

5

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE  *DFA*  E  *POKA-YOKE*  PARA**  
**MONTAGEM DE SUBCONJUNTOS DE CARRO DE PASSEIO**

Tsai Men Yee

São Paulo  
2005

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE  *DFA*  E  *POKA-YOKE*  PARA**  
**MONTAGEM DE SUBCONJUNTOS DE CARRO DE PASSEIO**

Trabalho de formatura apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção do título de Graduação em Engenharia.

Tsai, Men Yee

Orientador:

Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza

Área de concentração:

Engenharia Mecânica

São Paulo

2005

TF-05  
T782a

NEW 289

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600011152

### FICHA CATALOGRÁFICA

**Tsai Men Yee**

**Aplicação dos conceitos de DFA e Poka-Yoke para montagem de subconjuntos de carro de passeio / Tsai Men Yee. -- São Paulo, 2005.**

**69 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.**

**1. Indústria automobilística 2. DFA 3. Poka-Yoke I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica fl.t.**

14929-14

“O único homem que está isento de erros,  
é aquele que não arrisca acertar.”

Albert Einstein

“Grandes realizações são possíveis  
quando se dá importância aos pequenos começos.”

Lao Tzu

*Aos meus pais que me educaram  
e incentivaram que o estudo é a base do  
ser humano. E a toda minha família e  
meus amigos por existirem e serem  
especiais.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente ao meu professor e orientador Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza pelas orientações e pelo apoio constante ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À minha família que me incentivaram e acreditaram no meu trabalho desde início até a finalização.

Aos todos meus amigos que me contribuíram na realização através de críticas construtivas, especialmente Seung Joon Kim e Caetano Martinez que me ajudaram no desenvolvimento do trabalho.

Aos meus colegas do departamento da Engenharia de Processos de Montagem de Veículos da *General Motors* do Brasil, especialmente Roberto Hirayama, Eduardo Guerini, Heraldo Joaquim, Aires Guimarães, Andrea Arbex Rodrigues, William Paiva, Celso Somensari, Jose Ari Buscariol, Marino Zanetti, Ernesto Moro. Todos de alguma forma contribuíram para a elaboração dessa pesquisa e foram essenciais para o desenvolvimento e análise das idéias do trabalho.

## RESUMO

Este trabalho apresenta métodos de apoio a analistas de trabalho desenvolvidos para suportar estudos de processos de engenharia.

O conceito de *Design For Assembly (DFA)* e *Poka-Yoke* serão apresentados para garantir a qualidade do produto final, assim como reduzir custos de fabricação e tempo de montagem sem propagar erros durante os processos.

*DFA* estuda uma forma de remanejamento das peças necessárias para montagem ou mesmo a eliminação de algumas delas para que a montagem seja rápida e fácil, economizando tempo e não sobrecarregando o operador da fábrica.

Já a teoria de *Poka-Yoke* indica quais processos serão mais adequados para uma determinada montagem. Desta forma o operador terá mais ergonomia e cometerá menos erros durante a sua jornada de trabalho.

O estudo visa também à aplicabilidade das metodologias na indústria automobilística e emprego nas montagens de subconjuntos dos carros de passeio como montagem pedaleiras, porta-luva, eixo de direção, conjunto de tubulação de freios, console e entre outros.

Após a implementação das metodologias mostradas acima será feito um estudo sobre a confiabilidade dessas montagens visando à melhoria da qualidade do produto.

Essas metodologias ainda não são muito utilizadas nas companhias por diversas resistências encontradas no vício do ser humano quando defronta com assuntos novos e desconhecidos. Para mudar esse quadro, portanto, o trabalho mostrará o auxílio da metodologia da engenharia simultânea.

## ABSTRACT

This work presents methods to support analysts to develop studies of engineering processes.

The concept of Design for assembly (DFA) and Poka-Yoke are presented to guarantee the final product quality, as well as reducing costs of manufacture and time of assembly without propagating errors during the processes.

DFA studies a rearrangement of the parts or even the elimination of some of them to turn the assembly faster and easier, saving time and not overloading the operator of the plant.

Theory of Poka-Yoke indicates which processes are more adequate for determined assembly. Thus, the operator will have more ergonomics and will be less chance of errors during his work.

The study also aims the applicability of the methodologies in the automobile industry and utilization in the assemblies of subgroups of stroll car. For example assembly of strike plate pedals, door-glove, steering column, brake system, console and others.

After this methodologies above, will be made a study of reliability of the assembly processes aiming at to the improvement of the quality.

These methodologies are still not very used in the company for diverse resistance found in the vice of the human being when it confronts with new and unknown subjects. The work will show the aid of the methodology of the simultaneous engineering that tends to change the picture above.



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO E OBJETIVO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Introdução .....	1
1.2	Objetivo do trabalho .....	3
1.3	Importância da pesquisa .....	4
<b>2</b>	<b>CONCEITOS DAS TEORIAS .....</b>	<b>6</b>
2.1	História de <i>DFA</i> .....	6
2.2	<i>Design For Assembly (DFA)</i> .....	7
2.3	Causas da não implementação de <i>DFA</i> .....	8
2.4	Conceito de <i>Poka-Yoke</i> .....	9
2.5	Desenvolvimento dos conceitos durante o projeto .....	10
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>12</b>
3.1	Princípio do <i>Design For Assembly</i> .....	12
3.1.1	Minimização do número de peças .....	14
3.1.2	Montagem modular ou com componente-base.....	15
3.1.3	Padronização dos componentes .....	15
3.1.4	Projeto de peças com características auto-fixadoras .....	15
3.1.5	Montagem empilhada ou unidirecional .....	16
3.1.6	Projetar peças com características de autolocalização .....	17
3.1.7	Minimização de níveis de montagem .....	17
3.1.8	Facilidade de manipulação de peças.....	18
3.1.9	Projeto para estabilidade.....	20
3.1.10	Minimização da necessidade de ajuste .....	21
3.1.11	Otimização da sequência de montagem .....	21
3.2	<i>Poka-Yoke</i> .....	22

3.2.1	Tipos de erros .....	22
3.2.2	Cinco elementos de produção.....	22
3.2.3	Oito princípios básicos para implementação de <i>Poka-Yoke</i> .....	23
3.2.4	Dispositivos de <i>Poka-Yoke</i> .....	24
<b>4</b>	<b>ESTRUTURA ORGANIZACIONAL .....</b>	<b>25</b>
4.1	Engenharia Simultânea.....	25
4.2	Time de trabalho x Estrutura Organizacional.....	26
4.3	DFA x Engenharia Simultânea.....	27
<b>5</b>	<b>PROCESSO NA EMPRESA .....</b>	<b>29</b>
5.1	A empresa.....	29
5.2	Linha de Produção .....	33
<b>6</b>	<b>APLICAÇÃO.....</b>	<b>36</b>
6.1	Estudo de caso A .....	36
6.1.1.	Conjunto da pedaleira.....	36
6.1.2.	Análise de dados.....	37
6.1.3.	Aplicação na área de submontagem .....	42
6.1.4.	Comparação da confiabilidade do novo processo com o processo antigo .....	50
6.2.	Estudo de caso B .....	55
6.2.1.	Conjunto de tubulações de freio .....	55
6.2.2.	Análise de dados.....	55
6.2.3.	Aplicação na área de submontagem .....	56
6.2.4.	Comparação da confiabilidade do novo processo com o processo antigo .....	59
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>61</b>
	<b>ANEXO A.....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXO B.....</b>	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da aplicação no processo do projeto [4].....	10
Figura 2 - Exemplos de redução de peças [4].....	14
Figura 3 - Peças com características auto-fixadora .....	16
Figura 4 - Montagem empilhada e unidirecional [4].....	16
Figura 5 - Projetos de peças de autolocalização [4] .....	17
Figura 6 - Evitar materiais pontiagudos e flexíveis [4] .....	18
Figura 7 - Gráfico do tempo de manipulação em relação a espessura da peça [4].....	18
Figura 8 - Gráfico de tempo de manipulação em relação ao tamanho da peça [4] ....	19
Figura 9 - Evitar peças muito pequenas e escorregadias [4] .....	19
Figura 10 - Componentes assimétricas [4] .....	19
Figura 11 - Exemplos de aninhamento e emaranhamento [4].....	20
Figura 12 - Projetar furos ovais para evitar ajustes [4] .....	21
Figura 13 - Estrutura matricial balanceada.....	26
Figura 14 - Planta de São Caetano do Sul [5] .....	30
Figura 15 - Planta de São José dos Campos [5] .....	31
Figura 16 - Planta de Gravataí [5] .....	31
Figura 17 - Campo de Provas da Cruz Alta [5] .....	32
Figura 18 - Linha de produção .....	34
Figura 19 - Strike Plate.....	36
Figura 20 - Painel Dash .....	37
Figura 21 - Tempo padronizado da montagem da pedaleira .....	39
Figura 22 - Gráfico de tempo da montagem para determinada operação.....	39
Figura 23 - Pedaleira frontal retratando as regiões de difícil acesso .....	40
Figura 24 - Distância entre os flanges e o soquete da apertadeira.....	41
Figura 25 - Distância entre os flanges e o soquete da apertadeira.....	41
Figura 26 - Novo modelo .....	42
Figura 27 - Distância entre os flanges e o soquete da apertadeira.....	43
Figura 28 - Acesso livre para entrada da apertadeira .....	44
Figura 29 - Gráfico de tempo da montagem para nova operação.....	45
Figura 30 - Montagem do isolante e do pedal em área de trabalho separado .....	46

Figura 31 - Layout.....	47
Figura 32 - Gráfico de tempo da montagem para bancada principal .....	47
Figura 33 - Gráfico de tempo da montagem para bancada auxiliar .....	48
Figura 34 - Dispositivo de <i>Poka-Yoke</i> .....	49
Figura 35 - Dispositivo de <i>Poka-Yoke</i> .....	49
Figura 36 - Conjunto de tubulações de freio .....	55
Figura 37 - Dispositivo de <i>Poka-Yoke</i> .....	56
Figura 38 - Dispositivo de <i>Poka-Yoke</i> .....	57
Figura 39 - Presilha .....	57
Figura 40 - Torquímetro com transmissão AM e receptor [10] .....	58
Figura 41 - Exemplo de redução de componentes [4].....	63
Figura 42 - Redução de reorientações [4].....	63
Figura 43 - Evitar ajustes desnecessários [4] .....	64
Figura 44 - Exemplo prático de redução de componente .....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de autoveículos no Brasil a partir de 1957 à 2004 (em unidades) [2] .....	1
Tabela 2 - Número de habitantes por veículos [2] .....	2
Tabela 3 - Vendas internas nos anos de 1980 a 2004 (em unidades) [2] .....	29
Tabela 4 - Exportação de veículos por país nos anos de 1994 a 2003 (em mil unidades) [2].....	30
Tabela 5 - <i>PFMEA</i> do conjunto da pedaleira antes do estudo.....	53
Tabela 6 - <i>PFMEA</i> do conjunto da pedaleira depois do estudo .....	54
Tabela 7 - <i>PFMEA</i> conjunto tubulações do freio antes do estudo .....	59
Tabela 8 - <i>PFMEA</i> conjunto tubulações do freio depois do estudo .....	60
Tabela 9 - Critério de avaliação de severidade sugerido da <i>FMEA</i> de processo [14] ..	65
Tabela 10 - Critério de avaliação de ocorrência sugerido da <i>FMEA</i> de processo [14] .....	66
Tabela 11 - Critério de avaliação de detecção sugerido da <i>FMEA</i> de processo [14] ..	66

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

*DFMA* = Design for Manufacture and Assembly

*DFA* = *Design for assembly*

*DFM* = Design for Manufacture

GMB = General Motors do Brasil

JIT = Just In Time

*FMEA* = Failure Mode Effect Analysis

STDS = Standard Time Data System

Is = Índice de severidade

Io = Índice de ocorrência

Id = Índice de detecção

Ir = Índice de risco

RPN = Número de prioridade de risco

# 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

## 1.1 Introdução

As competições de mercado entre as principais montadoras de veículos de passeio estão a cada ano mais acirradas e todas elas visam três objetivos principais: a sobrevivência, o lucro, e a expansão. Com a finalidade de alcançá-los, as companhias precisam desenvolver seus produtos a baixo custo e com alta qualidade no menor prazo possível, satisfazendo a demanda do mercado.

A tabela abaixo pode mostrar o crescimento do ramo automobilístico no Brasil:

**Tabela 1 - Produção de autoveículos no Brasil a partir de 1957 à 2004 (em unidades) [2]**

ANO YEAR	AUTOMÓVEIS CARS	COMERCIAIS LEVES LIGHT COMMERCIALS	CAMINHÕES TRUCKS	ÔNIBUS BUSES	TOTAL TOTAL
Unidades / Units					
1957	1.166	10.871	16.259	2.246	30.542
1958	3.831	26.480	26.998	3.674	60.983
1959	14.495	41.959	36.657	3.003	96.114
1960	42.619	48.735	37.810	3.877	133.041
1961	60.205	54.886	26.891	3.602	145.584
1962	83.876	67.648	36.174	3.496	191.194
1963	94.764	55.397	21.556	2.474	174.191
1964	104.710	54.503	21.790	2.704	183.707
1965	113.772	46.456	21.828	3.131	185.187
1966	128.821	60.735	31.098	3.955	224.609
1967	139.260	54.421	27.141	4.665	225.487
1968	165.045	66.984	40.642	7.044	279.715
1969	244.379	63.073	40.569	5.679	353.700
1970	306.915	66.728	38.388	4.058	416.089
1971	399.863	73.840	38.868	4.393	516.964
1972	471.055	92.329	53.557	5.230	622.171
1973	564.002	110.810	69.202	6.362	750.376
1974	691.310	126.935	79.413	8.262	905.920
1975	712.526	128.895	78.688	10.126	930.235
1976	765.291	125.370	83.891	12.059	986.611
1977	732.360	73.637	101.368	13.828	921.193
1978	871.170	92.235	86.269	14.340	1.064.014
1979	912.018	110.065	93.051	12.832	1.127.966
1980	983.152	115.540	102.017	14.465	1.165.174
1981	585.834	105.264	76.350	13.393	780.841
1982	672.589	130.163	46.698	9.820	859.270
1983	748.371	106.390	35.487	6.206	896.454
1984	679.386	129.429	48.497	7.340	864.652
1985	759.141	134.411	64.769	8.385	966.706
1986	815.152	145.418	84.544	11.218	1.056.332
1987	683.380	148.847	74.205	13.639	920.071
1988	782.411	196.108	71.810	18.427	1.068.756
1989	730.992	205.008	62.699	14.553	1.013.252
1990	663.084	184.754	51.597	15.031	914.466
1991	705.303	182.609	49.295	23.012	960.219
1992	815.959	201.591	32.025	24.286	1.073.861
1993	1.100.278	224.387	47.876	18.894	1.391.435
1994	1.248.773	251.044	64.137	17.435	1.581.389
1995	1.297.467	239.399	70.495	21.647	1.629.008
1996	1.458.576	279.697	48.712	17.343	1.804.328
1997	1.677.858	306.545	63.744	21.556	2.069.703
1998	1.254.016	247.044	63.773	21.458	1.586.291
1999	1.109.509	176.994	55.277	14.934	1.356.714
2000	1.361.721	235.161	71.686	22.672	1.691.240
2001	1.501.586	214.936	77.431	23.163	1.817.116
2002	1.520.285	179.861	68.558	22.826	1.791.530
2003	1.505.139	216.702	78.960	26.990	1.827.791
2004	1.756.594	318.351	107.038	28.758	2.210.741

A tabela 1 apresenta que a produção de autoveículos vem aumentando de forma bastante intensa, principalmente a de automóveis de passeio que bateu recorde histórico de produção no território nacional, mais de um milhão e setecentos unidades em 2004.

Segundo Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, apontou que em 1993 o número de habitantes por veículo no país era de 11,1. Já em 2002 a relação diminuiu para 8,4, constatando-se que o crescimento da produção de veículos foi superior ao crescimento populacional (tabela 2).

Esses números ainda são muito altos se comparado com países desenvolvidos.

**Tabela 2 - Número de habitantes por veículos [2]**

PAÍS/COUNTRY	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Estados Unidos/United States	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2
Itália/Italy	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5
Austrália/Australia	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5	1,9	1,6
Japão/Japan	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7
Alemanha/Germany	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7
França/France	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7
Canadá/Canada	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,7
Espanha/Spain	2,4	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7
Reino Unido/United Kingdom	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8
Áustria/Austria	2,0	1,9	2,0	1,8	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9
Bélgica/Belgium	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9
Suécia/Sweden	2,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0
Rep. Tcheca/Czech Republic	3,4	3,6	3,0	3,2	2,6	2,5	2,7	2,4	2,4	2,5
Polónia/Poland	4,9	4,9	3,8	4,3	4,3	4,3	4,3	3,5	3,5	3,0
Coreia do Sul/South Korea	7,2	6,1	5,2	4,8	4,3	4,4	4,2	4,2	3,6	3,4
México/Mexico	7,8	7,5	7,5	7,9	7,4	7,0	6,8	6,6	6,1	5,3
Argentina/Argentina	5,2	6,0	5,9	5,8	5,7	5,5	5,5	5,5	5,2	5,4
BRASIL/BRAZIL	11,1	10,4	10,3	9,4	9,1	9,0	8,9	8,8	8,6	8,4

No entanto, o que acontece muito hoje é que a engenharia projeta um produto sem se preocupar com o número de peças e com a montagem final na fábrica, adicionando itens desnecessários para o funcionamento do veículo, implicando em custos evitáveis de armazenamento, manuseio e tempo de montagem.

Segundo Ashley (1995), a “*Douglas Commercial Aircraft Co*” descobriu que os custos de montagem, fabricação, garantia da qualidade, e até despesas gerais dependem, em muito, da quantidade de peças dos produtos fabricados pela empresa. Assim, começou a difusão de diversas metodologias de desenvolvimento de produtos como *Design for Manufacture and Assembly (DFMA)* – inicialmente originados na Europa na década de 70 do século passado – cujo objetivo é minimizar os custos de fabricação. Salienta-se que o presente trabalho abrangerá apenas o conceito de



*Design For Assembly (DFA)*, porém muitas vezes *Design for Manufacture (DFM)* será citado para melhor progressão do assunto.

A metodologia de *DFA* visa racionalizar a etapa de montagem por meio da redução do número de peças, analisando separadamente a função, forma, material e montagem de cada uma delas e, assim procura desenvolver um produto funcional, simples e com baixo custo de produção. Para Sousa (1998), *DFA* é uma das poucas metodologias que apresentam o potencial para fornecer uma avaliação quantitativa útil à equipe de projeto nos diversos momentos de tomada de decisão, e é praticamente a única metodologia que avalia a estrutura do produto de modo a simplificá-lo.

Prosseguir-se-á o projeto ora desenvolvido para o estudo da montagem do produto desejado. Aplicar-se-á, portanto, o conceito de *Poka-Yoke* no intuito de desenvolver processos de detecção e prevenção de erros, já que, em fábricas de produção em série, os erros e defeitos ocorrem durante o processo de montagem.

Segundo Shingo (1986), os seres vivos são “animais” distraídos e por isso estão sujeitos a cometer erros por desatenção. Como os dispositivos de *Poka-Yoke* são sistemas a provas de falhas que detectam 100% dos erros humanos, possibilitam a sua prevenção. Além disso, essas ferramentas assumem as tarefas repetitivas e ações que dependem da memória do operador permitindo, desta forma, o redirecionamento da força humana para ações mais criativas ou aquelas que agregam valor.

## **1.2 Objetivo do trabalho**

As complexidades das peças projetadas nos campos industriais, hoje em dia, estão se tornando cada vez mais elaboradas. Isso significa que a demanda de uso de metodologias de sistemas de qualidades do produto estão sendo mais estudadas para atender as exigências dos clientes. Entretanto, não é qualquer empresa que está pronta para receber esses sistemas, por causa de diversas resistências encontradas no vício do ser humano quando defronta com assuntos novos e desconhecidos.

A partir da necessidade do mercado mundial o objeto de estudo da primeira parte será então introduzir definições, conceitos e princípios das teorias de *Design for*

*Assembly* e *Poka-Yoke* no processo de montagem em geral e fatores necessários que a empresa necessita para garantir o sucesso da implementação do sistema nas fábricas.

Na segunda parte, estudar-se-á apresentando a condição sobre os problemas existentes na fábrica. Uma breve apresentação da condição física e organizacional da empresa onde se aplicará a metodologia. Na próxima etapa se procurará levantar dados concretos nas estações de montagem de subconjuntos e propondo-lhes soluções de melhoria contínua construindo novos dispositivos de *Poka-Yoke* para evitar erros.

### 1.3 Importância da pesquisa

Andreasen; Kahler; Lund (1988) indicam que a montagem era responsável por 25 a 50% do custo e por 40 a 60% do tempo total de produção da maioria dos manufaturados da década de 80, e para índices de hoje pouco se modificaram.

Conforme Boothroyd (1994) projetos simplificados resultantes do uso das técnicas do *DFA* muitas vezes levam à redução no custo das peças, significativamente maior que no custo de montagem. O projeto de fixações também se torna mais simples. Outras vantagens, mais difíceis de quantificar, incluem reduções do trabalho indireto, redução no custo da produção, melhoria na confiabilidade do produto, além dos aperfeiçoamentos no manuseio de materiais e na capacidade de espaço, que muitas vezes é bastante restrito.

Para professor Miyake (2004) o custo dos defeitos é proporcional ao momento da sua identificação, ou seja, quanto mais demorado a identificação, maior o custo conseqüente para uma empresa.

Então, para Shingo (1986), o objetivo é evitar a produção e propagação do erro e defeito.

O sistema de *Poka-Yoke* enfatiza alguns princípios para evitar ocorrência de falhas como a eliminação, substituição, facilitação, detecção e mitigação.

Apenas pelas breves citações acima já se pode perceber a importância ao adotar esses conceitos. As aplicações delas visam, portanto, em reduzir tempo de projeto e reduzir custo que muitas vezes podem chegar a metade dos custos do projeto original. *DFA* atua durante o desenvolvimento do projeto e *Poka-Yoke*

durante o desenvolvimento e durante os processos na fábrica evitando custos de retrabalhos.

## 2 CONCEITOS DAS TEORIAS

### 2.1 História de DFA

Os conceitos da metodologia de *Design for Manufacturability and Assembly* são conhecidos e aplicados a mais de 180 anos, quando, nesta época, Eli Whitney, que trabalhava para o governo norte-americano, recebeu a incumbência de desenvolver sistema de manufatura de armas. Ele criou uma produção com peças intercambiáveis que substituiu a fabricação manual, onde nenhuma arma era igual à outra e as peças não podiam ser trocadas. Whitney re-projetou cada peça com uma tolerância limitada e dimensões específicas e padronizadas (Rodrigues, 2002).

Décadas mais tarde, Henry Ford, com o seu automóvel “Model T”, desenvolveu um revolucionário sistema de montagem, onde os veículos eram manufaturados manualmente em uma linha de produção, com peças padronizadas e projetadas para atender este processo. Deste modo, Ford atingiu um excelente resultado reduzindo custos de fabricação com alta confiabilidade, qualidade e simplicidade, tornando-se, então, um dos mais famosos engenheiros do setor automotivo.

O *Design for Assembly* surgiu, tempos depois, com Geoffrey Boothroyd que ampliou a metodologia do *Design for Manufacturability* para a montagem automática, projetando o produto de forma que pudesse atender esta nova condição. O DFA, além de atender o processo automático, passou também a facilitar a montagem manual dos componentes.

Em 1968, Boothroyd junto com A. H. Redford publicaram o livro “*Mechanized Assembly*” em que escreveram um guia para engenheiros e projetistas com as técnicas para desenvolvimento de um produto, atendendo as condições necessárias para a montagem automática e manual.

Boothroyd ficou bastante conhecido ao lado de outro colega Peter Dewhurst, pela enorme contribuição que esta técnica trouxe para o desenvolvimento de produtos. A aplicação da metodologia DFA pode ser considerada como a mais significativa redução de custos e simplificação de produtos de todo *Design for Manufacturability*.

## 2.2 *Design For Assembly (DFA)*

*Design For Manufacturability (DFM)* é desenvolver um produto que atenda todos os requisitos funcionais, tenha baixo custo de produção e que também seja de fácil manufatura. Essa técnica é composta por vários princípios, conceitos, regras e recomendações que guiam o projetista para o desenvolvimento do melhor produto do ponto de vista da sua fabricação.

*Design For Assembly* tem por objetivo racionalizar a etapa de montagem por meio da redução do número de peças, analisando separadamente a função, a forma, material e montagem de cada uma delas, desenvolvendo um produto funcional, simples e com baixo custo de produção (Rodrigues, 2002).

Boothroyd (1994) diz que “*Manufacturability*” deve ser entendida como operação de fabricar um componente individual, enquanto que “*Assembly*” é a montagem de mais de um componente para formar o produto final; portanto, *DFM* e *DFA* devem ser entendidos e aplicados de maneira distinta. Porém, sempre que possível, *DFM* e *DFA* devem ser aplicados simultaneamente, visando reduzir a complexidade tanto da fabricação como da montagem do produto final, evitando, desta forma, que *DFM* dificulte o processo de montagem através das modificações sugeridas, impedindo a plena aplicação do *DFA*.

Assim, um efetivo *DFA* causa maior eficiência da montagem dos diversos componentes, reduzindo a quantidade de peças e aumentando a qualidade do produto final.

Outras consequências são:

- Simplificação dos processos de montagem;
- Redução das operações de manipulação;
- Possibilidade de maior padronização e modularização dos produtos;
- Menor número de passos e ajustes de processamento;
- Menor quantidade de pontos / superfícies de encaixe;
- Redução de problemas de tolerância.

Vê-se, portanto, que a importância de se eliminar componentes não essenciais, principalmente os fixadores separados (parafusos, rebites, etc), leva o time de projeto a desafiar os limites impostos pelos materiais e processos disponíveis (tecnologia) e procurando inovar soluções mais adequadas.

### 2.3 Causas da não implementação de *DFA*

Segundo Boothroyd (1994), existem diversas razões para a empresa não implementar o conceito de *DFA*, como as das resistências humanas ao se encontrar com mudanças, estas últimas de vez em quando radicais, e recusando o grande potencial de melhoria que *DFA* pode gerar.

A seguir apresentam-se algumas razões e respostas utilizadas:

- Falta de tempo: É muito normal que os projetistas reclamem da falta de tempo na execução do produto e que precisam minimizar o tempo de projeto. A verdade é que a implantação do *DFA* no projeto realmente aumenta o tempo nas fases iniciais do projeto, porém traz benefícios nas fases posteriores, reduzindo-se o tempo do processo total;
- Baixo volume: Quando se tem baixo volume de produção o *DFA* também deve ser aplicado, pois para produtos de montagem mais complexa, mesmo de baixo volume, pode reduzir custos de montagem e economizar tempo;
- Baixo custo de montagem: Também se ouve muito que o custo de montagem já é baixo na produção. No entanto, o *DFA* não estuda apenas a montagem, mas também o produto, no qual pode ser modificado com estudo de *DFM*, reduzindo custos do projeto;
- Resistência humana: Muito cuidado quando se propõe conceitos novos para os engenheiros, projetistas e outros. Eles podem achar que os trabalhos deles estão ruins, por isso a empresa quer a implementação do *DFA*. Portanto, a idéia da implantação do *DFA* deve vir deles;
- Prefiro regras de *Design*!: As regras de *Design* podem guiar os projetistas para direções erradas. Geralmente, as regras forçam a criar produtos com geometria mais simples para manufaturá-los. Porém, este pensamento pode levar no final a maiores custos finais pela complicação da estrutura do produto e pela má projeção de montagem das peças. Então, *DFMA* une os conceitos guiando o projetista a produtos mais simples e efetivos para processos de montagem resultando na redução de custos.

## 2.4 Conceito de *Poka-Yoke*

O objetivo de uma empresa é nunca produzir erros ou defeitos e muito menos propagá-los. As estratégias adotadas para Zero Defeito segundo Shingo (1986) são:

- a) Não:
  - ❖ Produzir produtos que não sejam necessários;
  - ❖ Movimentar produtos desnecessariamente;
  - ❖ Manter estoques desnecessários.
- b) Produzir detectando erros ou possíveis anormalidades através da:
  - ❖ Padronização;
  - ❖ Auto-controle;
  - ❖ CEP (Controle Estatístico de Processo);
  - ❖ Automação e Jidohka (Autonomação);
  - ❖ Poder de parar fluxo do processo;
  - ❖ ***Poka-Yoke***.

O conceito de *Poka-Yoke* já existe há muitos anos e foi inicialmente desenvolvido pelo engenheiro japonês Shigeo Shingo que serviu como uma ferramenta extremamente útil para atingir Zero Defeito. Em japonês *Yokeru* significa evitar e *Poka* é erros, ou seja, dispositivos que evitam erros ou mais conhecidos como métodos à prova de erros.

A palavra “à prova de erros” significa impossibilitar que peças, ferramentas e equipamentos possam ser usados de forma imprópria.

Muitos erros estão a surgir em um ambiente de produção todos os dias, e quando defeitos são produzidos denota-se desperdício. Quando não é descoberta a causa não é possível atender os requisitos dos clientes mais exigentes, diminuindo a qualidade do produto.

Assim a finalidade do *Poka-Yoke* é detectar e prevenir erros no processo, afim de que os defeitos possam ser eliminados na fonte, assegurando a qualidade já na estação de trabalho. Logo, detectando e prevenindo erros, conseqüentemente se elimina desperdícios, reduzindo, por fim, os custos de produção.

## 2.5 Desenvolvimento dos conceitos durante o projeto

Tanto para Boothroyd (1994) como para Shingo (1986) os dois conceitos devem ser aplicados com maior ênfase no início da fase conceitual do projeto, pois assim os custos de mudanças são mais baixos e o tempo de duração do projeto pode ser reduzido, disponibilizando o produto mais rápido para o mercado e com preço mais baixo. Ao contrário de quando o produto já está desenvolvido, os custos para modificações são extremamente mais altos e mais difíceis para eventuais mudanças.

A figura a seguir mostra a aplicação do *DFA* e *Poka-Yoke* no processo do projeto.

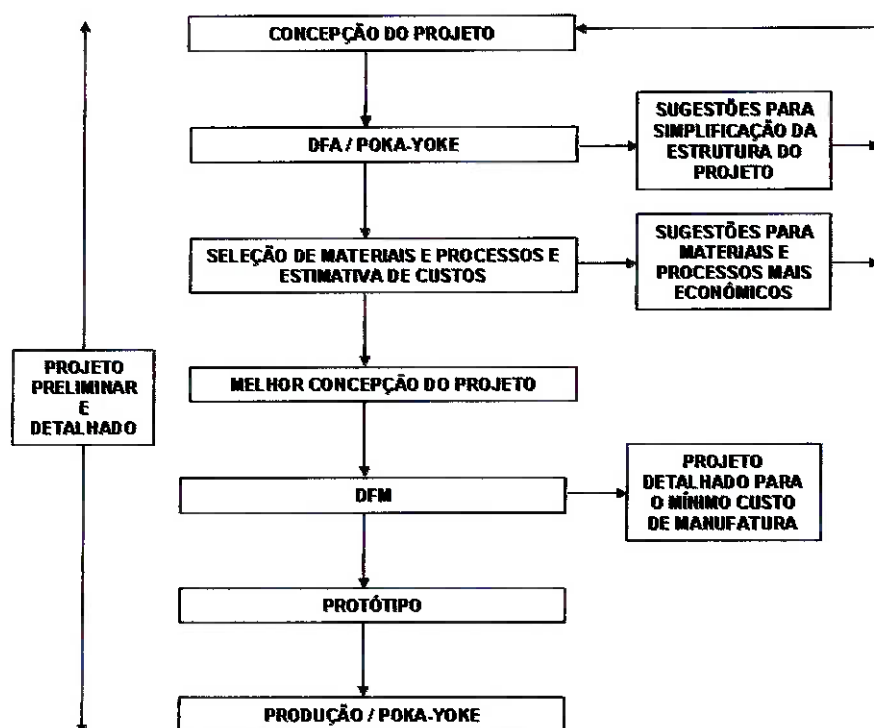


Figura 1 - Estrutura da aplicação no processo do projeto [4]

Durante o projeto conceitual, as técnicas de *DFA* são utilizadas para avaliar quais das concepções alternativas são viáveis para serem detalhadas no projeto preliminar. Deve-se dar atenção a informações sobre manufatura, material, produto e montabilidade (Rodrigues, 2002).

Deve-se analisar, ainda nesta fase do projeto, se as alternativas apresentadas até este ponto atendem aos requisitos de funcionalidade do produto e aos requisitos



de manufatura e montagem. Definições detalhadas do projeto como geometria, material, etc., serão discutidas durante o projeto preliminar e detalhado.

A implementação do *DFA* somente é possível com a engenharia simultânea. Este conceito será apresentado no capítulo 4.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Princípio do *Design For Assembly*

Na indústria automobilística normalmente é constituído por vários componentes que são unidos em uma seqüência exata. A tarefa de construção do produto, a partir dos componentes pronto ou semi-prontos, é o que se define como montagem, segundo Sousa (1998).

Em um conceito bastante lógico, a melhor maneira de reduzir os custos de montagem é reduzindo números de peças e custo do material, e garantindo que os componentes remanescentes sejam fáceis de montar e de produzir.

No processo de montagem, as peças se combinam entre si para formar o produto final. Este processo pode ser dividido em três funções básicas: manipulação, composição e conferência; além de envolver algumas tarefas especiais como empacotamento, ajustagem, tratamento de superfície, etc. Segundo Andersen; Kahler; Lund (1988), define-se as funções básicas como:

- Manipulação: é a função de posicionar dois ou mais objetos em uma determinada posição relativa; engloba a captação, orientação e transporte dos objetos. Isso significa que é um processo de seleção e preparação dos componentes para a composição ou conferência, e transporte para os sistemas seguintes de produção, montagem ou embalagem;
- Composição: é a função de assegurar esta posição relativa contra efeitos externos. Seu objetivo é criar uma conexão permanente entre os componentes. Este processo pode ser alcançado através da forma, força ou material;
- Conferência: é a função de certificar se as etapas acima estão sendo executadas conforme especificado. Ou seja, são processos pelos quais a presença e posição dos componentes são conferidas em adição à qualidade do produto acabado. Caso ocorra a necessidade de operações adicionais de manipulação e composição como consequência da conferência, pode-se chamá-las de ajuste.

Um sistema de equipamentos podem ser integrado para atender algumas funções de montagem. Os diferentes tipos de montagem são:

- Montagem manual: executada por operários que utilizam equipamentos auxiliares simples e / ou passivos, como por exemplo, mesas, fixadores e ferramentas;

- Montagem automática: composta de um sistema de equipamentos que segue um programa lógico pré-definido;
- Montagem mecanizada: realizada por um sistema de montagem híbrido, onde algumas operações são realizadas manualmente. Pode-se falar em sistemas semi-automáticos para o caso de equipamentos programáveis manualmente;
- Montagem flexível: quando o sistema de montagem permite variações de determinadas características do produto através da modificação ou adaptação de algumas operações.

No *DFA*, outros aspectos também são considerados, tais como: projeto para a flexibilidade, racionalização funcional, processos de alimentação, aperto e inserção, e suas relações estruturais. O time de projeto realiza decisões envolvendo: a estrutura do produto, o número de peças, a geometria dos componentes, os métodos de união, as tolerâncias de montagem, composição de superfícies e materiais.

Os princípios de *DFA* estão relacionados à minimização do custo da montagem dentro das restrições impostas pela necessidade de atender encaixe, forma e função da montagem. Estas restrições podem ser humanas, mecânicas ou referente à sequência de montagem e desmontagem. Segundo Boothroyd (1994), a melhor maneira de alcançar essa minimização é através dos princípios apresentados nos subitens abaixo.

### 3.1.1 Minimização do número de peças

Uma grande vantagem do *DFA* é a redução de número de componentes do produto que está sendo desenvolvido. Assim, sempre que possível, as peças devem ser combinadas como mostra a figura 2:

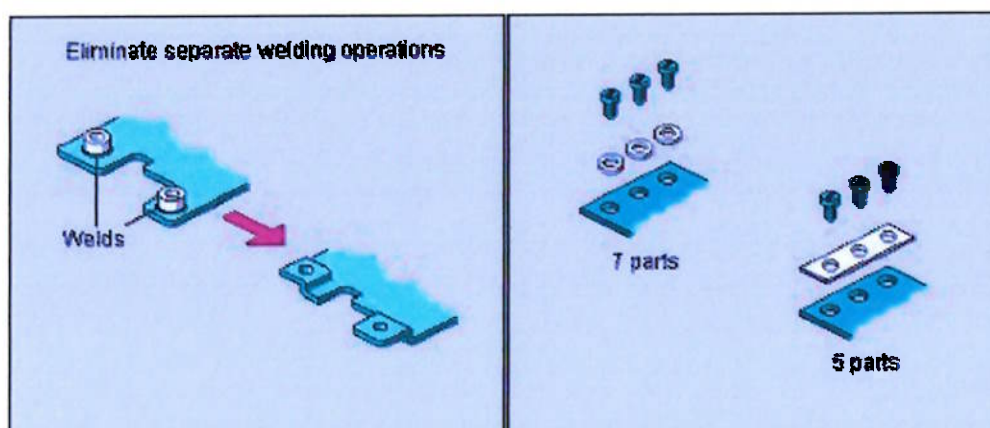


Figura 2 - Exemplos de redução de peças [4]

Para Boothroyd (1994) devem-se fazer as seguintes perguntas para verificar se pode reduzir as peças no produto:

- i) Este componente é realmente necessário?
- ii) Estes componentes podem ser combinados?

Caso a resposta seja negativa significa que os componentes devem permanecer separados pelas seguintes causas:

- a) As peças têm movimento relativo entre si;
- b) Funções e propriedades diferentes que requerem materiais diferentes;
- c) Para permitir desmontagem do conjunto e ter acessos a outras peças;
- d) Restrições de manufatura.

Este princípio é o mais evidente e importante de todos deles, pois causa impactos relevantes posteriores como redução de tempo de montagem, custo do produto, controle de produção e inventário, número de equipamentos para manuseio e despesas gerais.

### **3.1.2 Montagem modular ou com componente-base**

A montagem modular ou componente-base é o princípio que usa apenas uma única base sobre a qual todos os outros componentes serão montados. Sem esta base, a montagem pode consistir em trabalho sobre muitas montagens, cada uma com suas necessidades de manipulação e composição e a montagem final requerendo extensivo reposicionamento e rearranjo. Usando este conceito podem-se diversificar produtos a partir da combinação de módulos intercambiáveis e funcionalmente independentes. Isso traz maior agilidade e flexibilidade.

### **3.1.3 Padronização dos componentes**

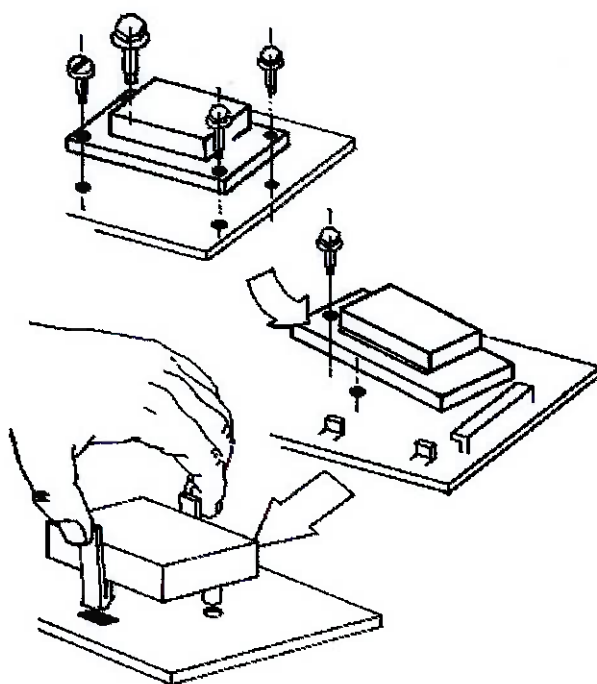
Aplicando a padronização dos componentes reduz as variações desnecessárias dos produtos. Caso contrário implicaria no aumento do inventário, elevando a necessidade de treinamento da mão-de-obra aumentando as tarefas da manufatura. Todos esses fatores diminuem a qualidade e confiabilidade do produto, encarecendo o produto.

Sempre que possível a padronização deve ser utilizado, ainda mais quando se trata de elementos de fixação, afim de reduzir número de ferramentas na linha de produção veicular.

### **3.1.4 Projeto de peças com características auto-fixadoras**

Projetar as peças com características auto-fixadoras no produto é sempre útil, pois reduz números de elementos fixadores como parafusos, porcas, arruelas e rebites. Todos estes elementos não agregam valor para o produto. Porém, não são todos os produtos que podem ter essa característica. Se a fixação necessita de esforços relativamente altos, deve-se usar soldas, rebites entre outros.

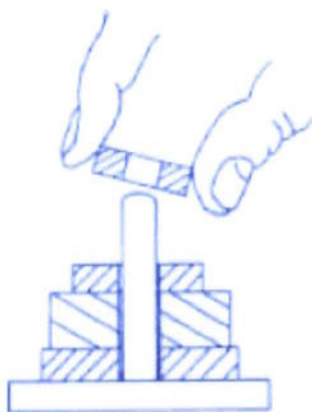
É importante também considerar a desmontagem, sendo que encaixes do tipo *snaps* são mais fáceis para desmontar, enquanto que parafuso e porcas são mais difíceis, e adesivos e soldas são difíceis. A figura 3 mostra um exemplo de peças com elementos auto-fixadoras:



**Figura 3 - Peças com características auto-fixadora**

### **3.1.5 Montagem empilhada ou unidirecional**

No desenvolvimento de um produto deve-se sempre preferir uma montagem unidirecional, como mostrada na figura 4. De preferências sempre de cima para baixo, no movimento descendente. A montagem empilhada ou unidirecional reduz o número de reorientações do componente durante a sua montagem, facilitando o processo. A figura abaixo também mostra montagem empilhada e unidirecional:



**Figura 4 - Montagem empilhada e unidirecional [4]**

### 3.1.6 Projetar peças com características de autolocalização

Projetos de peças com características de autolocalização implicam em uma montagem mais precisa, sem reorientações, sem ajustes, rápida e fácil. Esse princípio reduz treinamentos dos operadores, simplifica o processo, e assegura que o desempenho do produto não será prejudicado, gerando aumento de qualidade e redução no tempo de montagem. Utilizando esse projeto pode-se também permitir que a montagem seja automática, ou seja, feita por robôs ao invés de homens.

A implementação das características autolocalizadoras pode ser feito através de chanfros, alargamento de folgas/tolerância, rebaixas etc, como apresentada na figura 5.

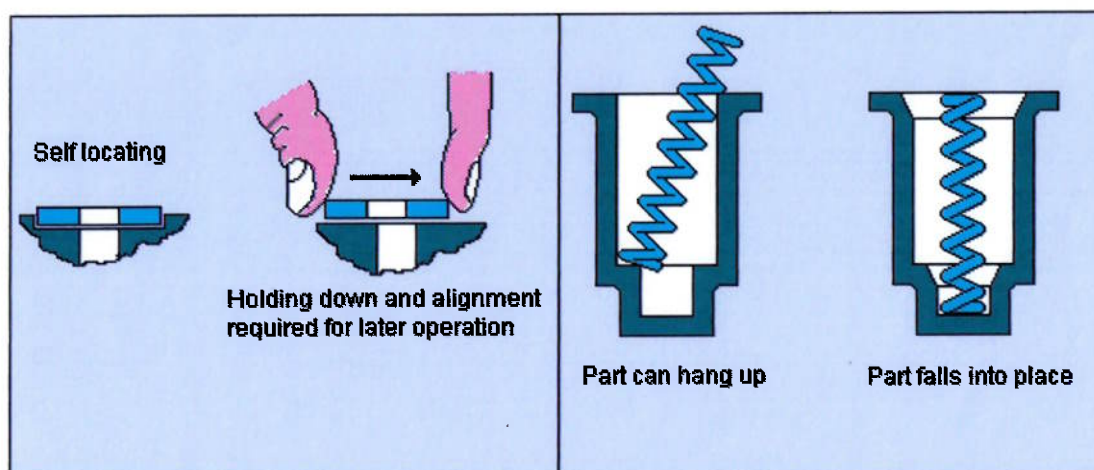


Figura 5 - Projetos de peças de autolocalização [4]

### 3.1.7 Minimização de níveis de montagem

Sempre que permitir os componentes devem ser agrupados em submontagens para melhorar a flexibilidade na programação e no planejamento do processo de montagem. Portanto, a sequência de montagem pode ser planejada ou eliminada para minimizar a perda de tempo na mudança de ferramental.

Reduzindo os níveis de montagem, ou o número de submontagens em um processo, simplifica-se as especificações, documentação e o layout da fábrica, aumentando espaço físico para otimizar operações da linha de produção.

Este projeto diminui o manuseio do estoque, a quantidade de ferramentas na linha de montagem, reduz o número de estações da linha de processo implicando no aumento da qualidade do produto final.

### 3.1.8 Facilidade de manipulação de peças

Desenvolver peças com peso reduzido, facilidade de manipulação reduz o tempo de montagem do operador, pois não há necessidade de manipuladores e facilita a montagem.

Os principais fatores que afetam a manipulação são:

- Geometria: pode ser simplificada pelo emprego de formas regulares;
- Rigidez: evitar materiais macios, moles, pontiagudos ou frágeis;

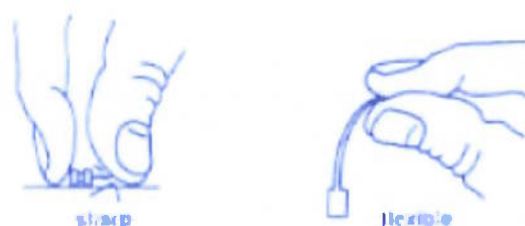


Figura 6 - Evitar materiais pontiagudos e flexíveis [4]

- Peso: evitar peças pesadas;
- Tamanho: não utilizar componentes nem muito pequenos nem muito grandes. A figura 7 mostra o tempo que se perde quando o material é muito pequeno;

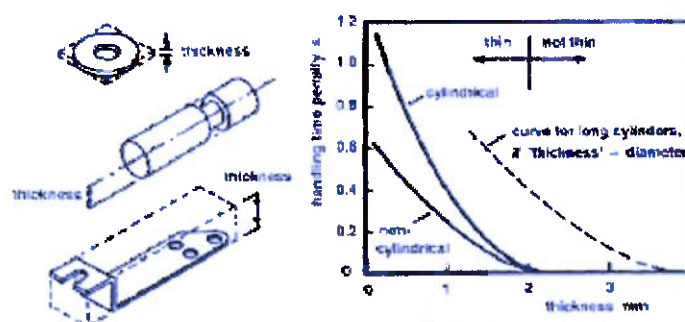


Figura 7 - Gráfico do tempo de manipulação em relação a espessura da peça [4]



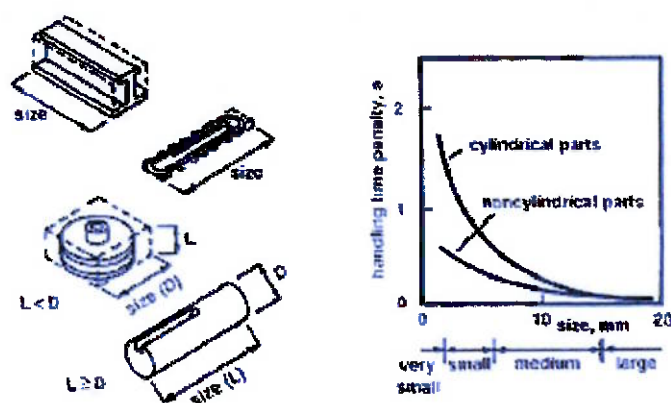


Figura 8 - Gráfico de tempo de manipulação em relação ao tamanho da peça [4]

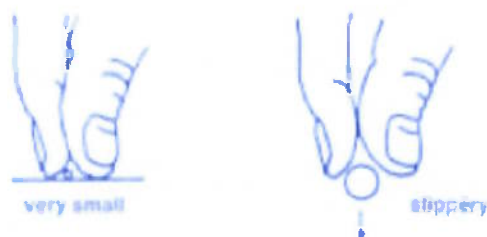


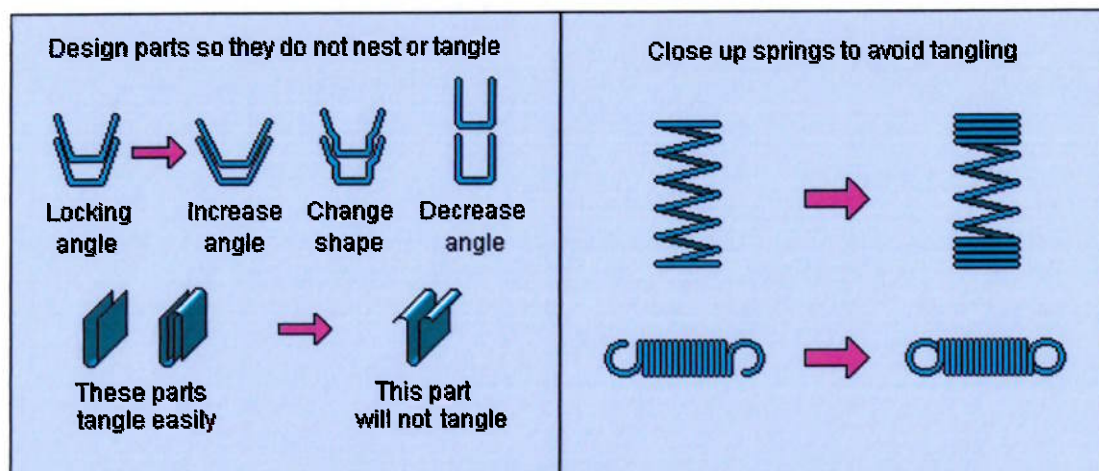
Figura 9 - Evitar peças muito pequenas e escorregadias [4]

- Simetria: não utilizar peças simétricas para reduzir orientações das mesmas;



Figura 10 - Componentes assimétricas [4]

- Não utilizar peças que se aninham ou emaranham;



**Figura 11 - Exemplos de aninhamento e emaranhamento [4]**

- Usar furos ovais para evitar ajustes;
- Usar propriedades elásticas dos plásticos como uma vantagem;
- Facilitar o acesso ao componente, maximizando o espaço disponível;
- Evitar peças que necessitem ser manipuladas por duas ou mais mãos; ou dois operadores.

### **3.1.9 Projeto para estabilidade**

Desenvolver componentes para a estabilidade é projetar peças que não sejam sujeitos a movimentos durante a montagem. Assim, o operador não precisa perder tempo se preocupando em equilibrar componentes que podem cair durante o processo. Com o projeto para estabilidade o operador garante que a peça permanecerá imóvel repousando firmemente na correta orientação para montagem.

### 3.1.10 Minimização da necessidade de ajuste

A redução, ou eliminação, de ajustes durante a montagem diminui o tempo de processo, facilita a manufatura e aumenta a qualidade e confiabilidade do produto final. A figura 12 mostra que com o furo oval o operador não necessita de ajuste:

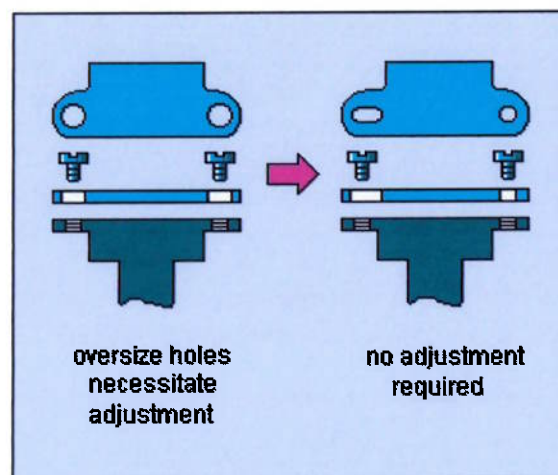


Figura 12 - Projetar furos ovais para evitar ajustes [4]

### 3.1.11 Otimização da seqüência de montagem

A otimização da seqüência de montagem é importante para redução de custo e de espaço físico na fábrica. E está seqüência pode ser determinada através da seqüência de desmontagem. Segundo Sousa (1998), duas suposições podem ser feitas:

i) Desmontagem é um processo no qual cada peça pode ser retirada da estrutura, sem prejudicar a estrutura da submontagem;

ii) A seqüência de montagem é o reverso da seqüência de desmontagem.

Quanto mais otimizado for, melhor será a manufatura do produto, facilitando a montagem e redução de tempo. Uma seqüência eficiente é possuir menor número de passos, evitar risco de danificar as peças e evitar posições instáveis ou inseguras para o produto, operador ou equipamentos durante o processo de montagem.

### **3.2 *Poka-Yoke***

#### **3.2.1 Tipos de erros**

Antes de mostrar a idéia de conceito de *Poka-Yoke* é necessário entender quais são os erros existentes em uma planta fabril. A maioria dos erros são cometidos pelos seres humanos. No entanto, existem diversos tipos de erros humanos, existem ao menos dez tipos como apresenta abaixo (SHINGO, 1988):

a) Desatenção do operador no trabalho e esquece de montar uma peça. Medidas preventivas: Alertar o operador em checar os processos em intervalos pré-determinados.

b) Falta de compreensão do processo. Medidas preventivas: Treinamento especializado e atenção no trabalho.

c) Erros de identificação. Medidas preventivas: Treinamento e atenção no trabalho.

d) Falha por motivos de trabalho lento e/ou desacelerado. Medidas preventivas: Trabalho padronizado e treinamento especializado.

e) Erros por falta de padronização. Medidas preventivas: Trabalho padronizado e instruções de trabalho.

f) Falhas supresas, como falhas por falta de calibração. Medidas preventivas: Trabalho padronizado e manutenção de equipamentos.

g) Erros intencionais. Medidas preventivas: Educação e disciplina.

As falhas ocorrem por várias razões, mas na sua maioria pode ser evitado se identificado a causa do problema e tomar providências para preveni-las usando métodos de *Poka-Yoke* e medidas preventivas como mostrada na lista acima.

#### **3.2.2 Cinco elementos de produção**

O alvo de todas as plantas de manufatura é produzir seus produtos ao gosto do cliente, ou seja, sem defeitos. Olhando para o dia-dia da fábrica pode-se encontrar que para responder às instruções (Informação) que lhe são enviadas, peças e materiais (Material) precisam ser obtidas e preparadas no equipamento (Máquinas), aonde operadores (“Me”) processam o produto com procedimentos de operações padronizados (Métodos) (SHINGO, 1988).

Esses cinco elementos (4M e 1I) determinam se o produto é corretamente manufaturado ou se é produzido com defeito. A fábrica só mantém a qualidade assegurada controlando cada um desses elementos.

### **3.2.3 Oito princípios básicos para implementação de *Poka-Yoke***

#### **1. Qualidade no processo**

Faça com que os processos sejam impossíveis de montar errados, e faça bem feito.

#### **2. Erros e defeitos podem ser eliminados**

Deve-se assumir que erros podem ser evitados. Sempre existem métodos para eliminá-los.

#### **3. Pare de fazer errado e comece a fazer corretamente – agora!**

Elimine todos “porém” como se ouve com frequência as frases do tipo “Nós sabemos que esse não é o certo, porém....”

#### **4. Não pense em desculpas e pense em como fazer direito**

Ao invés de pensar em desculpas, pense em como fazer os processos de forma correta.

**5. 60% de chances de sucesso somos suficientes – implemente a sua idéia agora!**

Analise a causa e pense na solução. Se a solução tem a possibilidade de 60% de chance de sucesso, implemente rapidamente. Mudanças e detalhes na solução podem ser trabalhadas depois da implementação da idéia.

**6. Erros e falhas podem ser reduzidos a zero quando todos trabalharem para eliminá-los**

Quando uma planta almeja zero de defeitos e zero de falhas não pode ser atingido por uma única pessoa. É importante que todos os funcionários da empresa trabalhem juntos para eliminá-los.

#### **7. Dez pensando é melhor do que um**

O *brainstorm* de cada indivíduo é importante, mas a sabedoria e a criatividade que surgem entre dez pessoas são mais valiosas. Portanto, o trabalho em time é a chave da eficiência das melhores idéias.

#### **8. Procure a causa do problema usando os 5P's e um C**

Quando um defeito ocorre, deve-se estudar primeiramente a raiz da causa do problema perguntando “Por que ocorreu este defeito?” e através da resposta, pergunte novamente “Por quê?”. Pergunte “Por quê?” pelo menos cinco vezes para descobrir o motivo do defeito ou falha. Assim, por final, pergunte “Como deverá ser consertado?” e implemente a solução em prática.

### **3.2.4 Dispositivos de *Poka-Yoke***

Existem diversas formas de evitar erros. Podem-se classificar os dispositivos à prova de erros em:

- i. Instrumentos de detecção são instrumentos (sensores) que detectam alguma anomalia ou falha no processo e pára a linha de montagem;
- ii. Ferramentas restritivas asseguram a presença e a correta posição das peças para permitir que o processo se inicie;
- iii. Dispositivos de sinalização alertam o operador que uma anormalidade ocorreu, capacitando-o a tomar as medidas corretivas necessárias para restabelecer as condições normais de funcionamento;
- iv. Dispositivos para seleção de modelos identificam imediatamente o modelo que será processado e ajusta os parâmetros do equipamento que executará a operação;
- v. Indicadores visuais podem ser através de código de cores que indica um tipo de alerta visual que otimiza a capacidade do operador de reconhecer ou instalar uma determinada peça ou ferramenta; ou via instruções na tela que são geralmente relacionadas aos procedimentos de testes e visam assegurar que todos os passos e a correta seqüência do teste serão executados.

## 4 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

### 4.1 Engenharia Simultânea

A metodologia *DFA* só pode ser alcançada quando se associa a metodologia da Engenharia Simultânea.

Para Rodriguez (2002), o desenvolvimento de um novo produto ou a mudança de um já existente, não são tarefas fáceis para os projetistas. Assim, os engenheiros devem analisar vários pontos importantes, não apenas do produto, mas também para da manufatura, vendas, serviços de pós-vendas, qualidade, etc. Porém, ninguém possui conhecimentos suficientes para atender todos os assuntos das áreas envolvidas.

Nesse caso, a técnica da Engenharia Simultânea tem o principal objetivo de formar um time de projeto com pessoas de diversos departamentos, com especialidades diferentes e de mesma importância. Pode-se misturar engenheiro de desenvolvimento de produto, engenheiro de manufatura, de manuseio, de planejamento, de processos, e pessoal de *marketing*, vendas e entre outros.

Com pessoas interdepartamentais e aproveitando das diferentes experiências de cada indivíduo podem resultar em otimização do processo do desenvolvimento do produto que atendam requisitos funcionais, técnicos, de manufatura e etc.

Lembrando que o fato da comunicação interdepartamental ter ocorrido uma evolução, não significa que existam empresas onde o produto é desenvolvido apenas pela engenharia de produto sem nenhuma participação de outras áreas.

As vantagens de implantar a metodologia de Engenharia Simultânea são:

- Redução de custos, pois os problemas são encontrados com mais facilidade e em menor tempo durante o desenvolvimento do projeto em que os custos de modificações ainda não elevados;
- Redução no prazo de desenvolvimento e planejamento da produção, uma vez que duas etapas acontecem simultaneamente;
- O produto final é considerado de melhor qualidade e desempenho devido miscigenação de diferentes pontos de vista;

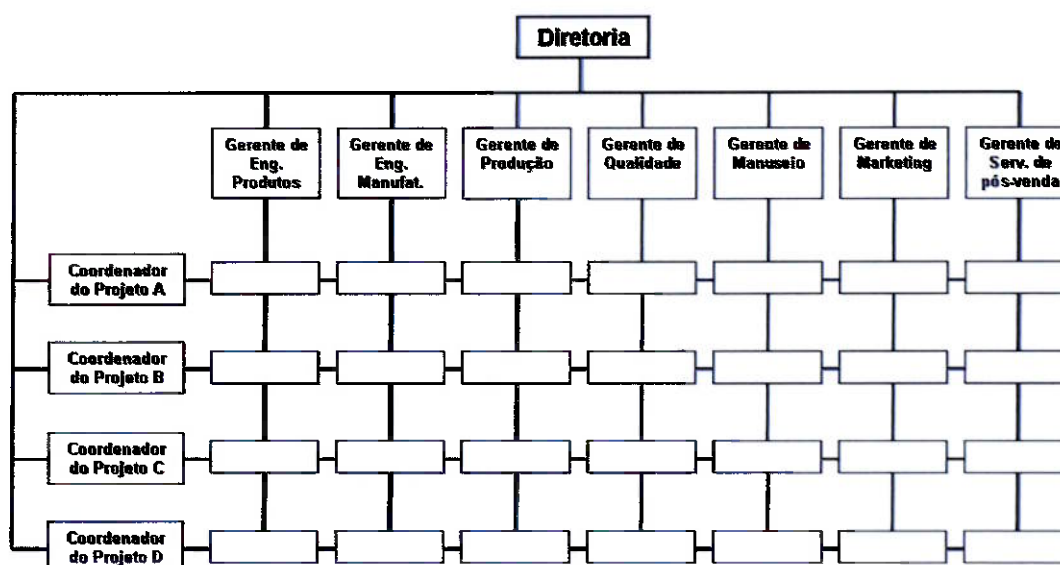
- Maior compatibilidade entre a engenharia de produto e a engenharia de manufatura, já que o produto deve ser compatível com a linha de produção existente na empresa.

Algumas desvantagens para implantar a metodologia são:

- Dificuldade de gerenciar times de trabalho em relação a projetistas individuais;
- Dificuldade de algumas pessoas trabalharem em grupos compostas por especialista de outras áreas a não ser engenharia;
- Custo para reunir grupo de especialistas no desenvolvimento do projeto;

## 4.2 Time de trabalho x Estrutura Organizacional

Para utilizar a Engenharia Simultânea é necessário haver uma estrutura organizacional diferente das tradicionais. O time de trabalho deve ser dividido em funcional e matricial como mostra um exemplo na figura abaixo:



**Figura 13 - Estrutura matricial balanceada**

Segundo Vasconcellos (1997), a estrutura matricial serve como solução devido à inadequação da estrutura funcional para as atividades integradas, isto é, aquelas que para serem realizadas exigem interação entre as áreas funcionais. A



Matriz é a forma de manter as unidades funcionais criando relações horizontais entre elas.

Pode-se definir como Matriz balanceada aquela estrutura matricial que apresenta as seguintes características:

- Os gerentes de projeto e gerentes funcionais têm o mesmo nível hierárquico e graus de autoridade semelhantes, embora em áreas diferentes;
- Todos os gerentes de projeto interdisciplinares somente gerenciam projetos, não ocupando simultaneamente cargos funcionais;
- A comunicação entre o gerente de projeto e a equipe técnica do projeto é sempre direta, sem passar através dos gerentes funcionais.

As vantagens ao implementar estrutura matricial são: o cumprimento dos prazos acontece com maior precisão, qualidade técnica do projeto, maior controle no orçamento do projeto, satisfação no trabalho e desenvolvimento de capacitação técnica na organização.

As principais desvantagens são: maiores chances de ocorrer conflitos, pois na Matriz balanceada a divisão de autoridade é bastante equilibrada, e não é eficiente no uso dos recursos, podendo existir a probabilidade de duplicação de atividades.

### **4.3 DFA x Engenharia Simultânea**

Para aplicar *DFA*, a ferramenta da Engenharia Simultânea é a mais indicada para otimizar o desenvolvimento do produto, melhorando os resultados e o desempenho do mesmo.

O time de projeto formado pela Engenharia Simultânea deve seguir os devidos procedimentos do gerente de matricial para ter um bom andamento do projeto. Cada representante tem um único objetivo que é desenvolver o melhor produto e de melhor qualidade. Portanto, por exemplo, o representante de *marketing* deve informar ao grupo o que vender e para quem vender, enquanto que o engenheiro do produto vai estudar como será a melhor forma de atrair a necessidade do cliente. Já o engenheiro de manufatura indica se é possível fabricar o produto almejado pelo pessoal de produto, e assim por diante. Todas as etapas são feitas simultaneamente, o que reduz o tempo de se locomover para reuniões, já que o a Engenharia Simultânea tem representante de cada setor em um único espaço.

As vantagens de usar Engenharia Simultânea na aplicação de *DFA* são:

- A determinação da seqüência de montagem pelo time durante o desenvolvimento do produto ajuda a reduzir os custos de produção e tempo do projeto, pois nesta fase do projeto ainda é possível corrigir falhas de projeto que custariam muito para a manufatura, posteriormente, em termos de compra de equipamentos mais sofisticados e facilidade de montagem;
- Antecipação do planejamento da padronização de operações. Isso pode acarretar na qualidade do produto final. Quanto mais padronizadas forem as operações, menores serão os erros cometidos pelos operadores e maior será a eficiência da operação.

## 5 PROCESSO NA EMPRESA

### 5.1 A empresa

A *General Motors Corporation* é a maior fabricante mundial de veículos. Projeta, constrói e vende carros e caminhões em todo o mundo.

A *General Motors* do Brasil é a maior subsidiária da Corporação na América do Sul, e a segunda maior em operação fora dos Estados Unidos. No dia 26 de janeiro de 2005 completou 80 anos de atividades no país. A empresa foi fundada em 1925 em galpões alugados no histórico bairro do Ipiranga, em São Paulo.

Hoje, vive um momento de pleno crescimento no mercado interno e também nas exportações, como apresenta, respectivamente, nas tabelas 3 e 4 abaixo:

**Tabela 3 - Vendas internas nos anos de 1980 a 2004 (em unidades) [2]**

ANO YEAR	AUTOMÓVEIS CARS	COMERCIAIS LEVES LIGHT COMMERCIALS	CAMINHÕES TRUCKS	ÔNIBUS BUSES	TOTAL TOTAL
1980	793.028	93.768	81.933	11.532	980.261
1981	447.608	68.000	55.938	9.179	580.725
1982	556.229	85.763	41.257	8.045	691.294
1983	608.499	78.085	34.573	6.575	727.732
1984	532.235	95.966	42.884	5.997	677.082
1985	602.069	98.306	55.664	7.141	763.180
1986	672.384	114.002	71.854	8.488	866.728
1987	410.260	103.372	56.385	10.068	580.085
1988	556.744	123.092	54.912	12.968	747.716
1989	566.582	137.380	48.178	9.485	761.625
1990	532.906	128.431	41.313	10.091	712.741
1991	597.892	134.552	41.464	16.865	790.773
1992	596.964	127.687	25.659	13.706	764.016
1993	903.828	177.558	38.383	11.396	1.131.165
1994	1.127.673	202.786	52.349	12.595	1.395.403
1995	1.407.073	245.205	58.734	17.368	1.728.380
1996	1.405.545	267.591	42.134	15.518	1.730.788
1997	1.569.727	303.938	54.931	14.862	1.943.458
1998	1.211.885	254.538	52.768	15.761	1.534.952
1999	1.011.847	183.762	50.665	10.679	1.256.953
2000	1.176.774	227.059	69.209	16.439	1.489.481
2001	1.295.096	216.091	73.517	16.578	1.601.282
2002	1.218.544	177.613	65.870	16.592	1.478.619
2003	1.168.681	177.649	66.291	15.989	1.428.610
2004	1.258.446	219.672	83.005	17.652	1.578.775

Tabela 4 - Exportação de veículos por país nos anos de 1994 a 2003 (em mil unidades) [2]

PAÍS/COUNTRY	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Japão/Japan	4.460	3.791	3.711	4.553	4.529	4.409	4.455	4.166	4.698	4.756
Alemanha/Germany	2.410	2.640	2.842	3.036	3.511	3.676	3.723	3.916	3.872	3.927
Frância/France	2.157	2.078	2.272	2.822	3.123	3.255	3.619	3.735	3.893	4.046
Espanha/Spain	1.588	1.837	1.927	2.094	2.236	2.311	2.504	2.337	2.320	2.495
Canadá/Canada	1.852	1.909	2.135	2.058	2.812	2.117	2.157	2.023	2.373	1.545
Coreia do Sul/South Korea	736	979	1.218	1.317	1.362	1.510	1.676	1.581	1.518	1.815
Estados Unidos/USA	1.293	1.244	1.290	1.399	1.248	1.219	1.468	1.462	1.661	1.611
México/Mexico	568	783	978	988	977	1.077	1.433	1.404	1.333	1.195
Reino Unido/UK	716	837	1.021	1.065	1.124	1.213	1.128	992	1.161	1.247
Bélgica/Belgium	1.216	1.218	1.193	1.051	1.026	983	994	1.141	1.015	872
Itália/Italy	670	806	799	739	812	798	912	814	734	704
<b>BRASIL / BRAZIL</b>	<b>378</b>	<b>263</b>	<b>296</b>	<b>416</b>	<b>400</b>	<b>275</b>	<b>371</b>	<b>391</b>	<b>415</b>	<b>536</b>
Rep. Tcheca/Czech Republic	119	141	179	241	316	312	357	383	374	381
Turquia/Turkey	15	36	36	38	32	86	96	198	258	347
Portugal/Portugal	76	123	201	228	241	226	225	223	238	231
Eslováquia/Slovakia	-	30	30	40	125	126	181	182	225	281
Austrália/Australia	-	-	28	36	46	72	97	221	109	118
Polónia/Poland	190	161	152	161	195	174	188	140	153	176
Argentina/Argentina	39	52	109	210	237	98	136	155	123	186

No começo, as atividades consistiam na montagem de veículos importados dos Estados Unidos. Após cinco anos, a GMB inaugurava oficialmente, em 1930, sua primeira fábrica, em São Caetano do Sul (SP), onde hoje fica a administração da empresa, engenharia de produto e entre outros. Em 1958 começou a operar a segunda fábrica, em São José dos Campos (SP), inaugurada oficialmente um ano depois pelo então presidente da República Juscelino Kubitschek.



Figura 14 - Planta de São Caetano do Sul [5]



**Figura 15 - Planta de São José dos Campos [5]**

Em julho de 2000, inaugurou o Complexo Industrial de Gravataí, no Rio Grande do Sul, uma das fábricas mais modernas do mundo, onde é produzida a linha Celta. Ela recebe visita de especialistas em manufatura de veículos de todo o mundo, que querem conhecer o sistema de montagem do modelo, que é feito com a parceria dos fornecedores sistematizados, instalados dentro do complexo industrial.



**Figura 16 - Planta de Gravataí [5]**

Mesmo enfrentando forte concorrência, além das adversidades econômicas ocorridas em 2004, com a instalação de novas montadoras no país nos últimos anos, a GM do Brasil fechou o ano na liderança pela primeira vez nas vendas acumuladas no mercado total.



A GMB também conta com um complexo industrial localizado em Mogi das Cruzes (SP) destinado para produção de peças estampadas em aço para veículos descontinuados, ou seja, ele garante permanentemente os estoques das concessionárias.

Na cidade de Sorocaba (SP) encontra-se o Centro de Distribuição de Peças da GMB, que também destina-se peças para toda América Latina.

No Campo de Provas da Cruz Alta, a General Motors do Brasil, desenvolve, certifica e valida os veículos Chevrolet. Localiza-se no município de Indaiatuba (SP), 110 Km ao norte da capital.



**Figura 17 - Campo de Provas da Cruz Alta [5]**

Possui 40 quilômetros de pistas, escritórios, oficinas, áreas de serviços diversos totalizando 19.000 m<sup>2</sup> e laboratórios de Análise Estrutural, Eletro-eletrônico, Segurança Veicular, Ruídos e Vibrações, e Análise de Emissões.

A tecnologia utilizada impressiona consumidores, alunos e profissionais da área automobilística que visitam as instalações, a exemplo do laboratório de ruídos e vibrações onde a câmara semi-anecóica (anecóica quer dizer ausência total de eco) tem paredes e teto revestidos por uma camada de isolamento acústico de 1 metro de espessura, para absorver o som e impedir que o eco interfira nos testes.

O laboratório de segurança veicular do Campo de Provas da Cruz Alta simula impacto frontal, lateral, traseiro, contra barreiras fixas, deformáveis ou em ângulos

diversos. Sensores e câmeras digitais de altíssima definição fazem o registro para que cada teste seja minuciosamente analisado.

O laboratório de análise de emissões veiculares está habilitado a realizar todos os tipos de testes, segundo as normas nacionais e estrangeiras. Tem um conjunto de equipamentos para análise também de desempenho e economia de combustível.

O conjunto de pistas, formado de pistas de acesso, durabilidade acelerada, reta, poeira, durabilidade, pedra e areia, tortura de caminhões, testes de corrosão, fora-de-estrada, circular, e testes de ruído reproduz fielmente os piores caminhos que um veículo pode percorrer.

A pista circular entusiasma pela beleza de seu traçado e intriga porque, apesar de circular, é, na verdade, uma "Reta Infinita". Inclinação de 4,2% a 56,6% permite ao motorista de um veículo, à velocidade constante de 160 km/h dirigir sem segurar o volante. A pista circular do Campo de Provas da Cruz Alta é uma das cinco da General Motors em operação em todo o mundo - existem duas nos Estados Unidos, uma na Inglaterra e uma na Alemanha.

## **5.2 Linha de Produção**

A indústria automobilística tem desenvolvimento de seus carros muito semelhante um ao outro. O processo de fabricação descreve as principais etapas da manufatura na *General Motors* do Brasil. O primeiro passo do processo é a estamparia (*Press Shop*), aonde as bobinas de chapas de aço são introduzidas nas prensas e através de ferramentas apropriadas, dão a forma desejada compondo as partes da carroceria do veículo.

Em seguida, as peças estampadas são encaminhadas para funilaria (*Body Shop*) aonde elas são soldadas e/ou rebitadas para formar a carroceria do veículo.

Ao final desta etapa o veículo é levado para área de pintura (*Paint Shop*) dando a cor e o brilho do carro.

Finalmente, a unidade é encaminhada para a área de processo de montagem do veículo (*General Assembly*), sendo que a linha principal de produção é dividida em três grandes áreas: Tapeçaria, Mecânica (Linha Aérea e Linha de Placas) e

Validação. A fábrica também conta com quatro linhas auxiliares de produção que são: cockpit, motor, portas e rodas.

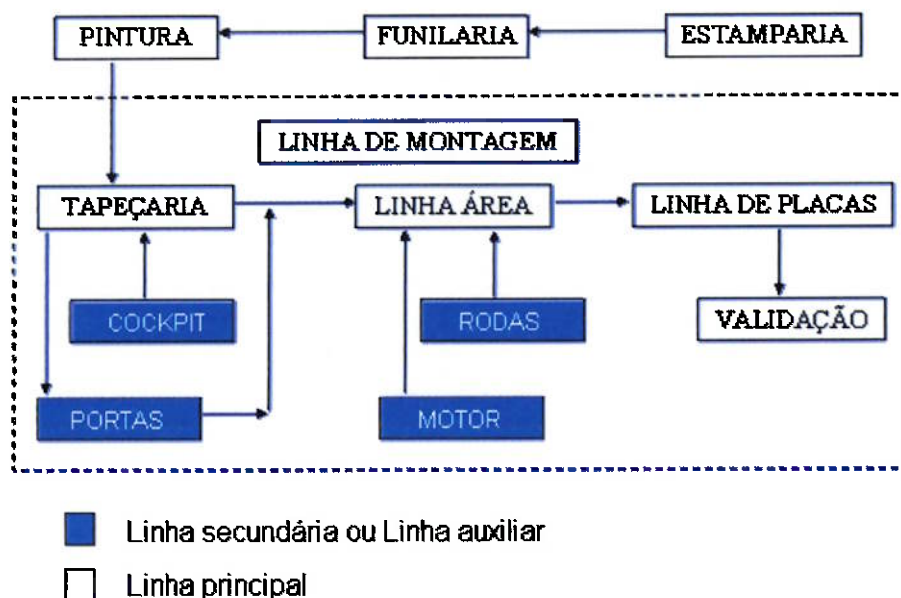


Figura 18 - Linha de produção

A primeira operação da tapeçaria é remover as portas para a linha auxiliar de portas, onde são feitas as montagens da janela, retrovisores e acabamentos da porta. E só retorna para a linha principal no final da linha de tapeçaria. Enquanto isso, a linha de produção faz toda a montagem do veículo, como o chicote, vidros, faróis e bancos. A montagem de *cockpit*, muito semelhante à linha de portas, é acoplado na linha de tapeçaria.

A próxima etapa é a montagem na linha aérea, aonde os operadores têm acesso à região inferior da unidade. Montam, nesta etapa, as tubulações de freio, mangueira de combustível, suspensão, e processam a operação de *marriage* (acoplamento) do motor com a carroceria do veículo. O motor e os seus acessórios vêm montados da linha auxiliar de motor, como o radiador, escapamento, semi-eixos e entre outros. Em seguida, o veículo recebe as rodas e pneus, que são balanceadas e calibradas da linha auxiliar de rodas, e então o carro volta para o chão já na linha de placas. Nesta fase, os operadores colocam o combustível, fazem a conexão das mangueiras e chicote do motor e programam os módulos das unidades.



Finalmente, é transportado para a linha de validação que se compõe de alinhador de faróis e de rodas, teste de rolo, teste de vazamento, teste de ruído e inspeção final do time de qualidade para garantir que tudo esteja dentro dos padrões da empresa.

## 6 APLICAÇÃO

### 6.1 Estudo de caso A

#### 6.1.1. Conjunto da pedaleira

O conjunto da pedaleira é considerado na corporação GM como um item de segurança de um veículo e por isso deve ser projetado muito cuidadosamente, observando todos os detalhes desde o início do projeto até a sua montagem final. O pedal de freio, embreagem e acelerador de um automóvel não deve falhar no momento do seu uso, ainda mais quando o veículo está em movimento. Assim, a montagem correta deste produto é essencial e vital para o produto final.

Este conjunto é montado fora da sua linha principal de produção, utilizando o conceito da montagem modular aonde os componentes da pedaleira são integrados em uma única base, o *Strike Plate* (figura 19).

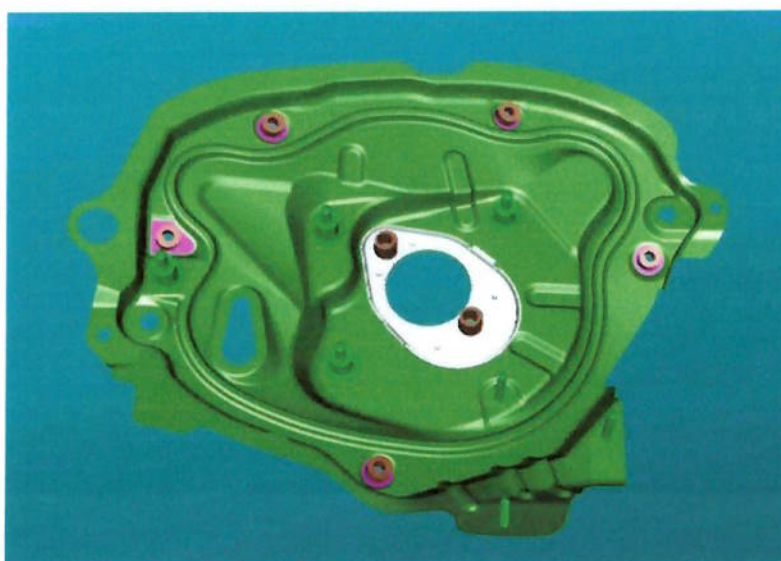
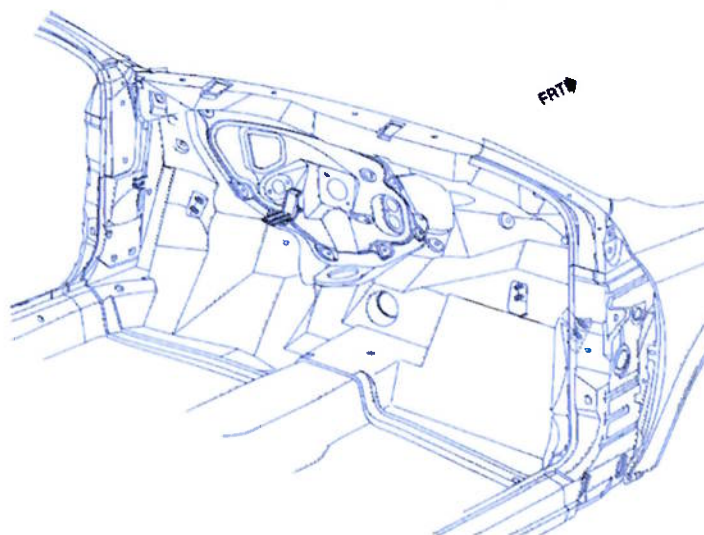


Figura 19 - Strike Plate

A montagem deste conjunto não seria viável, economicamente (tempo) e ergonomicamente, no interior da unidade do veículo, como pode visualizar na figura 20 a seguir. O conjunto contém diversos componentes e os locais de acessibilidade são difíceis e penosos. Para essa finalidade, existe uma área auxiliar (fora da fábrica) para compor esses subconjuntos chamados de estações de montagem de subconjuntos,

que abastecem as linhas – linha principal de produção ou a linha secundária – conforme a demanda como o conceito “*Just-in-time*” condiz.



**Figura 20 - Painel Dash**

O conceito do *Just-in-time* (JIT) de administração da manufatura, focaliza o aprimoramento do processo produtivo – em ganhos de qualidade e produtividade – como estratégia para ajudar uma empresa a alcançar e manter vantagem competitiva em custo. O termo pretende transmitir a idéia de que os três principais elementos da manufatura, recursos financeiros, equipamento e mão-de-obra sejam colocados somente na quantidade necessária e no tempo requerido para o trabalho (Lubben, 1989).

#### **6.1.2. Análise de dados**

O modelo do veículo em estudo será confidencial e, portanto apresenta-se um nome fictício para este, como modelo K.

A versão da pedaleira do modelo K, assim como as pedaleiras de outros modelos, tem a montagem realizada nas estações de montagem de subconjuntos. Após o término da montagem, estes são alocados nos suportes de carrinhos adequados para serem abastecidas na linha de produção pelos representantes de manuseio.

As pedaleiras do modelo K são abastecidas diretamente na linha principal de produção, na qual, é montada diretamente no painel frontal do veículo (painel *Dash*), enquanto que as de outros modelos são fornecidas na linha auxiliar de *cockpit*. Isso se deve, pois, os outros conjuntos de pedaleiras são acoplados primeiramente no conjunto de *cockpit* da unidade, então é transportado até a linha principal e unido no veículo na estação de montagem de *cockpits*.

Os conjuntos de pedaleiras do modelo K, atualmente, ocupam uma área de estocagem na linha principal de aproximadamente 10 metros quadrados. Contém um manipulador na linha para manipular o conjunto que tem um peso aproximado de 6 quilogramas. O conjunto contém 28 peças a serem montados na base principal e o tempo total de montagem é de 5 minutos e 53 segundos.

Para um melhor entendimento do tempo de montagem, mostra abaixo na figura 21 e 22, o software para estudo de tempo padronizado – STDS. Nele é possível apresentar as funções e os movimentos necessários do operador na estação, a sequência de montagem, e o tempo total da montagem. Esse tempo pode ser classificado em tempo variável (em vermelho) e tempo constante (em verde).

O tempo variável, como o próprio nome já diz, pode variar conforme a disposição das peças. A classificação deste tempo é considerada tempo perdido ou tempo desperdiçado, pois são tarefas que não agregam valor para o produto. Alguns exemplos desse tempo variável são: andar, pegar, girar, levantar, entre outros.

O tempo constante é o tempo que agrega valor para produto, ou seja, funções estritamente obrigatórias para montagem do conjunto. Observa-se também que quanto maior número de peças, mais o tempo variável aumenta, pois operador tem de pegar mais peças. Um outro comentário é que quando se monta o Layout Industrial deve desenvolver áreas aonde o tempo variável seja o menor possível, ou seja, disponibilizar peças mais próximo da estação de montagem.

Normalmente, deixa-se em torno de 10% de tempo não utilizado (em cinza) para operador ter uma folga, caso necessite de retrabalho ou ir ao banheiro.

Standard Time Data System

	Description	Decisions	Chart	CV	Freq.	Tot. Time
2	CAMINHAR ATÉ O ESTOQUE	3P,UOBS	050 190	V	1.0	0.030
3	PEGAR C.J. PLACA	SU,18N,7LBS,18WD	050 11A	V	1.0	0.030
4	CAMINHAR ATÉ O DISP.	3P,UOBS	050 190	V	1.0	0.040
5	POS. PLACA NO DISP.	18N,7LBS,CF,3PM	050 14A	C	1.0	0.060
6	ACIONAR COMANDO	ESTIMATED	EST V00	V	1.0	0.040
7	CAMINHAR	2P,UOBS	050 190	V	1.0	0.020
8	PEGAR ISOLANTE	SU,18N,2LBS,18WD	050 11A	V	1.0	0.030
9	POS. ISOLANTE NA PLACA	12N,2LBS,CF,3PM	050 14A	C	1.0	0.060
10	PEGAR RETENTORES	BBA,1,4+N	050 140	V	1.0	0.040
11	ENCX. RETENTORES	YPD,12PD,1A,1,3SM,5N	051 090	C	1.0	0.300
12	CAMINHAR	2P,UOBS	050 190	V	1.0	0.020
13	PEGAR PEDAL ACEL.	SU,18N,2LBS,18WD	050 11A	V	1.0	0.030
14	CAMINHAR	2P,UOBS	050 190	V	1.0	0.020
15	POS. C.J. PEDAL ACELERADOR	12N,2LBS,UF,3PM	050 14A	C	1.0	0.040
16	PEGAR APERTADEIRA	SM,18N,7LBS,18WD	050 11A	V	1.0	0.020
17	PEGAR PORCAS	BBA,1,2-3N	050 140	V	1.0	0.030
18	POS. PORCA NO SOQUETE	4N,7LBS,LF,2PM	050 14A	C	3.0	0.060
19	REAGARRAR PORCA	DN,20LBS,LF,2PM	050 14A	C	2.0	0.040
	POS. APERTADEIRA	ME,1,1,2,1,2PM				

Sheet 1 Sheet 2 Sheet 3

Total Time: 1.423 min Constant Time: 0.863 min Variable Time: 0.540 min

Figura 21 - Tempo padronizado da montagem da pedaleira

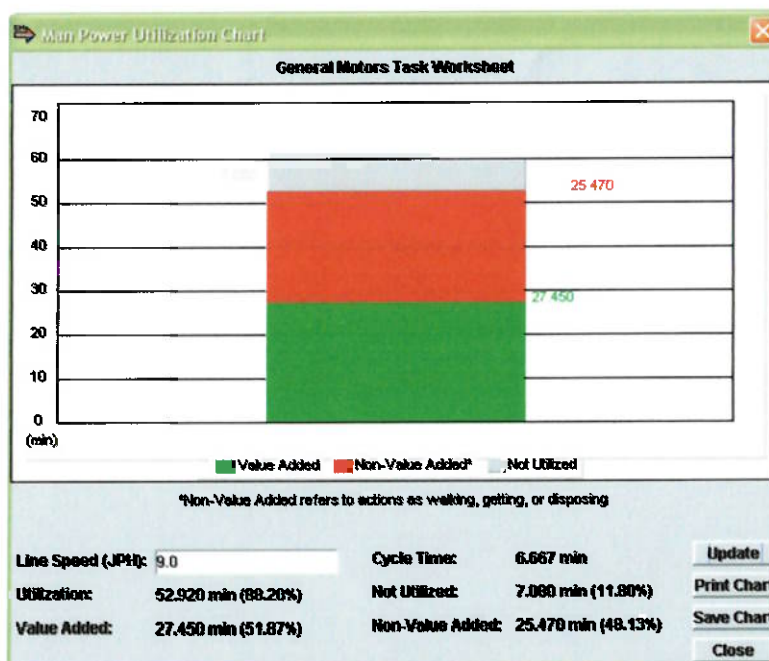
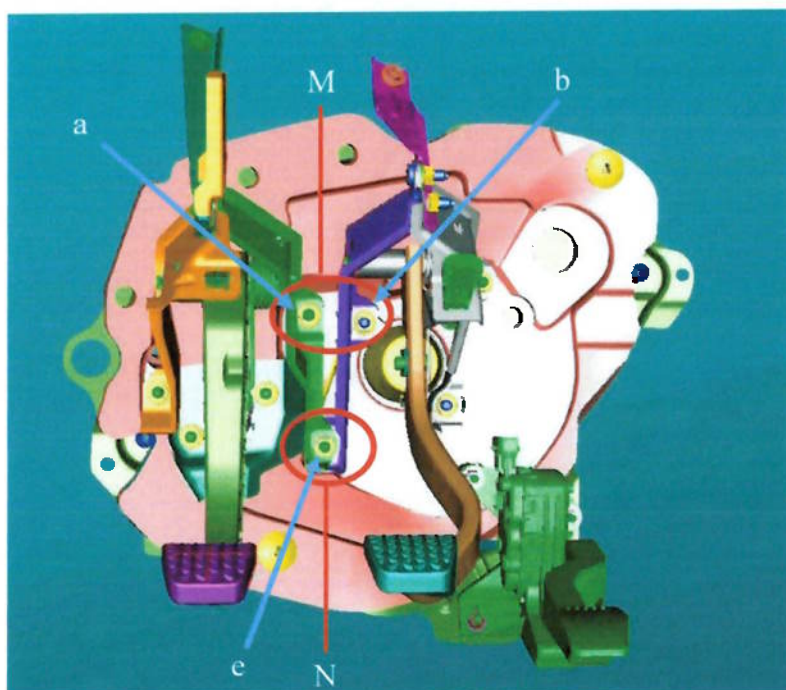


Figura 22 - Gráfico de tempo da montagem para determinada operação

As principais dificuldades de montagem do conjunto são acessos das regiões circulado (M e N) e as fixações das porcas a, b e e, como apresenta na figura 23:



**Figura 23 - Pedaleira frontal retratando as regiões de difícil acesso**

Os dados iniciais do conjunto da pedaleira do modelo K estão listados abaixo:

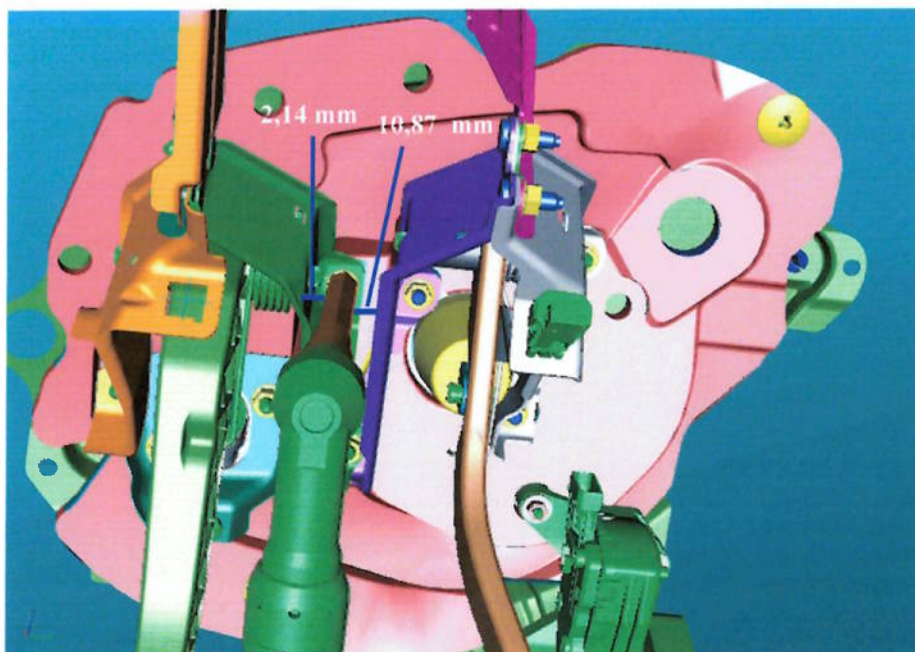
- Ferramentas utilizadas na área de submontagem: um dispositivo à prova de erros (*Poka-Yoke*), um manipulador, uma apertadeira angular e dois soquetes.
- Área ocupada na linha de produção: 10 m<sup>2</sup>.
- Ferramentas utilizadas na linha de produção: um manipulador e uma apertadeira tipo pistola para fixação das porcas.
- Número de peças do conjunto: 28 itens a serem montados.
- Tempo total de montagem: 5 min 53 seg.
- Dificuldades atuais: Acessos às regiões M e N, e as fixações das porcas a, b e e.

Essas dificuldades ficam claro quando a apertadeira angular aperta as porcas como mostra nas figuras 24 e 25 abaixo. O acesso chega a ter 2,14 mm de folga entre soquete e o flange do suporte da embreagem de um lado e 10,87 mm no outro suporte do freio. Isso é mais perceptível no momento em que o operador deve ficar

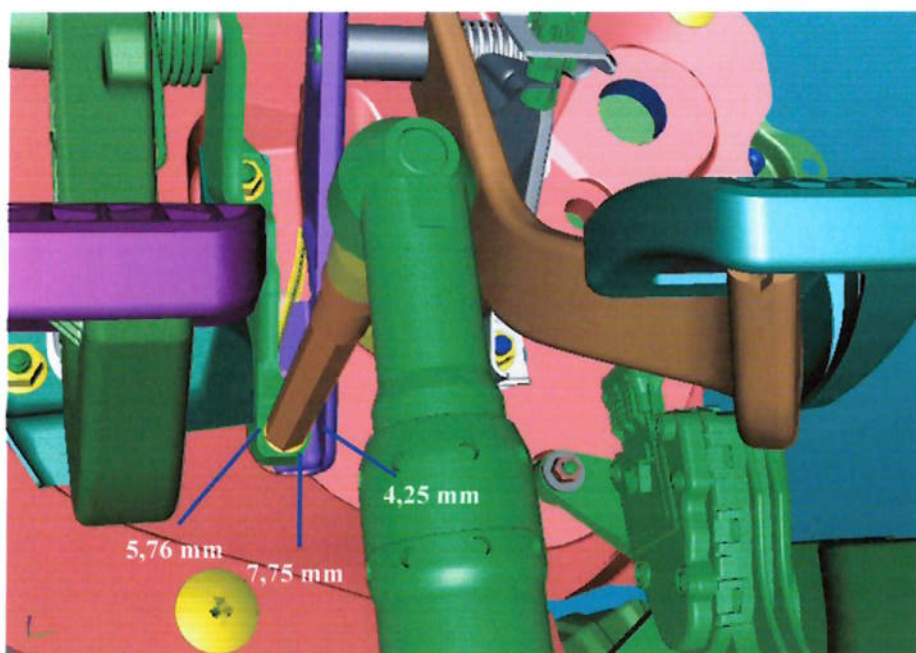


manipulando entre os flanges para acertar a porca. Pode-se incluir esses ajustes como tempo variável que deve ser reduzido.

Além disso, o conjunto está usando porcas de tamanhos diferentes. Para o acelerador usa-se porca M6 e o restante tamanho M8.



**Figura 24 - Distância entre os flanges e o soquete da apertadeira**



**Figura 25 - Distância entre os flanges e o soquete da apertadeira**

### 6.1.3. Aplicação na área de submontagem

O estudo após a aplicação de *DFA* do conjunto da pedaleira do modelo K é apresentado abaixo, aonde as porcas têm um espaço de acesso maior do que o conjunto anterior. E com certeza, a minimização de número de peças seja um fator essencial para a diminuição do tempo de montagem.



Figura 26 - Novo modelo

A nova proposta sugerida para esse conjunto tem estreitamento do corpo do suporte da embreagem e suporte do freio, e o afastamento dos mesmos. Assim a distância entre eles é maior do que o conjunto anterior. Isso traz melhorias para o operador, pois a montagem das porcas no centro do conjunto tornou-se mais acessível.

A fixação do suporte da embreagem é necessário de apenas duas porcas M8, enquanto que o anterior utilizava quatro.

Outro princípio de *DFA* empregado foi a padronização dos componentes, ou seja, todas as porcas de fixação terá o tamanho M6, ao contrário do anterior que utiliza dois tamanhos diferentes. Isso acarreta em perda de tempo ao trocar de soquete.

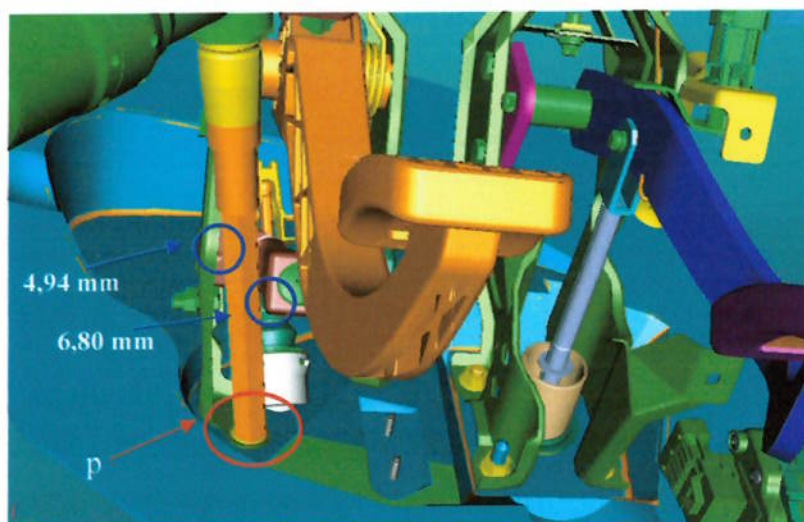
Eliminou-se o braço tirante do suporte do pedal do freio (apresentado na cor roxa da figura 24) que funcionava como localizador no momento da montagem do conjunto na unidade. A nova proposta é montar esse conjunto primeiramente no



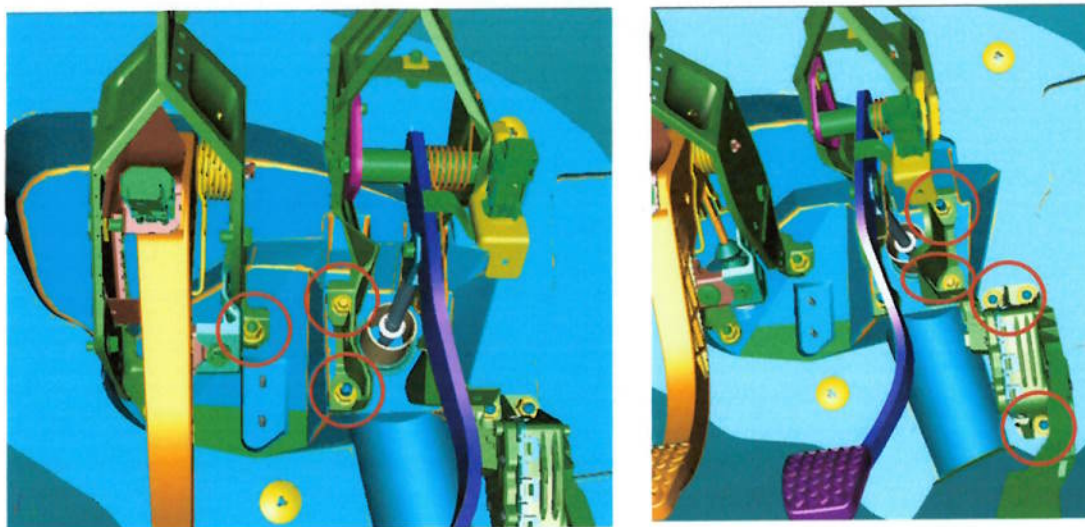
cockpit e depois montar na unidade, e como o suporte do pedal do freio já serve como localizador de montagem, então exclui-se essa peça do conjunto.

Mesmo depois do estudo ainda existe uma região com distâncias milimétricas entre o soquete e o flange dos suportes como apresentado na figura abaixo. O significado disso quer dizer que nem todos os estudos são capazes de eliminar todas as dificuldades encontradas.

Esse resultado favorece de uma forma bastante positiva para o operador. O princípio mais atuante nesse caso é a redução do número de peças, de 28 itens para 17, que minimiza o tempo de montagem, resultando em diminuição dos custos para a empresa.



**Figura 27 - Distância entre os flanges e o soquete da apertadeira**



**Figura 28 - Acesso livre para entrada da apertadeira**

Os números abaixo confirmam diferenças significativas entre o modelo anterior e novo modelo.

Os dados após a aplicação de *DFA* do conjunto da pedaleira do modelo K:

- Ferramentas utilizadas na área de montagem: um dispositivo à prova de erros atualizado (*Poka-Yoke*), um manipulador, uma apertadeira e um soquete.
- Área ocupada na linha de produção: zero (Sistema *Lean* de Produção).
- Ferramentas utilizadas na linha de *cockpit*: um manipulador e uma apertadeira já existentes.
- Número de peças do conjunto: 17 itens a serem montados.
- Tempo total de montagem: 4 min 6 seg.
- Dificuldades na nova solução: acesso ao parafuso p.

A eliminação da área ocupada na linha de produção propõe para fábrica algumas vantagens assim como a teoria do “Sistema *Lean* de Produção” enquadra. A prática do *Lean Manufacturing*, ou produção enxuta, relata que uma linha de produção demasiado longa exige mais pessoal, mais trabalho em andamento, um maior tempo de execução e despesas logísticas mais elevadas.

Uma otimização dos espaços permite não apenas a redução de todos esses custos, como também uma produção maior em um espaço idêntico. A partir desse momento, são possíveis economias substanciais de investimento: menos prédios, menos superfície ocupada, menos despesas gerais.

Neste modelo apresentado, o tempo de montagem diminui até 30%. Isto pode representar uma diferença de até 60 unidades de pedaleira no final do dia (jornada de

16 horas dividida em dois turnos). O tempo constante aumentou de 51,9% para 61,4% do tempo total e o tempo variável diminuiu de 48,1% para 38,65%. Isso significa que os aproximados 10% reduzido do tempo variável transferido para o tempo constante foi responsável pelo aumento de produção.

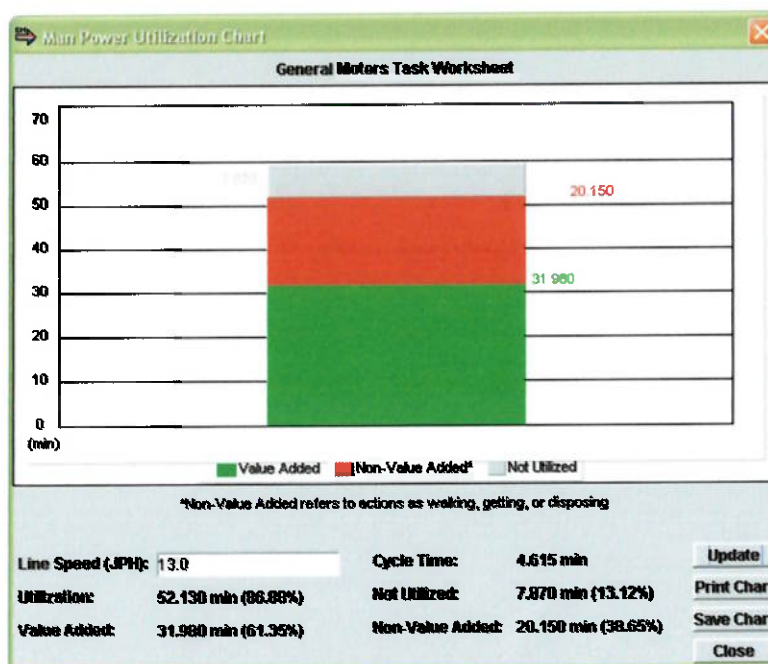
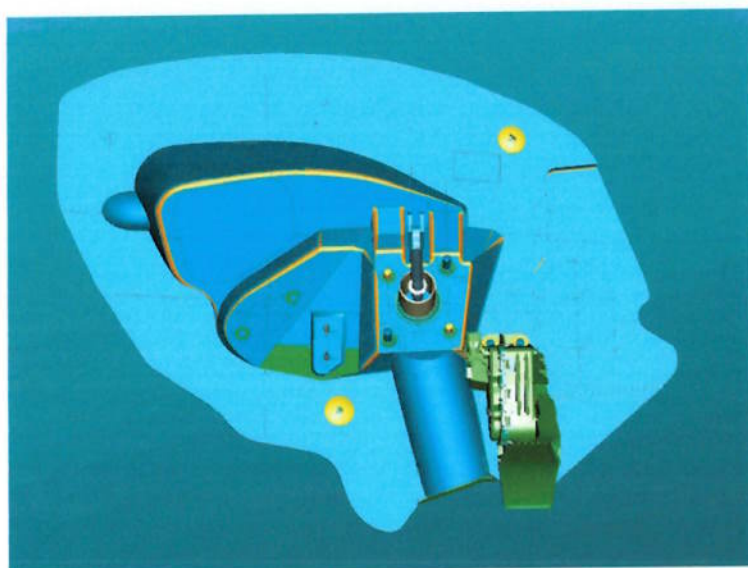


Figura 29 - Gráfico de tempo da montagem para nova operação

Ainda pode ser proposto divisão de processo para otimizar o tempo de processo de montagem. A proposta seria dividir a montagem do isolador no *strike plate*, botões fixadores e o pedal do acelerador em um posto de trabalho auxiliar e o resto do processo na bancada principal. A figura 30 mostra como seria a montagem no posto auxiliar. A vantagem dessa proposta é que o tempo de montagem pode reduzir quase a metade.



**Figura 30 - Montagem do isolante e do pedal em área de trabalho separado**

Essa proposta necessita de uma análise mais cautelosa. Primeiramente, deve-se observar a velocidade da linha, ou seja, depende da demanda desta pedaleira. Se a demanda for 13 carros por hora, pode-se manter com apenas um posto de trabalho. Caso esse número ultrapasse será necessário adicionar mais uma bancada e um operador. Essa bancada ou posto de trabalho pode ser completo ou pode-se dividir o processo conforme a proposta acima.

O *layout* industrial da estação de trabalho para essa montagem pode ser representado na figura 31. A ilustração mostra o melhor remanejamento das peças e o dispositivo de *Poka-Yoke* assim com a bancada auxiliar. Assim que o operador da bancada auxiliar terminar a montagem, ele coloca no carrossel disponível na estação de trabalho. O manipulador para manipular o conjunto da pedaleira da bancada de montagem para o carrinho de manuseio está representado com em vermelho.

Dividindo a operação em duas bancadas conforme a proposta acima, pode-se aumentar a produção para até 20 carros por hora. O operador da bancada auxiliar tem tempo não utilizado de 30 minutos e que pode ser utilizado em outras montagens ou operações, conforme a figura 33.

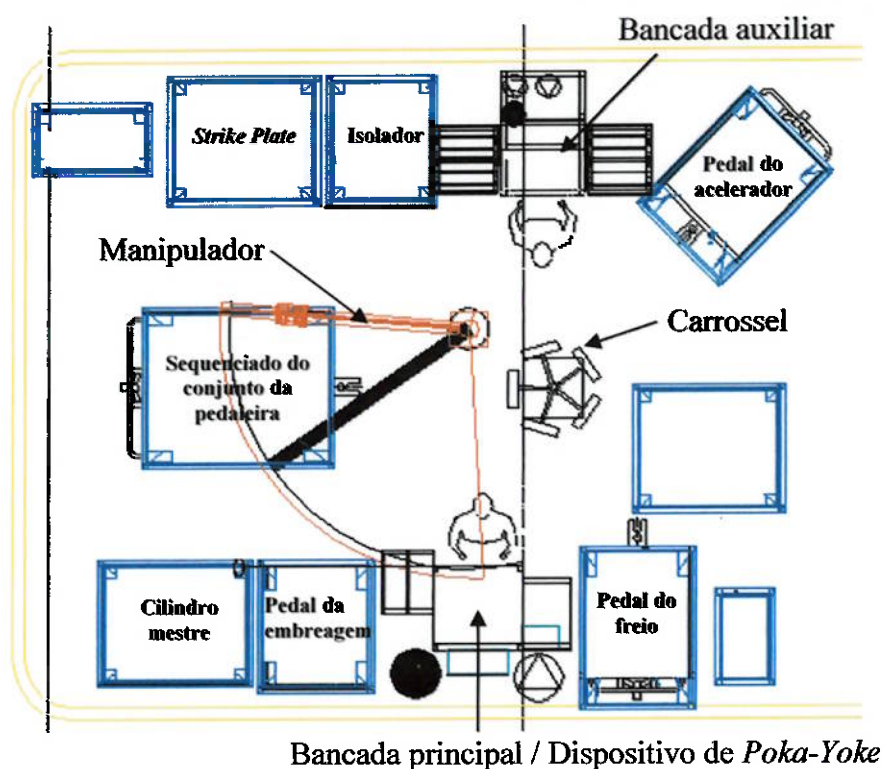


Figura 31 - Layout

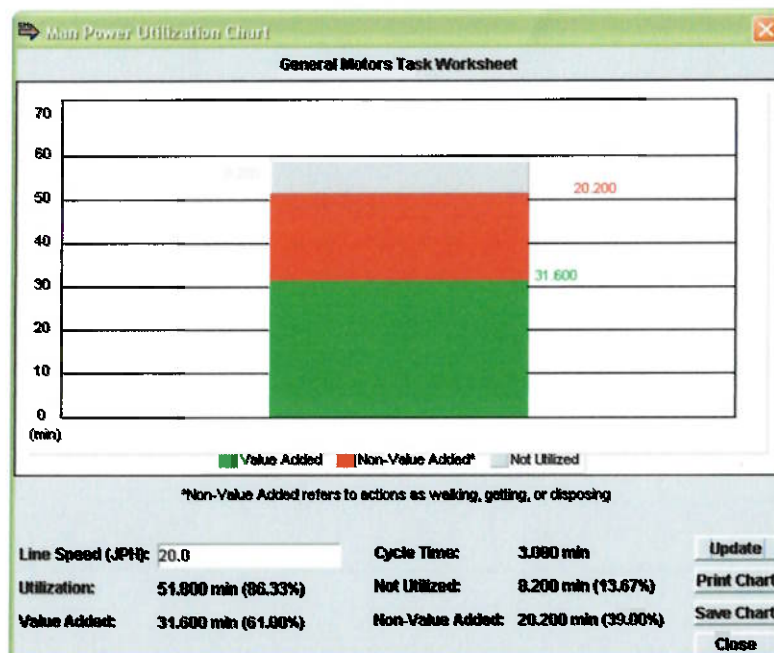


Figura 32 - Gráfico de tempo da montagem para bancada principal



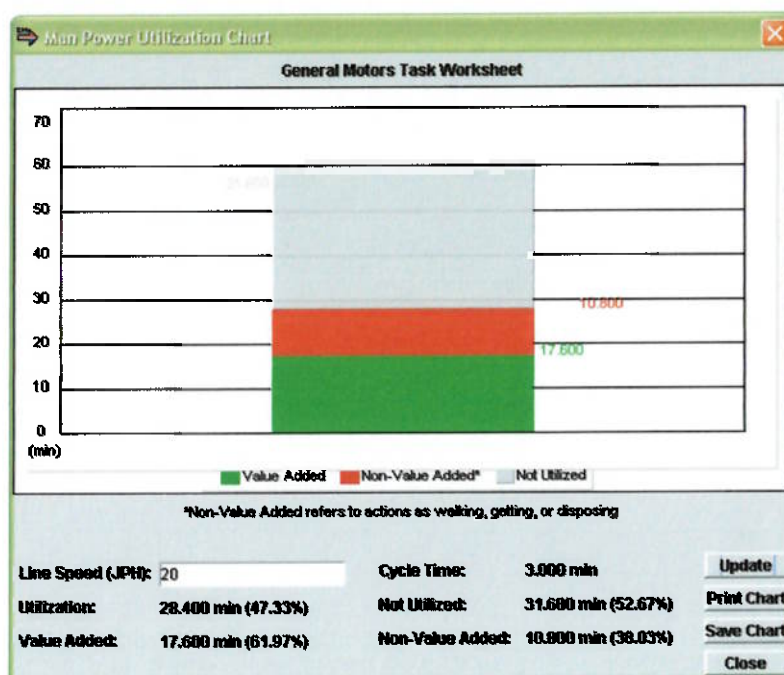


Figura 33 - Gráfico de tempo da montagem para bancada auxiliar

O dispositivo de *Poka-Yoke* (dispositivo à prova de erros) pode ser mostrado na figura 34 e 35 abaixo desenhado no software Microstation. Este servirá para montar o conjunto da pedaleira sem se preocupar com erros de montagem. O dispositivo consiste em:

- 1) Bancada de montagem;
- 2) Chave de acesso com entrada de cartão;
- 3) Painel de instrução e computador interligado com a Eng. de Produção;
- 4) Grampo de fixação do pedal do freio;
- 5) Grampo de fixação do pedal da embreagem;
- 6) Suporte de localização do *strike plate*;
- 7) Suporte de localização do cilindro mestre;
- 8) Sensor de presença do cilindro atuador;
- 9) Botões de acionamento;
- 10) Botão de emergência;
- 11) Sensor de presença para itens como vedador e pino de segurança;
- 12) Grampo do cilindro mestre;
- 13) Controlador de torque;
- 14) Descanso para apertadeira.

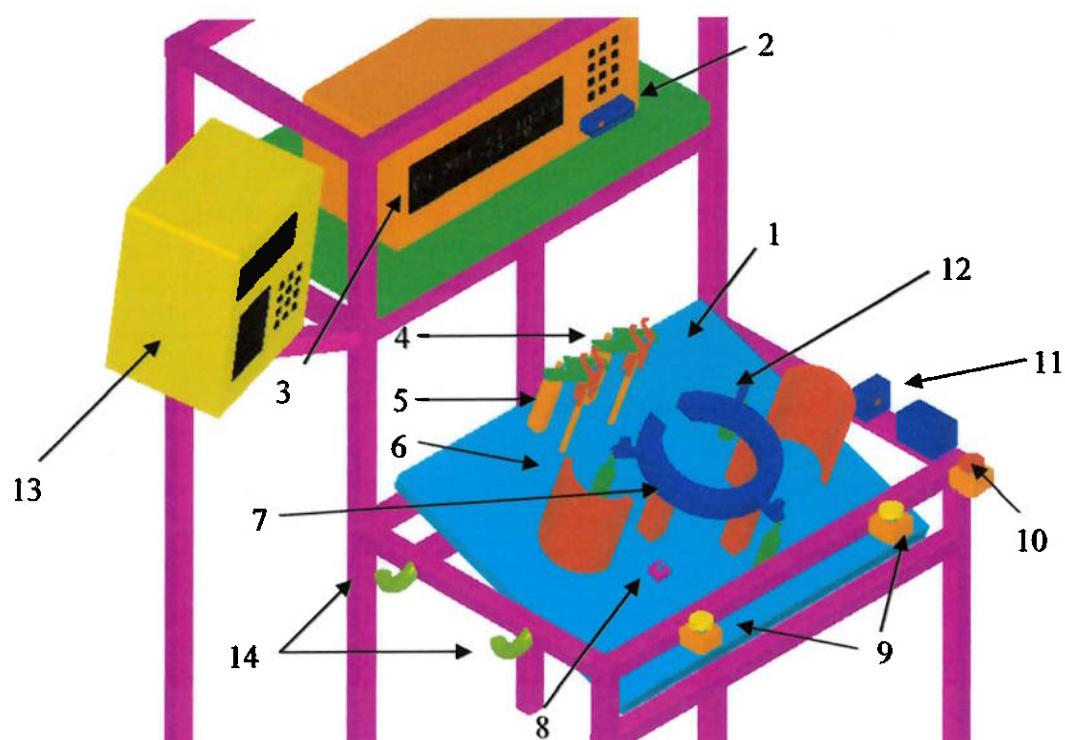


Figura 34 - Dispositivo de *Poka-Yoke*

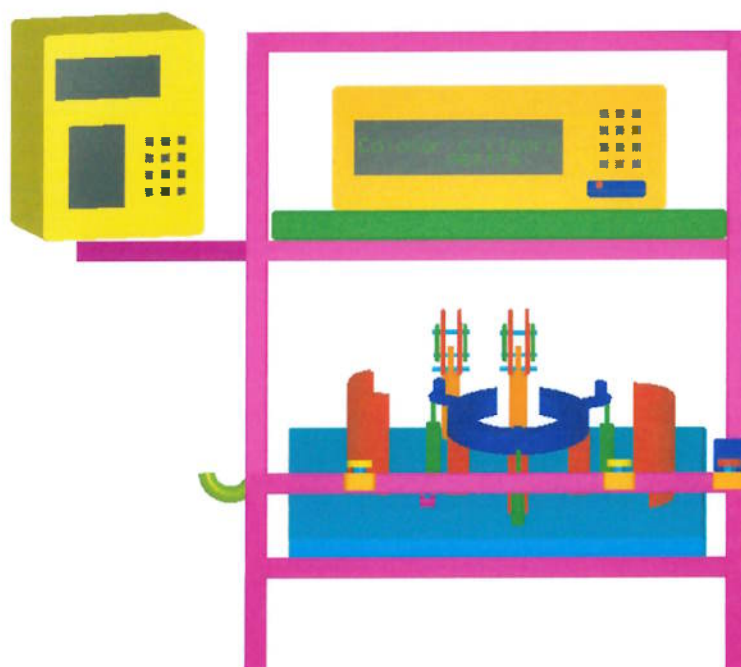


Figura 35 - Dispositivo de *Poka-Yoke*

O acionamento do dispositivo, no início do turno, só pode ser realizado pelo coordenador do time através do cartão de identificação do mesmo. O computador

interligado com a Engenharia de Produção fornece ao operador toda a programação do carro, ou seja, número de conjuntos que deverão ser produzidos. Com os botões de acionamento, o operador começa a montagem seguindo as instruções e a sequência de montagem ilustrado no painel.

Os suportes localizadores do cilindro mestre e do *strike plate* servem para posicionar as peças na posição correta.

Os grampos de fixação têm objetivo de firmar definitivamente os pedais, depois de posicionado.

Os sensores de presença é utilizado para garantir a existência das peças no conjunto.

Para cada passo da montagem, o operador deve acionar os dois botões de acionamento simultaneamente. Em caso de emergência, o botão de emergência deve ser acionado e o coordenador de time minuta a ocorrência relatando o fato.

Os terminais do sistema de cabos do dispositivo deve ficar instalado em locais de acesso restritos (livre apenas ao pessoal de manutenção), pois assim, os operadores não poderão desligar o sistema por vontade própria.

Com esse estudo pode-se observar que nem todas as dificuldades puderam ser eliminadas. É o caso da porca p do caso A em que o soquete da apertadeira ainda entra com algumas dificuldades. Porém no aspecto geral foi possível aplicar as teorias de *DFA* e *Poka-Yoke* nesse estudo de caso.

#### **6.1.4. Comparação da confiabilidade do novo processo com o processo antigo**

A análise dos modos e efeitos de falhas (*FMEA*) é provavelmente a ferramenta mais utilizada e a mais conhecida em termos método de análise de projetos de confiabilidade.

Essa metodologia pode ser aplicada tanto no produto propriamente dito (*FMEA* de projeto) quanto ao seu processo de fabricação (*FMEA* de processo). A aplicação é possível avaliar objetivamente requisitos e alternativas de projeto, dar prioridade a projetos de melhoria do produto e recomendar ações para a redução do risco de ocorrência de falhas.



*FMEA* exige um documento de análise de falhas que é documentado e utilizado para desenvolvimentos posteriores e para isso existem dois métodos: método não quantitativo e método quantitativo (O'Connor, 1998). Este documento apresenta o cabeçalho, os componentes e suas funções, modos, efeitos e causas das falhas, controle e índice de risco e ações recomendadas e tomadas.

Método não quantitativo serve para mostrar os modos de falhas cujos efeitos serão mais críticos. E métodos quantitativos incluem também a probabilidade, índice de severidade, índice de ocorrência, índice de detecção e índice de risco do tipo de falha (Kaminski, 2000).

O índice de severidade ( $I_s$ ) aplica-se ao efeito da falha e reflete a gravidade das conseqüências da falha para o usuário. Quanto maior o valor, maior a gravidade. Os valores utilizados pelo SAE J1739 estão entre 1 e 10. Esse índice pode alterar quando altera o projeto ou o processo.

O índice de ocorrência ( $I_o$ ) é a estimativa da probabilidade de um determinado modo de falha ocorrer, e portanto aplica-se à causa da falha. Normalmente utilizam-se valores entre 1 a 10 para cada causa de um mesmo tipo de falha. Quanto maior o valor, maior a probabilidade de ocorrência. O índice de ocorrência só se altera por meio de controles das causas pertinentes ou ações preventivas, minimizando a ocorrência do tipo de falha.

O índice de detecção ( $I_d$ ) é a estimativa da probabilidade de se detectar o tipo de falha com as formas de controle disponíveis ou previstas. Assim, é a probabilidade de se identificar uma deficiência potencial do projeto antes que ele seja liberado para a produção. O valor máximo dez é atribuído a uma pequena probabilidade de detecção e o valor mínimo um é atribuído a uma grande probabilidade de detecção. Notar que o índice de detecção pode ser reduzido por meio de uma melhora nos sistemas de controle como será apresentado na tabela 5.

O índice de risco ( $I_r$ ) número de prioridade de risco (RPN) é o produto de todos os índices dos tipos de falhas em potencial que possam ocorrer.

O índice de risco tem como objetivo no *FMEA*:

- Estimar os riscos envolvidos;
- Identificar os processos e os tipos de falhas mais críticos;
- Recomendar as ações a serem implementadas e alternativas;

- Priorizar as ações corretivas aplicáveis;
- Avaliar a eficácia das ações efetivamente tomadas para minimizar ou eliminar as causas dos tipos de falhas, reduzir sua severidade e melhorar sua detecção;
- Avaliar a eficiência das ações corretivas.

Como referência na GM, pode-se considerar como item críticos ou prioritários para uma ação corretiva num *FMEA* aqueles que tenham o índice de risco maior que 120 pontos.

Todos os critérios aqui utilizado foi baseado no SAE J1739 como apresentado no anexo B.

O trabalho tem objetivo apenas de estudar *FMEA* de processo. A tabela 5 mostra *FMEA* de processo do conjunto da pedaleira antes do *DFA* e a tabela 6, depois do *DFA*. No total são seis itens críticos acima dos 120 pontos referenciado pela GM. O dispositivo de *Poka-Yoke* e treinamentos de operadores têm, então, a finalidade de minimizar esse índice como pode ser observado na tabela 6.

Tabela 5 - PFMEA do conjunto da pedaleira antes do estudo

Análise do modo e efeitos de falhas de processo - PFMEA											
Peça conjunto pedaleira do modelo K antes do DFA											
Função do processo requisitos	Modo de falha potencial	Efeito(s) Potencial da Falha	Severidade	Classificação	Causa e mecanismo potencial da falha	Ocorrência	Controle atuais do processo			RPN	Ações recomendadas
							Prevenção	Deteção	Deteção		
Encaixar vedador	Vedador faltante	Ruído	7		Erro do operador	6	Treinamento	Inspecção visual	7	294	Dispositivo de Poka-Yoke atualizado com sensor
		Infiltração	7		Erro do operador	6	Treinamento	Inspecção visual	7	294	Dispositivo de Poka-Yoke atualizado com sensor
Montar isolador	Isolador faltante	Ruído	8		Erro do operador	1	Treinamento	Inspecção visual	2	16	-
		Infiltração	8		Erro do operador	1	Treinamento	Teste de infiltração e Inspecção visual	2	16	-
Encaixar botões de fixação	Botão faltante	Infiltração	6		Erro do operador	5	Treinamento	Teste de infiltração e Inspecção visual	3	90	Dispositivo de Poka-Yoke atualizado com sensor
Fixar acelerador, pedal do freio e pedal da embreagem no strike plate	Porca solta	Ruído	7		Erro do operador	4	Treinamento	Auditoria de torque	6	168	Dispositivo de Poka-Yoke, apertadeira eletrônica com controle de torque
	Porca faltante	Operação parcial	10		Erro do operador	5	Treinamento	Inspecção visual	6	300	Dispositivo de Poka-Yoke com sistema integrado, DFA
	Aplicação de torque inadequada	Sem operação	10		Falha da apertadeira	3	Manutenção preventiva e máq elétrica com controle de torque	Torquímetro de estalo	6	180	Dispositivo de Poka-Yoke, apertadeira eletrônica com controle de torque
Montar braço tirante do freio	Braço tirante faltante	No build com parada de linha	2		Erro do operador	6	Treinamento	Inspecção visual	2	24	Dispositivo de Poka-Yoke
Encaixar interruptor do freio	Interruptor faltante	Farol de freio não opera	8		Erro do operador	6	Treinamento	Inspecção visual	2	96	Dispositivo de Poka-Yoke atualizado com sensor
Encaixar tubo pistão de segurança	Pistão faltante	Sem operação	10		Erro do operador	5	Treinamento	Inspecção visual	4	200	Dispositivo de Poka-Yoke atualizado com sensor
Encaixar flexível do cilindro atuador da embreagem no terminal do reservatório fluido freio	Não encaixado, mal encaixado	Vazamento no momento do filling	2		Erro do operador	3	Treinamento	Inspecção visual e detecção pelo equipamento de filling	2	12	-

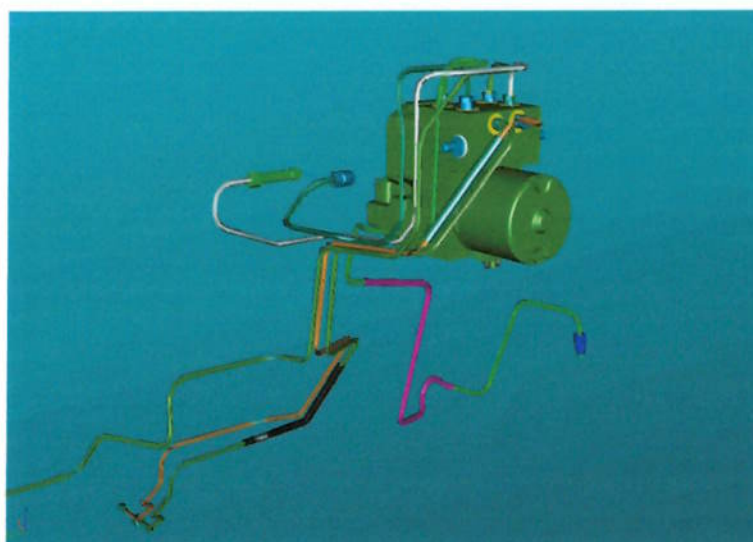
Tabela 6 - PFMEA do conjunto da pedaleira depois do estudo

Análise do modo e efeitos de falhas de processo - PFMEA									
Peça conjunto pedaleira do modelo K depois do DFA									
Função do processo requisitos	Modo de falha potencial	Efeito(s) Potencial da Falha	Severidade	Classificação	Causa e mecanismo potencial da falha	Ocorrência	Controle atuais do processo		
							Prevenção	Deteção	Novo RPN
Encaixar vedador	Vedador faltante	Ruído	7		Erro do operador	3	Treinamento	Inspeção visual e sensor de presença	42
		Infiltração	7		Erro do operador	3	Treinamento	Inspeção visual e sensor de presença	42
Montar isolador	Isolador faltante	Ruído	8		Erro do operador	1	Treinamento	Inspeção visual e sensor de presença	8
		Infiltração	8		Erro do operador	1	Treinamento	Teste de infiltração e Inspeção visual	8
Encaixar botões de fixação	Botão faltante	Infiltração	6		Erro do operador	3	Treinamento	Teste de infiltração, Inspeção visual e sensor de presença	36
Fixar acelerador, pedal do freio e pedal da embreagem no strike plate	Porca solta	Ruído	7		Erro do operador	3	Treinamento	Auditoria de torque e controlador de torque	42
	Porca faltante	Operação parcial	10		Erro do operador	2	Treinamento	Inspeção visual e sistema de computador integrado	40
	Aplicação de torque inadequada	Sem operação	10		Falha da apertadeira	3	Manutenção preventiva e máq elétrica com controle de torque	Controlador de torque eletrônico	60
Encaixar interruptor do freio	Interruptor faltante	Faro de freio não opera	8		Erro do operador	3	Treinamento	Inspeção visual e sensor de presença	48
Encaixar tubo pistão de segurança	Pistão faltante	Sem operação	10		Erro do operador	3	Treinamento	Inspeção visual e sensor de presença	60
Encaixar flexível do cilindro atuador da embreagem no terminal do reservatório fluido freio	Não encaixado, mal encaixado	Vazamento no momento do filling	2		Erro do operador	3	Treinamento	Inspeção visual e detecção pelo equipamento de filling	12

## **6.2. Estudo de caso B**

### **6.2.1. Conjunto de tubulações de freio**

O conjunto de tubulações de freio de um veículo consiste em seis tubos acoplados na válvula módulo de pressão de freio, como pode ser visto na figura 36 a seguir. Este conjunto também, como no caso A, é um produto de extrema importância, pois é item de segurança. Em outras palavras, se o subconjunto falhar durante a utilização do veículo, pode causar acidentes aos usuários. É neste intuito que todo cuidado na montagem deve ser tomado para não ocorrerem falhas.



**Figura 36 - Conjunto de tubulações de freio**

As tubulações de freio e a válvula módulo têm a finalidade de distribuir o fluido de freio acionando o freio propriamente dito. A válvula módulo de pressão de freio é o conhecido freio ABS, aonde existem válvulas inteligentes no interior que regula a entrada e a saída do fluido quando acionado.

### **6.2.2. Análise de dados**

Este conjunto também é montado nas estações de montagem de subconjuntos que supri a linha de produção conforme a demanda.

Atualmente, não existem dificuldades de montagem, porém podem existir montagens errôneas, ou seja, o operador monta umas das tubulações no encaixe fora

do especificado pela Engenharia de Produto. Outra provável falha é o operador esquecer de apertar uma das porcas do tubo. As falhas serão analisadas no item 6.2.4.

O estudo para este caso consiste, portanto, de criação de dispositivos de *Poka-Yoke* para a montagem correta das tubulações e *Poka-Yoke* no produto.

As conseqüências de montagem erradas pode acarretar em parada de linha, mau funcionamento do freio, vazamento do fluido do freio e não compatibilidade do conjunto com a unidade do veículo quando instalado.

### 6.2.3. Aplicação na área de submontagem

O dispositivo de *Poka-Yoke* para essa montagem pode ser observado na ilustração abaixo e que consiste em:

- 1) Posicionador da válvula módulo;
- 2) Posicionador dos tubos de freio;
- 3) Pistão de fechamento;
- 4) Botão de acionamento;
- 5) Botão de emergência.

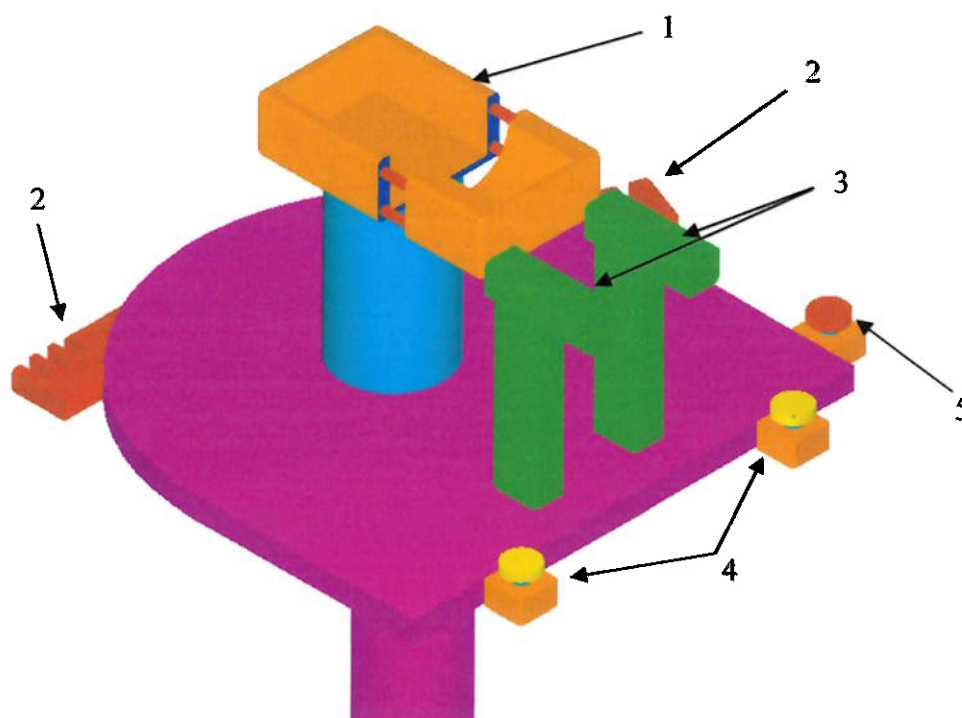
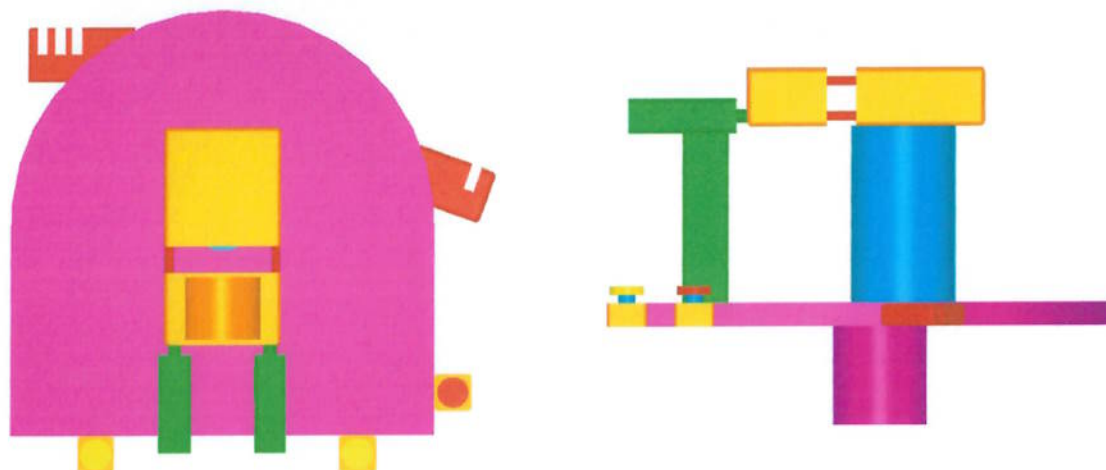


Figura 37 - Dispositivo de *Poka-Yoke*

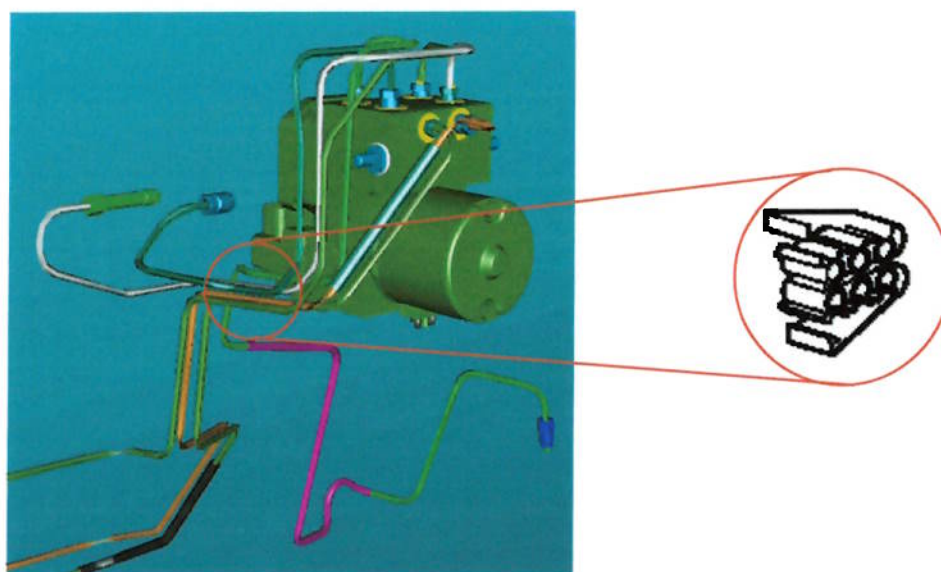




**Figura 38 - Dispositivo de *Poka-Yoke***

O *Poka-Yoke* no produto prosseguirá em demarcações nos encaixes das tubulações com números de 1 a 6. O número 1 representa o primeiro encaixe a ser conectado, o número dois representa o segundo encaixe e assim por diante. No inventário das tubulações de freio também serão distinguidos o primeiro tubo a ser montado, o segundo, e assim segue.

Para garantir que os seis tubos de freio estejam na sua posição correta pode-se incluir a presilha como mostra na figura 39 abaixo.



**Figura 39 - Presilha**

Outro instrumento à prova de erros é a implementação de torquímetros com transmissor de sinal por ondas de AM. Esses torquímetros possibilitam a indicação remota que o torque foi aplicado.

O módulo de transmissão possui identidade própria, possibilitando usos múltiplos sem a possibilidade de interferências e é ativado quando o torque pré-ajustado é atingido. O sinal é enviado para um receptor que recolhe e armazena aplicações de torque e monitora instantaneamente as operações críticas de apertos, conforme a figura 40.

Esse torquímetro tem um custo de aproximadamente R\$ 2.500,00 pela empresa M.Shimizu [10], empresa fornecedora de equipamentos e acessórios para linha de montagens.



**Figura 40 - Torquímetro com transmissão AM e receptor [10]**

O funcionamento do dispositivo de *Poke-Yoke* baseia-se no operador colocar a válvula módulo no posicionador (1) e acionar os dois botões de acionamento (4). Os dois pistões de fechamento (3) serão ativados travando a válvula módulo. Montar os tubos conforme a numeração dos tubos no inventário e nos encaixes do produto. Apertar com torquímetros imediatamente depois para cada tubo montado. Lacrar com tinta lacre as porcas e acionar novamente os dois botões de acionamento para liberar o conjunto. O dispositivo só libera o conjunto se todas as porcas forem devidamente apertadas.



#### 6.2.4. Comparação da confiabilidade do novo processo com o processo antigo

O conjunto de tubulações do freio contém inicialmente três itens críticos acima dos 120 pontos, como apresentado na tabela 7 em vermelho. Com a implementação dos dispositivos de controle de processo e treinamentos de operadores será possível a minimização do índice de ocorrência e de detecção.

**Tabela 7 - PFMEA conjunto tubulações do freio antes do estudo**

Análise do modo e efeitos de falhas de processo - PFMEA											
Peça conjunto tubulação de freio antes do DFA											
Função do processo requisitos	Modo de falha potencial	Efeito(s) Potencial da Falha	Severidade	Classificação	Causa e mecanismo potencial da falha	Ocorrência	Controle atuais do processo			RPN	Ações recomendada
							Prevenção	Deteção	Deteção		
Fixar conjunto tubulação de freio	Porca solta	Ruido	8		Erro do operador	6	Treinamento	Inspeção visual e Deteção pelo equipamento de filling	4	192	Torquímetros com transmissão de sinal AM, receptor e treinamento
		Vazamento no momento do teste de freio	8		Erro do operador	6	Treinamento	Deteção pelo equipamento de filling	5	240	Torquímetros com transmissão de sinal AM, receptor e treinamento
	Porca faltante	No build	8		Erro do fornecedor	3	Engenharia de Qualidade e Fornecedores	Inspeção visual	2	48	Controle de produto de fornecedores
	Fixação em local inadequado	No build com parada de linha	8		Erro do operador	8	Treinamento	Dispositivo de Poka-Yoke	3	192	Dispositivo de Poka-Yoke atualizado, instrução e treinamento
	Aplicação de torque inadequada	Operação inadequada	6		Erro do operador	5	Manutenção preventiva dos torquímetros	Torquímetro de estalo	3	90	Torquímetros com transmissão de sinal AM, receptor e treinamento
		Vazamento no momento do teste de freio	8		Erro do operador	5	Manutenção preventiva dos torquímetros	Deteção pelo equipamento de filling	3	120	Torquímetros com transmissão de sinal AM, receptor e treinamento

Tabela 8 - *PFMEA* conjunto tubulações do freio depois do estudo

Análise do modo e efeitos de falhas de processo - <i>PFMEA</i> Peça conjunto tubulação de freio depois do DFA										
Função do processo requisitos	Modo de falha potencial	Efeito(s) Potencial da Falha	Severidade Classificação		Causa e mecanismo potencial da falha	Ocorrência	Controle atuais do processo			Novo RPN
							Prevenção	Deteção	Deteção	
Fixar conjunto tubulação de freio	Porca solta	Ruído	8		Erro do operador	3	Treinamento	Inspecção visual, deteção pelo equipamento de filling e torquímetros com transmissão de sinal AM com receptor	2	48
		Vazamento no momento do teste de freio	8		Erro do operador	3	Treinamento	Deteção pelo equipamento de filling e torquímetros com transmissão de sinal AM com receptor	2	48
	Porca faltante	No build	8		Erro do fornecedor	3	Engenharia de Qualidade e Fornecedores	Inspecção visual	2	48
	Fixação em local inadequado	No build com parada de linha	8		Erro do operador	2	Treinamento	Dispositivo de <i>Poka-Yoke</i> atualizado e indicação da seqüência de montagem no produto	2	32
	Aplicação de torque inadequada	Operação inadequada	6		Erro do operador	5	Manutenção preventiva dos torquímetros	Torquímetros com transmissão de sinal AM com receptor	2	60
		Vazamento no momento do teste de freio	8		Erro do operador	5	Manutenção preventiva dos torquímetros	Deteção pelo equipamento de filling e torquímetros com transmissão de sinal AM com receptor	2	80

Os dispositivos de *Poka-Yoke* foram imprescindíveis para o trabalho para a montagem correta dos conjuntos e a eliminação de falhas como apresentado nas tabelas 5 a 8.

## 7 CONCLUSÃO

Foram realizados dois estudos de casos diferentes neste trabalho e que foi útil para o aprendizado na engenharia de manufatura, pois mostra a vivência do engenheiro dentro da fábrica solucionando para a redução de custo de fabricação e maior qualidade do produto final.

Os conceitos de minimização do número de peças, montagem modular ou com componente-base, projeto de peças com características auto-fixadoras, montagem empilhada ou unidirecional, peças com características autolocalização, minimização de níveis de montagem, projeto para estabilidade, minimização da necessidade de ajuste e otimização da sequência de montagem foram utilizados para bom andamento dos estudos.

Além de facilitar a montagem dos conjuntos para o operador, otimizou-se o tempo de montagem aumentando o número de conjuntos produzidos. Eliminou-se áreas dentro da fábrica baseando no conceito de *Lean-Manufacturing* e *Just-in-Time*.

Os dados utilizados para o estudo foram retirados de caso real nas plantas de fabricação, portanto diferente do que apresentado na introdução dos conceitos. Os conceitos devem entrar na fase inicial do projeto, antes da construção de qualquer protótipo. Para efeito de apresentação e estudo dos conceitos, o trabalho é totalmente compatível com o objetivo.

O trabalho mostrou a importância do *DFA*, no projeto conceitual, e deve-se ao fato de que as decisões tomadas nesta fase são responsáveis pela determinação de aspectos relacionados ao desempenho e à competitividade do produto, como à qualidade e à atratividade econômica, por todo o seu ciclo de vida.

O custo de implementação não foi tema desse estudo, portanto deve comentado que esse custo de implementação de qualidade é de difícil quantificação, pois deve ser contabilizado custo de treinamento de operadores, custo de compra de equipamentos, custo de engenharia, custo de fabricação entre outros. Existe casos em que o custo é tão alto que a proposta não deve ser colocada em diante devido a sua inviabilidade.

Um outro custo, não menos importante, é o custo de retrabalhos na linha de produção. Esses conceitos adotados servem para trazer benefícios e mesno

retrabalhos posteriores. Casos em que o custo de retrabalho é maior que o próprio custo do produto final, assim estes são descartados para evitar esse custo.

*DFA* e *Poka-Yoke* são duas teorias de extrema importância na indústria em geral. Elas são essenciais para garantir a qualidade do produto que o cliente e o mercado exigem hoje em dia.

Deve-se entender também que com a implementação dos mesmos obriga um gasto de tempo maior no início do projeto para o estudo detalhado de *DFMA*, mas esse tempo é menor no processo de fabricação, por causa que a produção será menos sujeita a erros e falhas eliminando custo de retrabalho ou custo de eliminação do produto fabricado.

O objetivo do trabalho foi atingido e a proposta futura é influenciar as empresas na utilização dessas ferramentas para aumentar a qualidade dos produtos e diminuir os custos com trabalhos desnecessários e retrabalhos. Pois observa-se no capítulo 4 que não é qualquer empreendimento que suporta esses fundamentos.

## ANEXO A

Os exemplos abaixo são apresentações complementares para enriquecer o entendimento de *DFA*:

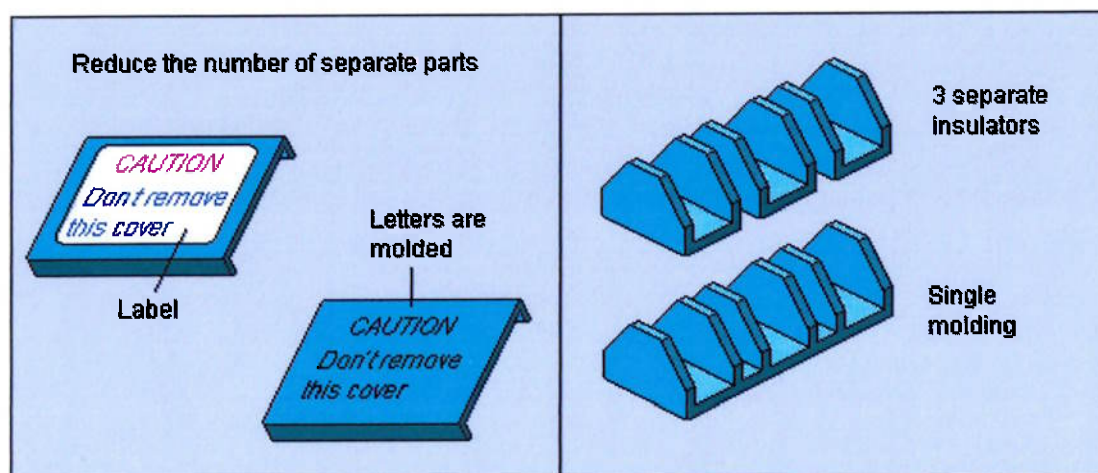


Figura 41 - Exemplo de redução de componentes [4]

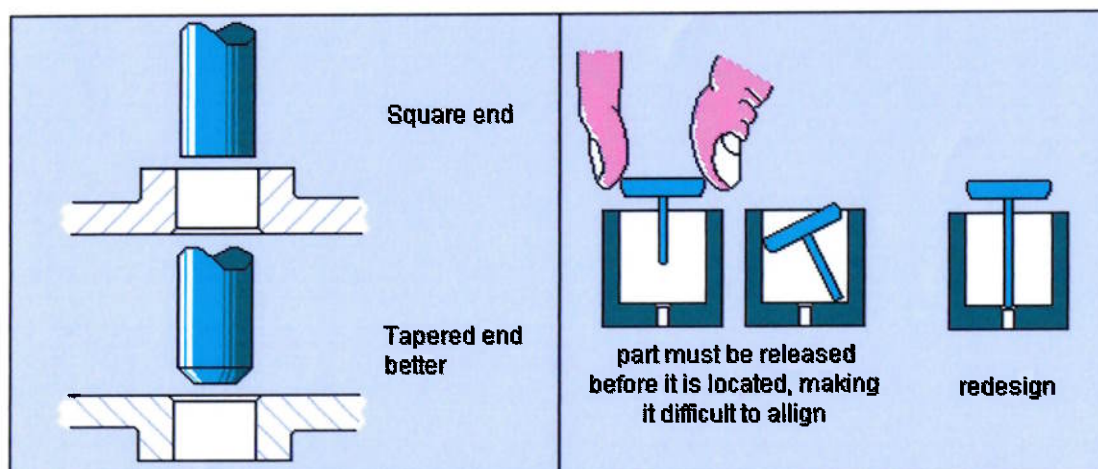


Figura 42 - Redução de reorientações [4]

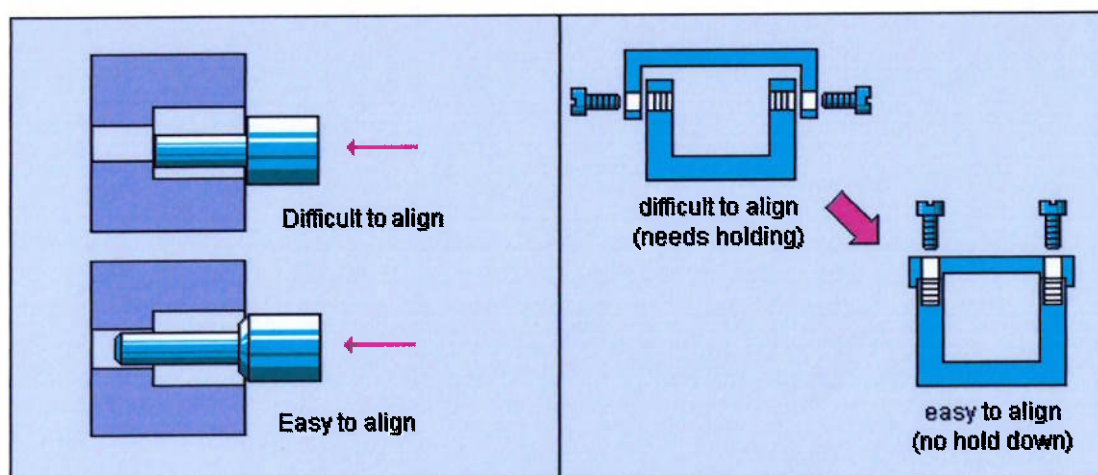


Figura 43 - Evitar ajustes desnecessários [4]

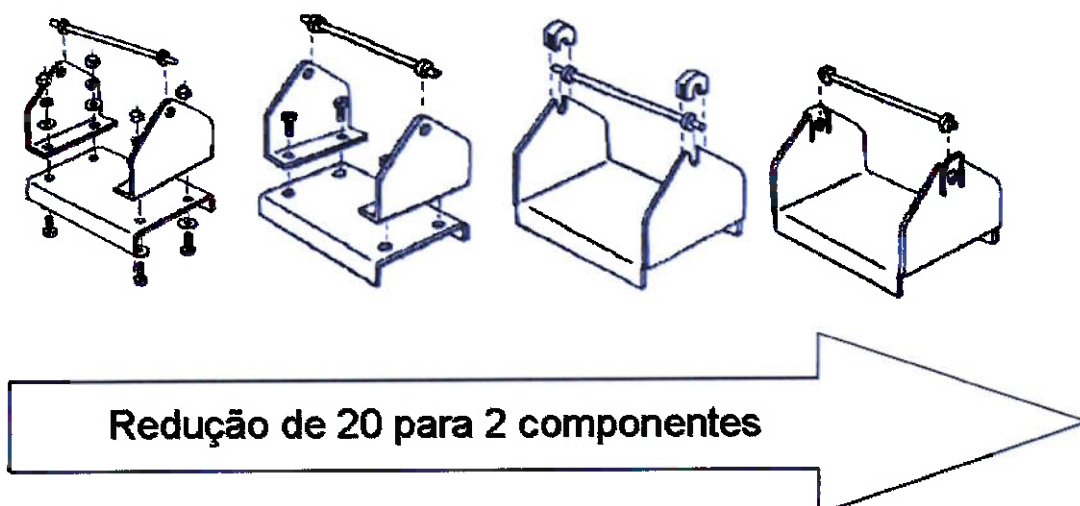


Figura 44 - Exemplo prático de redução de componente

## ANEXO B

Tabela 9 - Critério de avaliação de severidade sugerido da FMEA de processo [14]

Efeito	Critério: Severidade do efeito	Índice de severidade
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio. Pode pôr em perigo o operador sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental com aviso prévio. Pode pôr em perigo o operador com aviso prévio.	9
Muito alto	Veículo/Item inoperável (perdas das funções primárias). 100% dos produtos podem ter que ser sucateados.	8
Alto	Veículo/Item operável, mas com níveis de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito. Uma parte dos produtos selecionados, menor que 100%, devem ser sucateados.	7
Moderado	Veículo/Item operável, mas item(s) de conforto/conveniência inoperáveis. Cliente insatisfeito. Uma parte dos produtos não selecionados, menor que 100%, devem ser sucateados.	6
Baixo	Veículo/Item operável, mas item(s) de conforto/conveniência operável(is) com níveis de desempenho reduzidos. 100% podem ter que ser retrabalhados.	5
Muito baixo	Itens de ajuste, acabamento/chiado e barulho não-conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75%). Uma parte dos produtos, menor que 100%, devem ser retrabalhados.	4
Menor	Itens de ajuste, acabamento/chiado e barulho não-conformes. Defeito evidenciado por 50% dos clientes. Uma parte dos produtos, menor que 100%, devem ser retrabalhados na linha mas fora da estação.	3
Muito menor	Itens de ajuste, acabamento/chiado e barulho não-conformes. Defeito evidenciado por clientes acurados (menor que 25%). Uma parte dos produtos, menor que 100%, devem ser retrabalhados na linha e dentro da estação.	2
Nenhum	Sem efeito identificado	1

Tabela 10 - Critério de avaliação de ocorrência sugerido da *FMEA* de processo [14]

Probabilidade de falha	Taxa de falha possíveis	Índice de ocorrência
Muito alta: Falha é quase inevitável	$\geq 1$ em cada 2	10
	1 em cada 3	9
Alta: Falhas freqüentes	1 em cada 8	8
	1 em cada 20	7
Moderada: Falhas ocasionais	1 em cada 80	6
	1 em cada 400	5
	1 em cada 2000	4
Baixa: Relativamente poucas falhas	1 em cada 15000	3
	1 em cada 150000	2
Remota: Falha é improvável.	$\leq 1$ em cada 1500000	1

Tabela 11 - Critério de avaliação de detecção sugerido da *FMEA* de processo [14]

Detecção	Faixas sugeridas dos métodos de detecção	Índice de detecção
Quase impossível	Certeza absoluta da não detecção	10
Muito remota	Controles provavelmente não irão detectar	9
Remota	Controles têm chances remotas de detecção	8
Muito baixa	Controles têm pouca chance de detecção	7
Baixa	Controles podem detectar	6
Moderada	Controles podem detectar	5
Moderadamente alta	Controles têm boas chances para detectar	4
Alta	Controles têm boas chances para detectar	3
Muito alta	Controles quase certamente detectarão	2
Quase certeza	Controles certamente detectarão	1



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDREASEN, M.M; KAHLER, S.; LUND, T. **Design for assembly**. 2.ed United Kingdom: IFS Publications, 1988.
- [2] ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. <http://www.anfavea.com.br>
- [3] ASHLEY, S. **Cutting Costs and Time with DFMA**. Mechanical Engineering, 1995.
- [4] BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; Knight, W. **Product design for manufacture and assembly**. New York: Marcel Dekker, 1994.
- [5] General Motors do Brasil. <http://gmb.chevrolet.com.br/>
- [6] KAMINSKI, P.C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000.
- [7] LUBBEN, Richard. **Just-In-Time: uma estratégia avançada de produção**. São Paulo: McGraw-Hill, 1989.
- [8] Microstation – Programa de CAD de construção.
- [9] MIYAKE, D.I. Notas de aulas da disciplina “**PRO 5815 – Estratégia de Manufatura**” da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, departamento de engenharia de produção.
- [10] M. Shimizu Elétrica e Pneumática Ltda – Catálogo.

[11] O'CONNOR, P.D.T. **Practical Reliability Engineering**. Stevenage: Wiley, 1998.

[12] OTA, R.T. **Aplicação do conceito *Poka-Yoke* para solução de problemas críticos de qualidade em uma indústria automobilística**. 2002. 98p. Tese (Mestrado Profissionalizante) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

[13] RODRIGUES, A.A. **Aplicação da metodologia design for manufacturability and assembly na indústria automobilística**. 2002. 152p. Tese (Mestrado Profissionalizante) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

[14] SAE J1739 – Manual de referência (Julho 94) de análise dos modos e efeitos de falhas em design e análise dos modos e efeitos de falhas em manufatura e processo de montagem.

[15] SHINGO, S. **Poka-Yoke – Improving Product Quality by Preventing Defects**. Cambridge: Productivity Press, INC. 1988

[16] SHINGO, S. **Zero Quality Control: Source Inspection and the *Poka-Yoke* System**. Cambridge: Productivity Press, INC., 1986.

[17] SOUSA, A.G. **Estudo e análise dos métodos de avaliação da montabilidade de produtos industriais no processo de projeto**. 1998. 231p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

[18] STDS – Standard Time Data System.

[19] VASCONCELLOS, E.; HEMSLEY, J. **Estrutura das Organizações**. São Paulo, Pioneira, 1997.

[20] VisMockup – Programa de CAD de visualização.