retornos de garantia durante um ano completo, constando a partir do mês de fabricação do veículo, de forma a aproveitar ao máximo o banco de dados associados aos problemas enfrentados pelos veículos quando em condições normais de uso.

Para a execução da análise de confiabilidade deve-se considerar a produção do veículo em um mês específico e verificar ao longo dos próximos 12 meses, os veículos que apresentaram falhas mês a mês. Ao final de 12 meses tem-se o número de veículos que não apresentaram defeitos. Sob o ponto de vista de análise de confiabilidade, para cada mês tem-se certo número de falhas, e ao final de 12 meses tem-se um número de veículos ainda operando, perdendo-se informações dos mesmos a partir desta data em função do vencimento da garantia. Este conjunto de dados caracteriza uma análise de dados censurados do Tipo I, ou seja, encerra-se a análise após um tempo específico de acompanhamento da amostra.

Utiliza-se a produção de um veículo ao longo de um ano com o objetivo de aumentar o tamanho da amostra de dados em análise, aumentando a confiança nas estimativas da confiabilidade para o subsistema em estudo.

Deve-se resaltar que para a execução desta análise deve-se considerar que não ocorreram alterações no veículo ao longo do ano estudado ao menos no subsistema em análise, ou em outros subsistemas que opinem em conjunto com o analisado.

Neste método de análise também se considera o tempo que o veículo fica parado no período compreendido entre a produção e o instante em que o mesmo deixa à concessionária.

De posse destes dados e empregando-se um modelo de estimação de parâmetros, tais como os citados na Figura 38, define-se a função distribuição de probabilidade que melhor modela a variação da probabilidade de falha do subsistema e conseqüentemente, define-se a sua confiabilidade.

Para exemplificação da análise com o emprego do Diagrama de Pareto, propõe-se um modelo de pesquisa de desempenho do veículo no item motor. Para tanto, devem ser pesquisados:

- 100 itens de maior incidência,
- 100 itens de maior custo.

Estas reclamações representarão as falhas ocorridas com os clientes durante o período de garantia do motor. Todavia, incluir todos estes itens em um estudo torna-se um trabalho muito extenso e corre-se o risco de perda de atenção nas falhas realmente importantes, portanto, estar-se-á propondo a construção de um Diagrama Pareto das falhas de componentes para o subsistema motor.

O objetivo do Diagrama de Pareto é identificar os componentes de maior impacto e em seguida direcionar o estudo de caso somente para estes itens de maior incidência, deixando o restante para futuras análises.

Após a identificação de todas as incidências de falhas do motor, obtida a partir da análise da Tabela X, constrói-se o Diagrama de Pareto ilustrado na Figura 31. Toda amostra foi dividida em blocos de dez componentes cada, para permitir uma maior clareza na identificação dos itens críticos.

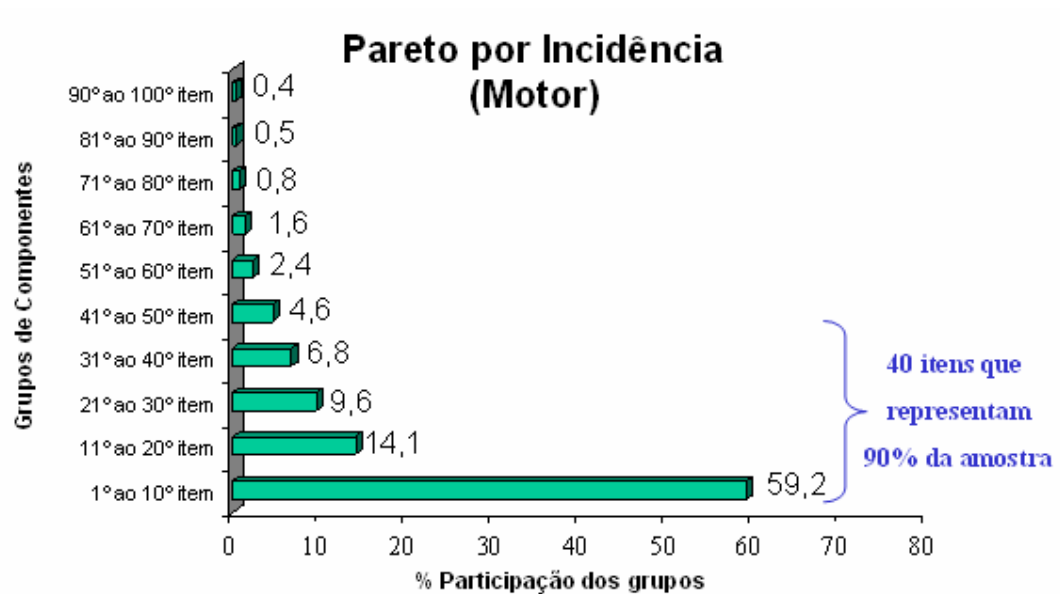


Figura 31 – Diagrama de Pareto por incidência: Falhas do subsistema motor.

Assim, conforme a Figura 31 pode-se observar que 40 componentes reportados em falhas de campo, por incidência, representam 90% da amostra inicial dos componentes falhados. Isto proporciona uma boa redução de itens a serem considerados na análise.

A segunda proposta terá a mesma linha de raciocínio, ou seja, identificar todos os componentes de falha de campo para o motor, porém, deve-se considerar agora o custo destes componentes como restrição e não mais a sua incidência de falha. Em seguida, de posse destes dados, deve-se construir o Diagrama de Pareto de custo para motor.

Como exemplo, está ilustrado na Figura 32 o Diagrama de Pareto por custo de falhas observadas no motor. Assim, para a categoria motor tem-se 30 componentes reportados de falha de campo por custo de garantia e estes componentes, conforme a Figura 32 totaliza 90% da amostra inicial de componentes falhados o que proporciona uma boa redução de componentes a serem considerados na análise.



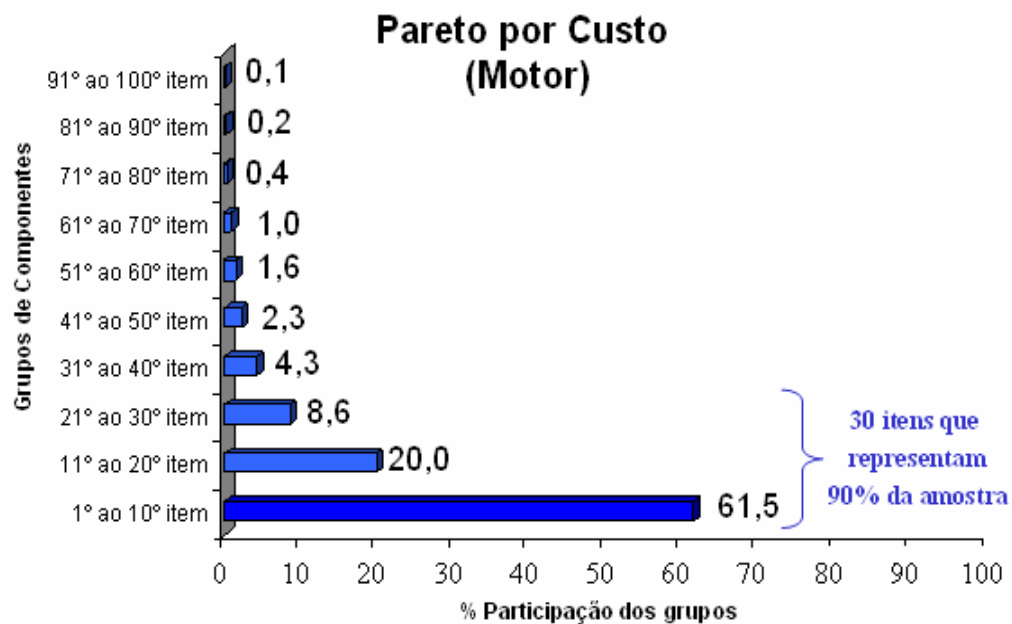


Figura 32 – Diagrama de Pareto por custo: Falhas do subsistema motor.

Neste momento pode-se identificar qual foi o tempo  $t$  que cada componente falhou, ou seja, em nosso caso qual foi a quilometragem do veículo quando ocorreu a falha. Com estes dados pode-se calcular a confiabilidade  $R(t)$  para o subsistema motor e assim, tirar as devidas conclusões do resultado final.

### 3.3 Modelo de Decisão

Conforme mostrado no capítulo *Árvore de Probabilidades e Decisão*, deve-se agora construir uma árvore de decisão para a extensão da garantia. A proposta aqui será comparar os resultados atuais mais a extensão para dois e três anos. Conhecendo-se a confiabilidade do subsistema analisado para doze meses conforme os dados de garantia, pode-se determinar também a confiabilidade para 24 e 36 meses. A Figura 33 ilustra de modo simplificado como se deve determinar a confiabilidade dos subsistemas em estudo para na sequência construir a árvore de decisão com base nos dados obtidos.

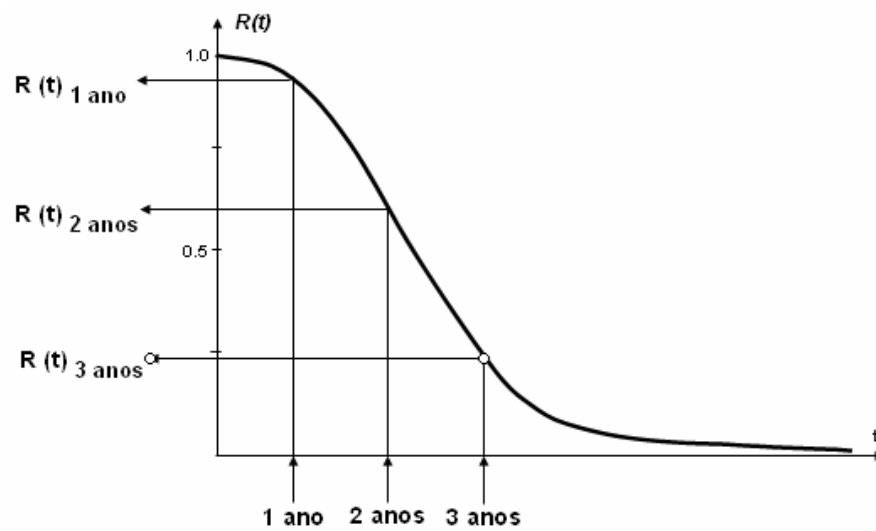


Figura 33 - Variação da Confiabilidade para 1/2/3 anos de uso do subsistema.

A construção da árvore de decisão é feita com base no exposto no item 2. A Figura 34 mostra a árvore de decisão proposta para a análise da extensão da garantia.

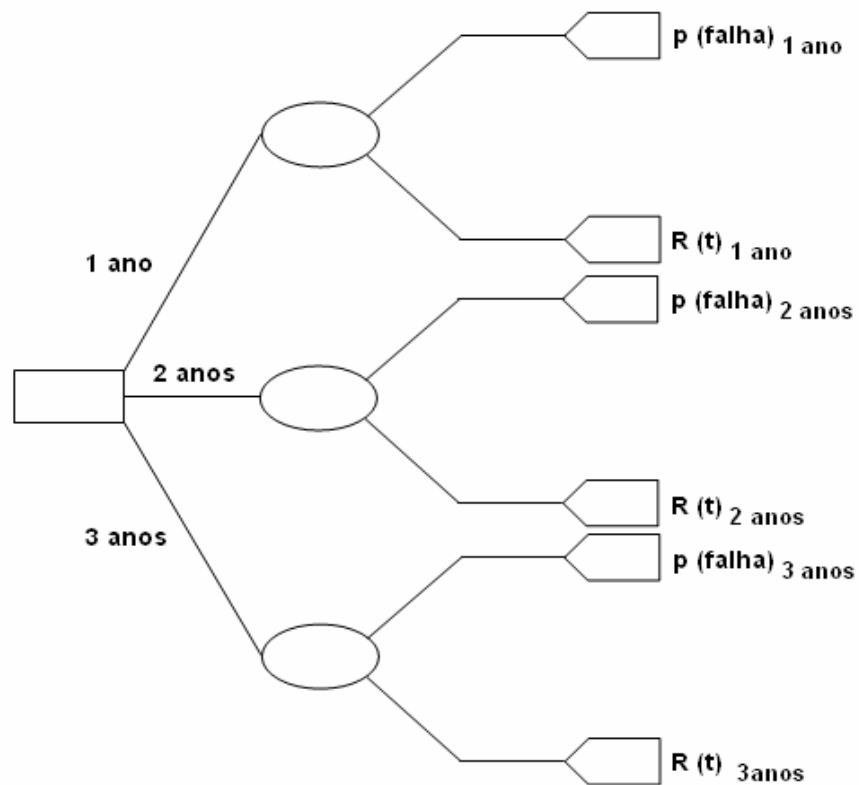


Figura 34 - Modelo da árvore de decisão.

Pelo representado na Figura 34, para análise da árvore de decisão sabe-se que:

$$p(\text{falha}) = 1 - R(t)$$

Onde:

$p(\text{falha})$  = probabilidade de falha;

$R(t)$  = confiabilidade (determinada através dos dados de garantia).

As opções consideradas neste estudo são as utilizações de períodos de garantia de 12, 24 e 36 meses. Para cada período de garantia, a partir da curva de confiabilidade, define-se a confiabilidade e a probabilidade de falha de cada veículo produzido ao final de um dado período de garantia.

Considerando constante ao longo do tempo o custo das ações de manutenção durante o período de garantia e o valor monetário economizado no período de garantia caso o veículo não apresente falha, ou seja, desconsidera-se a variação do valor monetário ao longo do tempo, pode-se estimar para cada opção da árvore de decisão, um valor monetário médio economizado por veículo vendido, ao longo de seu período de garantia, ou seja:

$$E_{\text{Valor Economizado}}^{\text{Período de Garantia}} = R_{\text{(Período de Garantia)}} \times \text{Custo}_{\text{Não Falha}} - p_{\text{Falha}}^{\text{(Período de Garantia)}} \times \text{Custo}_{\text{Falha}}$$

Onde:

$E_{\text{Valor Economizado}}^{\text{Período de Garantia}}$  = Valor médio do montante monetário economizado do total provido para cobrir custos de garantia do veículo.

$C_{\text{Falha}}$  = Montante monetário gasto para execução do reparo das falhas do subsistema em análise durante o período de garantia.

$C_{\text{Não Falha}}$  = Montante monetário não utilizado do valor total disponível, por veículo, para cobrir os gastos com reparos das falhas durante o período de garantia.

Comparando o valor médio do montante monetário imobilizado em função da utilização dos três períodos de garantia e considerando os ganhos de mercado

associados com a extensão da garantia, a diretoria de vendas, marketing e engenharia pode em conjunto tomar a decisão de estender a garantia ofertada para um subsistema específico de um veículo.

#### 4. ESTUDO DE CASO

O modelo proposto neste estudo poderá ser utilizado para qualquer componente e/ou subsistema de um produto ou até mesmo para um produto mais complexo como um veículo, desde que se tenha um banco de dados para todos os componentes que se pretenda estender o período de garantia, pois o sucesso de qualquer programa de confiabilidade é possuir um bom banco de dados. Neste estudo o produto modelo será um veículo popular com somente um tipo de motorização, mas, poderá ser aplicado a outros modelos com mais de um tipo de motorização desde que se considerem também todos os diferentes componentes existentes no outro modelo. Considerar-se-á a análise da garantia do motor e da transmissão deste veículo.

Segundo Martha de Souza (2003) uma forma de conceituar confiabilidade é: “A probabilidade de que um sistema ou equipamento sobreviva por um período de tempo específico sob condições pre determinadas de uso”. Expressando esta conceituação em termos da variável aleatória  $t$ , o tempo até ocorrer a falha e da correspondente função densidade de probabilidade (fdp) de ocorrência de falha  $f(t)$ , tem-se que a probabilidade de falha em um intervalo de tempo específico, pode ser definida pela relação:

$$f(t)\Delta t = P \{ t < \mathbf{t} < t + \Delta t \}$$

Sendo  $F(t)$  a função de probabilidade acumulada, vem que:

$$F(t) = P \{ \mathbf{t} < t \}$$

ou seja,  $F(t)$  expressa a probabilidade de ocorrer a falha até um tempo  $t$ . A função  $F(t)$  é crescente com o tempo, atingindo valor unitário quando  $t$  tende a  $\infty$ .

Sob o ponto de vista da lógica de operação de um componente ou sistema, ou este opera conforme previsto em projeto, ou está no estado de falha, portanto eventos

mutuamente excludentes. Assim a confiabilidade pode ser probabilisticamente expressa pela relação:

$$R(t) = P\{t > t\}$$

ou seja, a função confiabilidade é expressa pela relação abaixo e mostrada na Figura 35:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

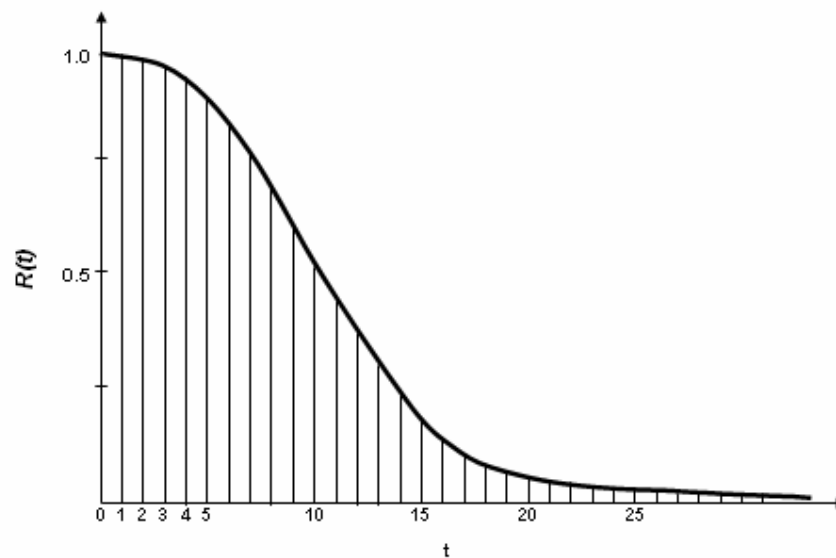


Figura 35 - Função de confiabilidade  $R(t)$ . (Leitch, 1995)

Verifica-se, portanto, que a confiabilidade de um produto decai ao longo do tempo. No presente estudo é conhecido o tempo  $t$  de falha de cada um dos componentes que apresentaram falhas no período de garantia de 1 ano e em se tratando de um ensaio censurado, onde uma grande porcentagem dos veículos não falhou durante o período de garantia, estar-se-á então considerando a Tabela V como uma referência aos veículos que não falharam durante os doze meses de garantia, isto é, a quilometragem dos veículos que não apresentaram falhas durante o período de garantia será modelada conforme dados da Tabela V. Deste modo, pode-se, através da utilização do *Software Reliability & Maintenance Analyst* calcular a confiabilidade do sistema em estudo.

#### 4.1 Coleta de Dados

Até este ponto, para o motor, têm-se os seguintes resultados já determinados ao longo do exemplo apresentado no item 3.2:

- 40 componentes de maior incidência do motor. (90% da amostra inicial),
- 30 componentes de maior custo do motor. (90% da amostra inicial).

Os 40 componentes de maior incidência de falha do motor durante o período de garantia estão representados no Anexo B e os 30 componentes de maior custo de falha do motor durante o período de garantia estão representados no Anexo C. Em ambos os casos estes componentes representam 90% da amostra inicial de todas as falhas ocorridas durante o período de garantia.

Analogamente ao proposto no item 3.2, foram levantados para a categoria transmissão todos os componentes de maior incidência de falha e todos os componentes de maior custo de falha durante o período de garantia. Com estes dados foram construídos mais dois Diagramas de Pareto para se determinar quais são os componentes de maior influência no subsistema transmissão, tanto em incidência como em custo. A Figura 36 mostra o Diagrama de Pareto de incidência de falhas para o subsistema transmissão dividida em blocos de dez componentes cada.

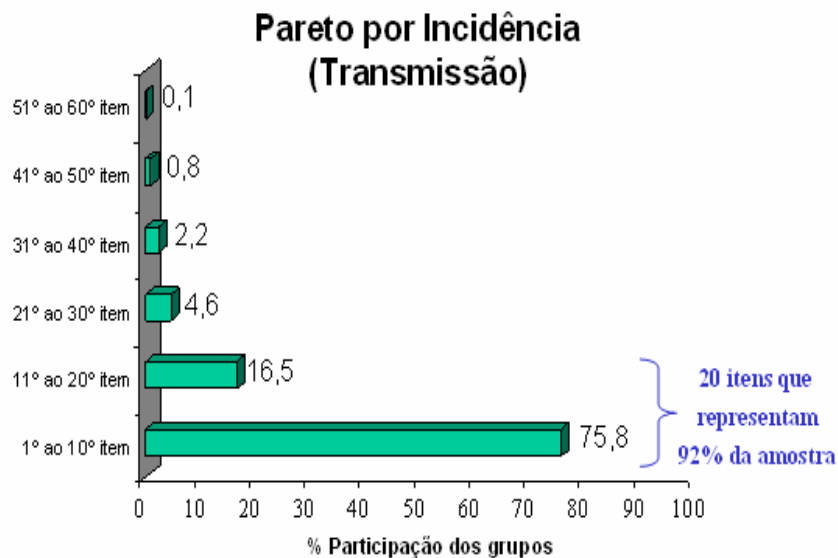


Figura 36 – Diagrama de Pareto por incidência: Falhas do subsistema transmissão.

Assim, conforme a Figura 36 pode-se observar que 20 componentes reportados de falha de campo por incidência representam 92% da amostra inicial de componentes falhados e estes 20 componentes estão representados no Anexo D. A Figura 37, mostra o Diagrama de Pareto de custo das falhas para a transmissão dividida em blocos de dez componentes cada.

Pode-se observar que 20 componentes reportados de falha de campo por custo representam 89% da amostra inicial de componentes falhados e estes 20 componentes estão representados no Anexo E.

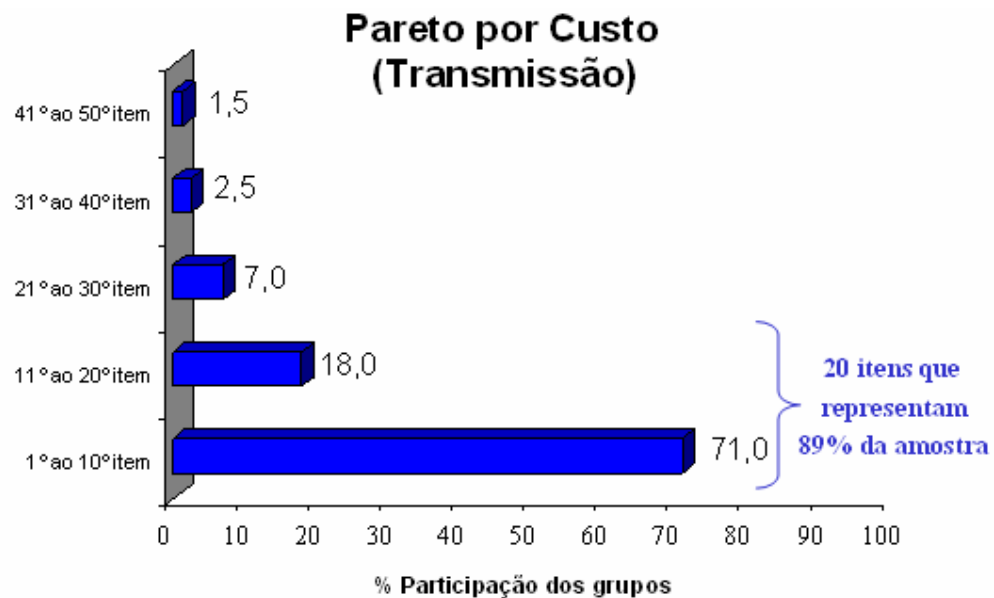


Figura 37 – Diagrama de Pareto por custo: Falhas do subsistema transmissão.

Resumidamente, os dados a serem trabalhados até este ponto são:

- Motor → 40 componentes classificados por incidência, 30 componentes classificados por custo.
- Transmissão → 20 componentes classificados por incidência, 20 componentes classificados por custo.

Porém, quando se comparam todos os componentes relacionados que falharam em campo tanto por incidência como por custo, observa-se que muitos destes componentes são os mesmos, variando apenas a sua classificação em ordem de importância em função do critério de custo ou incidência. Isto não poderia ser diferente, pois os dados referem-se à mesma população de veículos e ao mesmo período de garantia.

Dependendo da necessidade de pesquisa ao banco de dados, pode-se obter uma sequência por custo e outra por incidência, conforme explicado anteriormente. O que muda é a sua ordem de classificação conforme mostram os Anexos B, C, D e E para os subsistemas motor e a transmissão. Por exemplo, quando se compara o “*carter*” do motor no Anexo B (falhas por incidência): 290 componentes falharam com um custo total de 0,9% isto o classifica em 10º lugar. Porém, no Anexo C (falhas por custo) este mesmo componente com as 290 falhas está classificado em 25º lugar, pois existem outros componentes de maior custo acima deste e não necessariamente de maior incidência.

Isto quer dizer que, não será necessário determinar a confiabilidade do componente em questão nas duas situações (incidência e custo) apenas uma vez será o suficiente, pois se trata do mesmo número de falhas e da mesma população de veículos. Comparando-se o Anexo B e C tem-se 13 componentes classificados em incidência que não estão classificados em custo, no caso do subsistema motor.

Assim, o levantamento do tempo  $t$  de falha de cada componente será feito para os 30 componentes do Anexo C somados aos 13 componentes de incidência do Anexo B. Esta nova lista de itens a serem pesquisados está representada no Anexo F para os componentes do subsistema motor e analogamente no Anexo G para os componentes do subsistema transmissão.

A coleta e análise dos dados de garantia permite a visualização do comportamento dos componentes ou sistemas e a identificação das tendências das falhas, deste modo, as ações corretivas podem ser identificadas, implementadas e novamente acompanhadas no campo quanto à melhoria do produto ou sistema. O uso dos dados



de garantia para esta análise reflete o verdadeiro desempenho dos componentes automotivos, sistemas ou do veículo como um todo.

Segundo Coit (1998), para as empresas automotivas os dados de campo são frequentemente a única informação disponível que irá refletir o desempenho e as solicitações que o produto é submetido nas condições de uso normal do cliente. No campo as solicitações nos veículos são aplicadas de vários modos diferentes, somados a interação com o meio ambiente faz com que estes resultados de campo sejam representativos, onde seria difícil para qualquer laboratório simular tais condições.

Podem-se obter muitas vantagens dos dados de campo, segundo Campean (2000) e Kuhn (2000), muitas dúvidas são levantadas quanto aos dados de garantia automotiva para as análises de confiabilidade e em geral, estão relacionadas ao fato de que a informação extraída dos bancos de dados não é consistente. Primeiramente, as informações de falhas registradas nos bancos de dados não são exatas e segundo, as informações de falhas estão restritas somente ao período de garantia. Pouca ou às vezes nenhuma informação está disponível para os veículos que não apresentaram reclamações de componentes ou subsistemas fora deste período. Deste modo, os dados de falhas de campo extraídos dos bancos de dados de garantia automotiva devem ser considerados censurados. Para que se complete a análise de confiabilidade é necessário obter ou investigar os veículos que não falharam, por exemplo, a quilometragem dos veículos que não apresentaram falhas durante o seu período de garantia. Assim, a pesquisa realizada por Campean (2000) e mostrada na Tabela V será adotada para este modelo.

Para este veículo em análise tem-se que durante o ano modelo de 2003 foram produzidos 120.806 unidades e o total de falhas observadas para o motor durante período de garantia foi de 15.026 falhas, logo o número de veículos censurados em análise será:

$$120.806 - 15.026 = 105.780 \text{ veículos}$$

A distribuição da quilometragem acumulada dos veículos censurados pesquisados para 12 meses em serviço, está sumarizada na Figura 38, ou seja, supõe-se que estes veículos completaram seu período de garantia, acumularam a quilometragem descrita na Figura 38 e não apresentaram falhas de motor.

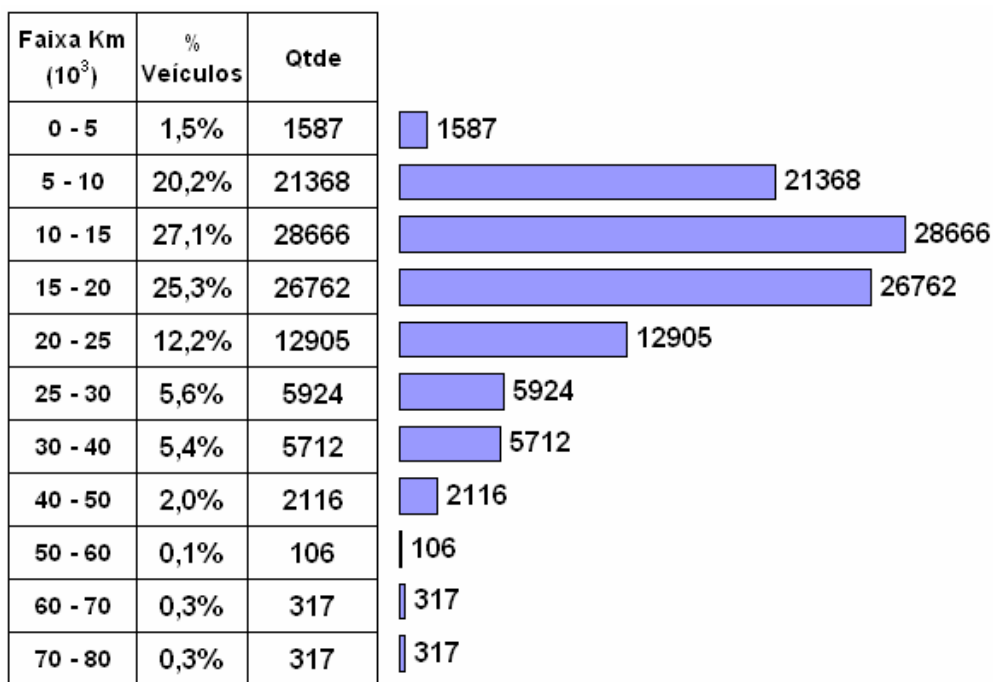


Figura 38 - Distribuição do número de veículos censurados. Subsistema Motor. (Campean, 2002)

Quando se volta para o estudo olhando somente as falhas de transmissão observa-se que a quantidade de falhas durante o período de garantia é bem inferior ao número de falhas de motor. Aplicando o mesmo conceito para os itens da transmissão e sendo a mesma população, tem-se que o total de falhas observadas para a transmissão durante período de garantia foi de 4.001 falhas, logo o número de veículos censurados em análise será:

$$120.806 - 4.001 = 116.805 \text{ veículos}$$

A distribuição da quilometragem acumulada dos veículos censurados pesquisados para 12 meses em serviço, está sumarizada na Figura 39, ou seja, estes veículos

completaram seu período de garantia, acumularam a quilometragem descrita na Figura 39 e não apresentaram falhas de transmissão.

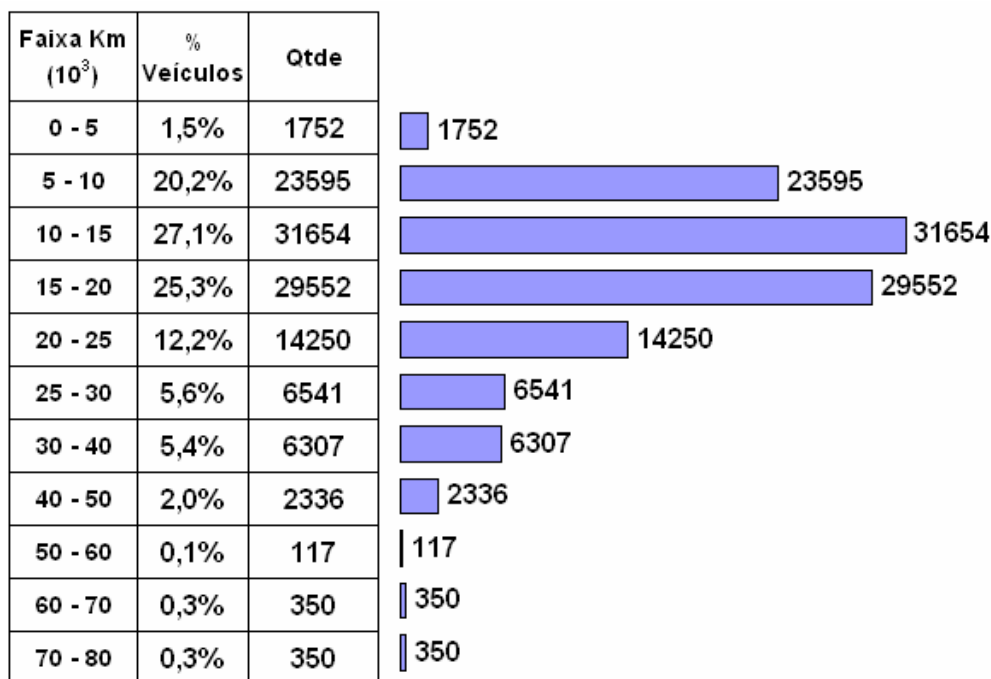


Figura 39 - Distribuição do número de veículos censurados. Subsystema Transmissão. (Campean, 2002)

Analisando-se os dados da Figura 38 para o subsistema motor e os dados da Figura 39 para o subsistema transmissão, observa-se que para as duas situações, mais de 70% da população de veículos estão compreendidas nas faixas entre 10.000 e 20.000 km, ou seja, estes veículos completaram os doze meses de garantia sem nenhuma falha no subsistema motor e transmissão. Assim, estar-se-á assumindo as seguintes hipóteses de quilomentragens para o primeiro ano de uso do veículo: 10.000 km, 15.000 km e 20.000 km sempre considerando a maior quilometragem.

A Figura 40 ilustra as hipóteses que serão consideradas no cálculo da confiabilidade dos subsistemas (motor e transmissão separadamente), assumindo-se dois e três anos de extensão da garantia.

		Motor e Transmissão Sistemas Separados		
		1 ANO	2 ANOS	3 ANOS
1ª HIPÓTESE	Situação Atual	10.000 Km	20.000 Km	30.000 Km
2ª HIPÓTESE		15.000 Km	30.000 Km	45.000 Km
3ª HIPÓTESE		20.000 Km	40.000 Km	50.000 Km
		Motor e Transmissão Sistema Único		
4ª HIPÓTESE		15.000 Km	30.000 Km	45.000 Km

Figura 40 - Quilometragem estimada para os estudos de caso.

Em seguida a quarta hipótese será assumida motor e transmissão como sendo um único sistema. Determinando-se as respectivas confiabilidades e construindo as árvores de decisão para que seja possível escolher a melhor situação.

Um ponto importante considerado neste estudo são os custos que já foram gastos com os veículos que apresentaram falhas durante o período de doze meses de garantia, outro ponto a ser considerado é o montante da reserva monetária efetuada para toda a população de veículos produzida no ano modelo em estudo, ou seja, o dinheiro imobilizado para ser usado caso todos os veículos apresentem alguma falha durante o período de doze meses de garantia, o que raramente ocorre.

Sabe-se que, custo médio das falhas para Motor e Transmissão considerados como sistemas separados foi determinado da seguinte maneira:

$$\text{Custo Médio da Falha} = \frac{\text{Total Gasto com as Falhas}}{\text{Número de Veículos Falhados}}$$

Assim sendo, tem-se os seguintes valores:

- Custo médio por falha de Motor: 85,7% da reserva monetária por cada veículo falhado,
- Custo médio por falha de Transmissão: 49,7% da reserva monetária por cada veículo falhado.

Para o motor e transmissão sendo considerados como um único sistema tem-se o seguinte valor de custo médio:

- Custo médio por falha (Motor + Transmissão): 78,2% da reserva monetária por cada veículo falhado.

Estes valores mostram o quanto se gastou da reserva monetária para reparar cada veículo que apresentou uma falha durante o período de garantia. Nota-se que em nenhuma das situações gastou-se mais do que a reserva monetária feita para cada veículo. Logo, conclui-se que o saldo da reserva monetária para os veículos que não falharam será maior do que a reserva feita para cada veículo inicialmente.

Em seguida determina-se o valor médio da reserva monetária que sobrou, ou seja, o valor monetário que não foi gasto com os veículos que não apresentaram falhas. Estes valores, aqui chamados de “Custo da Não Falha” foram determinados da seguinte maneira:

$$\text{Custo}_{\text{da Não Falha}} = \frac{\text{Sobra do Montante Imobilizado}}{\text{Número de Veículos que Não Falhou}}$$

Sendo que:

$$\text{Sobra do Montante Imobilizado} = (\text{Reserva Total}) - (\text{Gastos em Garantia})$$

Se o total da reserva monetária feita para cada veículo que falhou não foi gasto, conforme mostrado anteriormente, pode-se afirmar que esta sobra foi diluída no

restante da reserva monetária para os veículos que não falharam, assim tem-se os seguintes valores:

- Reserva Monetária Restante (falhas de motor) = 102,02%
- Reserva Monetária Restante (falhas de transmissão) = 101,71%
- Reserva Monetária Restante (falhas de motor + transmissão) = 104,08%

Estes valores serão utilizados no cálculo do valor esperado na solução das árvores de decisão. Em geral estes valores variam de acordo com o modelo do veículo e do seu desempenho no campo. Quando se atinge bons valores de confiabilidade do produto no campo, a previsão de reserva monetária para a garantia dos veículos produzidos passa a diminuir a cada ano.

#### **4.1.1 Primeira Hipótese –10.000 km/Ano (Motor/Transmissão: Separados)**

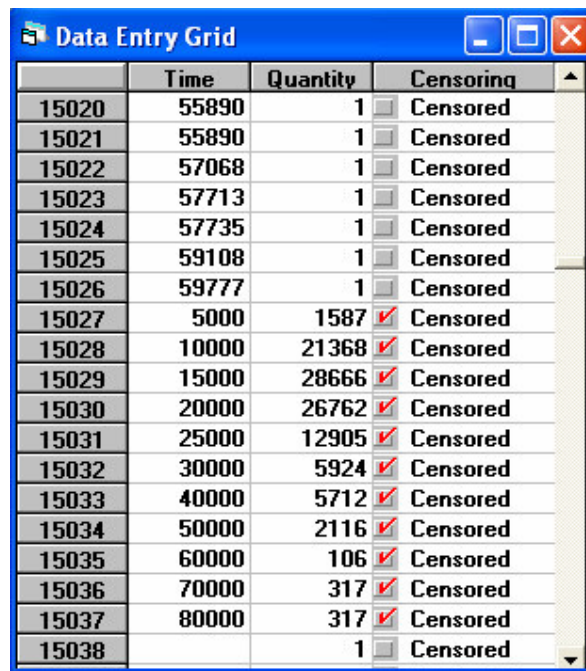
##### *a) Estudo da Confiabilidade do Motor (1ª Hipótese)*

Assume-se agora a primeira hipótese da Figura 40, ou seja:

- Primeiro ano → 10.000 km
- Segundo ano → 20.000 km
- Terceiro ano → 30.000 km

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade do motor em estudo através do uso do *Software: Reliability & Maintenance Analyst*. (Engineered Software, Inc.)

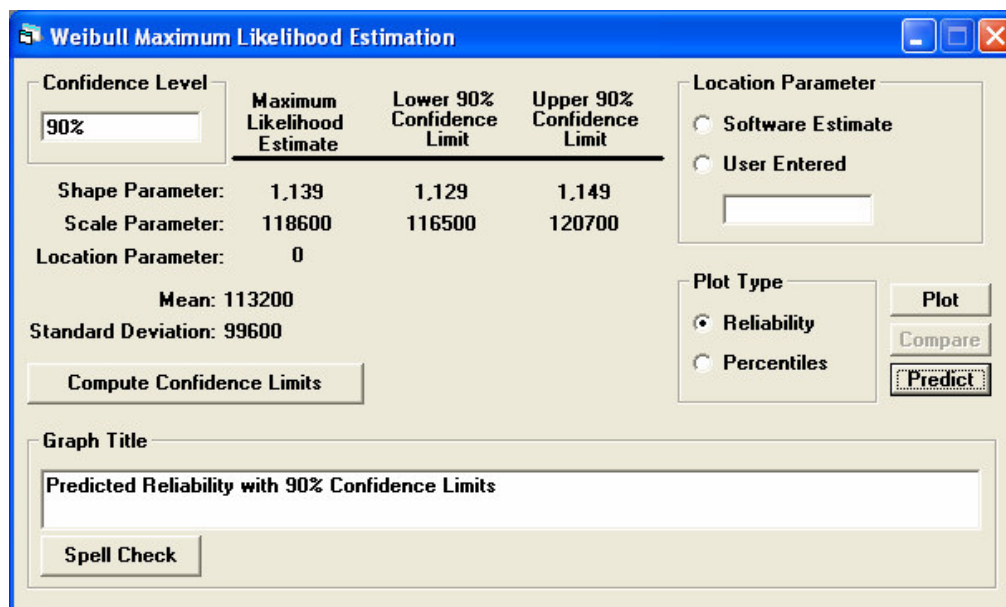
A Figura 41 mostra apenas como ilustração o final dos dados de campo usados neste *Software*, onde foram incluídas todas as 15.026 falhas de componentes do motor durante o período de garantia e também todos os dados censurados com suas respectivas quantidades conforme foi ilustrado na Figura 38.



	Time	Quantity	Censoring
15020	55890	1	<input type="checkbox"/> Censored
15021	55890	1	<input type="checkbox"/> Censored
15022	57068	1	<input type="checkbox"/> Censored
15023	57713	1	<input type="checkbox"/> Censored
15024	57735	1	<input type="checkbox"/> Censored
15025	59108	1	<input type="checkbox"/> Censored
15026	59777	1	<input type="checkbox"/> Censored
15027	5000	1587	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
15028	10000	21368	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
15029	15000	28666	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
15030	20000	26762	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
15031	25000	12905	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
15032	30000	5924	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
15033	40000	5712	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
15034	50000	2116	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
15035	60000	106	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
15036	70000	317	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
15037	80000	317	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
15038		1	<input type="checkbox"/> Censored

Figura 41 - Dados de falha e dados censurados.  
(Subsistema Motor).

A Figura 42 mostra os parâmetros de escala e de forma da distribuição de Weibull para modelar a confiabilidade do subsistema motor em função das falhas registradas nos dados de campo usados neste estudo.



**Weibull Maximum Likelihood Estimation**

Confidence Level:

	Maximum Likelihood Estimate	Lower 90% Confidence Limit	Upper 90% Confidence Limit
Shape Parameter:	1.139	1.129	1.149
Scale Parameter:	118600	116500	120700
Location Parameter:	0		

Mean: 113200  
Standard Deviation: 99600

Location Parameter:  Software Estimate  
 User Entered

Plot Type:  Reliability  Percentiles

Buttons: Compute Confidence Limits, Plot, Compare, Predict

Graph Title:

Spell Check

Figura 42 - Parâmetros de forma e escala da distribuição de Weibull.  
(Subsistema Motor).

Com estes dados pode-se obter a curva da confiabilidade do motor conforme a Figura 43 e assim determinar a confiabilidade para 1 ano, 2 anos e 3 anos, conforme mostra a Figura 44.

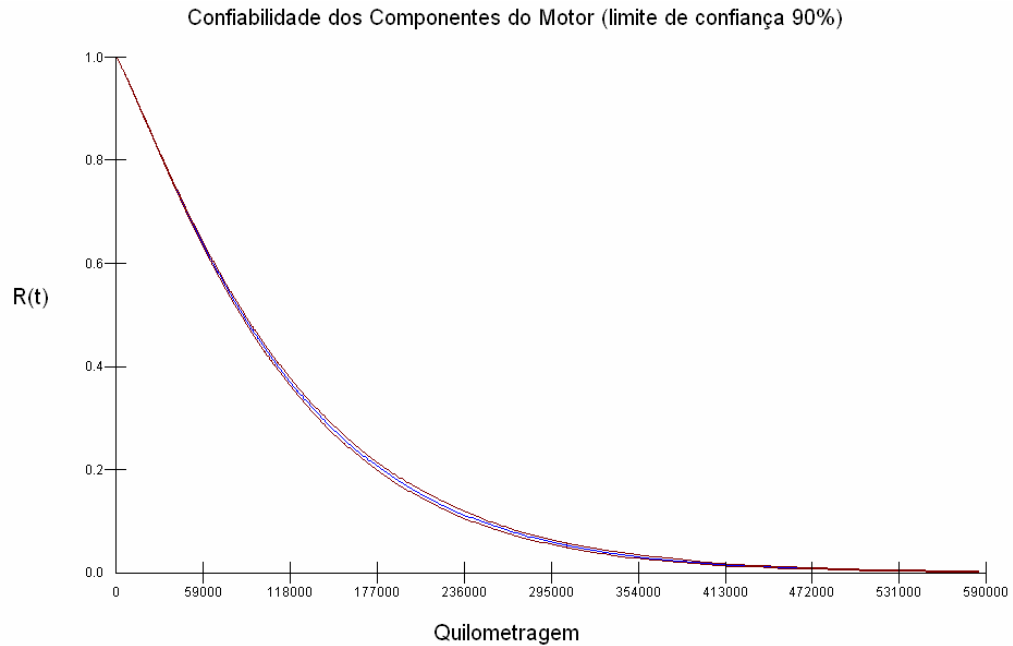


Figura 43 - Curva da confiabilidade do subsistema motor.

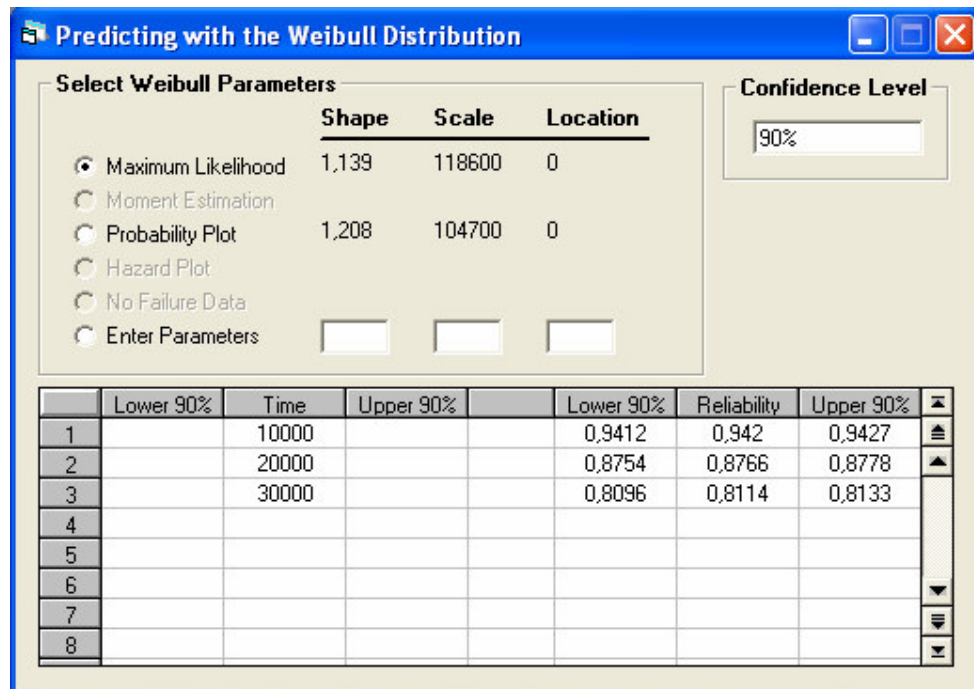


Figura 44 - Confiabilidade do subsistema Motor. (10.000 km/ano).



Com base na primeira hipótese tem-se que a confiabilidade e a respectiva probabilidade de falha do motor em estudo são:

- 1 ano  $\rightarrow R(t)_{1 \text{ ano}} = 0,9420 \rightarrow p_{\text{falha } 1 \text{ ano}} = 0,0580$
- 2 anos  $\rightarrow R(t)_{2 \text{ anos}} = 0,8766 \rightarrow p_{\text{falha } 2 \text{ anos}} = 0,1234$
- 3 anos  $\rightarrow R(t)_{3 \text{ anos}} = 0,8114 \rightarrow p_{\text{falha } 3 \text{ anos}} = 0,1886$

Sabe-se que durante os doze meses de garantia o custo médio da falha de motor foi de 85,7% da reserva monetária efetuada para cada veículo e o saldo da reserva monetária para os veículos que não falharam foi de 102,02%. Pode-se agora, construir a árvore de decisão para o motor considerando a primeira hipótese conforme mostra a Figura 45.

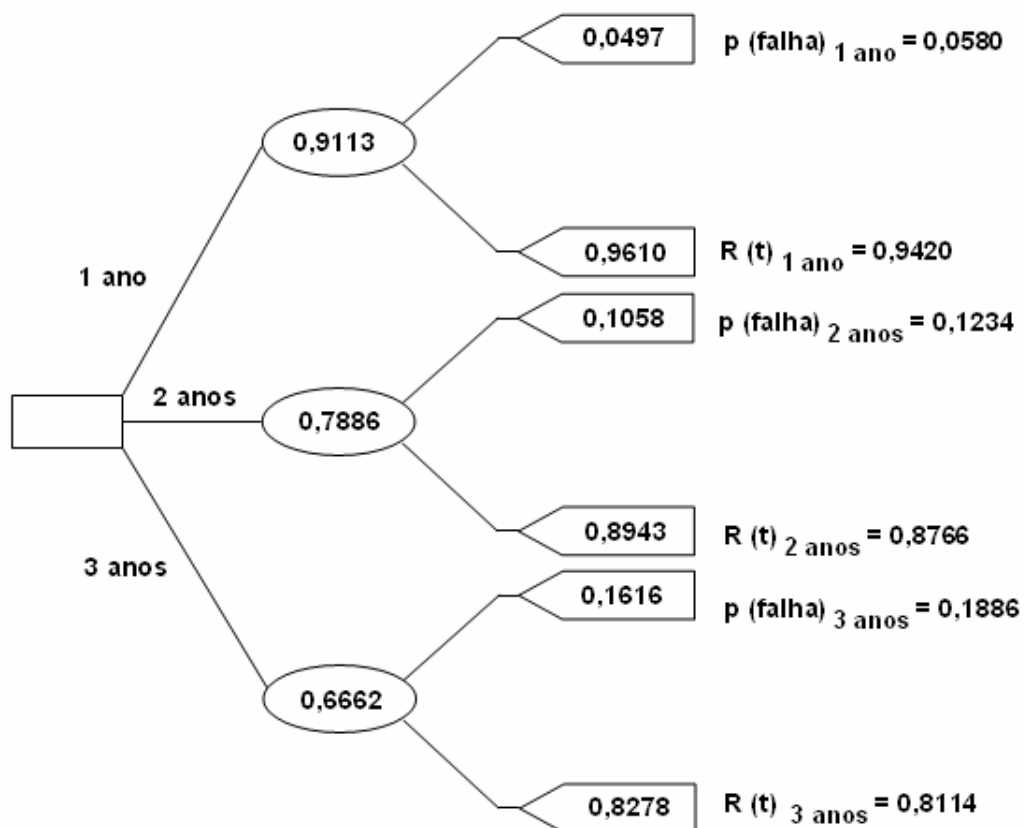


Figura 45 - Árvore de decisão – Primeira hipótese. (Subsistema Motor).

O valor esperado para cada proposta de extensão de garantia deverá obedecer a equação (5) conforme segue:

$$\text{Valor Esperado (E)} = R(t) \times \text{Custo}_{(\text{n\~{a}o falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})} \quad (5)$$

Assim, para o motor, assumindo a primeira hipótese da Figura 40, o valor esperado do montante monetário economizado do total aportado para cobrir os gastos de garantia para cada ano de extensão da garantia será:

$$E_{1 \text{ ano}} = R(t)_{1 \text{ ano}} \times \text{Custo}_{(\text{n\~{a}o falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{1 \text{ ano}} = 0,9420 \times (1,0202) - 0,058 \times 0,857 \rightarrow E_{1 \text{ ano}} = 0,9113 \rightarrow 91,13\%$$

$$E_{2 \text{ anos}} = R(t)_{2 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{n\~{a}o falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{2 \text{ anos}} = 0,8766 \times (1,0202) - 0,1234 \times 0,857 \rightarrow E_{2 \text{ anos}} = 0,7886 \rightarrow 78,86\%$$

$$E_{3 \text{ anos}} = R(t)_{3 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{n\~{a}o falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{3 \text{ anos}} = 0,8114 \times (1,0202) - 0,1886 \times 0,857 \rightarrow E_{3 \text{ anos}} = 0,6662 \rightarrow 66,62\%$$

*b) Estudo da Confiabilidade do subsistema Transmissão (1ª Hipótese)*

Assumindo-se ainda a mesma quilometragem de uso da primeira hipótese (10.000 km/ano), pode-se agora prever a confiabilidade da transmissão em estudo.

A Figura 46 mostra apenas como ilustração o final dos dados de campo usados no mesmo *Software*, onde foram incluídas todas as 4.001 falhas de componentes da transmissão durante o período de garantia e também todos os dados censurados com suas respectivas quantidades conforme foi ilustrado na Figura 39.

	Time	Quantity	Censoring
3998	52101	1	<input type="checkbox"/> Censored
3999	53153	1	<input type="checkbox"/> Censored
4000	55890	1	<input type="checkbox"/> Censored
4001	58321	1	<input type="checkbox"/> Censored
4002	5000	1752	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
4003	10000	23595	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
4004	15000	31654	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
4005	20000	29552	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
4006	25000	14250	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
4007	30000	6541	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
4008	40000	6307	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
4009	50000	2336	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
4010	60000	117	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
4011	70000	350	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
4012	80000	350	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
4013		1	<input type="checkbox"/> Censored

Figura 46 - Dados de falhas e dados Censurados.  
(Subsistema Transmissão).

Com estes dados pode-se agora obter a curva da confiabilidade do subsistema transmissão conforme a Figura 47.

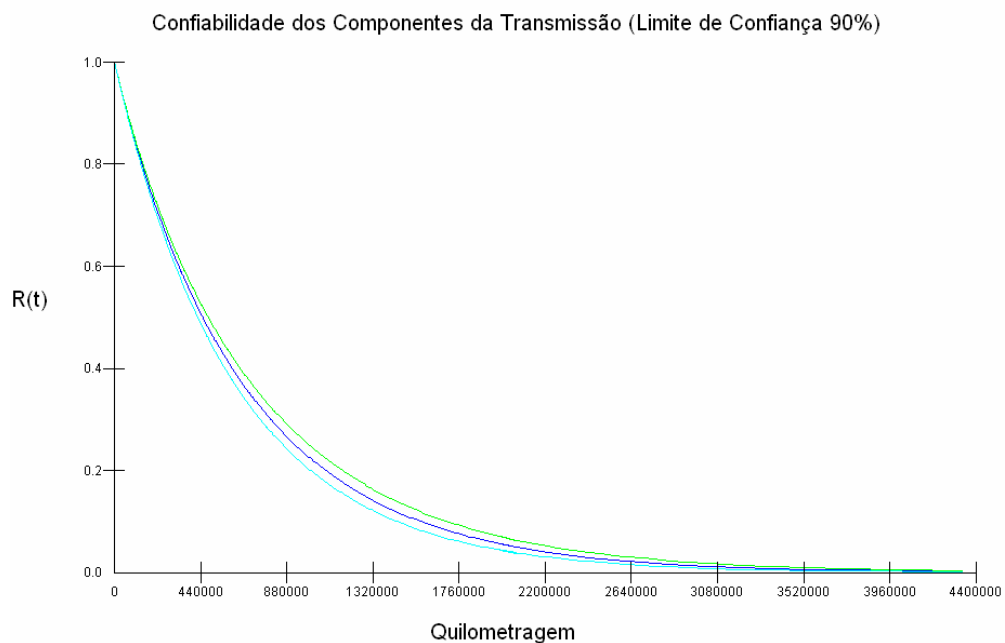


Figura 47 - Curva da confiabilidade do subsistema Transmissão.

O próximo passo é estimar a confiabilidade para 1 ano, 2 anos e 3 anos, conforme mostra a Figura 48.

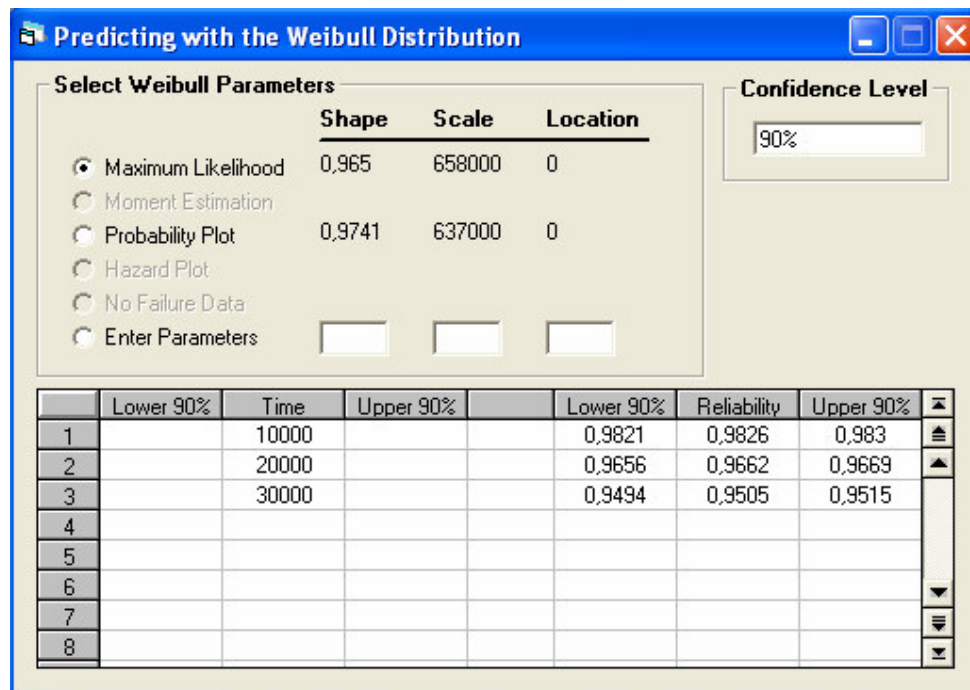


Figura 48 - Confiabilidade do subsistema Transmissão.  
(10.000 km/ano).

Com base na primeira hipótese tem-se que a confiabilidade e a respectiva probabilidade de falha da transmissão em estudo são:

- 1 ano  $\rightarrow R(t)_{1 \text{ ano}} = 0,9826 \rightarrow p_{\text{falha } 1 \text{ ano}} = 0,0174$
- 2 anos  $\rightarrow R(t)_{2 \text{ anos}} = 0,9662 \rightarrow p_{\text{falha } 2 \text{ anos}} = 0,0338$
- 3 anos  $\rightarrow R(t)_{3 \text{ anos}} = 0,9505 \rightarrow p_{\text{falha } 3 \text{ anos}} = 0,0495$

Sabe-se que durante os doze meses de garantia o custo médio da falha de transmissão foi de 49,7% da reserva monetária para cada veículo e o saldo da reserva monetária para os veículos que não falharam foi de 101,72%. Pode-se agora, construir a árvore de decisão para a transmissão considerando a primeira hipótese conforme mostra a Figura 49.

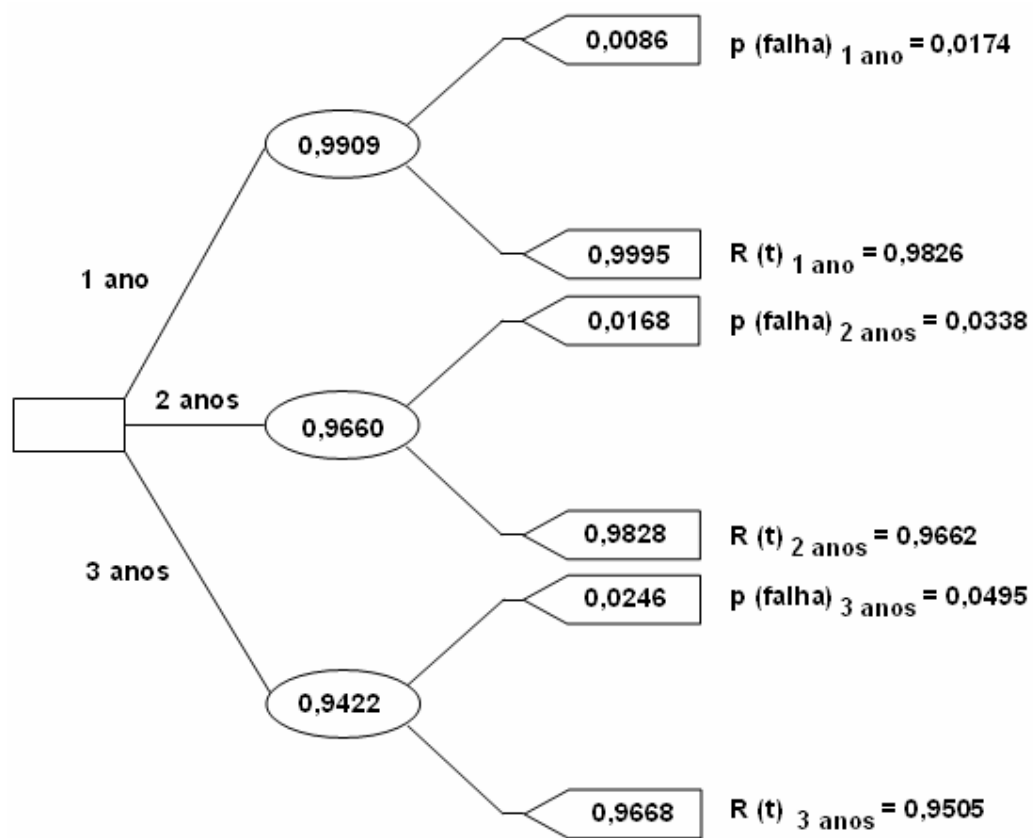


Figura 49 - Árvore de decisão – Primeira hipótese. (Subsistema Transmissão).

Os valores esperados para as propostas de extensão de garantia deverão obedecer a equação (5).

Assim para a transmissão, assumindo a primeira hipótese da Figura 40, o valor esperado do montante monetário economizado do total aportado para cobrir os gastos de garantia para cada ano de extensão da garantia será:

$$E_{1 \text{ ano}} = R(t)_{1 \text{ ano}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{1 \text{ ano}} = 0,9826 \times (1,0172) - 0,0174 \times 0,497 \rightarrow E_{1 \text{ ano}} = 0,9909 \rightarrow 99,09\%$$

$$E_{2 \text{ anos}} = R(t)_{2 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{2 \text{ anos}} = 0,9662 \times (1,0172) - 0,1234 \times 0,497 \rightarrow E_{2 \text{ anos}} = 0,9660 \rightarrow 96,60\%$$

$$E_{3 \text{ anos}} = R(t)_{3 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{3 \text{ anos}} = 0,9505 \times (1,0172) - 0,0495 \times 0,497 \rightarrow E_{3 \text{ anos}} = 0,9422 \rightarrow 94,22\%$$

Os valores esperados em ambas as situações (motor e transmissão), representam o montante monetário imobilizado que se economizou e/ou sobrou em caixa para cada uma das propostas de extensão da garantia de 1 ano, 2 anos e 3 anos.

#### 4.1.2 Segunda Hipótese – 15.000 km/Ano (Motor/Transmissão: Separados)

##### a) Estudo da Confiabilidade do subsistema Motor (2ª Hipótese)

Com o mesmo conceito aplicado no item 4.1.1, executa-se a segunda hipótese assumindo-se as seguintes quilometragens:

- Primeiro ano → 15.000 km
- Segundo ano → 30.000 km
- Terceiro ano → 45.000 km

Utilizando-se os mesmos dados da Figura 41, pode-se prever a confiabilidade do motor conforme a segunda hipótese, mostrado na Figura 50.

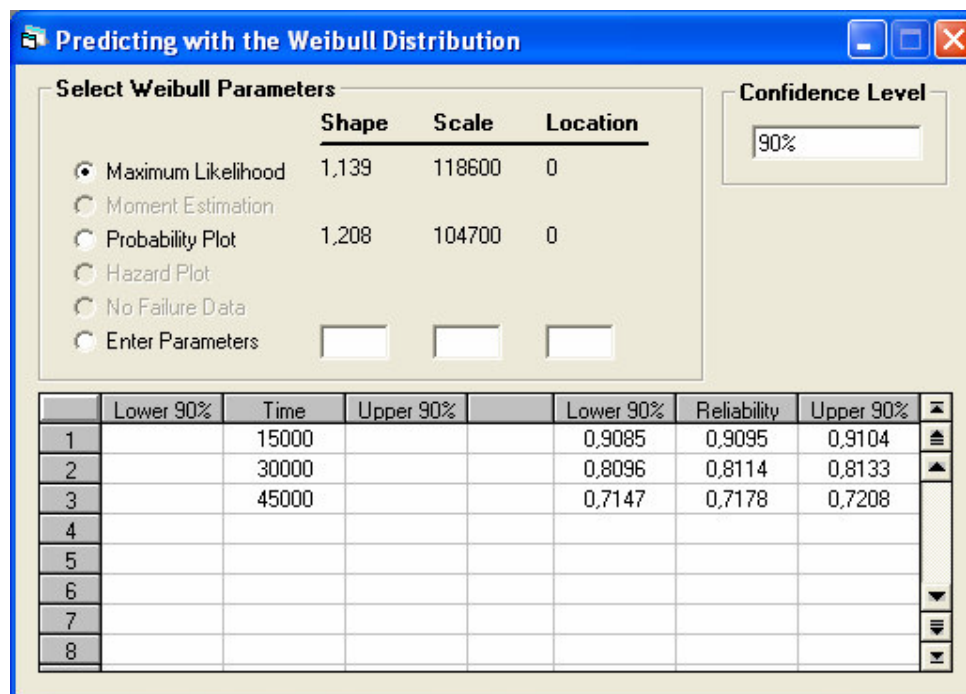


Figura 50 - Confiabilidade do subsistema Motor. (15.000 km/ano).

Com base na segunda hipótese tem-se que a confiabilidade e a respectiva probabilidade de falha do motor em estudo são:

- 1 ano  $\rightarrow R(t)_{1 \text{ ano}} = 0,9095 \rightarrow p_{\text{falha } 1 \text{ ano}} = 0,0905$
- 2 anos  $\rightarrow R(t)_{2 \text{ anos}} = 0,8114 \rightarrow p_{\text{falha } 2 \text{ anos}} = 0,1886$
- 3 anos  $\rightarrow R(t)_{3 \text{ anos}} = 0,7178 \rightarrow p_{\text{falha } 3 \text{ anos}} = 0,2822$

Sabe-se que durante os doze meses de garantia o custo médio da falha de motor foi de 85,7% da reserva monetária para cada veículo e o saldo da reserva monetária para os veículos que não falharam foi de 102,02%. Pode-se agora, construir a árvore de decisão para o motor considerando a segunda hipótese conforme mostra a Figura 51.

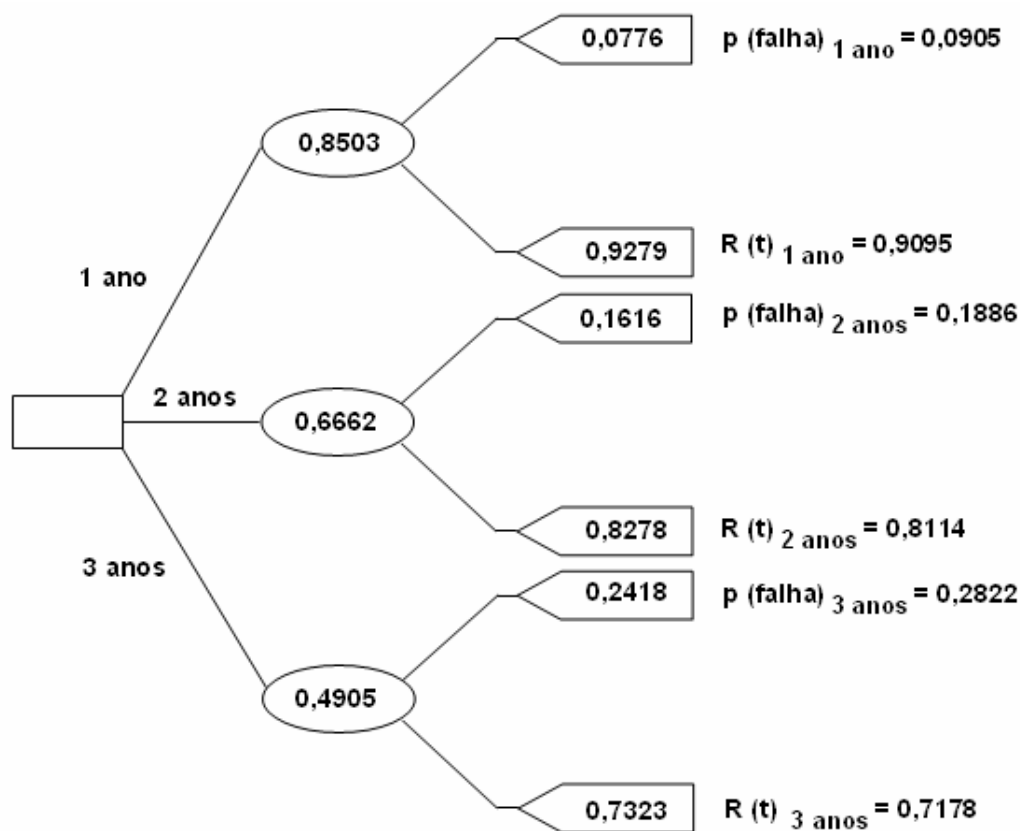


Figura 51 - Árvore de decisão – Segunda hipótese. (Subsistema Motor).

Os valores esperados para as propostas de extensão de garantia deverão obedecer a equação (5).

Assim para o motor, assumindo a segunda hipótese da Figura 40, o valor esperado do montante imobilizado do total aportado para cobrir os gastos de garantia para cada ano de extensão da garantia será:

$$E_{1 \text{ ano}} = R(t)_{1 \text{ ano}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{1 \text{ ano}} = 0,9095 \times (1,0202) - 0,0905 \times 0,857 \rightarrow E_{1 \text{ ano}} = 0,8503 \rightarrow 85,03\%$$

$$E_{2 \text{ anos}} = R(t)_{2 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{2 \text{ anos}} = 0,8114 \times (1,0202) - 0,1886 \times 0,857 \rightarrow E_{2 \text{ anos}} = 0,6662 \rightarrow 66,62\%$$

$$E_{3 \text{ anos}} = R(t)_{3 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{3 \text{ anos}} = 0,7178 \times (1,0202) - 0,2822 \times 0,857 \rightarrow E_{3 \text{ anos}} = 0,4905 \rightarrow 49,05\%$$

*b) Estudo da Confiabilidade do subsistema Transmissão (2ª Hipótese)*

Assumindo-se a mesma quilometragem de uso da segunda hipótese, pode-se agora prever a confiabilidade da transmissão em estudo, conforme mostra a Figura 52, utilizando os dados da Figura 46.

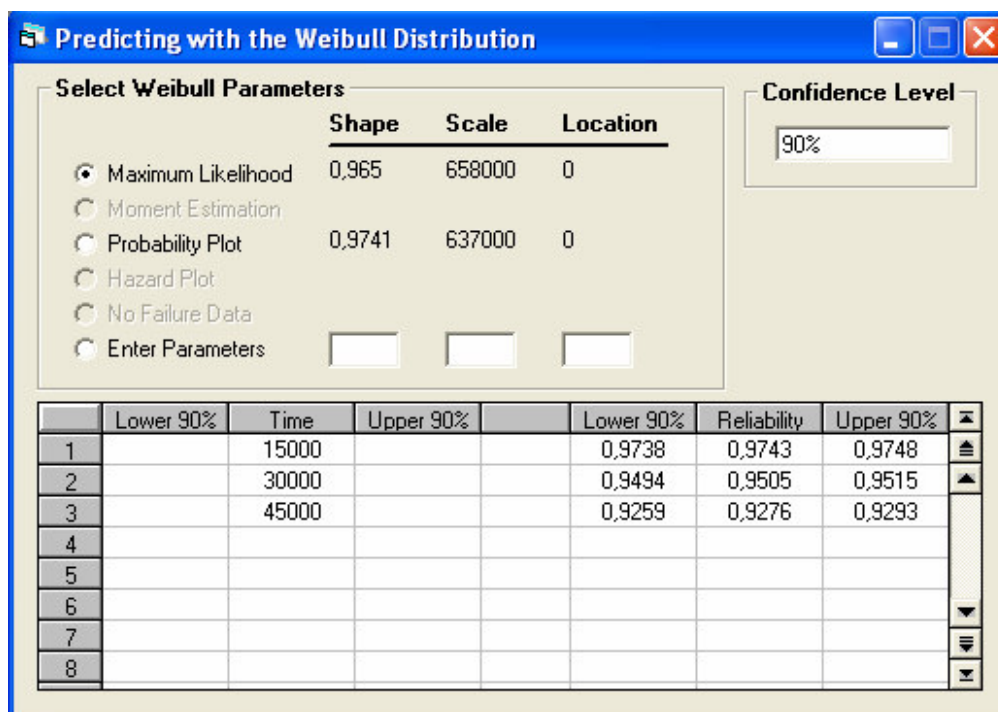


Figura 52 - Confiabilidade do subsistema Transmissão. (15.000 km/ano).



Com base na segunda hipótese tem-se que a confiabilidade e a respectiva probabilidade de falha da transmissão em estudo são:

- 1 ano  $\rightarrow R(t)_{1 \text{ ano}} = 0,9743 \rightarrow p_{\text{falha } 1 \text{ ano}} = 0,0257$
- 2 anos  $\rightarrow R(t)_{2 \text{ anos}} = 0,9505 \rightarrow p_{\text{falha } 2 \text{ anos}} = 0,0495$
- 3 anos  $\rightarrow R(t)_{3 \text{ anos}} = 0,9276 \rightarrow p_{\text{falha } 3 \text{ anos}} = 0,0724$

Sabe-se que durante os doze meses de garantia o custo médio da falha de transmissão foi de 49,7% da reserva monetária para cada veículo e o saldo da reserva monetária para os veículos que não falharam foi de 101,72%. Pode-se agora, construir a árvore de decisão para a transmissão considerando a primeira hipótese conforme mostra a Figura 53.

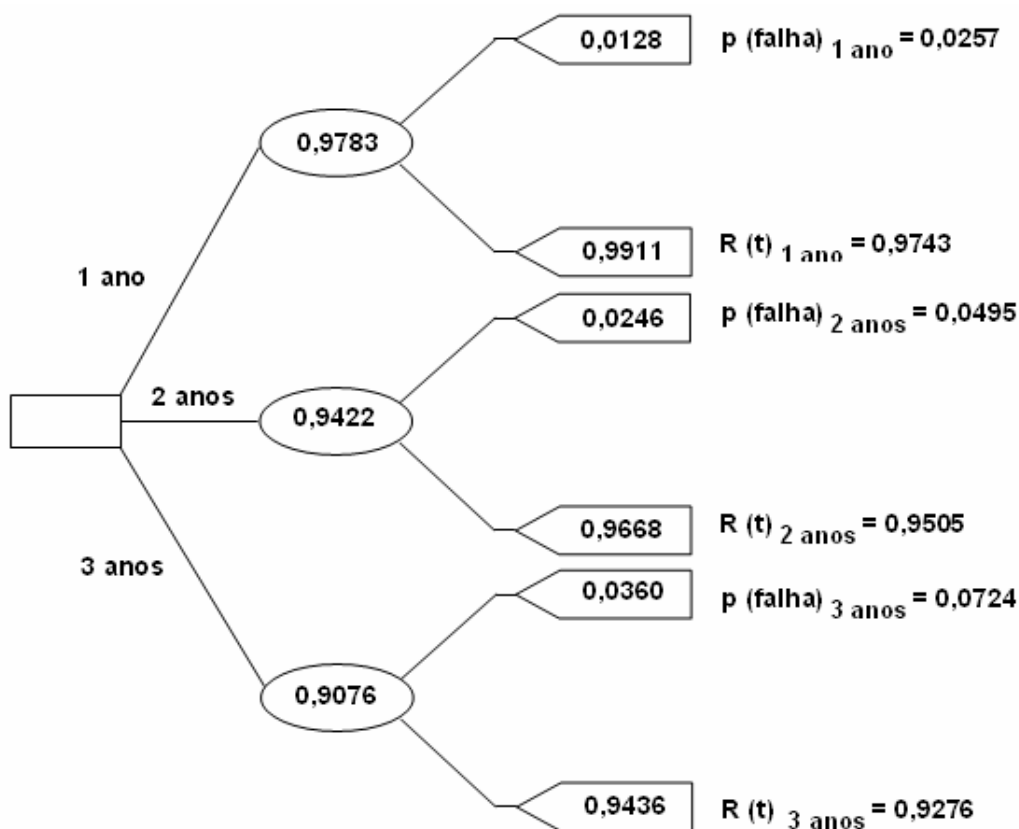


Figura 53 - Árvore de decisão – Segunda hipótese. (Subsistema Transmissão).

Os valores esperados para as propostas de extensão de garantia deverão obedecer a equação (5).

Assim para a transmissão, assumindo a segunda hipótese da Figura 40, o valor esperado do montante monetário economizado do total aportado para cobrir os gastos de garantia para cada ano de extensão da garantia será:

$$E_{1 \text{ ano}} = R(t)_{1 \text{ ano}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{1 \text{ ano}} = 0,9743 \times (1,0172) - 0,0257 \times 0,497 \rightarrow E_{1 \text{ ano}} = 0,9783 \rightarrow 97,83\%$$

$$E_{2 \text{ anos}} = R(t)_{2 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{2 \text{ anos}} = 0,9505 \times (1,0172) - 0,0495 \times 0,497 \rightarrow E_{2 \text{ anos}} = 0,9422 \rightarrow 94,22\%$$

$$E_{3 \text{ anos}} = R(t)_{3 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{3 \text{ anos}} = 0,9276 \times (1,0172) - 0,0724 \times 0,497 \rightarrow E_{3 \text{ anos}} = 0,9076 \rightarrow 90,76\%$$

#### **4.1.3 Terceira Hipótese – 20.000 km/Ano (Motor/Transmissão: Separados)**

##### *a) Estudo da Confiabilidade do subsistema Motor (3ª Hipótese)*

Com o mesmo conceito aplicado nos itens 4.1.1 e 4.1.2, executa-se a terceira hipótese assumindo-se as seguintes quilometragens:

- Primeiro ano → 20.000 km
- Segundo ano → 40.000 km
- Terceiro ano → 60.000 km

Utilizando-se os mesmos dados da Figura 41, pode-se prever a confiabilidade do motor nas quilometragens estipuladas na terceira hipótese, conforme mostra a Figura 54.

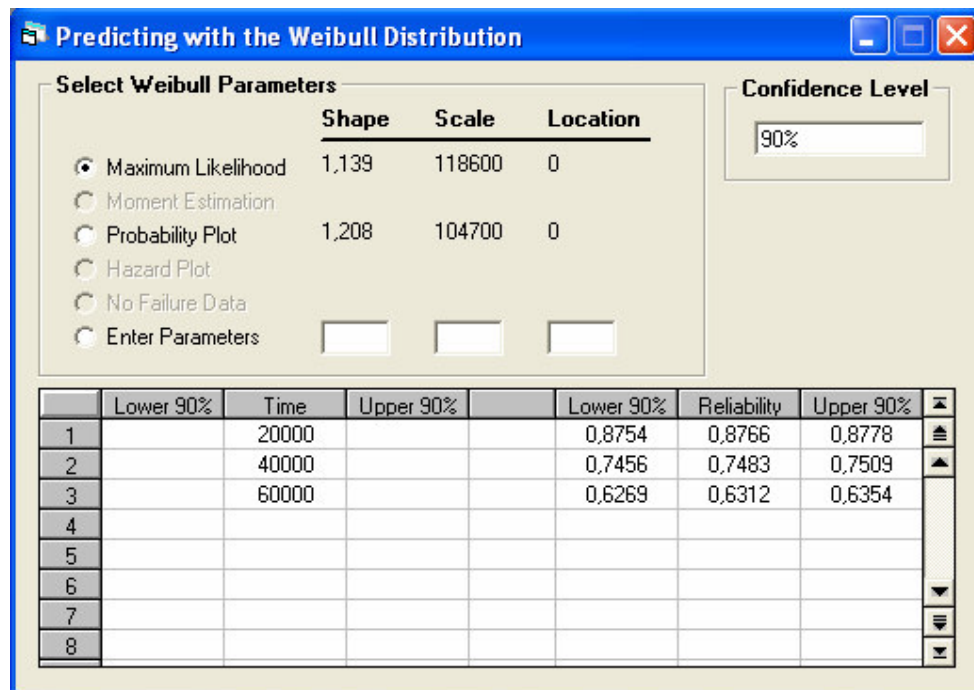


Figura 54 - Confiabilidade do subsistema Motor. (20.000 km/ano).

Com base na terceira hipótese tem-se que a confiabilidade e a respectiva probabilidade de falha do motor em estudo são:

- 1 ano  $\rightarrow R(t)_{1 \text{ ano}} = 0,8766 \rightarrow p_{\text{falha } 1 \text{ ano}} = 0,1234$
- 2 anos  $\rightarrow R(t)_{2 \text{ anos}} = 0,7483 \rightarrow p_{\text{falha } 2 \text{ anos}} = 0,2517$
- 3 anos  $\rightarrow R(t)_{3 \text{ anos}} = 0,6312 \rightarrow p_{\text{falha } 3 \text{ anos}} = 0,3787$

Sabe-se que durante os doze meses de garantia o custo médio da falha de motor foi de 85,7% da reserva monetária para cada veículo e o saldo da reserva monetária para os veículos que não falharam foi de 102,02%. Pode-se agora, construir a árvore de decisão para o motor considerando a terceira hipótese conforme mostra a Figura 55.

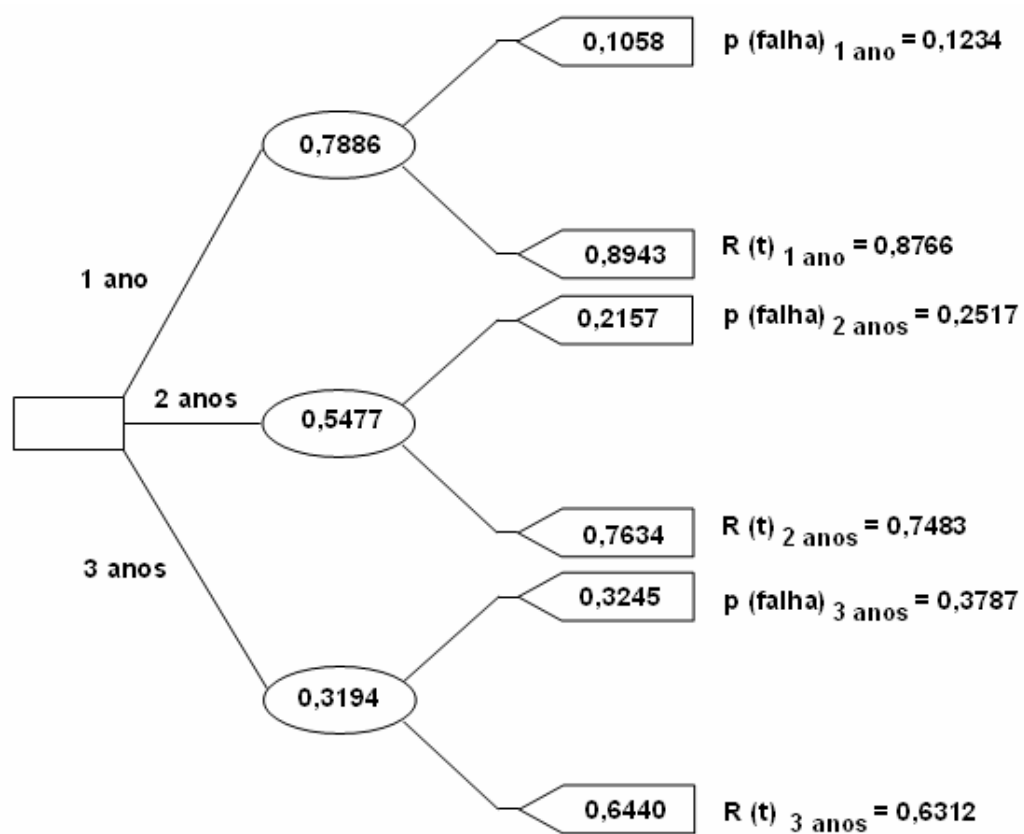


Figura 55 - Árvore de decisão – Terceira hipótese. (Subsistema Motor).

Os valores esperados para as propostas de extensão de garantia deverão obedecer a equação (5).

Assim para o motor, assumindo a terceira hipótese da Figura 40, o valor esperado do montante monetário economizado do total aportado para cobrir os gastos de garantia para cada ano de extensão da garantia será:

$$E_{1 \text{ ano}} = R(t)_{1 \text{ ano}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{1 \text{ ano}} = 0,8766 \times (1,0202) - 0,1234 \times 0,857 \rightarrow E_{1 \text{ ano}} = 0,7886 \rightarrow 78,86\%$$

$$E_{2 \text{ anos}} = R(t)_{2 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{2 \text{ anos}} = 0,7483 \times (1,0202) - 0,2517 \times 0,857 \rightarrow E_{2 \text{ anos}} = 0,5477 \rightarrow 54,77\%$$

$$E_{3 \text{ anos}} = R(t)_{3 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{n\~{a}o falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{3 \text{ anos}} = 0,6312 \times (1,0202) - 0,3787 \times 0,857 \rightarrow E_{3 \text{ anos}} = 0,3194 \rightarrow 31,94\%$$

*b) Estudo da Confiabilidade do subsistema Transmiss\~{a}o (3<sup>o</sup> Hip\~{o}tese)*

Assumindo-se a mesma quilometragem de uso da terceira hip\~{o}tese, pode-se agora prever a confiabilidade da transmiss\~{a}o em estudo, conforme mostra a Figura 56, utilizando os dados da Figura 46.

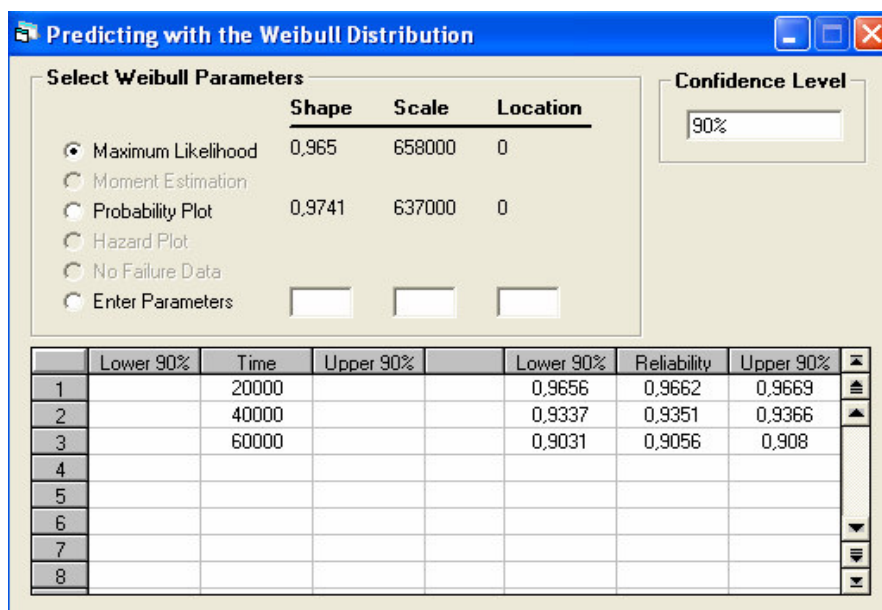


Figura 56 - Confiabilidade do subsistema Transmiss\~{a}o. (20.000 km/ano).

Com base na terceira hip\~{o}tese tem-se que a confiabilidade e a respectiva probabilidade de falha da transmiss\~{a}o em estudo s\~{a}o:

- 1 ano  $\rightarrow R(t)_{1 \text{ ano}} = 0,9662 \rightarrow p_{\text{falha } 1 \text{ ano}} = 0,0338$
- 2 anos  $\rightarrow R(t)_{2 \text{ anos}} = 0,9351 \rightarrow p_{\text{falha } 2 \text{ anos}} = 0,0649$
- 3 anos  $\rightarrow R(t)_{3 \text{ anos}} = 0,9056 \rightarrow p_{\text{falha } 3 \text{ anos}} = 0,0944$

Sabe-se que durante os doze meses de garantia o custo m\~{e}dio da falha de transmiss\~{a}o foi de 49,7% da reserva monet\~{a}ria para cada ve\~{i}culo e o saldo da reserva monet\~{a}ria para os ve\~{i}culos que n\~{a}o falharam foi de 101,72%. Pode-se agora, construir a \~{a}rvore

de decisão para a transmissão considerando a terceira hipótese conforme mostra a Figura 57.

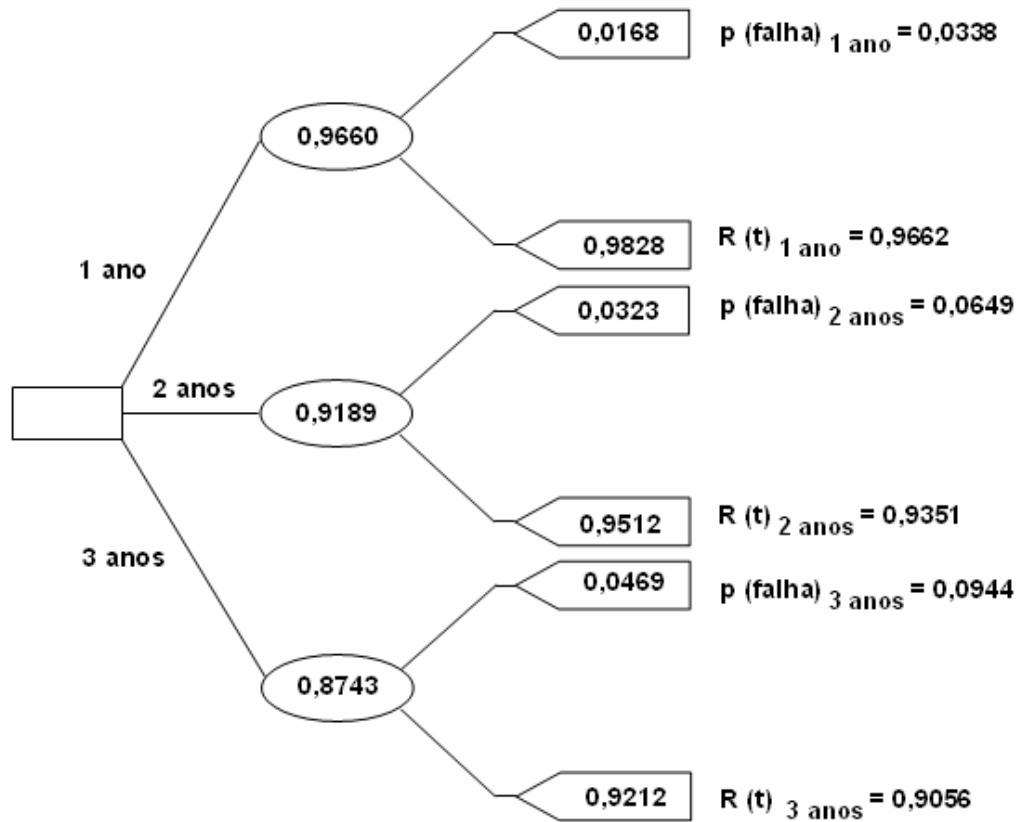


Figura 57. Árvore de decisão – Terceira hipótese. (Subsistema Transmissão).

Os valores esperados para as propostas de extensão de garantia deverão obedecer a equação (5).

Assim para a transmissão, assumindo a terceira hipótese da Figura 40, o valor esperado do montante monetário economizado do total aportado para cobrir os gastos de garantia para cada ano de extensão da garantia será:

$$E_{1 \text{ ano}} = R(t)_{1 \text{ ano}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{1 \text{ ano}} = 0,9662 \times (1-0,172) - 0,0338 \times 0,497 \rightarrow E_{1 \text{ ano}} = 0,9660 \rightarrow 96,60\%$$

$$E_{2 \text{ anos}} = R(t)_{2 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{n\~{a}o falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{2 \text{ anos}} = 0,9351 \times (1,0172) - 0,0649 \times 0,497 \rightarrow E_{2 \text{ anos}} = 0,9189 \rightarrow 91,89\%$$

$$E_{3 \text{ anos}} = R(t)_{3 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{n\~{a}o falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{3 \text{ anos}} = 0,9056 \times (1,0172) - 0,0944 \times 0,497 \rightarrow E_{3 \text{ anos}} = 0,8743 \rightarrow 87,43\%$$

#### 4.1.4 Quarta Hipótese – 15.000 km/Ano (Motor/Transmissão: Sistema único)

##### a) Estudo da Confiabilidade do subsistema Motor e Transmissão (Sistema único)

Com o mesmo conceito aplicado no item 4.1.1, executa-se a quarta hipótese assumindo-se as seguintes quilometragens:

- Primeiro ano → 15.000 km
- Segundo ano → 30.000 km
- Terceiro ano → 45.000 km

Nesta situação serão considerados os dados de falha de campo do motor e transmissão como sendo um único subsistema. Sabe-se que, para este veículo em análise o total de falhas observadas para o motor durante período de garantia foi de 15.026 falhas e para a transmissão foi de 4001 falhas, logo o número de veículos censurados em análise será:

$$120.806 - 15.026 - 4001 = 101.779 \text{ veículos}$$

A distribuição da quilometragem acumulada dos veículos censurados pesquisados para 12 meses em serviço, segundo a Tabela V e considerando o motor e a transmissão como sendo um único sistema, está sumarizada na Figura 58, ou seja, pode-se dizer que estes veículos completaram seu período de garantia, acumularam a quilometragem descrita e não apresentaram falhas do subsistema em análise.

Analogamente as hipóteses anteriores, a Figura 59 mostra apenas como ilustração o final dos dados de campo usados nesta quarta hipótese onde foram incluídas todas as

19.027 falhas do subsistema motor e da transmissão durante o período de garantia e também todos os dados censurados com suas respectivas quantidades conforme foi ilustrado na Figura 58.

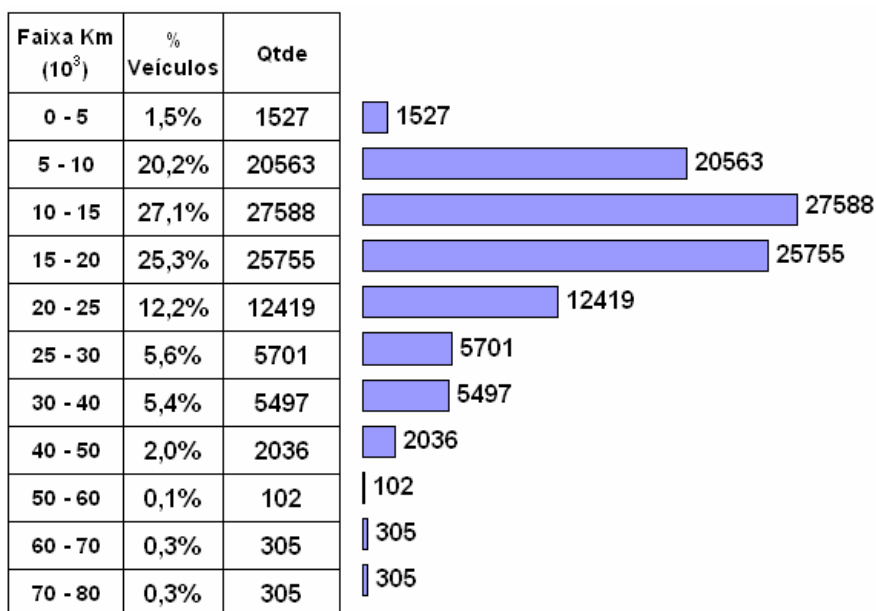


Figura 58 - Distribuição dos veículos censurados - Subsistema Motor/Transmissão. (Campean, 2002)

	Time	Quantity	Censoring
19021	55890	1	<input type="checkbox"/> Censored
19022	57068	1	<input type="checkbox"/> Censored
19023	57713	1	<input type="checkbox"/> Censored
19024	57735	1	<input type="checkbox"/> Censored
19025	58321	1	<input type="checkbox"/> Censored
19026	59108	1	<input type="checkbox"/> Censored
19027	59777	1	<input type="checkbox"/> Censored
19028	5000	1527	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
19029	10000	20563	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
19030	15000	27588	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
19031	20000	25755	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
19032	25000	12419	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
19033	30000	5701	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
19034	40000	5491	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
19035	50000	2036	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
19036	60000	102	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
19037	70000	305	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
19038	80000	305	<input checked="" type="checkbox"/> Censored
19039		1	<input type="checkbox"/> Censored

Figura 59 - Dados de falhas e dados censurados. (Subsistema Motor/Transmissão)



Com estes dados pode-se agora obter a curva da confiabilidade do subsistema motor e da transmissão conforme a Figura 60.

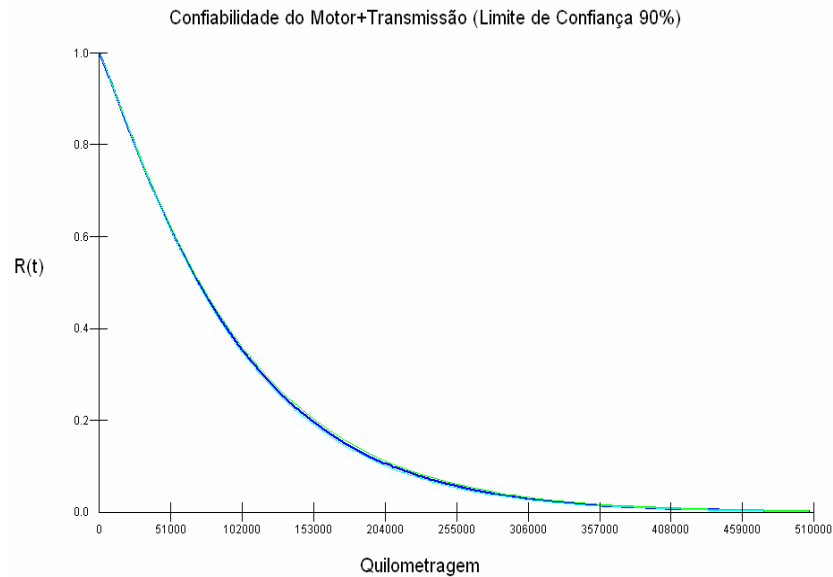


Figura 60 - Curva da confiabilidade do subsistema Motor/Transmissão.

O próximo passo, estimar a confiabilidade para 1, 2 e 3 anos, conforme a Figura 61.

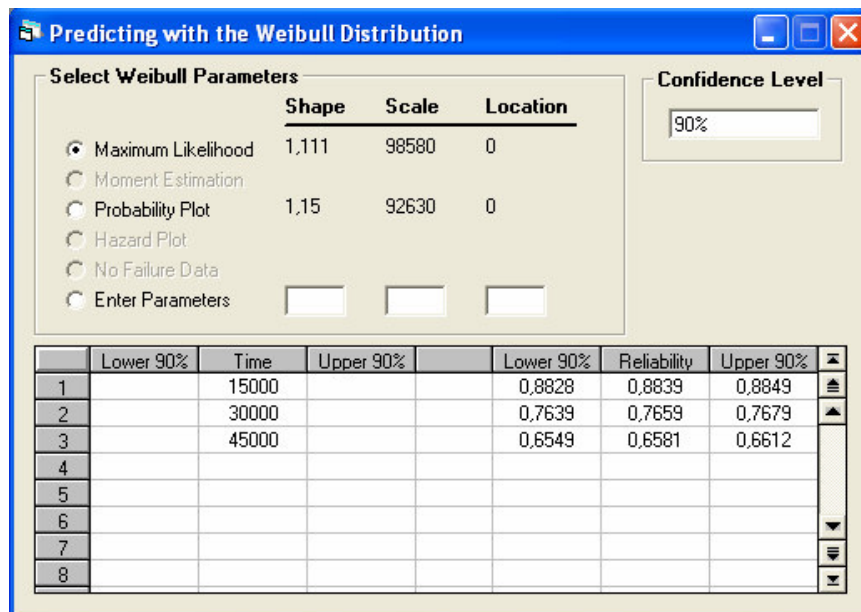


Figura 61 - Confiabilidade do subsistema Motor/Transmissão.  
(15.000 km/ano).

Com base na quarta hipótese tem-se que a confiabilidade e a respectiva probabilidade de falha para o motor e a transmissão em estudo são:

- 1 ano  $\rightarrow R(t)_{1 \text{ ano}} = 0,8839 \rightarrow p_{\text{falha } 1 \text{ ano}} = 0,1161$
- 2 anos  $\rightarrow R(t)_{2 \text{ anos}} = 0,7659 \rightarrow p_{\text{falha } 2 \text{ anos}} = 0,2341$
- 3 anos  $\rightarrow R(t)_{3 \text{ anos}} = 0,6581 \rightarrow p_{\text{falha } 3 \text{ anos}} = 0,3419$

Sabe-se que durante os doze meses de garantia o custo médio da falha de motor e transmissão foi de 78,2% da reserva monetária para cada veículo e o saldo da reserva monetária para os veículos que não falharam foi de 104,08%. Pode-se agora, construir a árvore de decisão para o motor e transmissão considerando um sistema único conforme a quarta hipótese mostrada na Figura 62.

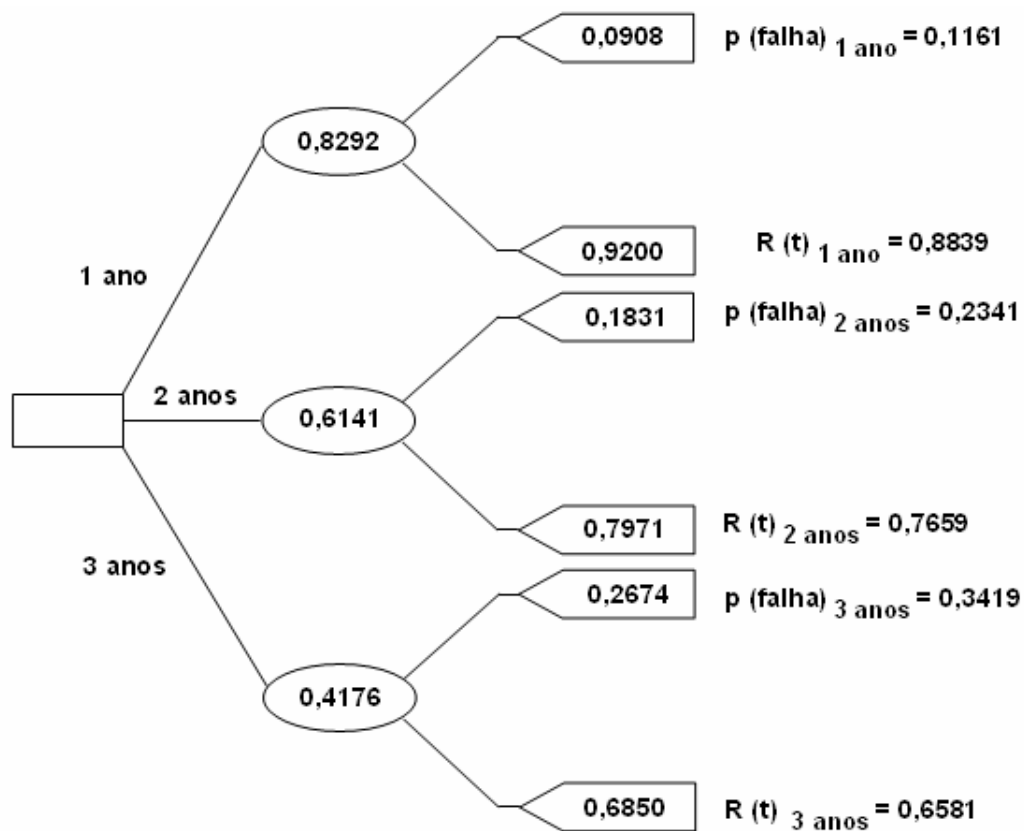


Figura 62 - Árvore de decisão – Quarta hipótese. (Subsistema Motor/Transmissão).

Os valores esperados para as propostas de extensão de garantia deverão obedecer a equação (5).

Assim para o motor e a transmissão, assumindo a quarta hipótese da Figura 40, o valor esperado do montante monetário economizado do total aportado para cobrir os gastos de garantia para cada ano de extensão da garantia será:

$$E_{1 \text{ ano}} = R(t)_{1 \text{ ano}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{1 \text{ ano}} = 0,8839 \times (1,0408) - 0,1161 \times 0,782 \rightarrow E_{1 \text{ ano}} = 0,8292 \rightarrow 82,92\%$$

$$E_{2 \text{ anos}} = R(t)_{2 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{2 \text{ anos}} = 0,7659 \times (1,0408) - 0,2341 \times 0,782 \rightarrow E_{2 \text{ anos}} = 0,6141 \rightarrow 61,41\%$$

$$E_{3 \text{ anos}} = R(t)_{3 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{3 \text{ anos}} = 0,6581 \times (1,0408) - 0,3419 \times 0,782 \rightarrow E_{3 \text{ anos}} = 0,4176 \rightarrow 41,76\%$$

Até este ponto do estudo, foram determinados os valores esperados do montante monetário economizado do total aportado para cobrir os gastos de garantia para cada ano de extensão de garantia considerando o valor médio da não falha como constante para o segundo e terceiro período de garantia, conforme exposto no item 4.1 - Coleta de Dados.

Agora, uma nova proposta é a determinação das falhas e não falhas e seus respectivos custos baseando-se na confiabilidade do subsistema, conforme mostra a Figura 61 e suas respectivas probabilidades de falhas. Desta maneira tem-se que:

- Custo médio da falha = 78,2% do montante imobilizado, por veículo;
- Veículos que falham em 2 e 3 anos respectivamente = ( $p_{\text{falha}} \times \text{produção}$ ):
  - $p_{\text{falha } 2 \text{ anos}} = 0,2341 \rightarrow$  para 2 anos falharam 28.281 componentes,
  - $p_{\text{falha } 3 \text{ anos}} = 0,3419 \rightarrow$  para 3 anos falharam 41.304 componentes.
- Gasto em garantia = (Custo médio da falha) x (Nº de veículos que falharam);

- Saldo do montante imobilizado = (Reserva total) – (Gasto em garantia);
- Custo da não falha = Saldo montante imobilizado / N° de veículos que não falharam.

Se o total da reserva monetária feita para cada veículo que falhou não foi gasto, pode-se afirmar que este valor monetário não gasto foi diluído no restante da reserva monetária para os veículos que não falharam, assim tem-se os seguintes valores de o custo da não falha:

- Saldo da Reserva Monetária em 1 ano = 104,08%
- Saldo da Reserva Monetária em 2 anos = 106,67%
- Saldo da Reserva Monetária em 3 anos = 111,34%

O que significa dizer que a reserva monetária feita para os 120.806 veículos foi gasta logicamente para reparar os veículos que apresentaram falhas durante o período de garantia, mas, ainda assim não se gastou o total da reserva efetuada por veículo.

Ora se não se gastou o total da reserva efetuada para cada veículo, esta diferença é adicionada ao saldo da reserva monetária e se dividido pelo número de veículos que não falhou, determina-se o custo da não falha.

Com estes dados, pode-se agora construir a árvore de decisão para o motor e transmissão considerando-se um sistema único, considerando-se a quarta hipótese e custo da não falha variando para dois e três anos. Conforme mostra a Figura 63.

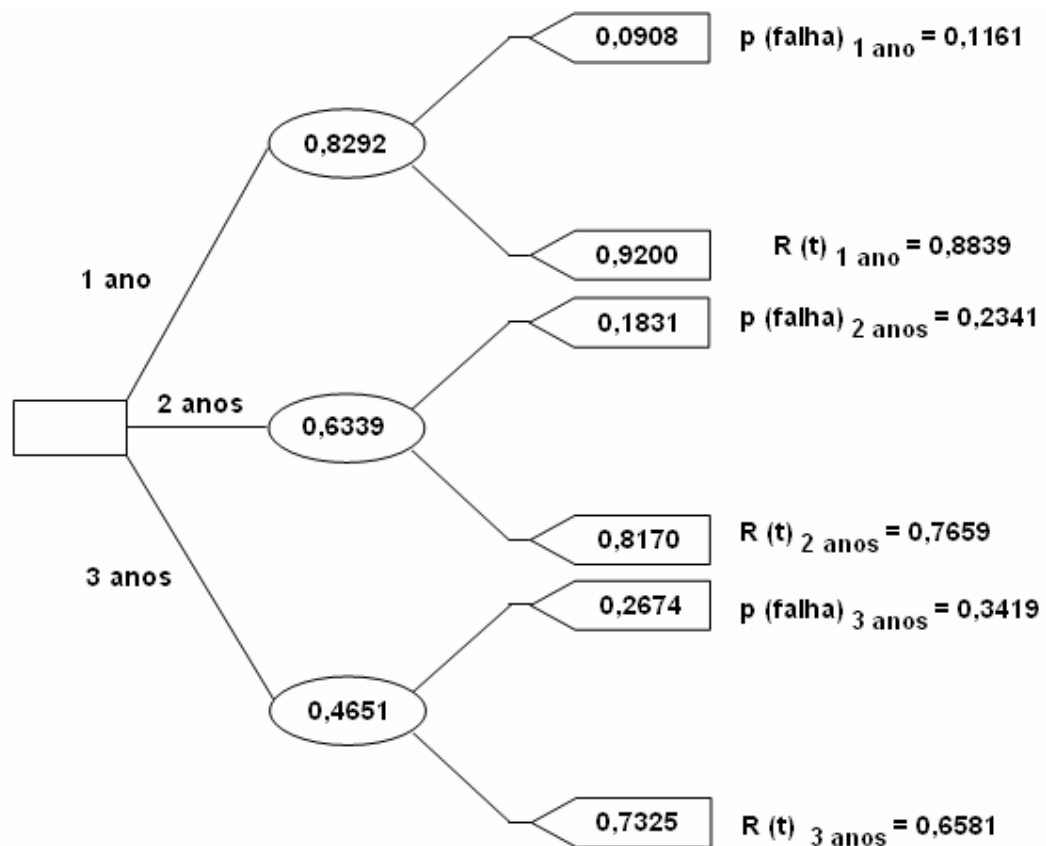


Figura 63 - Árvore de decisão – Quarta hipótese. (Subsistema Motor/Transmissão). Custo da falha variando para 2 e 3 anos.

Os valores esperados para as propostas de extensão de garantia deverão obedecer a equação (5).

Assim para a o motor e a transmissão, assumindo a quarta hipótese da Figura 40, o valor esperado do montante monetário economizado do total aportado para cobrir os gastos de garantia para cada ano de extensão da garantia será:

$$E_{1 \text{ ano}} = R(t)_{1 \text{ ano}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{1 \text{ ano}} = 0,8839 \times (1,0408) - 0,1161 \times 0,782 \rightarrow E_{1 \text{ ano}} = 0,8292 \rightarrow 82,92\%$$

$$E_{2 \text{ anos}} = R(t)_{2 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{2 \text{ anos}} = 0,7659 \times (1,0667) - 0,2341 \times 0,782 \rightarrow E_{2 \text{ anos}} = 0,6339 \rightarrow 63,39\%$$

$$E_{3 \text{ anos}} = R(t)_{3 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{n\~{a}o falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{3 \text{ anos}} = 0,6581 \times (1,1130) - 0,3419 \times 0,782 \rightarrow E_{3 \text{ anos}} = 0,4651 \rightarrow 46,51\%$$

O resultado final para cada hipótese assumida está representado na Tabela XIV. Estes valores representam o montante monetário imobilizado que sobrou em caixa para cada uma das propostas de extensão da garantia de um ano, dois anos e três anos, considerando motor e transmissão como sistemas separados e como um único sistema.

Tabela XIV - Valor esperado para cada hipótese assumida.

	Motor			Transmissão			Motor + Transmissão		
	1 ano	2 anos	3 anos	1 ano	2 anos	3 anos	1 ano	2 anos	3 anos
1ª Hipótese 10.000 km/ano	0,9113	0,7886	0,6662	0,9909	0,9660	0,9422			
2ª Hipótese 15.000 km/ano	0,8503	0,6662	0,4905	0,9783	0,9422	0,9076	0,8292	0,6141	0,4176
3ª Hipótese 20.000 km/ano	0,7886	0,5477	0,3194	0,9660	0,9189	0,8743			
4ª Hipótese 15.000 km/ano							0,8292	0,6339	0,4651

A Tabela XIV mostra as possíveis situações onde se pode estender a garantia, conforme análise deste estudo. Para auxiliar a tomada de decisão, foram analisados os subsistemas motor e transmissão em separado para a extensão da garantia e depois estes dois subsistemas foram analisados como sendo um único subsistema, divididos do seguinte modo:

- Subsistema MOTOR;
- Sbsistema TRANSMISSÃO;
- Subsistema MOTOR + TRANSMISSÃO.

Além desta análise dos subsistemas foram assumidas as hipóteses de acúmulo de quilometragem anual por um cliente, ou seja, admitiu-se que um cliente com uso normal do veículo acumularia 10.000 km/ano, 15.000 km /ano ou 20.000 km/ano, isto foi necessário para se determinar a confiabilidade do subsistema em estudo em cada um destes instantes.

Nas três primeiras hipóteses foram considerados o valor médio da não falha como constante e em uma quarta hipótese considerou-se o custo das falhas e não falhas baseando-se na confiabilidade do subsistema, ou seja, determinou-se um custo de falha e de não falha para cada ano de extensão da garantia.

O resultado da Tabela XIV mostra que os gastos de garantia aumentaram para cada uma das hipóteses assumidas, o que não poderia ser diferente, visto que o tempo de exposição dos veículos aumentaram e por consequência um número maior de falhas ocorreram neste período.

Para o subsistema transmissão não serão necessários esforços de melhoria imediata no produto, porém uma atenção especial deve ser dada ao subsistema motor, pois seus valores esperados diminuíram sensivelmente para cada ano de extensão da garantia, mostrando que houve maior gasto em garantia. Todavia, com estes resultados obtidos pode-se elaborar planos de melhoria contínua nos componentes mais críticos que certamente farão reduzir os gastos de garantia. Um dos métodos de trabalho será primeiramente focar na identificação dos mecanismos de falha e em seguida desenvolver as medidas de melhoria com todo time multifuncional, discutindo mudanças intencionais (mudanças de projeto) e mudanças acidentais (mudanças do uso do produto no meio ambiente). Um plano completo de todas as melhorias com seus respectivos custos e cronograma de implementação deverá ser preparado e aprovado para que se possa decidir qual será a melhor data de início do programa de extensão da garantia. Isto normalmente implicará em decisões estratégicas para a empresa.

Um outro ponto a ser lembrado é que os valores mostrados representam custos adicionais para a empresa e até este momento não se está repassando nenhum custo embutido no produto para o cliente final e também não se está criando nenhuma regra para se ter direito ao uso da garantia estendida.

#### **4.2 Melhoria Contínua do Produto**

O uso dos dados de campo como fonte para a resolução de problemas tem-se tornado uma prática útil, pois permite aos engenheiros identificar rapidamente os itens de maior incidência e custo. Isto auxilia a priorizar os itens de maior impacto no produto baseando-se no Diagrama de Pareto de cada subsistema analisado.

Como foi mencionado anteriormente, muitos componentes de campo retornam a empresa para uma análise mais detalhada. Esta análise normalmente é mais criteriosa contendo informações sobre o modo de falha do componente. Neste caso é necessário que todos os componentes sejam analisados para que a verdadeira causa raiz do problema seja corretamente identificada. Estes resultados devem ser correlacionados com os resultados mostrados no banco de dados para que se tenha uma visão completa da natureza da falha. Às vezes esta correlação não ocorre ou os componentes que retornaram não são analisados propriamente. Mesmo se todo processo de análise é executado corretamente, ainda poderá existir uma porcentagem de componentes que não apresentarão nenhum problema e isto mostra a existência de diferenças entre os dados de testes de laboratório e de campo.

Todavia, as informações de campo extraídas dos bancos de dados ainda mostram o verdadeiro comportamento e uso do produto pelo cliente. Isto dificilmente se consegue reproduzir em laboratórios.

Neste estudo de caso observou-se que o componente de maior incidência no Anexo F é o coxim central do motor com 4021 incidências. Após a obtenção de vários componentes que retornaram de campo e uma análise cuidadosa dos mesmos, foi detectada uma falha na composição química da borracha. Esta falha na composição química da borracha ocasionou a ruptura da mesma durante o uso do veículo no



período de garantia, este problema foi localizado em certo período de produção do fornecedor, porém espalhou-se por alguns meses na produção do veículo. O processo de produção e entrega de componentes do fornecedor foram revistos e as devidas melhorias no produto e no processo foram implementadas rapidamente.

Após a correção do componente conforme a especificação de projeto marcou-se o ponto de corte, ou seja, a data de implementação da correção do componente e sua consequente montagem nos veículos, observando-se uma melhoria de desempenho do mesmo no campo.

Isto reduziu a incidência de falhas a níveis aceitáveis pela montadora, influenciando na curva de confiabilidade do subsistema motor como um todo. A Figura 64 mostra a nova curva de confiabilidade do sistema motor e transmissão com a correção do coxim traseiro do motor, melhoria esta que foi 100% efetiva no ano modelo seguinte.

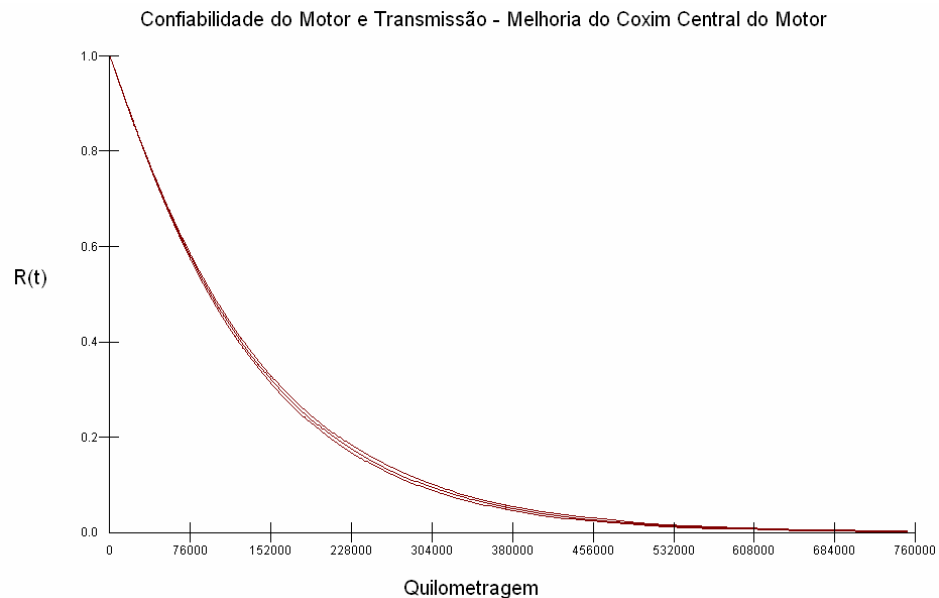


Figura 64 - Curva de confiabilidade do Motor/Transmissão com a melhoria do coxim central do motor.

Com os mesmos dados da Figura 62 foi possível prever a confiabilidade do sistema motor e transmissão contemplando a correção do coxim central do motor conforme mostra a Figura 65.

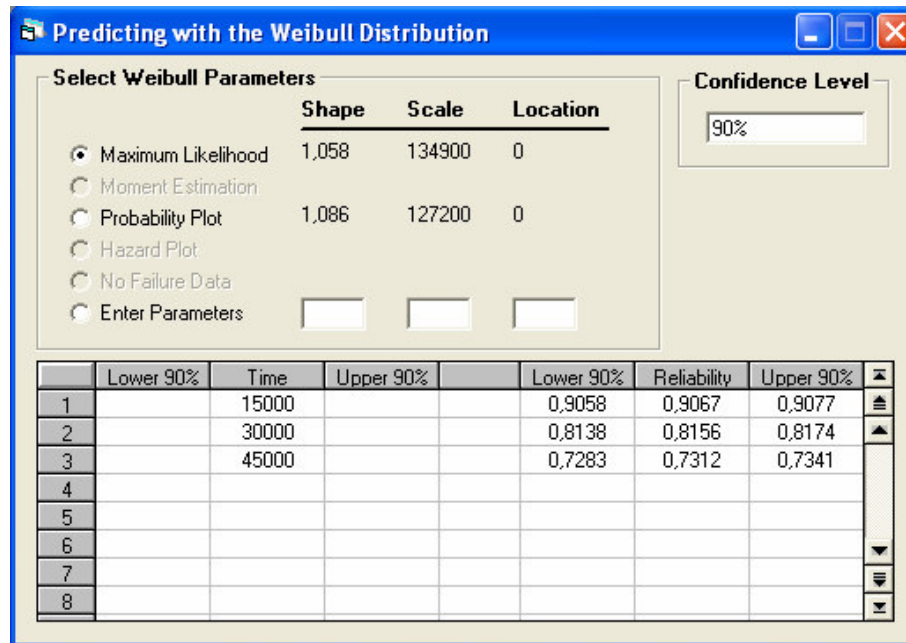


Figura 65 - Confiabilidade do subsistema Motor/Transmissão com a melhoria do coxim central do motor - 15.000 km/ano.

Com base na quarta hipótese e considerando a melhoria do coxim central do motor, tem-se que a confiabilidade e a probabilidade de falha do motor e da transmissão em função do período de garantia:

- 1 ano  $\rightarrow R(t)_{1 \text{ ano}} = 0,9067 \rightarrow p_{\text{falha } 1 \text{ ano}} = 0,0933$
- 2 anos  $\rightarrow R(t)_{2 \text{ anos}} = 0,8156 \rightarrow p_{\text{falha } 2 \text{ anos}} = 0,1844$
- 3 anos  $\rightarrow R(t)_{3 \text{ anos}} = 0,7312 \rightarrow p_{\text{falha } 3 \text{ anos}} = 0,2688$

Devido à melhoria do coxim central do motor o cálculo do custo médio da falha deve ser feito assim como o custo da não falha. Isto porque todo o gasto efetuado neste componente durante a garantia não deve ser mais considerado.

Sabe-se que durante os doze meses de garantia o custo médio da falha de motor e transmissão considerando a melhoria do coxim central do motor foi de 88,85% da reserva monetária por veículo.

Considerando a proposta da determinação das falhas e não falhas e seus respectivos custos baseando-se na confiabilidade do sistema, conforme mostra a Figura 65 e suas respectivas probabilidades de falhas, tem-se que:

- Custo médio da falha = 88,85% do montante imobilizado, por veículo;  
(com a melhoria do coxim central);
- Veículos que falham em 2 e 3 anos respectivamente = ( $p_{falha} \times produção$ ):
  - $p_{falha\ 2\ anos} = 0,1844 \rightarrow$  para 2 anos falharam 22.227 componentes,
  - $p_{falha\ 3\ anos} = 0,2688 \rightarrow$  para 3 anos falharam 32.473 componentes.
- Gasto em garantia = (Custo médio da falha)  $\times$  (Nº de veículos que falharam);
- Saldo do montante imobilizado = (Reserva total) – (Gasto em garantia)
- Custo da não falha = Saldo montante imobilizado / Nº de veículos que não falharam.

Se o total da reserva monetária feita para cada veículo que falhou não foi gasto, pode-se afirmar que este valor monetário não gasto foi diluído no restante da reserva monetária feita para os veículos que não falharam, assim tem-se os seguintes valores de o custo da não falha:

- Saldo da Reserva Monetária em 1 ano = 101,58%
- Saldo da Reserva Monetária em 2 anos = 102,52%
- Saldo da Reserva Monetária em 3 anos = 104,10%

Pode-se agora, construir a árvore de decisão para o motor e transmissão considerando um sistema único conforme a quarta hipótese e a melhoria do coxim central, como mostrado na Figura 66.

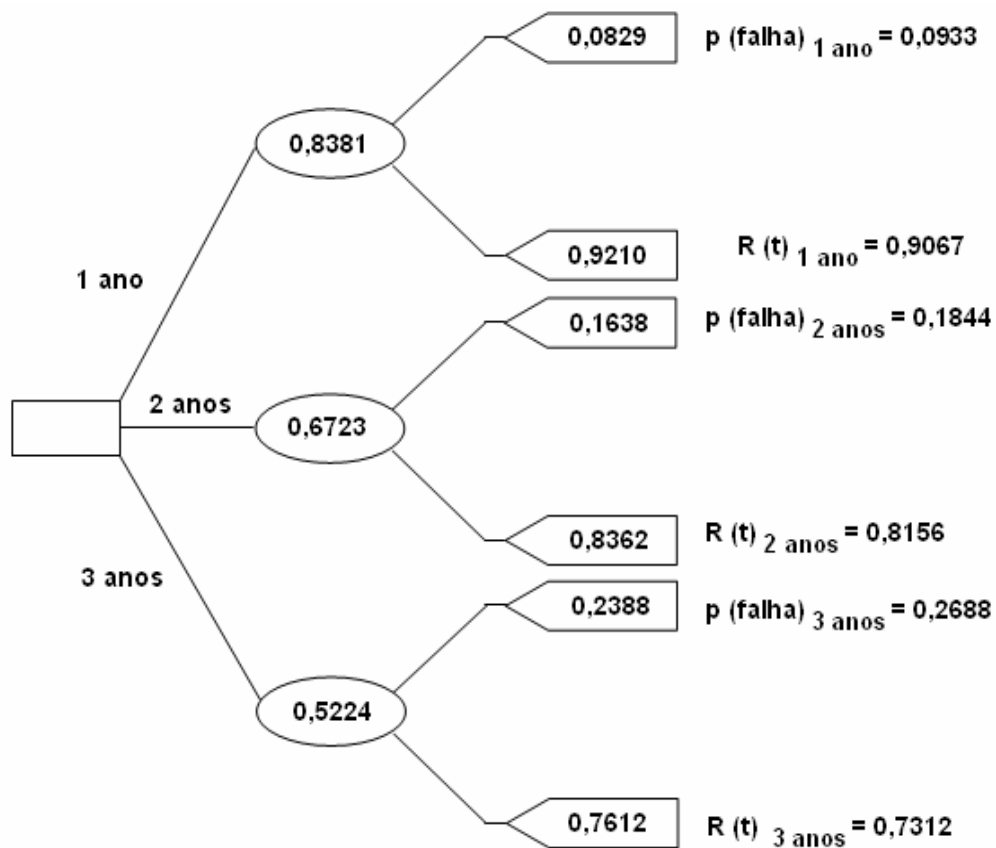


Figura 66 - Árvore de decisão – Quarta hipótese. Subsystema Motor/Transmissão com a melhoria do coxim central do motor - 15.000 km/ano

Os valores esperados para as propostas de extensão de garantia deverão obedecer a equação (5).

Assim para a o motor e a transmissão, assumindo a quarta hipótese da Figura 40, o valor esperado do montante monetário economizado do total aportado para cobrir os gastos de garantia para cada ano de extensão da garantia será:

$$E_{1 \text{ ano}} = R(t)_{1 \text{ ano}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p(\text{falha}) \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{1 \text{ ano}} = 0,9067 \times (1,0158) - 0,0933 \times 0,8885 \rightarrow E_{1 \text{ ano}} = 0,8381 \rightarrow 83,81\%$$

$$E_{2 \text{ anos}} = R(t)_{2 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{não falha})} - p(\text{falha}) \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{2 \text{ anos}} = 0,8156 \times (1,0252) - 0,1844 \times 0,8885 \rightarrow E_{2 \text{ anos}} = 0,6723 \rightarrow 67,23\%$$

$$E_{3 \text{ anos}} = R(t)_{3 \text{ anos}} \times \text{Custo}_{(\text{n\~{a}o falha})} - p_{(\text{falha})} \times \text{Custo}_{(\text{falha})}$$

$$E_{3 \text{ anos}} = 0,7312 \times (1,0410) - 0,2688 \times 0,8885 \rightarrow E_{3 \text{ anos}} = 0,5224 \rightarrow 52,24\%$$

Comparando os resultados antes e depois da melhoria do coxim central do motor, conforme a Tabela XV, observa-se que os valores esperados após a implementação da melhoria resultaram em economia nos gastos de garantia.

Tabela XV - Valor esperado antes e depois da melhoria do coxim do motor.

		Motor + Transmissão		
		1 ano	2 anos	3 anos
4ª Hipótese (15.000 Km/ano)	sem melhoria do coxim do motor	0,8292	0,6339	0,4651
	com melhoria do coxim do motor	0,8381	0,6723	0,5224

Quando se está trabalhando com altos volumes de produção esta diferença em ganho de confiabilidade e valor esperado, observados neste estudo, pode significar valores consideráveis em economia nos custos de garantia, neste caso em particular foi analisado somente a melhoria de um componente e o ganho obtido foi na ordem de 12%.

Isto mostra a importância de um acompanhamento contínuo do produto no campo pelos engenheiros de confiabilidade, somente através do monitoramento do desempenho do produto as falhas ocorridas podem ser identificadas rapidamente ou pela sua incidência ou pelo seu custo e as melhorias podem ser implementadas. O conhecimento da confiabilidade dos componentes e subsistemas do produto é um valioso guia quando se está desenvolvendo novos produtos ou novas especificações.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1 Conclusão**

Os métodos aqui descritos para análise dos dados de garantia são apenas uma parte de um programa de confiabilidade. As informações de campo são sem nenhuma dúvida as melhores fontes de retorno sobre o verdadeiro uso do produto e de seu desempenho no campo.

No passado, as indústrias automotivas aumentaram muito seu faturamento através da venda de peças de reposição para os seus produtos de baixa confiabilidade. Hoje os veículos são mais confiáveis e confiabilidade tornou-se um fator de decisão de compra de um veículo e a extensão da garantia do produto mostra exatamente isto ao cliente.

Uma das dificuldades na implementação da extensão da garantia, pode ser o impacto imediato que a empresa terá nos custos de garantia, conforme os valores mostrados na Tabela XIV. Além do próprio impacto nos custos de garantia, outra dificuldade seria a introdução de um outro modo de controle dos veículos após o primeiro ano de garantia, um controle mantido pela montadora e comprovantes de inspeção mantido pelo cliente, podendo ser o próprio manual do proprietário que deverá então ser revisado. Outra consideração seria a necessidade uma nova comunicação e treinamento com toda rede de concessionárias, informando das novas regras da extensão da garantia e finalmente um lançamento junto ao público através de revistas, jornais, rádio e televisão.

A proposta para a extensão da garantia para dois ou três anos é possível, mas o modelo aqui proposto mostrou-se muito sensível, pois se observou que variando o custo da não falha para dois e três anos, podem-se reduzir valores consideráveis nos gastos de garantia, conforme mostraram os resultados da Tabela XIV. Além disto, serão necessários esforços de melhoria em alguns componentes de maior impacto no cenário atual, visto que todo estudo de caso baseou-se em um produto de dois anos de uso e neste período muitas melhorias foram implementadas. Embora este trabalho

já mostre quais são os itens de maior impacto, um novo Diagrama de Pareto se faz necessário para que se possam priorizar novamente os componentes a serem trabalhados no produto atual.

Também será necessária uma análise de cada modo de falha dos componentes, visando o estudo das consequências de sua ocorrência para o veículo. Para que a melhoria da confiabilidade ocorra deve-se entender cada modo de falha e seu impacto no sistema. Desta maneira é possível quantificar o impacto da melhoria de cada modo de falha na confiabilidade do produto final.

Para realizar uma análise por cada modo de falha deve-se isolar somente o modo de falha a ser estudado e considerar os outros modos de falha como dados censurados. Por exemplo, assumindo que um componente tenha falhado pelos modos de falha *A*, *B* e *C*. Obtenha somente a confiabilidade  $R(t)$  para o modo de falha *A* e considere os modos de falha *B* e *C* como dados censurados, supondo que o modo de falha *A* seja o único existente no componente. Após a obtenção dos valores de confiabilidade para o modo de falha *A*, faça o mesmo procedimento para os modos de falha *B* e *C*. Com os resultados obtidos pode-se calcular a confiabilidade total do componente como sendo o produto  $A \times B \times C$ . Sabendo-se qual é a solução para investigar a ocorrência de cada um dos modos de falha e seus respectivos custos de implementação, pode-se obter o ganho de confiabilidade para cada investimento e assim escolher a melhor situação para se ter a confiabilidade necessária para a melhoria que se deseja alcançar.

Outras montadoras já oferecem planos de dois e três anos de garantia sem custo para o cliente, porém estipulam a necessidade de inspeções nos veículos em suas concessionárias a cada seis meses. Isto não necessariamente quer dizer que o produto precisa ser revisado neste período, pode simplesmente ser uma estratégia para vender mais serviços aos clientes e também criar o hábito de realizar as revisões nos seus veículos nas concessionárias mesmo após o período de garantia. Estas iniciativas aumentam a lucratividade das concessionárias e aumenta o valor de revenda destes veículos, criando assim um vínculo dos clientes com a marca do veículo.

Uma outra maneira de se reduzir os custos de garantia ao estendê-la por dois ou três anos seria limitar a quilometragem dos veículos, removendo assim os veículos de uso severo. Desta forma, mantem-se somente os veículos considerados dentro da faixa de acúmulo de quilometragem normal que um cliente acumularia durante um ano. Um uso considerado severo para um veículo pode ser aquele que ultrapassa os 50.000 km por ano e normalmente estes veículos pertencem a frotas de empresas particulares ou governamentais e estas situações devem ser negociadas separadamente.

## **5.2 Recomendações Futuras**

Durante este estudo, foram feitas algumas hipóteses para o melhor desenvolvimento do trabalho, uma nova proposta seria um estudo considerando todos os componentes do motor e da transmissão e não somente os de maior impacto. E a razão desta decisão se deve ao fato que, a melhoria de vários componentes de baixa influência poderá no final resultar em um número significativo de ganho de confiabilidade.

Assim como neste estudo de extensão de garantia foram considerados todos os modos de falha para cada componente, uma nova proposta deverá também considerar todos os modos de falha, pois, sabe-se que para um mesmo componente têm-se diversos modos de falha e cada um com soluções diferentes. Com isto, pode-se mostrar que a correção de cada um dos modos de falha implicará em um custo adicional ao produto. Pode-se dizer que, nem sempre a correção de um único modo de falha é um simples ajuste no processo produtivo da montadora ou do fornecedor do componente. Normalmente a correção destes mecanismos de falha requer um componente modificado ou às vezes o desenvolvimento de um novo componente ou ainda a fabricação de um novo ferramental.

Ao se obter todos os cenários de custos adicionais e investimentos para a correção do mecanismo de falha de cada componente, pode-se comparar estes custos com seus respectivos ganhos de confiabilidade com a correção de cada mecanismo de falha. E isto pode ser feito pela retirada deste modo de falha no estudo de confiabilidade, assim como foi exemplificado no item 4.2 onde a remoção de um único componente mostrou uma melhora do subsistema motor.



Uma importante suposição ao se trabalhar com todos os modos de falha será considerá-los como independentes um do outro, indicando a existência de mecanismos de falha separados e independentes, conforme Doganaksoy, Hahn e Meeker (2002). É possível agrupar alguns modos de falha, por exemplo, uma falha na composição química da tinta de pintura do veículo pode se manifestar de diversas maneiras como trincas na pintura, descascando ou perdendo a sua cor original. Estes modos de falha não devem ser considerados independentes e sim como um único modo de falha, nestes casos recomenda-se considerar todos estes modos de falha como sendo um único modo de falha.

Outra consideração importante a ser aplicada são os objetivos de confiabilidade que se deseja alcançar. Estes objetivos devem ser traçados para o produto como um todo. Por exemplo, um fornecedor terá seus objetivos de confiabilidade para seus componentes, porém uma montadora deverá ter um objetivo para todo veículo. Tais objetivos de confiabilidade devem ser baseados nos registros de desempenho da competição, nas exigências dos clientes, em históricos de componentes, sistemas ou veículos similares em uso no campo. Junto com a definição dos objetivos de confiabilidade, devem-se definir as especificações de desempenho do veículo bem como as expectativas das condições ambientais de uso.

Tendo-se os valores desejados de confiabilidade para o veículo, deve-se então distribuí-lo ao próximo nível de um subsistema. Esta distribuição é uma maneira de se obter os valores de confiabilidade para cada um dos sistemas do veículo. Uma das maneiras de se obter esta distribuição é através do diagrama de blocos de confiabilidade, que reflete a relação existente entre cada um dos sistemas.

## Anexo A

### Desdobramento da Função Qualidade (*Quality Function Deployment – QFD*)

#### O que é desdobramento da função qualidade *QFD*?

*QFD* é um método para documentar as especificações de um produto onde estão enfatizadas as necessidades e/ou requisitos dos clientes. *QFD* é um processo de desenvolvimento de um novo produto.

#### Porque este processo é chamado de *QFD*?

*QFD* foi desenvolvida no Japão após a Segunda Guerra Mundial. Desdobramento, Função e Qualidade têm uma tradução muito ampla à língua japonesa, embora esta não seja a tradução exata, reflete o objetivo da matriz *QFD*. Qualidade refere-se às qualidades que o cliente exige de um produto satisfatório. Função refere-se a funcional, ou seja, características ou atributos mensuráveis para que o produto atenda a necessidades do cliente com qualidade. Desdobramento refere-se às múltiplas atividades necessárias para produzir, entregar o produto que manterá as suas qualidades.

A representação da matriz *QFD* é mostrada pela Figura A, onde ela relaciona quais as necessidades do cliente com os parâmetros de engenharia e classificando-os por grau de importância.

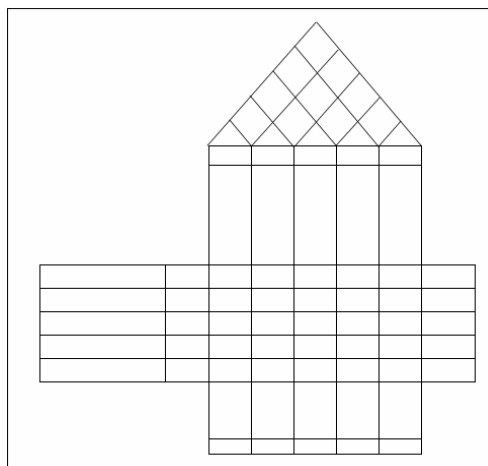


Figura A - Matriz *QFD*.

### **Técnica do Desdobramento da Função Qualidade *QFD*.**

Como primeira etapa na aplicação do método deve-se conhecer bem os seguintes passos:

1. Identificar o cliente, não somente o usuário final que irá comprar o produto, mas devem ser considerados também os engenheiros de manufatura e de processo como clientes.
2. Determinar os requisitos do cliente, o objetivo nesta parte é desenvolver uma lista com todos os requisitos do cliente (com suas próprias palavras) que podem afetar o projeto. Isto deve ser feito com todo time de projeto, baseando-se em resultados de pesquisas com o cliente no campo, normalmente chamadas de clínicas.
3. Priorizar os requisitos dos clientes, nesta parte um fator deve ser dado para cada requisito, este fator dará ao engenheiro do projeto uma idéia de quanto esforço, tempo e investimento devem ser alocados a este requisito.
4. Obter valores da concorrência, neste item o objetivo é determinar como o cliente percebe a habilidade da concorrência em atender seus requisitos. Isto promove oportunidades de melhoria em produtos existentes.

Abaixo segue uma escala que pode ser usada para classificação destes requisitos:

1= projeto não atende nenhum requisito.

2= projeto atende poucos requisitos.

3= projeto atende requisitos de alguma forma.

4= projeto atende a maioria dos requisitos.

5= projeto atende todos os requisitos.

5. Transformar requisitos do cliente em requisitos de engenharia mensuráveis, o objetivo nesta parte é desenvolver um conjunto de requisitos de engenharia também chamado de especificações do projeto que sejam mensuráveis para

avaliar as propostas de projeto. Transforma requisitos do cliente em requisitos de engenharia e certifica-se de que todos eles sejam mensuráveis.

6. Estabelecer objetivos de engenharia para o projeto, nesta última etapa determina-se os objetivos de engenharia, verificando como a concorrência atinge estes objetivos e estabelece os objetivos do novo produto.

Assim sendo, colocamos todas as necessidades dos clientes na matriz *QFD*, conforme mostra a Figura B. Lembrando que neste ponto devemos responder as perguntas: O que o cliente quer? Qual é a necessidade do cliente?

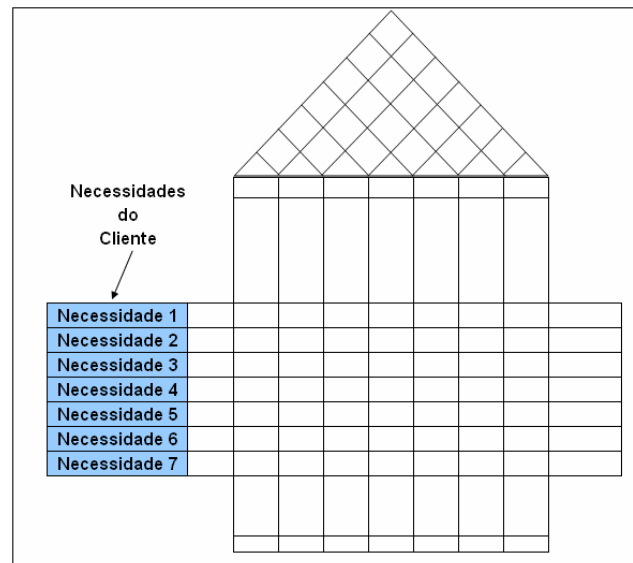


Figura B. Necessidades do Cliente.

A seguir colocamos a classificação de importância destas necessidades, baseada em pesquisa com o cliente. A Figura C ilustra este passo.

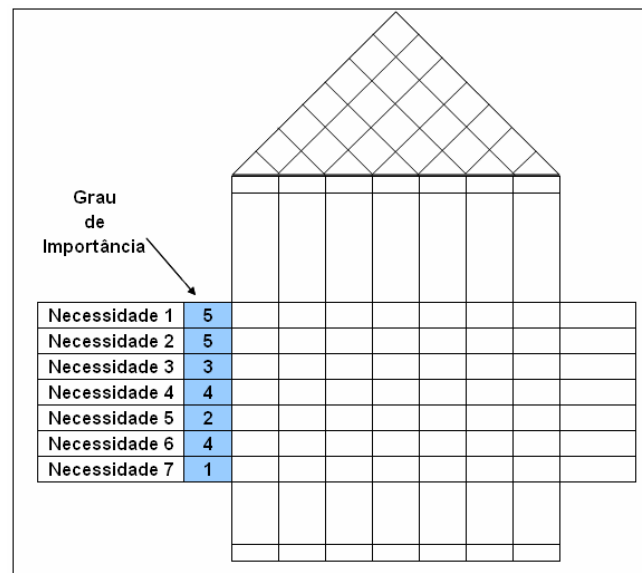


Figura C - Grau de Importância para o Cliente.

A seguir completa-se com os requisitos de engenharia com suas respectivas unidades, o objetivo nesta etapa é identificar como cada requisito de engenharia satisfaz cada necessidade do cliente, transformando-os em ações e requisitos do produto. A Figura D mostra o campo da matriz destes requisitos.

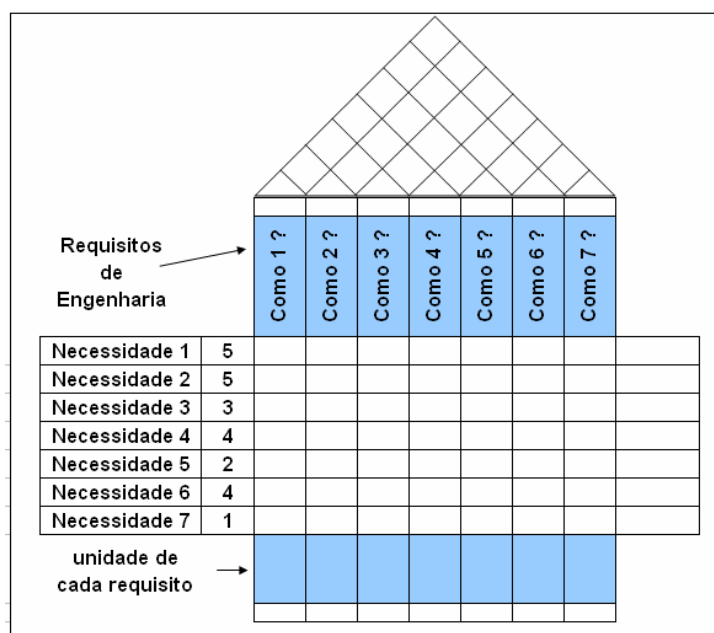


Figura D - Requisitos de Engenharia

O próximo passo é relacionar os requisitos do cliente com os requisitos de engenharia, conforme mostra a Figura E. Para isto adotamos a seguinte relação:

Alta relação → A = 9

Média relação → M = 3

Baixa relação → B = 1

		Como 1 ?	Como 2 ?	Como 3 ?	Como 4 ?	Como 5 ?	Como 6 ?	Como 7 ?
Necessidade 1	5	A	B			B		M
Necessidade 2	5			A				
Necessidade 3	3				M	M	B	
Necessidade 4	4		A					
Necessidade 5	2			B				M
Necessidade 6	4	M			B	A		
Necessidade 7	1			B			M	

Figura E - Relação entre os Requisitos.

O próximo passo é multiplicar o grau de necessidade do cliente pela relação entre os requisitos e colocar este valor onde esta a relação. Como exemplo, a necessidade 1 do cliente tem grau de importância 5 e sua relação com os requisitos de engenharia é alto com A=9. Logo, na Figura E, onde esta a letra “A”, colocamos o produto  $5 \times 9 = 45$ . Conforme mostra a Figura F.

Relação entre Requisitos

		Como 1 ?	Como 2 ?	Como 3 ?	Como 4 ?	Como 5 ?	Como 6 ?	Como 7 ?
Necessidade 1	5	45	5			5		15
Necessidade 2	5			45				
Necessidade 3	3				9	9	3	
Necessidade 4	4		36					
Necessidade 5	2			2				6
Necessidade 6	4	12			4	36		
Necessidade 7	1			1			3	

Figura F - Produto entre Requisito do Cliente x Requisito de Engenharia.

		Como 1 ?	Como 2 ?	Como 3 ?	Como 4 ?	Como 5 ?	Como 6 ?	Como 7 ?
Necessidade 1	5	45	5			5		15
Necessidade 2	5			45				
Necessidade 3	3				9	9	3	
Necessidade 4	4		36					
Necessidade 5	2			2				6
Necessidade 6	4	12			4	36		
Necessidade 7	1			1			3	
Somatória do produto entre os entre Requisitos		57	41	48	13	50	6	21

Figura G - Soma entre os produtos.

A seguir soma-se o produto entre os requisitos do cliente e os requisitos de engenharia, conforme mostra a Figura G, mostrando assim a ordem de importância técnica para cada requisito e onde devem ser focados os recursos do projeto.

A seguir faz-se a confirmação do grau de importância dos itens através da somatória das linhas das necessidades dos clientes, conforme mostra a Figura H.

		Como 1 ?	Como 2 ?	Como 3 ?	Como 4 ?	Como 5 ?	Como 6 ?	Como 7 ?	
Necessidade 1	5	45	5			5		15	70
Necessidade 2	5		45						45
Necessidade 3	3				9	9	3		21
Necessidade 4	4		36						36
Necessidade 5	2							6	6
Necessidade 6	4	12			4	36			52
Necessidade 7	1			1			3		4
		57	41	46	13	50	6	21	

Figura H - Confirmação do Grau de Importância.

Como último passo relaciona-se com sinal “+ ou -” a relação entre os requisitos de engenharia. Isto é mostrado no triângulo acima dos requisitos de engenharia, conforme a Figura I.





### Anexo B

40 componentes de falha do motor – ordenados por incidência.

SEQ. INCID.	M.OBRA	DESCRIÇÃO	QTDE	IPTV	%Custo Total
1	J1000	COXIM MOTOR TRAS.CTL	4021	33,28	12,8%
2	J1001	COXIM MOTOR TRAS. LD	1273	10,54	3,1%
3	J1002	MOTOR PARTIDA - SUBS	1124	9,30	16,1%
4	J1003	TENS.AUT.CORR.MOTRIZ	924	7,65	4,6%
5	J1004	MOTOR VENT. DO RAD.	699	5,78	9,3%
6	J1005	COXIM MOTOR DIANT.LD	514	4,25	1,5%
7	J1006	VED.OLEO MANCAL TR.	421	3,48	3,3%
8	J1007	SUP.TR MONTAGEM MTR.	312	2,58	0,6%
9	J1008	BOMBA OLEO - SUBST.	296	2,45	2,2%
10	J1009	CARTER/JTA OLEO MTR.	290	2,40	1,0%
11	J1010	CPO.BORB.AC.UN.INJEC	289	2,39	1,0%
12	J1011	VALVULA CONTROLE AR	283	2,34	0,7%
13	J1012	BOMBA D'AGUA - SUBST	273	2,26	2,0%
14	J1013	MOD.CONTR.ELTR.(ECM)	242	2,01	3,1%
15	J1014	BBA.COMB.INT.AO TQUE	233	1,93	2,7%
16	J1015	COLETOR ESCAPAMENTO	213	1,76	0,9%
17	J1016	TUCHO DE VALV.-SUBST	212	1,76	2,3%
18	J1017	EMBOLO-BIELA/ANEIS	212	1,75	8,4%
19	J1018	BALANCIM DA VALVULA	210	1,74	4,1%
20	J1019	TENS.AUT.CORR.DENT.	187	1,55	1,4%
21	J1020	VALV. CORTE	184	1,53	1,0%
22	J1021	INJ.COMB./ANEL"O"VED	182	1,51	2,1%
23	J1022	SENSOR(MAP)PRESS.ABS	180	1,49	0,7%
24	J1023	MOTOR PARTIDA - REM/	176	1,46	1,4%
25	J1024	VED.OLEO COM.VALV.AN	159	1,31	0,6%
26	J1025	MANG.AR ADM.MOTOR	153	1,27	0,2%
27	J1026	JUNTA DO CABECOTE	148	1,22	4,0%
28	J1027	SOLE.N.MOTOR PART.	145	1,20	0,4%
29	J1028	SENSOR DETONACAO	137	1,14	0,6%
30	J1029	SENS.OX.ESC.(POTENC.	135	1,12	0,4%
31	J1030	SENSOR BORBOL.ACEL.	132	1,10	0,3%
32	J1031	COXIM MOTOR DIANT.LE	131	1,09	0,3%
33	J1032	VALVULA - MOTOR	124	1,03	3,7%
34	J1033	MANG.SUP.SIST.ARREF.	124	1,02	0,2%
35	J1034	CORREIA VENT/ALTERN.	108	0,89	0,2%
36	J1035	VALV.TERMOSTAT/JTA.	106	0,88	0,7%
37	J1036	TAMPA DO RADIADOR	106	0,88	0,1%
38	J1037	CABO VELAS(UM/DOIS)	104	0,86	0,2%
39	J1038	JTA/TPA CARC.COM.VAL	103	0,86	0,1%
40	J1039	ALTERNADOR CJT.	98	0,81	1,6%
total =			14953	123,8	100,0%

### Anexo C

30 componentes de falha do motor – ordenados por custo.

SEQ. CUSTO	M.OBRA	DESCRIÇÃO	QTDE	IPTV	% Custo Total
1	J1002	MOTOR PARTIDA - SUBS	1124	9,30	15,6%
2	J1000	COXIM MOTOR TRAS.CTL	4021	33,28	12,4%
3	J1004	MOTOR VENT. DO RAD.	699	5,78	8,9%
4	J1017	EMBOLO-BIELA/ANEIS	212	1,75	8,1%
5	J1003	TENS.AUT.CORR.MOTRIZ	924	7,65	4,4%
6	J1040	MOTOR PARCIAL	78	0,65	4,3%
7	J1019	BALANCIM DA VALVULA	210	1,74	3,9%
8	J1026	JUNTA DO CABECOTE	148	1,22	3,8%
9	J1032	VALVULA - MOTOR	124	1,03	3,5%
10	J1006	VED.OLEO MANCAL TR.	421	3,48	3,2%
11	J1013	MOD.CONTR.ELTR.(ECM)	242	2,01	3,0%
12	J1001	COXIM MOTOR TRAS. LD	1273	10,54	3,0%
13	J1014	BBA.COMB.INT.AO TQUE	233	1,93	2,6%
14	J1016	TUCHO DE VALV.-SUBST	212	1,76	2,2%
15	J1041	CABECOTE-MOTOR	74	0,62	2,2%
16	J1008	BOMBA OLEO - SUBST.	296	2,45	2,1%
17	J1021	INJ.COMB./ANEL"O"VED	182	1,51	2,0%
18	J1012	BOMBA D'AGUA - SUBST	273	2,26	2,0%
19	J1042	ALTERNADOR CJT.	98	0,81	1,5%
20	J1005	COXIM MOTOR DIANT.LD	514	4,25	1,5%
21	J1019	TENS.AUT.CORR.DENT.	187	1,55	1,4%
22	J1023	MOTOR PARTIDA - REM/	176	1,46	1,4%
23	J1043	MOLA VALV/PRATO	79	0,66	1,0%
24	J1020	VALV. CORTE	184	1,53	1,0%
25	J1009	CARTER/JTA OLEO MTR.	290	2,40	0,9%
26	J1010	CPO.BORB.AC.UN.INJEC	289	2,39	0,9%
27	J1015	COLETOR ESCAPAMENTO	213	1,76	0,8%
28	J1011	VALVULA CONTROLE AR	283	2,34	0,7%
29	J1035	VALV.TERMOSTAT/JTA.	106	0,88	0,7%
30	J1022	SENSOR(MAP)PRESS.ABS	180	1,49	0,7%
total =			13339	110,42	100,0%

**Anexo D**

20 componentes de falha da transmissão – ordenados por incidência.

SEQ. INCID.	M.OBRA	DESCRICAO	QTDE	IPTV	% Custo Total
1	K5000	TUB/BUCH/LIAM.MUD.VL	671	5,56	8,0%
2	K5001	ROLAMENTO EMBREAGEM	516	4,27	31,9%
3	K5002	CABO DA EMBREAGEM	409	3,39	4,4%
4	K5003	BUCH.LIAMES CONT.MUD	390	3,23	5,9%
5	K5004	GUARDA-PO ALAV.CNTR.	330	2,73	4,3%
6	K5005	ALAV.CONTR.TRANS.CJ.	239	1,98	4,3%
7	K5006	ARTIC.GUIA CTL.MUD.	169	1,40	2,5%
8	K5007	DISCO/PLATO EMBREAG.	167	1,38	14,8%
9	K5008	SENSOR DE DISTANCIA	165	1,36	3,9%
10	K5009	TPA.CNTR.MUD.TRANM.	157	1,30	2,1%
11	K5010	CONTR.MUD.TRANSM.ASS	125	1,03	1,9%
12	K5011	GARFO DESL.EMBRAGEM	106	0,88	5,4%
13	K5012	ROLAM.LAT.DIFER.SUBS	80	0,66	3,1%
14	K5013	BUCHA/PEDAL EMBREAG.	78	0,64	0,4%
15	K5014	ANEL VD.S/ARV.DIF.LE	64	0,53	0,9%
16	K5015	CONTR.TRANSM.(TRAMB)	60	0,50	0,3%
17	K5016	CARCACA TRANSM.-REM	54	0,45	3,3%
18	K5017	ANEL VD.S/ARV.DIF.LD	51	0,42	0,7%
19	K5018	PLACA RETENT.ROLAM.	43	0,35	2,0%
20	K5019	MOLA RET.PEDAL EMBR.	41	0,34	0,2%
total =			3909	32	100%

**Anexo E**

20 componentes de falha da transmissão - ordenados por custo.

SEQ. CUSTO	M.OBRA	DESCRIÇÃO	QTDE	IPTV	% Custo Total
1	K5001	ROLAMENTO EMBREAGEM	516	4,265	29,1%
2	K5007	DISCO/PLATO EMBREAG.	167	1,38	13,5%
3	K5000	TUB/BUCH/LIAM.MUD.VL	671	5,555	7,4%
4	K5003	BUCH.LIAMES CONT.MUD	390	3,225	5,4%
5	K5011	GARFO DESL.EMBRAGEM	106	0,875	4,9%
6	K5002	CABO DA EMBREAGEM	409	3,385	4,0%
7	K5005	ALAV.CONTR.TRANS.CJ.	239	1,975	3,9%
8	K5020	TRANS. COMPL.TRANSV.	33	0,27	3,9%
9	K5004	GUARDA-PO ALAV.CNTR.	330	2,73	3,9%
10	K5008	SENSOR DE DISTANCIA	165	1,36	3,5%
11	K5016	CARCACA TRANSM.-REM	54	0,445	3,1%
12	K5012	ROLAM.LAT.DIFER.SUBS	80	0,66	2,8%
13	K5006	ARTIC.GUIA CTL.MUD.	169	1,4	2,3%
14	K5021	ANEL SINCR.3/4A.VEL.	17	0,135	2,2%
15	K5009	TPA.CNTR.MUD.TRANM.	157	1,295	1,9%
16	K5018	PLACA RETENT.ROLAM.	43	0,35	1,8%
17	K5010	CONTR.MUD.TRANSM.ASS	125	1,03	1,7%
18	K5022	ANEL SINCR.1/2A.VEL.	23	0,19	1,6%
19	K5023	ENGR.5A.VEL.ARV.SEC.	11	0,09	1,6%
20	K5024	ENGR.3A.VEL.ARV.SEC.	9	0,075	1,5%
total =			3708	31	100,0%

## Anexo F

42 componentes de falha de motor.

SEQ. CUSTO	M.OBRA	DESCRIÇÃO	QTDE	IPTV	% Custo Total
1	J4000	MOTOR PARTIDA - SUBS	1124	9,30	15,0%
2	J4001	COXIM MOTOR TRAS.CTL	4021	33,28	12,0%
3	J4002	MOTOR VENT. DO RAD.	699	5,78	8,6%
4	J4003	EMBOLO-BIELA/ANEIS	212	1,75	7,8%
5	J4004	TENS.AUT.CORR.MOTRIZ	924	7,65	4,3%
6	J4005	MOTOR PARCIAL	78	0,65	4,2%
7	J4006	BALANCIM DA VALVULA	210	1,74	3,8%
8	J4007	JUNTA DO CABECOTE	148	1,22	3,7%
9	J4008	VALVULA - MOTOR	124	1,03	3,4%
10	J4009	VED.OLEO MANCAL TR.	421	3,48	3,1%
11	J4010	MOD.CONTR.ELTR.(ECM)	242	2,01	2,9%
12	J4011	COXIM MOTOR TRAS. LD	1273	10,54	2,9%
13	J4012	BBA.COMB.INT.AO TQUE	233	1,93	2,5%
14	J4013	TUCHO DE VALV.-SUBST	212	1,76	2,1%
15	J4014	CABECOTE-MOTOR	74	0,62	2,1%
16	J4015	BOMBA OLEO - SUBST.	296	2,45	2,1%
17	J4016	INJ.COMB./ANEL"O"VED	182	1,51	2,0%
18	J4017	BOMBA D'AGUA - SUBST	273	2,26	1,9%
19	J4018	ALTERNADOR CJT.	98	0,81	1,5%
20	J4019	COXIM MOTOR DIANT.LD	514	4,25	1,4%
21	J4020	TENS.AUT.CORR.DENT.	187	1,55	1,3%
22	J4021	MOTOR PARTIDA - REM/	176	1,46	1,3%
23	J4022	MOLA VALV/PRATO	79	0,66	1,0%
24	J4023	VALV. CORTE	184	1,53	1,0%
25	J4024	CARTER/JTA OLEO MTR.	290	2,40	0,9%
26	J4025	CPO.BORB.AC.UN.INJEC	289	2,39	0,9%
27	J4026	COLETOR ESCAPAMENTO	213	1,76	0,8%
28	J4027	VALVULA CONTROLE AR	283	2,34	0,6%
29	J4028	VALV. TERMOSTAT/JTA.	106	0,88	0,6%
30	J4029	SENSOR(MAP)PRESS.ABS	180	1,49	0,6%
31	J4030	SUP. TR MONTAGEM MTR.	312	2,58	0,5%
32	J4031	MANG.AR ADM.MOTOR	153	1,27	0,2%
33	J4032	SOLE.N.MOTOR PART.	145	1,20	0,3%
34	J4033	SENSOR DETONACAO	137	1,14	0,5%
35	J4034	SENS.OX.ESC.(POTENC.	135	1,12	0,4%
36	J4035	SENSOR BORBOL.ACEL.	132	1,10	0,2%
37	J4036	COXIM MOTOR DIANT.LE	131	1,09	0,3%
38	J4037	MANG.SUP.SIST.ARREF.	124	1,02	0,2%
39	J4038	CORREIA VENT/ALTERN.	108	0,89	0,2%
40	J4039	TAMPA DO RADIADOR	106	0,88	0,1%
41	J4040	CABO VELAS(UM/DOIS)	104	0,86	0,2%
42	J4041	JTA/TPA CARC.COM.VAL	103	0,86	0,1%
total =			15026	124,39	100,0%

### Anexo G

25 componentes de falha de transmissão.

SEQ. CUSTO	M.OBRA	DESCRIÇÃO	QTDE	IPTV	% Custo Total
1	K6000	ROLAMENTO EMBREAGEM	516	4,27	28,5%
2	K6001	DISCO/PLATO EMBREAG.	167	1,38	13,2%
3	K6002	TUB/BUCH/LIAM.MUD.VL	671	5,56	7,2%
4	K6003	BUCH.LIAMES CONT.MUD	390	3,23	5,3%
5	K6004	GARFO DESL.EMBRAGEM	106	0,88	4,8%
6	K6005	CABO DA EMBREAGEM	409	3,39	3,9%
7	K6006	ALAV.CONTR.TRANS.CJ.	239	1,98	3,9%
8	K6007	TRANS. COMPL.TRANSV.	33	0,27	3,8%
9	K6008	GUARDA-PO ALAV.CNTR.	330	2,73	3,8%
10	K6009	SENSOR DE DISTANCIA	165	1,36	3,5%
11	K6010	CARCACA TRANSM.-REM	54	0,45	3,0%
12	K6011	ROLAM.LAT.DIFER.SUBS	80	0,66	2,7%
13	K6012	ARTIC.GUIA CTL.MUD.	169	1,40	2,2%
14	K6013	ANEL SINCR.3/4A.VEL.	17	0,14	2,2%
15	K6014	TPA.CNTR.MUD.TRANM.	157	1,30	1,9%
16	K6015	PLACA RETENT.ROLAM.	43	0,35	1,8%
17	K6016	CONTR.MUD.TRANS.MASS	125	1,03	1,7%
18	K6017	ANEL SINCR.1/2A.VEL.	23	0,19	1,6%
19	K6018	ENGR.5A.VEL.ARV.SEC.	11	0,09	1,5%
20	K6019	ENGR.3A.VEL.ARV.SEC.	9	0,08	1,5%
21	K6020	BUCHA/PEDAL EMBREAG.	78	0,64	0,3%
22	K6021	ANEL VD.S/ARV.DIF.LE	64	0,53	0,8%
23	K6022	CONTR. TRANSM.(TRAMB)	60	0,50	0,2%
24	K6023	ANEL VD.S/ARV.DIF.LD	51	0,42	0,6%
25	K6024	MOLA RET.PEDAL EMBR.	41	0,34	0,2%
total =			4001	33,12	100,0%

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. Publicado pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA, (2005). 171p

Clemens, P.L.: **Fault Tree Analysis** (2002 – 4<sup>th</sup> Edition)

Banerjee, G.; Das, R.: **Fundamentals of Quality Function Deployment** (2001).

Bressan, G.: **Modelagem e Simulação de Sistemas Computacionais**. LARC-PCS/EPUSP, (2002).

Bekman, O. R.; Costa Neto, P. L. O.: **Análise Estatística da Decisão**. Editora Edgard Blucher Ltda. (2002). 124p.

Campean, I.F.; Kuhn, F.P.: **Reliability Analysis of Automotive Field Failure Warranty Data**, (2000). University of Bradford, Richmond Building, West Yorkshire, UK, BD7 1 DP. [f.campean@bradford.ac.uk](mailto:f.campean@bradford.ac.uk).

Costa Neto, P. L. O.; Cymbalista, Melvin: **Probabilidades**. Editora Edgard Blucher Ltda. (1985). 144p.

Coit, D.W.; Dey, K.A.: **Analysis of Grouped Data Field-Failure Reporting Systems**. ELSEVIER (1998).

Dodson, B.; Nolan, D.: **Reliability Engineering Bible**. Quality Publishing, Tucson Arizona, (1995). 489p.

Doganaksoy, N.; Hahn, G. J.; Meeker, W. Q.: **Reliability Analysis by Failure Mode**. Quality Progress (2002) ABI/INFORM Complete pg. 47.

Dubensky, R.G.: **What Every Engineer Should Know About Finite Element Analysis Methods**. SAE 861294 (1996).



Dubensky, R.G.: **Effectiveness of CAE in the Simultaneous Engineering Process.** SAE 960519 (1996).

Harrison, L.; Doerffel D.: **Life Cycle Impacts and Sustainability Considerations for Alternative and Conventional Vehicles.** SAE 0642 (2003).

Hsieh, P. I; Lee, R. E.; Torma, B. L: **A Reliability Engineering Process in a Simultaneous Engineering Environment.** SAE 980738 (1998).

Hyman, B.: **Fundamentals of Engineering Design.** Prentice-Hall (1998)

Kaminski, P. C.: **Desenvolvendo Produtos com Planejamento, Criatividade e Qualidade.** Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, (2000). 130p.

Krishnamoorthi K.S.: **Reliability Methods for Engineers.** ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, (1998). 189p.

Lambert, H. E.: **Use of Fault Tree Analysis for Automotive Reliability and Safety Analysis.** SAE 1537 (2004).

Leitch, R.: **Reliability Analysis for Engineers.** Oxford Press, New York. (1995).

Luko, S.N.: **A Review of the Weibull Distribution and Selected Engineering Applications.** SAE 2859 (1999).

Martha de Souza, G. F.: **Confiabilidade de Produtos e Sistemas.** (2003) Notas de Aula.

Neubeck, K.: **Practical Reliability Analysis.** (2004). Pearson Prentice Hall, LTD 338p.

O'Connor, P. D. T.: **Practical Reliability Engineering**. (2002 – 4<sup>th</sup> Edition). John Wiley & Sons, LTD. 513p.

Paul, R. T.; Chung, D.; Raney, D. W.: **Actual Recyclability of Selected Honda Vehicles**. SAE 0246 (2004).

Paul, R.T.: **How Prepared are U.S. Dismantlers to Meet the EU Directive for ELV Recycling?** SAE 3744 (2001).

Petrov, R. L.: **The Evolution of LADA Cars Recyclability**. SAE 2822 (2003)

Petrov, R. L.: **The Concept of End-of-Life Car Recycling System in Russia**. SAE 0696 (2003).

Prasad, B.: **Concurrent Engineering Fundamentals: integrated product and process development**. Prentice Hall, New Jersey, (1996).

[http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos\\_port/index.html](http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/index.html)> Acesso em Novembro/2004

Shimizu, H; Imagawa, T.; Nogushi, H.: **Reliability Problem Prevention Method for Automotive Components**. SAE 2877 (2003).

Suzuki, K.: **Estimation of Lifetime Parameters from Incomplete Field Data**. Technometrics, Volume 27. (1985).

Yoshimura, T.: **Toyota Style Mizenboushi Method (Preventive Measures) GD<sup>3</sup> – How to Prevent a Problem Before It Occurs**. JUSE Press Ltd. (2002)

David Hutton Associates Consultancy in /quality Management  
<http://www.dhutton.com>> Acesso em: Novembro de 2004

Engineered Software, Inc.  
<http://www.engineeredsoftware.com>>