

LEONARDO MARTO SANCHES JUNIOR

**ESTABILIDADE DIMENSIONAL DE CARROCERIAS AUTOMOTIVAS
ATRAVÉS DE PRÉ-CONTROLE APLICADO NO PROCESSO DE JUNÇÃO
DE SUBCONJUNTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Mestre Profissional em
Engenharia Automotiva.

CONSULTA
FMP-126
Ed.rev.

São Paulo
2007

LEONARDO MARTO SANCHES JUNIOR

**ESTABILIDADE DIMENSIONAL DE CARROCERIAS AUTOMOTIVAS
ATRAVÉS DE PRÉ-CONTROLE APLICADO NO PROCESSO DE JUNÇÃO
DE SUBCONJUNTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Mestre Profissional em
Engenharia Automotiva.

Área de Concentração:

~~Engenharia Automotiva~~

Orientador:

Prof. Dr. Gilmar Ferreira Batalha

São Paulo
2007

À força maior de Deus por me guiar entre os desafios,
meus pais, esposa, filha, mestres e profissionais que
colaboraram com a elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho contou com a atenção de ótimos profissionais, tais como engenheiros e administradores de empresa que compartilharam suas informações e conhecimentos em prol de colaborar com a busca dos objetivos aqui expostos.

Além destas pessoas, quero destacar o Prof. Dr. Gilmar Ferreira Batalha e o Prof. Dr. Dario Ikuo Miyake que tiveram um papel fundamental, adequando minhas idéias e atitudes para realização do trabalho.

Durante a implementação do estudo e avaliação dos resultados na área de produção de carrocerias, recebi o apoio imensurável do Sr. Humberto Garcia e da Sra. Ana Cristina Avelino, gerentes da área de montagem de carrocerias, Sr. Douglas Ruiz, mestre em engenharia automobilística atuante na área de engenharia de manufatura de processos de Carroceria e o Sr. Gustavo Bonnemassou, engenheiro de *Quality Assurance*.

Deixo registrado o meu muito obrigado a todos os envolvidos profissionalmente e também a minha família, Priscilla e Luma, que mantiveram o apoio para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

A busca por melhores resultados na qualidade dimensional em carrocerias automotivas, possibilita, através deste trabalho, demonstrar conceitos, aplicação e resultados de um método de pré-controle aplicado ao controle dimensional de carrocerias capaz de identificar as variações dos processos de montagens de subconjuntos de forma eficaz e com baixo investimento. Este trabalho parte de uma metodologia de pesquisas teóricas em modelos de pré-controle de processos de manufatura e a aplicação de um estudo de caso em uma empresa de montagem de veículos, visando proporcionar a estabilidade dimensional do processo de junção de subconjuntos de carrocerias. A contribuição principal deste trabalho é utilizar um conceito de pré-controle para validar e controlar processos de junção de carrocerias, seja durante a fase de implementação de novos produtos ou em projetos já em produção. Este trabalho limita-se apenas a demonstração de um método alternativo que controla a variação dimensional de subconjuntos de carrocerias, garantindo a repetibilidade do processo. Não substitui nenhum sistema conhecido de controle dimensional, vindo apenas a complementar os métodos atuais apresentados neste trabalho. As informações obtidas permitem a realização de pesquisas relacionadas a controle dimensional de carrocerias, bem como as ferramentas de qualidade de processos produtivos. A aplicação do método prático vinculado à teoria de pré-controle, destacando os resultados obtidos em relação à estabilidade dimensional de carrocerias, redução de discrepâncias de montagem, redução de despesas anuais com retrabalhos e descartes de peças e subconjuntos de carrocerias, é a proposta original do autor.

Palavras chaves: Carroçaria, estabilidade estrutural, custo de operação, pré-controle e *Tomoana*.

ABSTRACT

In order to reach best results in the quality of automotive body-in-white assemblies through dimensional analysis, this paper demonstrated the concepts, applications and results of a pre-control method that allow to detect subassemblies variations with low investment. The paper brings a methodology based on theory, studies and research of pre-control models applied in a manufacturing process case to reach the dimensional stability of body-in-white subassemblies welding process. The main contribution of this study is use the pre-control method to control de weld assembly process from the project implementation phase to the production phase. The boundaries of this paper are to demonstrate this alternative method that controls the dimensional variation through in-control process repeatability. The method does not substitute any other dimensional control. It only complement the current methods used in the automotive industry. Through this paper is possible find information about dimensional control of body-in-white and process quality tools as well. Beside that, it shows up the results and impacts of the pre-control method in the weld assembly process, highlighting dimensional stability improvements and annual cost reduction through reducing rework hours and scrap parts quantity. The method demonstration, theory analysis and results evaluation are the original author's proposal.

Key words: Body-in-white, structural stability, operational cost, pre-control and *Tomoana*.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Situação problema	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo geral	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Escopo do trabalho	2
2 PRÉ-CONTROLE APLICADO À PROCESSOS DE MANUFATURA	4
2.1 Histórico do pré-controle	4
2.2 Comparação entre pré-controle e gráficos de controle.....	6
2.3 Conceitos do pré-controle	8
2.3.1 Erros associados ao pré-controle	8
2.3.2 Capabilidade do processo e o pré-controle	10
2.3.2.1 Impactos da Capabilidade do processo no pré-controle	13
2.4 Intervalos entre amostras	15
2.5 Aplicação do pré-controle no processo produtivo	16
2.5.1 Qualificação dos ajustes do processo	16
2.5.2 Pré-controle na produção	17
2.6 Calibradores para o pré-controle	18
2.7 Considerações sobre pré-controle	18
3 ESTRUTURA DE TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO	20
3.1 Conceitos e princípios básicos	20
3.1.1 Estrutura de referência (<i>Datum</i>)	20
3.1.2 Características inter-relacionadas	21

3.1.3 Características de contornos e limites	22
3.2 Aplicação do controle de tolerâncias geométrica	23
4 CONTROLE DIMENSIONAL DE CARROCERIAS AUTOMOTIVAS ...	25
4.1 Conceitos e definições	25
4.2 Processos de medição de carrocerias	25
4.2.1 Pontos e plano de medição	27
4.3 Equipamentos de controle dimensional	29
4.3.1 Máquina de medição coordenada - CMM (<i>Coordinated Measurement Machine</i>)	29
4.3.2 Máquina de medição coordenada portátil	31
4.3.3 Sistema de medição a laser	32
4.3.4 Dispositivos de inspeção e coletores de dados	33
4.4 Controle e monitoramento dimensional	34
4.4.1 95% @ 6 Sigmas no processo dimensional de carroceria	38
5 METODOLOGIA DE PRÉ-CONTROLE NO PROCESSO DE JUNÇÃO DE CARROCERIAS	41
5.1 Revisão do Processo de junção de carrocerias para a aplicação do pré- controle	41
5.1.1 Solda por resistência elétrica	41
5.1.2 Estação de solda a ponto manual	45
5.1.3 Máquinas de solda a ponto	45
5.1.4 Dispositivos de junção de subconjuntos de carroceria	46
5.1.5 Estação de solda a ponto automática	48
5.2 Variação	49
5.2.1 Custo da variação	50
5.3 Preparação de peças padrão	53
5.4 Calibração do processo de junção de carrocerias	55
5.5 Validação do processo de junção de carrocerias	58
5.6 Pré-controle do processo produtivo e solução de problemas	61
5.7 Terminologias do método de pré-controle	62

6 APLICAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO DE PRÉ-CONTROLE NO PROCESSO DE JUNÇÃO DE SUBCONJUNTOS DE CARROCERIAS....	64
6.1 Características da empresa escolhida para aplicação do método	64
6.2 Tomoana: Método aplicado de pré-controle	65
7 RESULTADOS	76
7.1 Subconjuntos avaliados	76
7.2 Controle estatístico do processo e capacidade	77
7.3 Impactos do pré-controle no processo	80
7.4 Impactos do pré-controle nos Indicadores de Qualidade	81
7.5 Impactos nos custos de produção	83
8 CONCLUSÃO	86
9 PERSPECTIVAS E TRABALHOS FUTUROS	87
REFERÊNCIAS	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens do pré-controle sobre os gráficos de controle, conforme Bhote, Keki R. (1991)	7
Tabela 2 – Exemplos para frequência de amostras de pré-controle	15
Tabela 3 – Relatório de dados coletados dos sistemas de medição	35
Tabela 4 – Subconjuntos com pré-controle <i>Tomoana</i>	76
Tabela 5 – Despesas com retrabalho e descarte de peças e conjuntos, Fonte: Estudo de Caso – Montadora ABC – Ref. 2006	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Zonas de tolerância do pré-controle	11
Figura 2 – Porcentagem da tolerância dentro das zonas de pré-controle	11
Figura 3 – Zonas de pré-controle para tolerâncias unilaterais	12
Figura 4 – Zonas de pré-controle para tolerâncias de máximo ou mínimo	12
Figura 5 – Distribuição normal do processo em função de Cp e Cpk	13
Figura 6 – Gráfico de probabilidade de cinco amostras verdes consecutivas em função do índice Cpk do processo (Urdhwareshe,2002)	14
Figura 7 – Critério de aprovação – cinco verdes consecutivos	17
Figura 8 – Critério de aprovação / rejeição do pré-controle	18
Figura 9 – Exemplo de demarcação de calibradores para pré-controle	18
Figura 10 – Estrutura de referência de peças	21
Figura 11 – Controle convencional mostrando a forma e localização perfeita	22
Figura 12 – Controle convencional mostrando possíveis variações na forma e localização	22
Figura 13 – Controle equivalente para limites e zonas de tolerâncias	23
Figura 14 – Exemplos de alternativas de controle de tolerâncias	24
Figura 15 – Sistema de coordenada para carrocerias automotivas	26
Figura 16 – Convenção de sinal para variações dimensional	27
Figura 17 – Plano de medição de carroceria automotiva	29
Figura 18 – Equipamento de medição coordenada (CMM)	30
Figura 19 – Máquina de medição coordenada portátil	31
Figura 20 – Estação de medição a laser de carroceria e subconjuntos – <i>Vision</i> <i>System</i>	33
Figura 21 – Coletor de dados aplicado em dispositivos de inspeção	34
Figura 22 – Gráfico de variação para ponto de medição em uma coordenada	35
Figura 23 – Relatório de monitoramento dimensional de carroceria	37
Figura 24 – Distribuição normal e definição de Seis Sigmas	39

Figura 25 – Definição do critério de 95% das dimensões à 6 Sigma	40
Figura 26 – Esquematização de botão e ponto de solda (Ruiz, 2005)	42
Figura 27 – Curva de crescimento da solda típica para um tempo fixo de solda (Williams & Parker, 2004)	43
Figura 28 – Lóbulo de soldabilidade à uma força de eletrodo constante. (ISO 14327, 2001)	43
Figura 29 – Tempo de soldagem em função da corrente no secundário, espessura 0,8 mm; força – 1,8 kN, diâmetro da ponta do eletrodo 5,0 mm	44
Figura 30 – Estação de solda à ponto manual típica (General Motors, 1996)	45
Figura 31 – Tipos de MSPP's – (Catálogo técnico – OBARA Corp. – Japão).....	46
Figura 32 – Exemplos de dispositivos de junção de subconjuntos de carroceria: Compartimento do motor (<i>Front-end</i>), Painel interno da porta dianteira e assoalho dianteiro	47
Figura 33 – Estação de solda a ponto automática típica	48
Figura 33-X – Fontes de variação no processo de junção de carrocerias	49
Figura 34 - Curva de perda de Taguchi	51
Figure 35 - Perdas devido a variação	52
Figura 36 – Procedimento de preparação de peças padrão	54
Figura 37 – Furos de controle realizados nas peças da carroceria	59
Figura 38 – Critério de aprovação do processo de pré-controle	62
Figura 39 – Conceito de qualidade em sistema de manufatura automobilística	65
Figura 40 – Pontos verificados por <i>Tomoana</i> (pré-controle) – porta dianteira	66
Figura 41 – Fluxograma de certificação do processo via <i>Tomoana</i> (pré-controle). 68	
Figura 42 – Formulário para registro da certificação do processo	69
Figura 43 – Realização dos furos e preparação de peças padrão	70
Figura 44 – Fluxograma do procedimento de pré-controle no processo de junção de carrocerias	70

Figura 45 – Realização do pré-controle do processo	71
Figura 46 – Calibrador de verificação de pré-controle (<i>Tomoana</i>)	72
Figura 47 – Quadro de registro de certificação e de pré-controle diário do processo	72
Figura 48 – Quadro de peças padrão e o dispositivo de junção da tampa do compartimento do motor e porta traseira	73
Figura 49 – Localização e organização das peças padrão no quadro.....	74
Figura 50 – Sequência de posicionamento das peças padrão no dispositivo de junção da tampa do compartimento do motor	74
Figura 51 – Identificação do conjunto e recomendações para manipulação das peças padrão	75
Figura 52 – Definição da seqüência de fechamento do dispositivo de montagem para realização do pré-controle (<i>tomana</i>)	75
Figura 53 – Subconjuntos que compõem a carroceria veicular	77
Figura 54 – Relatório dimensional de subconjunto de carroceria	79
Figura 55 – Gráfico de resultado de estabilidade dimensional 95% @ 6 Sigma	81
Figura 56 – Gráfico de discrepâncias reportadas por clientes internos em montagens posteriores	82
Figura 57 – Gráfico de discrepâncias reportadas por clientes externos (Exportação)	83
Figura 58 - Gráfico de horas de retrabalhos por mês	85
Figura 59 - Gráfico de descartes de subconjuntos	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

6 Sigma	Seis vezes o desvio padrão de um processo
95%@ 6 Sigma	Métrica para controle dimensional de carroceria através de controle estatístico de processo
ABC	Cidades de Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul
ANSI	American National Standards Institute
AX	Eixo (Axis)
BGA	Bobina zincada à quente ferro - zinco
BZ	Bobina zincada
CMM	Condição máxima de material
CMM	<i>Coordinated Measurement Machine</i>
Conj.	Subconjunto de carrocerias composto de várias peças
Cp	Capabilidade do processo (intervalo da distribuição)
Cpk	Capabilidade do processo (centralização da distribuição)
DIM	Dimensão
DRF	<i>Datum reference frames</i>
ISO	International Organization for Standardization
L/D	Lado direito
L/E	Lado esquerdo
LIE	Limite inferior especificado
LIPC	Limite inferior de pré-controle
LOC	Ponto de localização (<i>location</i>)
LSE	Limite superior especificado
LSPC	Limite superior de pré-controle
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MED	Medida
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
MSPP	Máquina de Solda a Ponto Portátil
OP.	Operação de junção de carroceria
P	Probabilidade de ocorrência de um determinado evento

SAE	Society Automotives Engineering
Tol.	Tolerância
TSP	Transformador de solda à ponto
<i>Vision System</i>	Sistema ótico de medição dimensional baseado no processamento de imagens
X	Eixo de coordenada cartesiana X
Y	Eixo de coordenada cartesiana Y
Z	Eixo de coordenada cartesiana Z
ZTA	Zona termicamente afetada

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	UNIDADE
-	Sinal negativo de valores dimensionais	[mm]
+	Sinal positivo de valores dimensionais	[mm]
C _p	Capabilidade do processo	
σ	Desvio padrão	
\bar{x}	Média das amostras	[mm]
x	Valor da amostra	[mm]
n	Quantidade de amostras	
Σ	Somatória	
$\sqrt{\quad}$	Raiz quadrada	

1. INTRODUÇÃO

1.1 Situação Problema

Com a abertura dos mercados externo e o aumento da capacidade produtiva automobilística mundial, acirrou-se a competitividade entre as diversas plantas montadoras de veículos.

Dentre os diversos aspectos que trazem vantagens competitivas a uma empresa, a qualidade é uma das características que tem maior influência no seu sucesso.

Para a indústria automobilística a qualidade se reflete através da satisfação dos clientes em relação aos produtos e serviços oferecidos. Para que isto ocorra, cada área, departamentos e atividades dentro da indústria deve ter a mesma cultura de satisfazer os clientes internos gerando peças e componentes com qualidade.

Basicamente, uma planta de montagem de veículos está subdividida em três áreas principais que atuam diretamente na montagem dos veículos, sendo a área de montagem de carrocerias, pintura de carrocerias e montagem final de veículos.

Cada área possui sua importância dentro da cadeia produtiva e da cadeia da qualidade dos automóveis.

A área de montagem de carroceria, responsável pela junção de carrocerias e seus subconjuntos, tem uma responsabilidade especial de garantir o dimensional e a geometria final do automóvel, o que possibilita a montagem final dos componentes, sejam eles componentes mecânicos, de acabamento, de conforto ou de segurança, dentro do padrão mundial de qualidade esperado pelos clientes.

A grande diversidade de operações existentes no processo de montagem de carrocerias automotivas torna o sistema produtivo bastante complexo para a avaliação, controle da qualidade e controle dimensional.

A busca contínua por métodos e ferramentas de controle de qualidade aplicada adequadamente, ajuda a garantir processos mais estáveis, dentro das especificações, reduzindo variações e perdas no processo produtivo, tais como retrabalhos e descarte de componentes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Demonstrar conceitos, aplicação e resultados de um método de pré-controle aplicado ao controle dimensional de carrocerias automotivas, que seja capaz de identificar as variações do processo de junção de forma eficaz e com baixo investimento, resultando na estabilidade dimensional.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Análise da aplicabilidade do conceito de pré-controle nos processo de manufatura.
2. Aplicar o pré-controle no processo de junção de carrocerias automotivas contribuindo para a estabilidade dimensional e melhor qualidade.
3. Avaliar os resultados do método de pré-controle proposto na qualidade dimensional das carrocerias e no processo de junção de carrocerias.

1.3 Escopo do trabalho

O capítulo 2 traz informações gerais sobre o processo de pré-controle, bem como sua base teórica para aplicação em processos de manufatura. O referencial teórico sobre o pré-controle vincula os seus conceitos e sua aplicação prática aos princípios da estatística voltados ao controle de qualidade.

Para servir de base para à compreensão dos fundamentos do controle dimensional o capítulo 3 traz uma revisão sobre conceitos de toleranceamento geométrico a fim de sustentar os métodos de controle dimensional apresentados pelo capítulo 4, que é voltado a controle estatístico do processo de junção de carrocerias, através de controle dimensional.

O capítulo 5 dedica-se a descrever a metodologia e as principais aplicações do pré-controle dentro do processo de junção de carrocerias automotivas, definindo as diferentes aplicações, conceitos e critérios de utilização.

No capítulo 6, o método de pré-controle é aplicado praticamente em um processo de junção de subconjuntos para avaliação, levantamento de dados e análise posterior dos resultados, os quais são apresentados no capítulo 7.

As conclusões do método e da sua aplicação sistematizada serão discutidas no capítulo 8, abrindo um novo panorama para futuros estudos nessa área, relatado no capítulo 9.

2 PRÉ-CONTROLE APLICADO A PROCESSOS DE MANUFATURA

2.1 Histórico do pré-controle

O Pré-controle foi desenvolvido no início de 1950 por Carter, Purcal, Satterhwaite e Shainin como um método mais simples e rápido do que os gráficos de controle.

Esse método ganhou popularidade em meados de 1960 quando ele virtualmente desapareceu, segundo Bhote (1991). Reaparecendo em meados de 1980, sua aplicação vem crescendo. Bhote (1991), defensor do pré-controle, afirma que desde 1988 até 1991 a razão de usuários que utilizam o pré-controle *versus* os gráficos de controle aumentou de uma razão de 99:1 para 85:15.

Da mesma forma que os gráficos de controle, o pré-controle utiliza uma divisão da faixa de especificação, adotando regiões verde, amarela e vermelha, que dão uma resposta imediata ao operador ou outra pessoa responsável pelo processo, se este está ou não dentro do especificado.

Conforme Vandegrift (1992), simulações foram utilizadas para determinar a validade do pré-controle, destacando seus pré-requisitos básicos e sua aplicabilidade nos processos de manufatura.

Foi demonstrado que o pré-controle é muito adequado para manter o processo dentro dos limites especificados quando a variação e o desvio da média estão em condições específicas dentro do controle do processo. O objetivo principal do pré-controle é determinar a pré-qualificação do processo.

Após o processo ser pré-qualificado e estar pronto para iniciar, basta apenas à montagem de um conjunto para determinar se o processo está sob “controle”, sendo desnecessários gráficos complexos ou cálculos como ocorrem no controle estatístico.

O pré-controle pressupõe que já exista um conhecimento prévio, ou que esse conhecimento possa ser rapidamente desenvolvido para ajustar as variações ou deslocamentos caso um problema seja detectado.

O pré-controle é simples, pois não envolve um processo de desenvolvimento de soluções do problema, o que é o aspecto mais complexo para manter o processo de manufatura em produção.

O pré-controle foi desenvolvido para detectar não conformidades em relação às especificações, ao contrário com o que ocorre com as cartas ou gráfico de controle as quais detectam não conformidade em relação aos limites de controle.

Vale ressaltar que a efetividade do pré-controle está limitada a situações nas quais existem formas e conhecimento de como eliminar a variação e ajustar o desvio do processo.

Conforme Shainin (1990), o pré-controle é uma medida preventiva para detectar defeitos causados por variação devido a mudanças de turnos, alteração nas tendências ou ciclos.

A distribuição normal de processo, centrada dentro dos limites especificados, é o padrão de comparação utilizado para o ajuste teórico da probabilidade do pré-controle em detectar mudanças significativas no desvio ou na variação do processo.

Pré-controle é uma técnica que ajuda os operadores das fábricas a controlar o processo para que não sejam produzidas peças defeituosas.

Embora simples de compreender, mesmo para os operadores de produção, o pré-controle é estatisticamente robusto, permitindo obter informação sobre o processo em cada reinício de produção, respondendo rapidamente aos sinais do processo, sem a necessidade de gráficos.

2.2 Comparação entre pré-controle e gráficos de controle

Para compreender melhor a aplicação e vantagens do pré-controle no processo de manufatura, pode-se compará-lo com um dos métodos de controle de qualidade mais aplicados à produção que é o controle estatístico de processo através de gráficos de controle.

Segundo Bhote (1991), os gráficos de controle são inúteis para corridas de produção abaixo de 500 unidades, pois após um ajuste eventual do processo são necessárias de 80 a 150 amostras para que se possam estabelecer novos limites para os gráficos de controle, enquanto pré-controle requer apenas 2 leituras para determinar a leitura do processo.

Mesmo considerando que Bothe (1991) afirma que é possível derivar a necessidade de 80 a 150 amostras e considerar a hipótese que os gráficos de controle são baseados em 4 ou 5 subgrupos com um mínimo de 25 a 30 amostras em intervalos de 30 minutos, ou ainda, para uma comparação mais razoável com o pré-controle, que os gráficos de controle baseiam-se em 2 subgrupos mínimo de 25 a 30 amostras, ainda assim, o pré-controle mostra-se mais rápido em detectar variações no processo.

Em contrapartida, Bhote (1991), argumenta que o pré-controle pode ser usado para corridas de produção a partir de 20 unidades, desde que existam linhas de pré-controle previamente determinada pelo limites especificados.

Bhote (1991) destaca algumas vantagens do pré-controle sobre os gráficos de controle, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Vantagens do pré-controle sobre os gráficos de controle, conforme Bhote, Keki R. (1991).

Características	Gráficos de Controle	Pré-controle
1. Propósito	<ul style="list-style-type: none"> • Descobrir a quantidade de variação causada pela aleatoriedade e causas determinadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prevenir produção de defeitos.
2. Simplicidade	<ul style="list-style-type: none"> • Complexo – cálculos de controle. 	<ul style="list-style-type: none"> • Simples – pré-controle está no meio da faixa especificada.
3. Uso por operadores.	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil – Registro gráfico é mandatório e a interpretação é confusa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil – zonas verdes, amarelas e vermelhas. Abordagem prática para os operadores.
4. Complexidade matemática	<ul style="list-style-type: none"> • Envolve \bar{X}, limites de controle e o limites do processo devem ser calculados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elementar – deve-se saber a divisão por 4.
5. Aplicabilidade em pequenas corridas de produção	<ul style="list-style-type: none"> • Inútil para corridas abaixo de 500 unidades – amostragem de 80 a 150 unidades são necessárias para estabelecer os limites de controle. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser usado em corridas a partir de 20 unidades; As linhas de pré-controle são pré-determinadas através das especificações.
6. Recalibração dos limites de controle	<ul style="list-style-type: none"> • Frequente – na indústria nenhum processo possui variação que opera sob efeito de causas constantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não é necessária, ao menos que as especificações sejam estreitadas.
7. Ajuste do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> • Longo período, pois requer uma nova amostragem de 80 a 150 unidades para avaliação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instantâneo, ocorrendo após duas unidades.
8. Frequência de amostra	<ul style="list-style-type: none"> • Vago e arbitrário. 	<ul style="list-style-type: none"> • Regra simples: Seis amostras no intervalo entre dois ajustes ou paradas.
9. Poder de discriminação	<ul style="list-style-type: none"> • Fraco – risco alfa de rejeitar quando não há defeitos é alto. Risco beta de aceitar quando há 	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente – risco alfa de rejeição é abaixo de 2% na pior condição e 0% para Cpk

	defeitos no processo é alto. Pequena relação às especificações.	de 1,66. Risco $\beta < 1,36\%$ para pior condição e 0% com Cpk de 1,66.
10. Gráfico de atributos	<ul style="list-style-type: none"> • Não distinguem entre tipo de modo de defeitos ou importância. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gráficos de atributos podem ser convertidos para gráfico de pré-controle através da ponderação dos modos de defeitos em uma escala de taxa arbitrária.
11. Economia	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo – cálculos, formulários, amostras grandes e mais frequentes com longas corridas de validação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo – cálculos simples, poucos formulários, pequenas amostras com baixa frequência. Se a qualidade é boa, a capacidade do processo pode ser determinada em cinco amostras.

2.3 Conceitos do pré-controle

Para sustentar as hipóteses de aplicação do pré-controle destacam-se três pontos de partida para o embasamento teórico e conceitual.

2.3.1 Erros associados ao pré-controle

Baseado no teorema de multiplicação das probabilidades, o tipo I e tipo II de taxa de erro foi calculado e considerado como sendo o risco alfa e o risco beta, mostrados nas Eq 2.1 e Eq. 2.2.

O risco alfa para o pré-controle é a faixa dos valores que dependem da porcentagem da distribuição que estão fora dos limites de especificação. O limite superior da faixa alfa é definido pela linha que gera a pior situação matemática aceitável, por exemplo,

nenhum alerta ocorre para sinalizar a produção quando há uma amostra fora do especificado. Já o limite inferior da faixa alfa considera a melhor situação, diminuindo os erros do pré-controle.

Para a demonstração matemática, segundo Vandergrift (1992), considerando uma distribuição normal, centrada dentro dos limites de especificação, tem-se o risco alfa no pior caso aceitável, quando $C_p = 1,0$ e a distribuição do processo é igual a 6 sigmas. Isto resulta no risco alfa = 0,02 ou 2%, sendo demonstrada pelas seguintes probabilidades: Risco Alfa é igual a probabilidade de parada do processo, com $C_p=1,0$ mais a probabilidade de ajuste do processo para $C_p=1,0$ através da equação:

$$\begin{aligned}
 \text{Alfa} &= P(\text{parada} \mid C_p=1,0) + P(\text{ajuste} \mid C_p=1,0) = \\
 &= P(1^\circ \text{ vermelho}) + P(2^\circ \text{ vermelho}) + P(2 \text{ amarelos em zonas opostas}) + P(2 \\
 &\text{ amarelos na mesma zona}) - P(2 \text{ vermelhos}) = \\
 &= P(1^\circ \text{ vermelho}) + P(2^\circ \text{ vermelho}) - P(2 \text{ vermelhos}) + [P(1^\circ \text{ amarelo na zona} \\
 &\text{ esquerda} + 2^\circ \text{ amarelo na zona direita}) + P(1^\circ \text{ amarelo na zona direita} + 2^\circ \text{ amarelo} \\
 &\text{ na zona esquerda})] + [P(2 \text{ amarelos na zona esquerda}) + P(2 \text{ amarelo na zona} \\
 &\text{ direita})] = \\
 &= 2 * (0,0026) - (0,0026)^2 + 2 * (0,0655)^2 + 2 * (0,0655)^2 = 0,0224 \quad (2.1)
 \end{aligned}$$

Conforme Shainin apud Vandegrift (1992), se a situação do processo melhorar, isto quer dizer um aumento de C_p , o risco alfa para o pré-controle cai de 0,02 para praticamente zero.

Considerando o exemplo a seguir, conforme Vandergrift (1992), um processo com $C_p = 1,33$, o que corresponde a um processo distribuído dentro de 75% dos limites especificados, tem-se: Risco Alfa é igual a probabilidade de parada do processo, com $C_p=1,33$ mais a probabilidade de ajuste do processo para $C_p=1,33$ através da equação:

$$\begin{aligned}
\text{Alfa} &= P(\text{parada} \mid C_p=1,33) + P(\text{ajuste} \mid C_p=1,33) = \\
&= P(1^\circ \text{ vermelho}) + P(2^\circ \text{ vermelho}) + P(2 \text{ amarelos em zonas opostas}) + P(2 \\
&\text{ amarelos na mesma zona}) - P(2 \text{ vermelhos}) = \\
&= P(1^\circ \text{ vermelho}) + P(2^\circ \text{ vermelho}) - P(2 \text{ vermelhos}) + [P(1^\circ \text{ amarelo na zona} \\
&\text{ esquerda} + 2^\circ \text{ amarelo na zona direita}) + P(1^\circ \text{ amarelo na zona direita} + 2^\circ \text{ amarelo} \\
&\text{ na zona esquerda})] + [P(2 \text{ amarelos na zona esquerda}) + P(2 \text{ amarelo na zona} \\
&\text{ direita})] = \\
&= 0,0 + 0,0 + (0,0028 * 0,0028 + 0,0028 * 0,0028 + 0,0028 * 0,0028 + 0,0028 * \\
&0,0028) - (0,0)^2 = 0,0021 \qquad (2.2)
\end{aligned}$$

Dessa forma, pode-se concluir que o risco alfa está entre 0% à 2%, considerando uma distribuição normal. Outros tipos de distribuições terão diferentes resultados baseados na porcentagem da distribuição localizada dentro da zona amarela e vermelha.

Já o risco beta, definido por Shainin apud Vandergrift (1992), como a probabilidade de não detectar um item fora do especificado, necessita um período de uso do pré-controle para sua determinação.

Shainin (1991) baseia a análise do risco beta considerando o período de amostra de seis vezes durante o período de ajuste. Para estes casos, o risco beta não irá ser superior a 1%. Segundo ele, experiências atuais indicam que o risco beta é virtualmente 0%.

2.3.2 Capabilidade do processo e o pré-controle

No pré-controle a faixa de tolerância é dividida em três zonas, sendo elas a zona Verde, Amarela e Vermelha. A faixa central da tolerância é a zona verde. O LIE é o limite inferior especificado e o LSE é o limite superior especificado. Já o LIPC é o limite inferior de pré-controle e o LSPC é o limite superior de pré-controle.

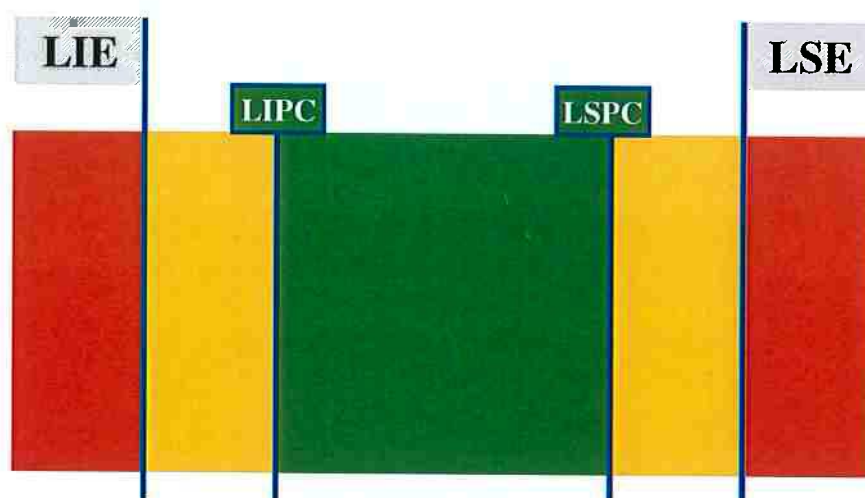


Figura 1 – Zonas de tolerância do pré-controle.

Se o CPk do processo é 1,0, isto significa que a tolerância é igual a 6 vezes sigma e a média do processo coincide com a média da tolerância, onde sigma é o desvio padrão.

Como exemplo, conforme Urdhwareshr (2002), assumindo uma distribuição normal, pode-se esperar que 86% das leituras estarão dentro da zona verde do pré-controle e 7% em cada zona amarela, correspondendo a um amarelo a cada 14 leituras.

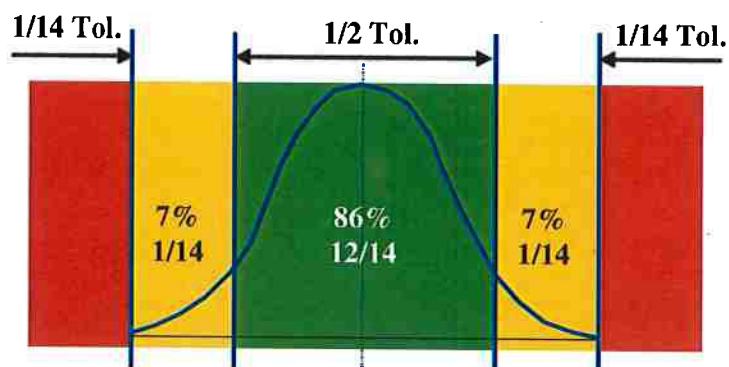


Figura 2 – Porcentagem da tolerância dentro das zonas de pré-controle.

A chance de se obter dois amarelos consecutivos na zona amarela é igual a $(1/14)$ vezes $(1/14)$, ou seja, igual à $(1/196)$, sendo este o fundamento do pré-controle.

Considerando todas as quatro permutações possíveis de duas peças consecutivas, a chance é de $4/196$ ou aproximadamente 2%, ou seja, o operador terá um sinal para ajustar o processo quando na verdade ele não deve ser ajustado em 2% das ocorrências.

A Figura 3 ilustra a aplicação de pré-controle para processos que possuem tolerância para apenas um lado como dimensões de concentricidade, como ocorre no estudo de caso desenvolvido neste trabalho, planicidade ou outras que apresentem variação em apenas um sentido.

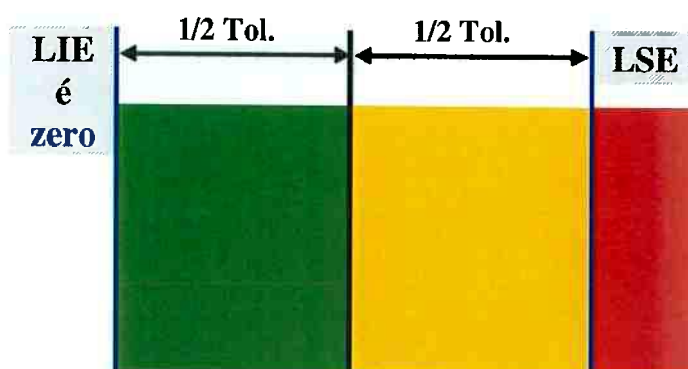


Figura 3 – Zonas de pré-controle para tolerâncias unilaterais.

Já para processo que tem tolerâncias com apenas limites de máximo ou mínimo, como é o caso de pré-controle de limite de resistências, tem-se as seguintes zonas, conforme a Figura 4.

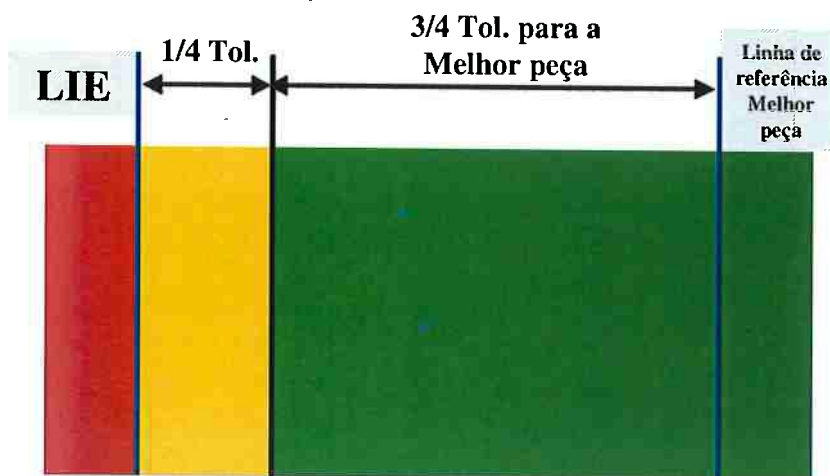


Figura 4 – Zonas de pré-controle para tolerâncias de máximo ou mínimo.

2.3.2.1 Impactos da Capabilidade do processo no pré-controle

Muitas literaturas associam os impactos da capacidade do processo na efetividade de detectar alteração na média (desvio) e mudanças de variação.

Quando o pré-controle foi desenvolvido, a capacidade do processo (C_p) embora necessária para um processo com distribuição centrada dentro dos limites de tolerância estava em pelo menos em 2.0 (Smith, 1958 apud Vandergrift, 1992). Pesquisas mais tarde mostraram que um C_p de 1,33 ou acima são suficientes para otimizar as características de detecção do pré-controle.

Conforme Marchertich apud Vandergrift (1992), o pré-controle ainda detecta mais rapidamente alterações no desvio médio do que gráficos de controle para baixa capacidade de processo ($C_p = 1,0$ a $1,2$).

A Figura 5 demonstra alguns valores de capacidade para processos com distribuição normal.

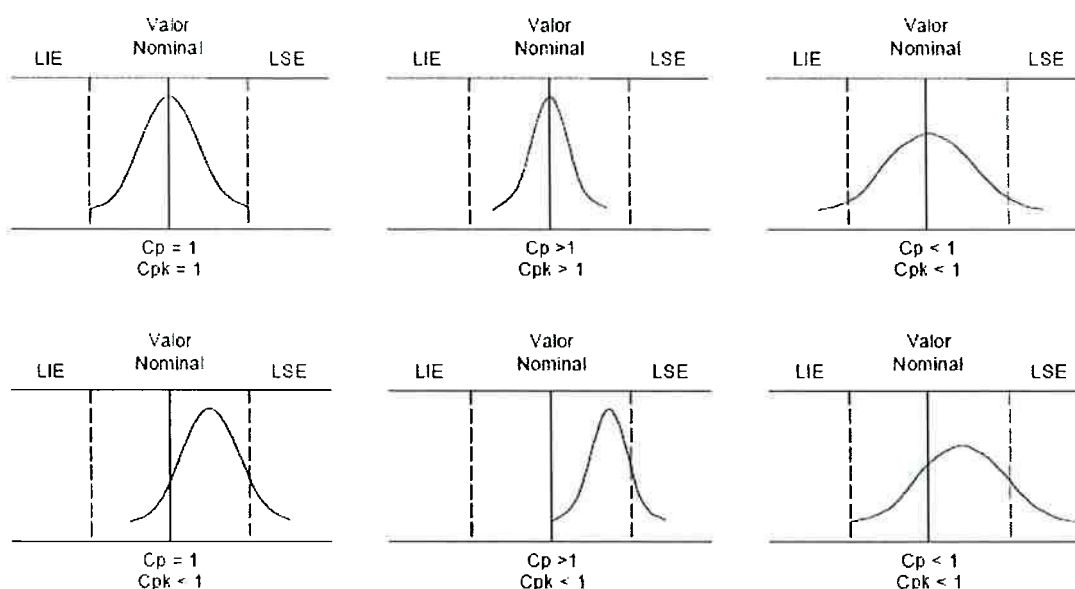


Figura 5 – Distribuição normal do processo em função de C_p e C_{pk} .

Pode-se observar na Figura 6, que a probabilidade de se ter cinco amostras consecutivas na zona verde está em função do valor de Cpk, considerando um processo com distribuição normal, onde a variação do processo é igual à faixa de tolerância.

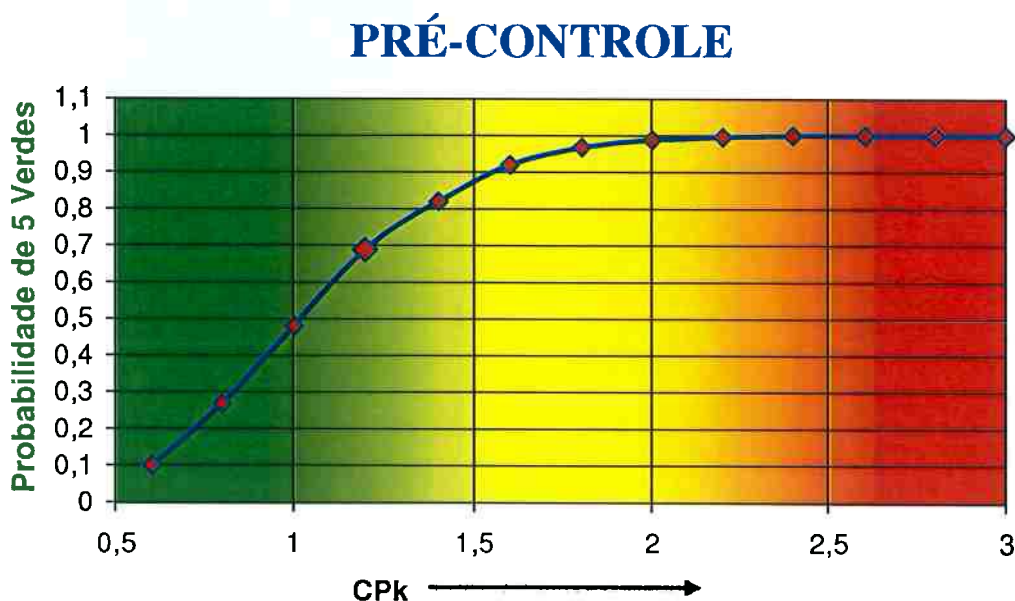


Figura 6 – Gráfico de probabilidade de cinco amostras verdes consecutivas em função do índice Cpk do processo. (Urdhwareshe,2002)

A probabilidade cai drasticamente para Cpk menor que 1,33. Para Cpk de 1,5 a probabilidade é de 0,88. Já para Cpk de 1,0 a probabilidade cai ainda mais e chega a 0,48.

É possível observar que para valores menores de Cpk torna-se mais difícil obter a qualificação do processo através do critério de cinco amostras consecutivas na zona verde, o que leva a realização de ações de correção para reduzir a variação do processo.

O número de amostras necessárias para qualificar o processo, é de certo modo, um indicador de capacidade do processo.

2.4 Intervalos entre amostras

Para definição do intervalo entre amostras é recomendado, segundo Urdhwareshe (2002), que o período de tempo entre os ajustes seja dividido por seis amostras. A Tabela 2 auxilia na definição da frequência.

Tabela 2 – Exemplos para frequência de amostras de pré-controle.

Tempo médio entre ajustes no processo	Intervalo entre amostras
8 Horas	A cada 80 minutos
4 Horas	A cada 40 minutos
2 Horas	A cada 20 minutos
1 Horas	A cada 10 minutos

Nenhuma explicação foi encontrada para justificar o critério de frequência entre amostra de pré-controle. Além disso, são necessárias pelo menos duas ocorrências iniciais de ajuste para que se possa definir a frequência em função do critério apresentado.

Nota-se que o pré-controle pode ser considerado um método de controle vago para estágios iniciais de processo. Dessa forma a frequência dependerá muito do conhecimento já existente do processo, suas variações e ajustes.

Segundo Shainin (1990), para reduzir o tempo de detecção de problemas no pré-controle, é recomendado que se tome maior número de amostras ou verificações durante o tempo típico de ajuste conforme apresentado na Tabela 2.

2.5 Aplicação do pré-controle no processo produtivo

2.5.1 Qualificação dos ajustes do processo

O pré-controle utiliza um procedimento para pré-qualificar o processo de modo a determinar se este está pronto para a produção. A pré-qualificação ocorre quando cinco peças ou conjuntos consecutivos atingem a zona verde.

O processo é interrompido e ajustado quando duas peças ou conjuntos atingem zonas amarela, sejam na mesma zona ou em zonas opostas. Observe que a contagem de verdes é reinicializada após a ocorrência de duas peças ou conjuntos nas zonas amarelas. Conforme Shainin (1990), se a quantidade de peças localizadas na zona vermelha é maior ou igual a 3% de todas as peças produzidas, então a probabilidade de se ter dois amarelos consecutivos ou um vermelho é suficientemente grande comparada à probabilidade de ocorrer cinco verdes consecutivos.

Uma vez que o processo passa pela pré-qualificação, a distribuição do processo é praticamente assegurada já que está dentro dos limites especificados e que o desvio está muito próximo de ser centralizado. Desse modo, o pré-controle não opera baseado na distribuição normal, mas pela porcentagem de distribuição na zona vermelha e amarela, sendo o principal objetivo, prevenir defeitos ao invés de detectar mudanças na variação e no desvio.

Se durante a validação do processo, cinco peças consecutivas estiverem na zona verde, isso significa que o ajuste está "OK" e o processo pronto para iniciar. Caso um amarelo for detectado, deve reiniciar a contagem das amostras. Existindo uma nova ocorrência de amostra na zona amarela, determinando assim, dois amarelos consecutivos, deve-se ajustar o processo. Em último caso, se um vermelho for obtido, pare e ajuste o processo.

Qualificação do Processo: 5 verde consecutivos
Repetibilidade

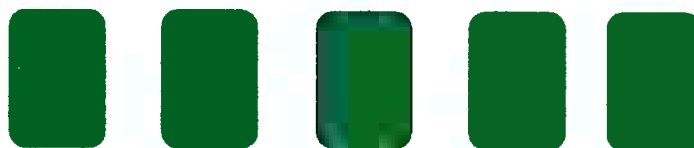


Figura 7 – Critério de aprovação – cinco verdes consecutivos.

Dessa maneira o processo não pode ser qualificado ao menos que cinco peças ou conjuntos consecutivos estejam na zona verde. Se não é possível validar o ajuste do processo então há um sinal claro que o processo não é capaz de produzir peças dentro das especificações. Nesse caso, devem ser realizados esforços para reduzir a variação do processo e com isso melhorar o índice de capacidade.

Esta é a principal característica do pré-controle, ele não permite que processos não capazes continuem a produzir. Se o operador insistir em continuar o processo, será necessário inspecionar todas as peças até que o processo seja qualificado.

2.5.2 Pré-controle na produção

Segundo Urdhwareshe (2002), sejam as amostras de duas peças consecutivas A e B.

- Se a amostra A estiver na zona verde continuar o processo (processo “OK”). Se uma amostra está na zona amarela e a outra na verde, continuar.
- Se ambas A e B estão na zona amarela do mesmo lado, deve-se ajustar o processo (processo não OK, “NOK”). Se as amostras estão na zona amarela, porém opostas, peça ajuda, pois será necessária uma revisão mais precisa do processo.
- Se uma das amostras está na zona vermelha, deve-se ajustar o processo (processo não OK, “NOK”). Neste caso, as peças produzidas desde a última amostra devem ser inspecionadas, através de um rastreamento no processo.

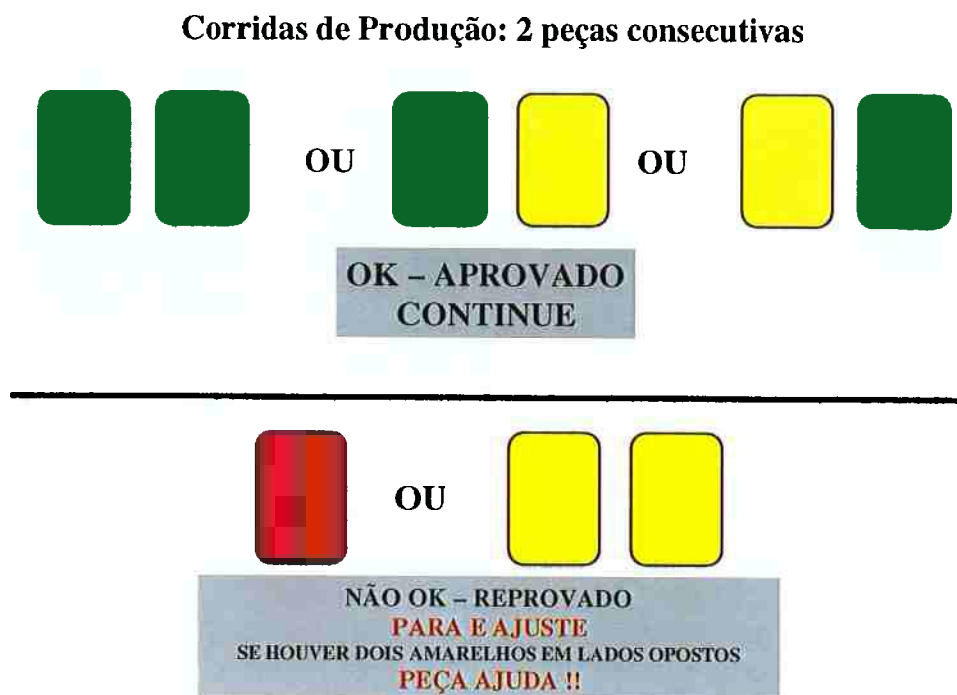


Figura 8 – Critério de aprovação / rejeição do pré-controle (Urdhwareshe,2002).

2.6 Calibradores para o pré-controle

Em muitas aplicações a demarcação de cores nos calibradores, conforme as faixas do pré-controle facilitam o processo de verificação para os operadores. O exemplo abaixo mostra um exemplo de demarcação.

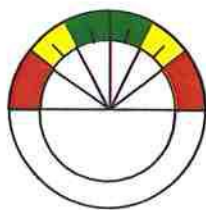


Figura 9 – Exemplo de demarcação de calibradores para pré-controle.

2.7 Considerações sobre pré-controle

Embora o pré-controle seja um método simples de ser utilizado, ele não substitui os gráficos e cartas de controle. A proposta dos gráficos e cartas de controle é monitorar

o processo e detectar a presença, quando houver, de causas atribuídas a desvios no processo.

O acompanhamento do processo deve ser mantido com os gráficos e cartas de controle que são uma ferramenta útil para entender as variações e ao mesmo tempo relacioná-las aos eventos e causas.

O pré-controle em contra partida, é uma ferramenta simples que auxilia a prevenir a fabricação de peças com discrepâncias, não necessitando nenhum gráfico ou cálculo adicional por parte dos operadores.

Dorian, Shainin apud Vandergrift (1992), recomendam que o pré-controle seja utilizado por operadores e não inspetores especiais para medir as amostras. Estes autores também recomendam que não seja solicitada aos operadores a construção de gráficos, pois o objetivo das áreas produtivas é realizar produtos com qualidade e não gráficos e relatórios.

3 ESTRUTURA DE TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO

3.1 Conceitos e princípios básicos

Com o objetivo de entender qual são os benefícios que o controle geométrico pode alcançar, alguns princípios fundamentais devem ser destacados.

Existem três conceitos que formam a base do sistema de controle geométrico que são o conceito de estrutura de referência (*datum reference frame*), o conceito de características inter-relacionadas e o conceito de contornos e limites. Estes elementos são essenciais à criação de um sistema de controle geométrico.

Todos os conceitos apresentados estão contidos na norma ANSI (American National Standards Institute) Y14.5M.

3.1.1 Estrutura de referência (Datum)

Segundo Bakerjian (1992), a estrutura de referência ou (*datum reference frames*, DRF), são informações providas durante o desenvolvimento de um produto ou peça que assegura, durante o desenvolvimento do produto, que possam ser geradas informações específicas capazes de relacionar todos os componentes do sistema e também relacionar o sistema com o processo final de produção. Através da estrutura de referência, os 12 graus de liberdade são restringidos, definindo como os componentes ou o produto é localizado no espaço e ainda servindo de base para prover informações necessárias para a linha de montagem.

A Figura 10 mostra como são estabelecidos a estrutura de referência de uma peça, seja ela prismática ou cilíndrica.

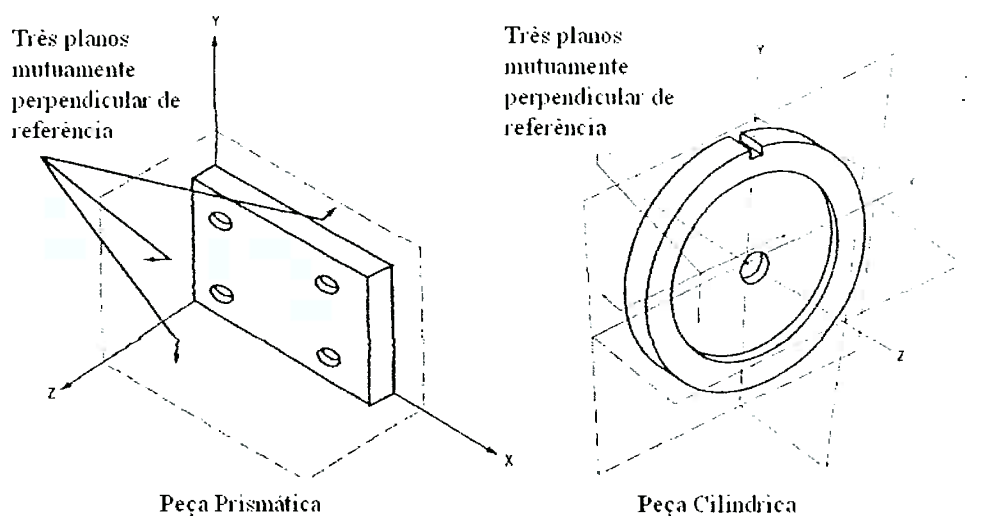


Figura 10 – Estrutura de referência de peças (Bakerjian 1992).

A idéia chave de utilizar planos de referência é de determinar a funcionalidade de cada componente com a montagem do próximo nível.

3.1.2 Características inter-relacionadas

Bakerjian (1992) destaca que muitos produtos alcançam o valor agregado baseado na sua capacidade de serem montados com componentes individuais e intercambiáveis.

Para que a intercambiabilidade ocorra é necessário considerar a inter-relação das características individuais de cada componente dentre as demais peças do conjunto. Através de técnicas descritas na ANSI Y14.5 M, utilizando as estruturas de referência e o uso de tolerâncias posicionais é possível garantir as características do produto durante a montagem e operação.

A Figura 11 demonstra a relação perfeita das peças de um conjunto, detalhando como cada peça encaixa na outra, a orientação dos eixos de localização dos furos e demais características que garantam o funcionamento adequado do conjunto.

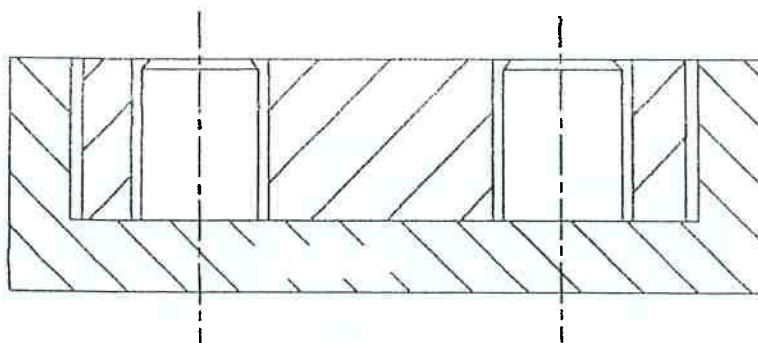


Figura 11 – Controle convencional mostrando a forma e localização perfeita (Bakerjian 1992).

Entretanto, uma outra vista da realidade por ser vista na Figura 12, que demonstra as variações que podem ocorrer durante o processo de fabricação. Através das técnicas de toleranceamento é possível determinar as variações permitidas durante o processo de fabricação para que não afetem o processo de montagem nem as características finais do produto.

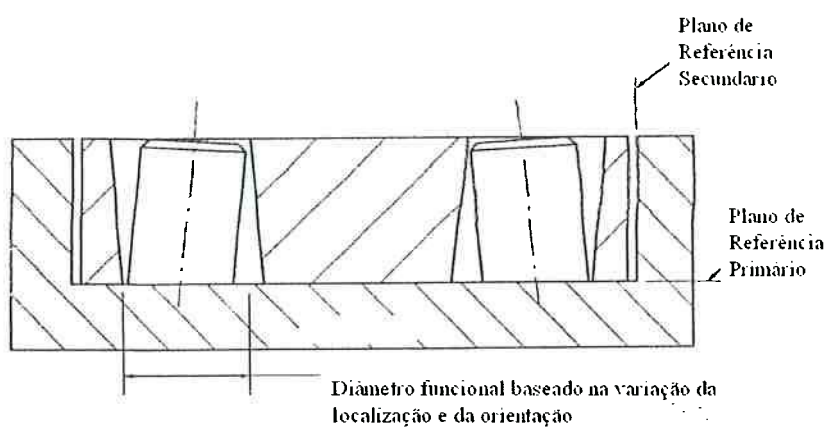


Figura 12 – Controle convencional mostrando possíveis variações na forma e localização (Bakerjian 1992).

3.1.3 Características de contornos e limites

Através desse conceito é possível determinar as tolerâncias para que se possa garantir a funcionalidade do produto mesmo conhecendo as possíveis variações dos processos.

Para determinar as zonas de tolerâncias é utilizado o conceito de limite virtual que define a extensão dos efeitos causados pelas variações esperadas e que juntamente com o conceito de condição máxima de material (CMM), define o pior caso que possa existir na montagem do conjunto.

Utilizando esta superfície imaginária, é possível determinar o conjunto de tolerâncias capaz de garantir o funcionamento adequado do produto.

A Figura 13 descreve como é possível determinar os limites de contorno e as tolerâncias do conjunto.

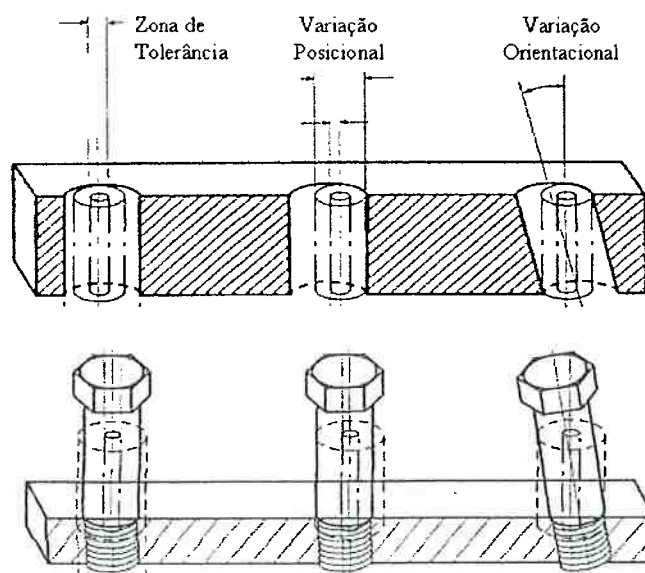


Figura 13 – Controle equivalente para limites e zonas de tolerâncias.

3.2 Aplicação do Controle de Tolerâncias Geométricas

O uso do conceito de controles encontrados na ANSI Y 14.5 M nos força à reconhecer a variabilidade inerente nos ciclos de projeto e manufatura. No passado acreditava-se que os desenhos contendo a forma e tamanhos das peças eram suficientes para garantir produtos aceitáveis nos processo de manufatura.

Atualmente o desenvolvimento de produtos está baseado não apenas na forma e no tamanho das peças, mas sim na sua funcionalidade e nos critérios de inter-relacionamento. Além disso, todas as informações de referências são utilizadas para

garantir o controle de qualidade dimensional e metrologia dos componentes, os quais atualmente, utilizam processos computadorizados e automatizados de medição.

A metodologia e técnica codificadas da ANSI Y.14.5M, mostradas na Figura 14, são ferramentas capazes de criar produtos e processos que reduzem as variações, produzindo corretamente na primeira vez, o que para as preocupações de um mercado lucrativo, é a maneira correta de operar.

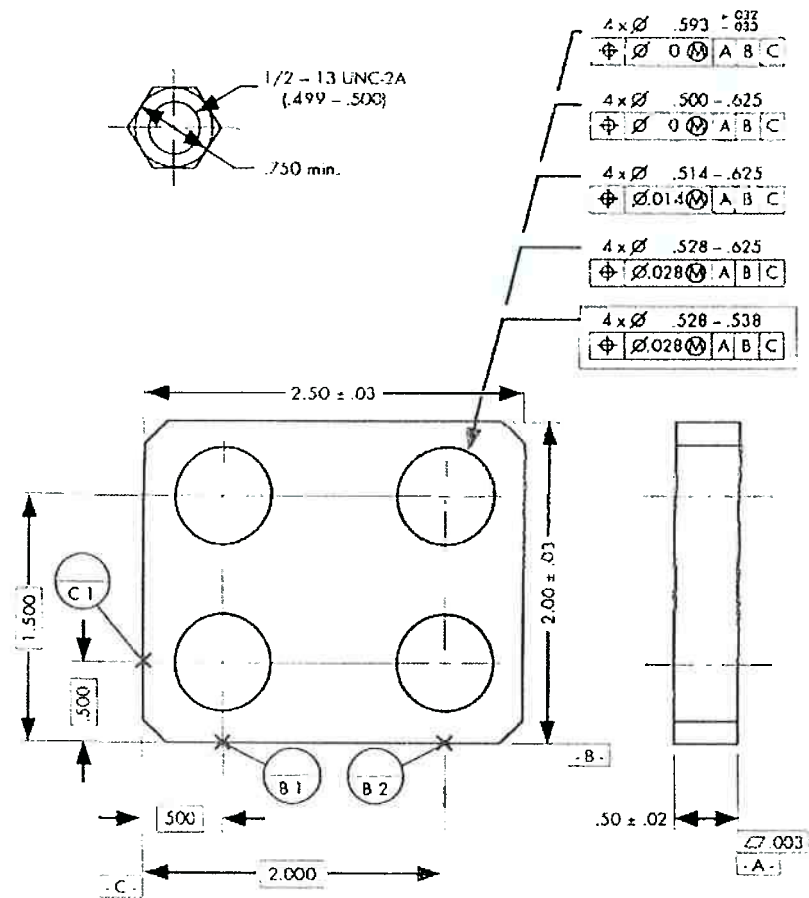


Figura 14 – Exemplos de alternativas de controle de tolerâncias.

4 CONTROLE DIMENSIONAL DE CARROCERIAS AUTOMOTIVAS

4.1 Conceitos e definições

Conforme o General Motors Automotive Handbook (1996), o controle dimensional de carrocerias é uma metodologia que visa reduzir as variações dimensionais da carroceria através da melhoria contínua da qualidade dimensional.

Tem o propósito de sustentar o sistema de qualidade da indústria automobilística, através da sistematização e utilização dos dados obtidos pelos métodos de medição dimensional, em prol da melhoria dos processos de junção de carrocerias. Além disso, busca reduzir ou eliminar condições anormais do processo produtivo, evitando retrabalhos ou peças defeituosas, através da eliminação das variações do processo.

Permite comparar diferentes processos de junção de carrocerias através da definição de métricas baseadas na análise dos resultados.

A definição de variação, segundo o General Motors Automotive Handbook (1996), é a flutuação dos resultados do processo, sendo quantificado pelo desvio padrão que é média dos valores absolutos dos desvios em relação à média de um conjunto de amostras.

Já o desvio é definido pela diferença entre o valor observado e o valor esperado, sendo a especificação de produto, denominado valor nominal.

4.2 Processos de medição de carrocerias

O processo de medição dimensional de carrocerias automotivas inicia-se com a determinação dos pontos de referência para balanceamento da carroceria nos planos de medição.

Os planos de medição, ou sistema de coordenadas seguem o padrão cartesiano e são denominados pólos eixos X, Y e Z, estando dispostos de forma imaginária na carroceria como mostra a Figura 15.

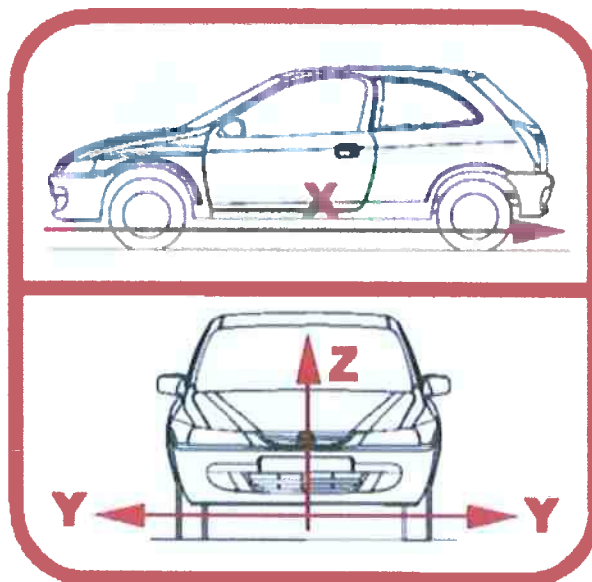


Figura 15 – Sistema de coordenada para carrocerias automotivas.

O eixo X é localizado em algum ponto abaixo da carroceria e representa as dimensões referentes ao comprimento da carroceria. Este gera variações de valor positivo (+) quando o valor medido está para a parte traseira do veículo e valor negativo (-), quando o ponto medido está para a parte dianteira do veículo.

O eixo Y é localizado em alguma coordenada à frente do veículo e representa dimensões de largura da carroceria. O valor zero é localizado no ponto de simetria da carroceria e gera variações positivas (+) quando o ponto medido está para fora da carroceria; valores negativos (-) quando o valor medido está para dentro do veículo, quando comparado a valor especificado.

Já o eixo Z está localizado na intersecção dos eixos X e Y e é responsável em determinar dimensões de altura da carroceria. Para variações acima do valor especificado tem-se o sinal positivo (+) e para abaixo do valor especificado, tem-se

valores negativos (-). A Figura 16 mostra a convenção adotada para os sinais da variação obtida nas dimensões das carrocerias.

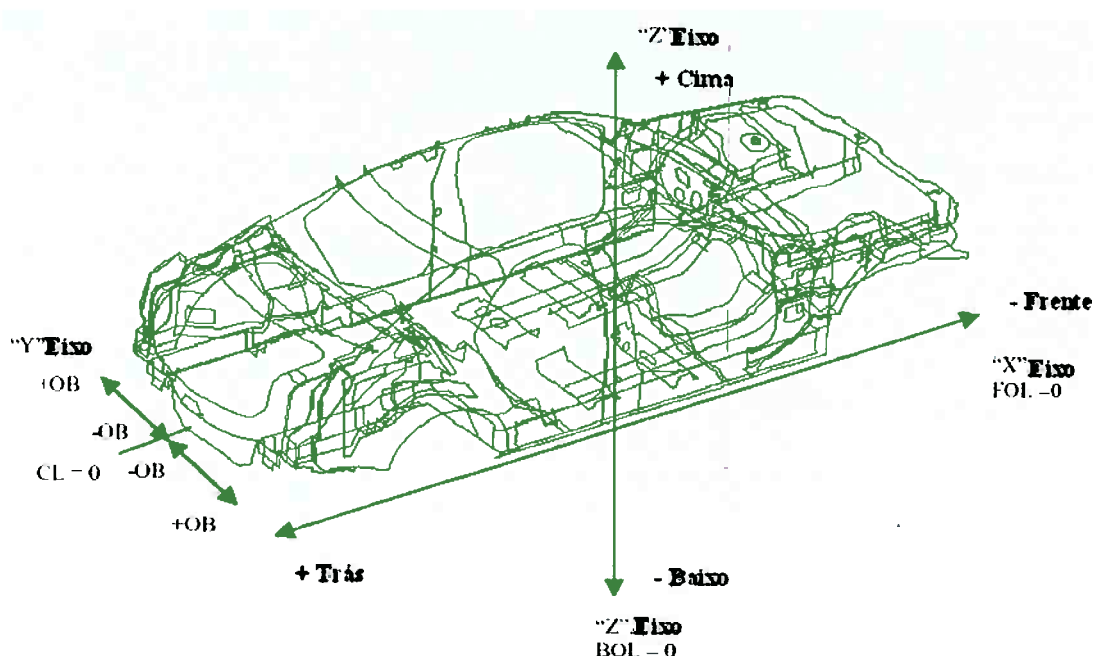


Figura 16 – Convenção de sinal para variações dimensionais (General Motors Automotive Handbook 1996).

4.2.1 Pontos e plano de medição

Para que seja possível diagnosticar e obter a causa correta de problemas relacionados às dimensões das carrocerias automotivas, são escolhidos alguns pontos que são dimensionados dentro do processo de controle dimensional. Para cada ponto escolhido são colhidos os valores das coordenadas nos três eixos, X, Y e Z, bem como a variação em cada eixo, relativo ao valor especificado pelo produto.

A magnitude e a forma das variações auxiliam a identificar a sua origem. Quando cuidadosamente selecionados, os pontos de medição da carroceria podem revelar não apenas onde, mas também por que o processo não está produzindo a dimensão correta.

Os pontos de medição devem ser cuidadosamente e logicamente selecionados para relacionar profundamente as variações do produto com as variações do processo.

Pontos de medição de carroceria escolhidos sem considerar a relação com o processo de junção, geram dados, porém não revelam a causa raiz das variações no processo, ao menos que, ocorra uma coincidência.

Segundo o General Motors Automotive Handbook (1996), o critério para escolha de pontos de medição deve considerar os pontos dimensionais de requisitos e especificações técnicas, pontos de monitoramento do processo, pontos de dispositivos de inspeção e pontos de subconjuntos, contemplados em planos pré-estabelecidos de análise de causa raiz de problemas dimensionais.

Para melhor compreensão dos termos utilizados usados neste trabalho, é importante a partir deste ponto, ressaltar alguns conceitos:

- Peça: É o componente individual que compõe um conjunto ou a própria carroceria, sendo proveniente de processos de estamparia.
- Conjunto é o componente montado a partir de duas ou mais peças, ou a partir de outro conjunto, que neste caso, é denominado subconjunto por ser uma submontagem anterior a formação do conjunto.

A escolha corretas dos pontos de medição permitem alcançar a estabilidade dimensional do processo.

O agrupamento dos pontos de medição dentro da seqüência de montagem é denominado plano de medição, e consiste na mínima quantidade de pontos necessários para a verificação periódica das amostras de carrocerias automotivas.

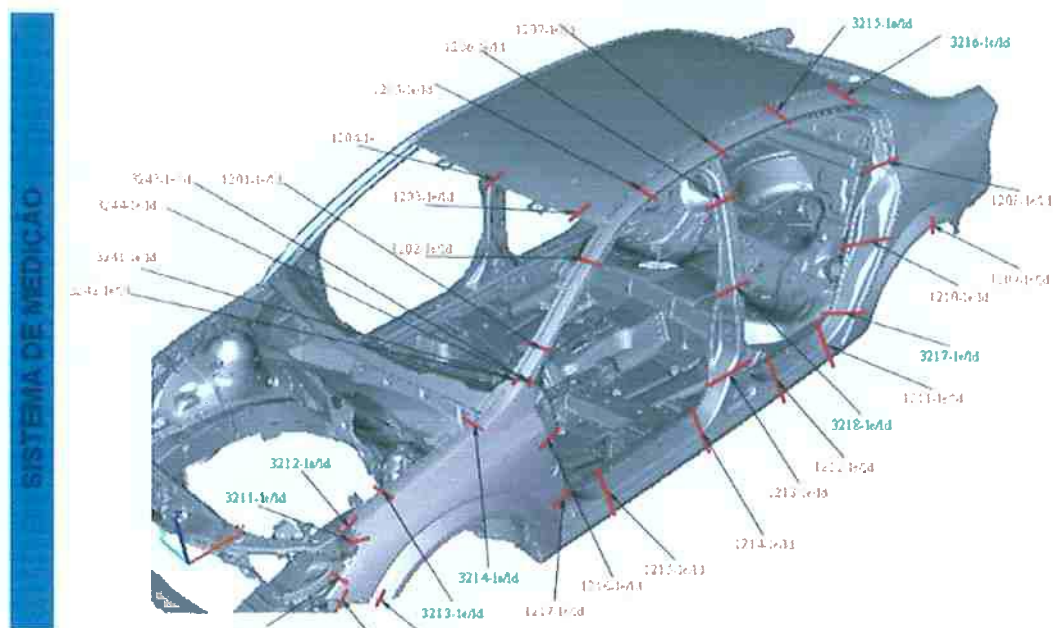


Figura 17 – Plano de medição de carroceria automotiva.

A frequência de amostra varia conforme a necessidade das verificações, que podem ocorrer em função do estabelecimento de objetivos de quantidade de carrocerias medidas, ou em maior frequência quando houver itens referentes a problemas de montagem, retrabalhos, custo com garantia, auditorias de qualidade ou paradas de produção em função das variações ou problemas dimensionais.

4.3 Equipamentos de controle dimensional

4.3.1 Máquina de medição coordenada - CMM (*Coordinanted Measurement Machine*)

A máquina de medição coordenada, conhecida como CMM, é um equipamento controlado por computador capaz de medir carrocerias automotivas completas, subconjuntos e peças individuais, gerando dados matemáticos dos valores dimensionais obtidos.

Segundo Wick (1987), o uso deste tipo de equipamento tem sido largamente utilizado, tornando-se um equipamento obrigatório na indústria automobilística e aeroespacial.

Este tipo de equipamento utiliza como referências o modelo matemático do produto a ser medido, representado nos três eixos de medição, X, Y e Z.

Cada ponto de medição é programado para determinar o valor medido em função do tipo de geometria da peça, podendo ser furos, oblongos, arestas, superfícies, raios e outras formas geométricas.

Os programas de medição gerados para cada aplicação, sejam para as carrocerias completas, subconjuntos ou peças individuais são armazenados e utilizados na frequência e ordem desejada.

Os dados resultantes da medição de cada ponto são armazenados e utilizados para o controle estatístico do processo.



Figura 18 – Equipamento de medição coordenada (CMM).

4.3.2 Máquina de medição coordenada portátil

As máquinas de medição coordenada portáteis utilizam o mesmo conceito dos equipamentos CMM fixos, porém são mais flexíveis e portáteis, permitindo a medição de dispositivos de junção de conjuntos e subconjuntos de carroceria.

Este tipo de equipamento é muito utilizado durante as fases de avaliação funcional do processo de junção de carroceria, realizando a verificação dimensional dos dispositivos de junção e dos dispositivos de inspeção dos conjuntos e subconjuntos *in loco*.

Atualmente os dispositivos de junção e de inspeção são projetados contemplando pinos de referência, coordenados conforme modelo matemático do produto, para ser utilizado pelos equipamentos CMM portáteis, de modo a acelerar o processo de balanceamento e determinação das referências, (*datum*), para a medição.

Estes equipamentos são fornecidos com sistema de processamento de dados próprio para armazenamento das informações dimensionais e modelos matemáticos, além de visores e telas para interação com o usuário.



Figura 19 – Máquina de medição coordenada portátil.

4.3.3 Sistema de medição a laser

Os sistemas de medição a laser são utilizados para definir os primeiros valores dimensionais da carroceria através do monitoramento do processo, obtidos durante as operações de junção de subconjuntos e da carroceria automotiva.

Conforme Wick (1987), as estações de medição a laser, muitas vezes denominadas sistema *vision* (*Vision System*), são comumente aplicadas no término do processo de junção de principais subconjuntos, como o compartimento do motor (*front-end*), o assoalho completo (*underbody*) que é formado pela junção do assoalho dianteiro e traseiro, no subconjunto das laterais da carroceria, lado esquerdo e direito (*body side*) e na carroceria completa.

As principais funções do sistema *Vision* são monitorar o processo de junção da carroceria, através do processamento dimensional das imagens capturadas e fornecer dados para assegurar a qualidade dimensional do processo.

Os métodos de medição que utilizam CMM não produzem quantidade de dados em uma frequência que permita a análise adequada do processo de montagem. Já o método através do sistema *vision* verifica 100% das carrocerias durante o processo de montagem, fornecendo dados em tempo real, alarmes e alertas em caso de valores diferentes das faixas de tolerância. Tal recurso é fundamental para o acompanhamento e eliminação das variações durante o processo produtivo.

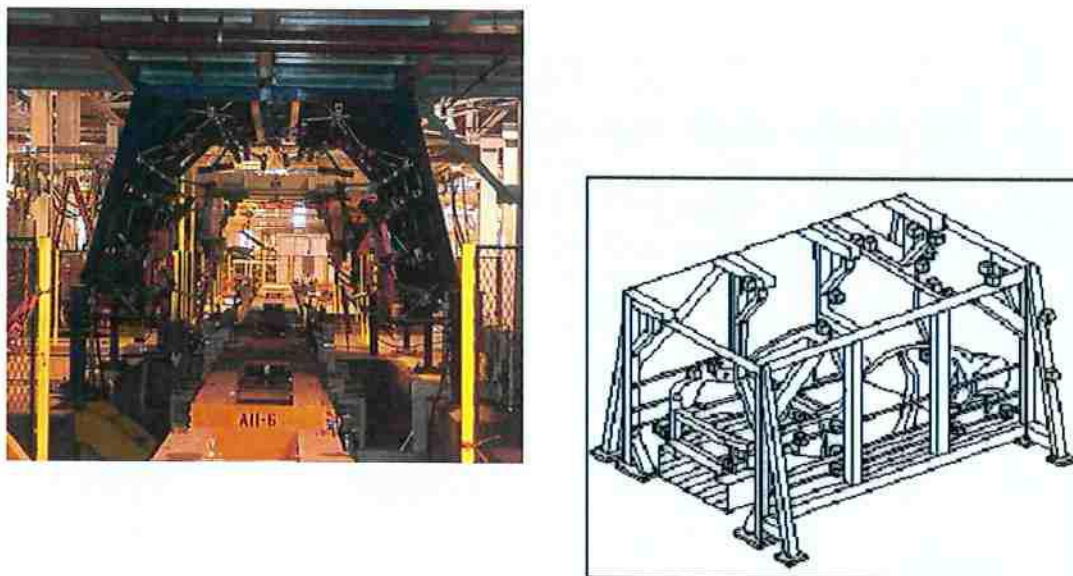


Figura 20 – Estação de medição a laser de carroceria e subconjuntos – Vision System.

4.3.4 Dispositivos de inspeção e coletores de dados

Os coletores de dados são equipamentos que possuem um computador que permite a leitura de dimensões através do uso de transdutores, sendo geralmente estes aplicados em conjunto com dispositivos de inspeção.

As principais medições realizadas com a utilização destes equipamentos são medidas de abertura (*gap*) e medidas de desnível (*flushness*) (Wick, 1987).

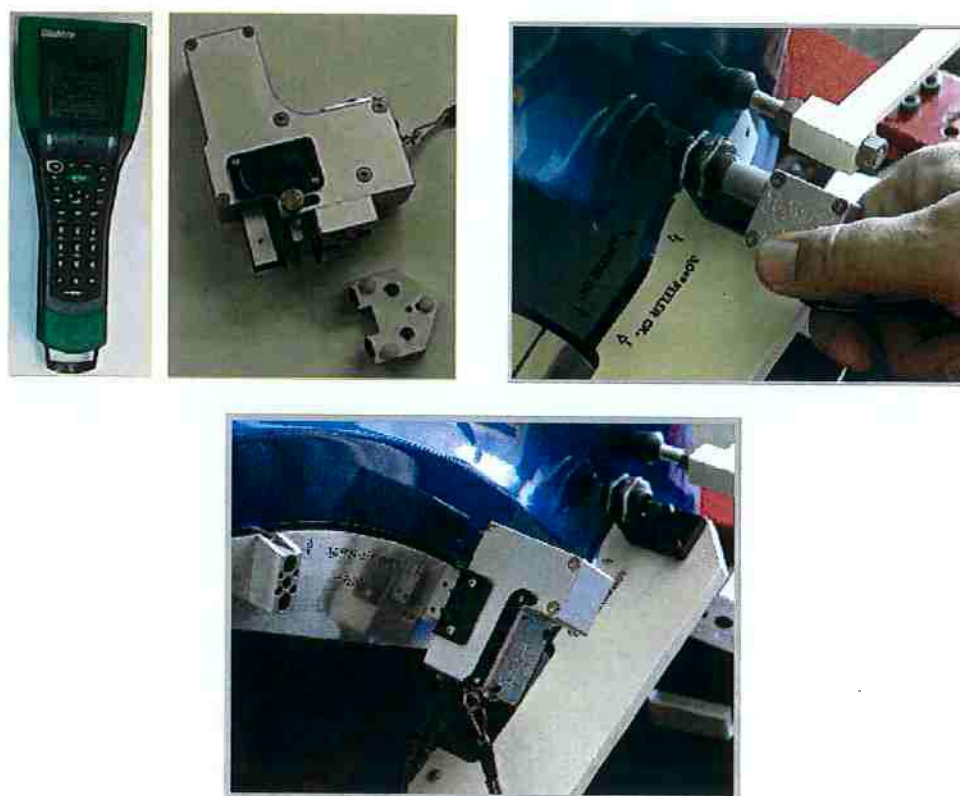


Figura 21 – Coletor de dados aplicado em dispositivos de inspeção.

4.4 Controle e monitoramento dimensional

O controle dimensional é feito através de relatórios e gráficos que permitem a avaliação dos resultados dimensionais de uma carroceria, mostrando o detalhe dos pontos de medição necessários para o controle e análise do processo.

A Tabela 3 mostra um exemplo de relatório com pontos de medição possuindo três eixos de medição e sua variação em relação às medidas nominais.

Tabela 3 – Relatório de dados coletados dos sistemas de medição.

Modelo :							Variação
Número de Série :							
Data :							
Inspetor:							
DIM LOC410- LOCALIZAÇÃO DE RASGO 4210-LD UNIDADES-MM							
AX VALOR NOMINAL	MED	TOL+	TOL-	DESV	FORATOL		
X 1168.00	1172.19	1.00	1.00	4.19	3.19	----->	
Y 399.00	399.96	1.00	1.00	0.96	0.00	-----#	
Z 660.00	661.67	1.00	1.00	1.67	0.67	----->	
DIM LOC411- LOCALIZAÇÃO DE RASGO 2210-LD UNIDADES-MM							
AX VALOR NOMINAL	MED	TOL+	TOL-	DESV	FORATOL		
X 1194.00	1198.36	1.00	1.00	4.36	3.36	----->	
Y 306.00	306.46	1.00	1.00	0.46	0.00	-----#	
Z 697.45	697.91	1.00	1.00	0.46	0.00	-----#	
DIM LOC412- LOCALIZAÇÃO DE CÍRCULO 2206-LD UNIDADES-MM							
AX VALOR NOMINAL	MED	TOL+	TOL-	DESV	FORATOL		
X 1298.00	1304.36	1.00	1.00	6.36	5.36	----->	
Y 555.00	554.13	1.00	1.00	-0.87	0.00	-----#	
Z 718.88	720.04	1.00	1.00	1.16	0.16	----->	
DIM LOC413- LOCALIZAÇÃO DE CÍRCULO 2212-LD UNIDADES-MM							
AX VALOR NOMINAL	MED	TOL+	TOL-	DESV	FORATOL		
X 1585.00	1588.22	1.00	1.00	3.22	2.22	----->	
Y 560.00	559.44	1.00	1.00	-0.56	0.00	-----#	
Z 621.00	621.64	1.00	1.00	0.64	0.00	-----#	
DIM LOC414- LOCALIZAÇÃO DE CÍRCULO 4228-LD UNIDADES-MM							
AX VALOR NOMINAL	MED	TOL+	TOL-	DESV	FORATOL		
X 1477.52	1482.86	1.00	1.00	5.34	4.34	----->	
Y 465.00	464.90	1.00	1.00	-0.10	0.00	-----#	
Z 520.40	519.34	1.00	1.00	-1.06	0.06	<-----	
DIM LOC415- LOCALIZAÇÃO DE CÍRCULO 4229-LD UNIDADES-MM							
AX VALOR NOMINAL	MED	TOL+	TOL-	DESV	FORATOL		
X 1622.50	1627.30	1.00	1.00	4.80	3.80	----->	
Y 465.00	465.71	1.00	1.00	0.71	0.00	-----#	
Z 530.40	529.90	1.00	1.00	-0.50	0.00	-----#	

Os dados obtidos também podem ser visualizados em forma de gráfico, para cada ponto de medição em cada uma das três coordenadas, como mostra a Figura 22.

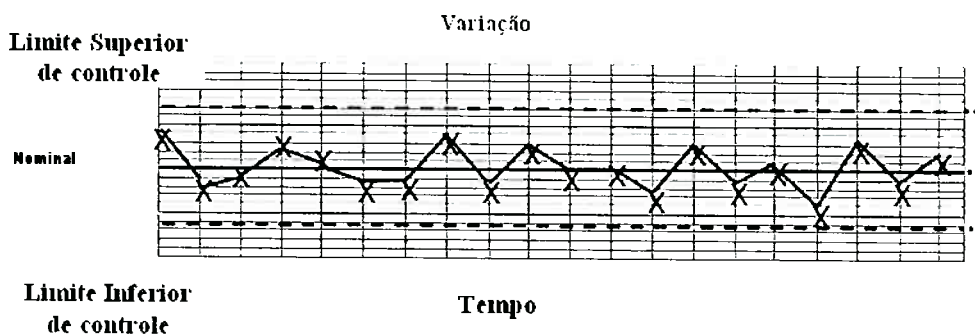


Figura 22 – Gráfico de variação para ponto de medição em uma coordenada.

A combinação de vários pontos de medição em um mesmo relatório, conforme mostra a Figura 23, permite a avaliação completa do comportamento dimensional da carroceria, facilitando a análise e interpretação das variações em relação aos problemas enfrentados no processo de montagem ou mesmo em relação a reclamações de campo de clientes.

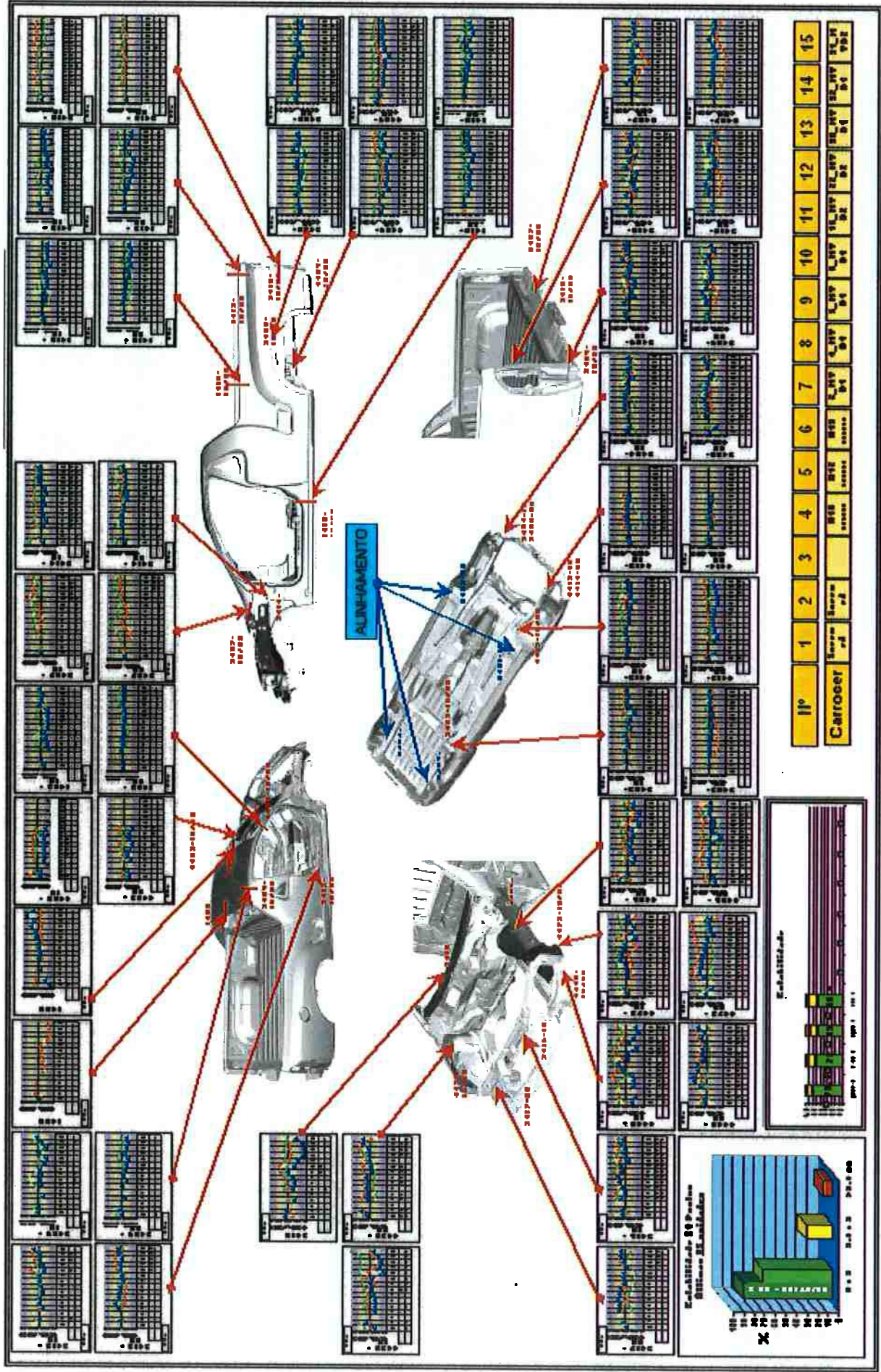


Figura 23 – Relatório de monitoramento dimensional de carroceria.

A frequência de amostras e obtenção dos dados varia em função do método e equipamento de medição adotado.

Para máquinas de medição coordenada, CMM, em geral são medidas de 8 a 10 carrocerias por dia, considerando uma empresa que opera em dois turnos de produção. Isso se deve principalmente ao tempo de *set-up* do equipamento CMM, que é de 1,5 a 2 h, onde é realizado o balanceamento da carroceria nos planos de referências de medição e a execução do programa de medição.

Já para sistemas de medição a laser, os relatórios são gerados em 100% das unidades produzidas, por estarem instaladas no processo produtivo.

Por sua vez, controles através de dispositivos de inspeção e coletores de dados são realizados na frequência de um subconjunto por dia devido a grande quantidade de subconjuntos existentes em uma carroceria veicular, cerca de 90 subconjuntos, necessitando em média de 20 minutos para realização da inspeção de cada subconjunto nos dispositivos de inspeção através dos coletores de dados.

4.4.1 95% @ 6 Sigmas no processo dimensional de carroceria

Um dos principais objetivos do processo de controle dimensional é garantir que o processo, e conseqüentemente as dimensões finais da carroceria alcance o indicador denominado noventa e cinco por cento (95%) das suas dimensões dentro dos 6 sigmas.

Considerando uma distribuição normal das dimensões obtidas e o desvio padrão simétrico em relação à média da tolerância especificada, denominamos Seis Sigmas como sendo a faixa máxima permitida para as variações de uma dimensão, conforme mostrado na Figura 24.

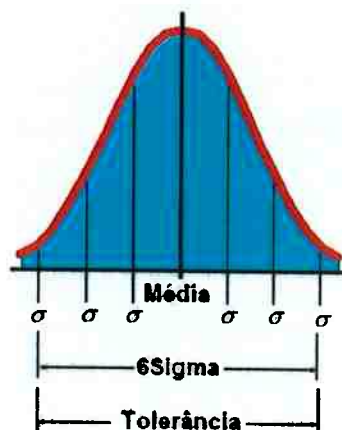


Figura 24 – Distribuição normal e definição de Seis Sigmas.

Desta forma, tem-se +3 sigmas e – 3 sigmas, ou seja, três vezes o desvio padrão do processo para cada lado da distribuição em relação à média, ou valor nominal.

O valor de Seis Sigmas pode ser calculado pela equação 4.1

$$6 \text{ Sigma} = 6 \times \left(\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \right) \quad (4.1)$$

$\sigma =$ Desvio Padrão

A Figura 25 mostra um exemplo de aplicação do conceito do indicador de 95% @ 6 sigma para o processo de medição de carrocerias com uma rotina de 100 dimensões.

Calcula-se o valor de 6 sigma para cada dimensão através da equação 4.1, posicionando as dimensões no gráfico na ordem decrescente do valor de 6 sigma calculado, definindo o gráfico na forma de pareto. Desprezando 5% das amostras iniciais, que são as de maiores variação, determina-se o valor do indicador de 95% @ 6 sigma do processo como sendo o valor de 6 sigma da primeira dimensão imediatamente após o 5% das dimensões iniciais, sendo para o caso da Figura 25 um valor igual a 2,1.

Os 5% iniciais desprezados são dados como tolerância para o processo, conforme critério definido pela empresa montadora de veículos, podendo variar de empresa para empresa.

Através deste indicador é possível comparar a estabilidade de processos modelos de carrocerias entre diferentes plantas montadoras, determinando qual possui maior estabilidade dimensional através de quão menor for o valor do valor de 6 sigma encontrado na primeira dimensão após os 5% das dimensões desprezadas.

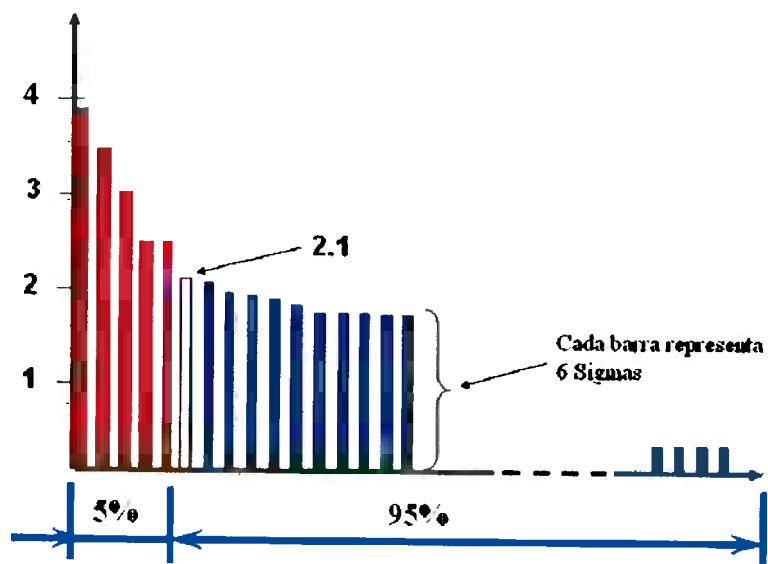


Figura 25 – Definição do critério de 95% das dimensões a 6 Sigma.

5. METODOLOGIA DE PRÉ-CONTROLE NO PROCESSO DE JUNÇÃO DE CARROCERIA

A metodologia escolhida define um estudo de caso aplicado em uma empresa automobilista, tomando como referencia um dos modelos de veiculo produzido nesta empresa, aplicando o processo de pré-controle dimensional para os processos de junção de carrocerias automotivas.

O objetivo deste processo é reduzir a variação nos processos de montagem de carrocerias e subconjuntos, tornando-os consistentes e dentro das especificações dimensionais de modo a tornar as plantas de montagem de carrocerias mais competitivas em nível de mercado mundial.

Para facilitar o entendimento do método proposto, segue uma revisão do processo o qual o estudo de caso é desenvolvido, a fim de delimitar a situação problema, identificando as características do processo onde é aplicado o método de pré-controle: *Tomoana*.

5.1 Revisão do Processo de junção de carrocerias para a aplicação do pré-controle

5.1.1 Solda por resistência elétrica

O ponto de solda é formado pelo botão de solda e pela zona termicamente afetada (ZTA), conforme mostrado na Figura 26.

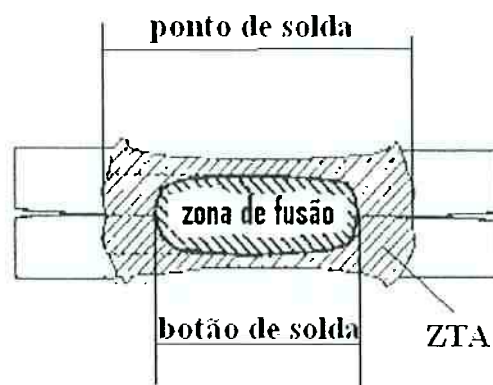


Figura 26 – Esquematização de botão e ponto de solda (Ruiz, 2005)

Para a realização de uma solda consistente, dois critérios devem ser considerados, segundo Williams & Parker (2004):

- parâmetros de solda dimensionados para a produção da solda com as propriedades desejadas;
- devem ser implementados controles para garantia de boa qualidade da solda durante o volume de produção.

Os principais parâmetros, que podem ser controlados pela máquina de solda, são a corrente de solda, o tempo de solda e a força dos eletrodos. A habilidade na realização da solda, baseada nesses parâmetros, é mais bem definida como lóbulo de solda. O lóbulo de solda define as tolerâncias disponíveis para a produção de soldas de qualidade definida. Os limites superiores são definidos geralmente em termos de expulsão do botão de solda. Para atender esses requisitos, o lóbulo de solda pode ser um gráfico bi ou tridimensional, indicando uma relação entre o tempo de solda, a corrente de solda e a força do eletrodo. Esses lóbulos são geralmente construídos a partir das curvas do crescimento da solda determinadas em diversos tempos de solda, conforme mostrado na Figura 27.

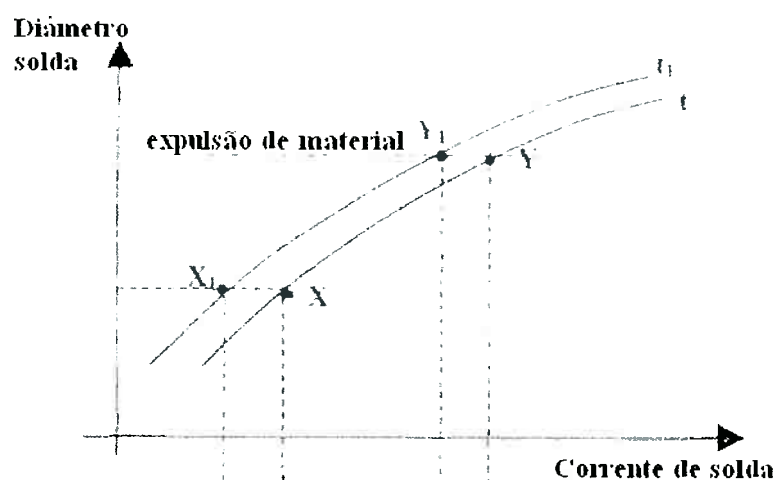


Figura 27 – Curva de crescimento da solda típica para um tempo fixo de solda
(Williams & Parker, 2004)

Enquanto o conceito de lóbulo de solda tem sido usado por mais de 20 anos, novos procedimentos têm sido normalizados para a determinação de lóbulos de soldabilidade bidimensionais, como por exemplo, norma ISO 14273 (2001), onde:

- corrente de solda e tempo de solda a uma força de eletrodo constante (Figura 28);
- corrente de solda e força de eletrodo a um tempo de solda constante.

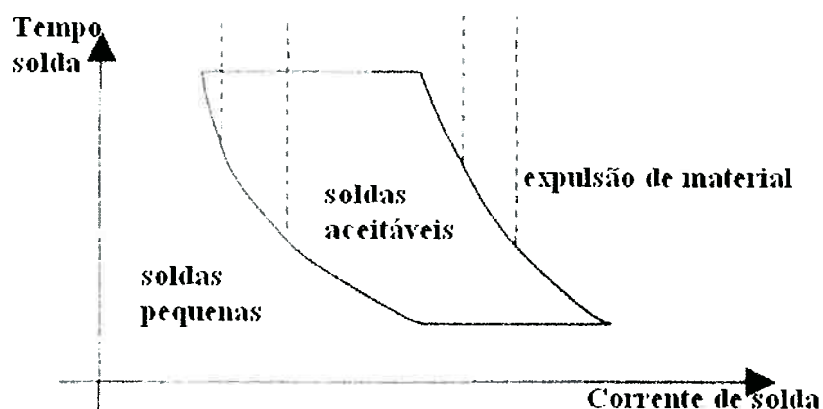


Figura 28 – Lóbulo de soldabilidade à uma força de eletrodo constante
(ISO 14327, 2001)

Muitos trabalhos foram publicados sobre as relações entre a corrente de solda, o tempo de solda e a força dos eletrodos, como Ganowski, Williams, apud Ruiz,

Krause & Simon (1981) e Dickenson (1981), os quais estabeleceram que os principais fatores que influenciam a posição e forma do lóbulo de soldabilidade são:

- **Força do eletrodo:** quanto maior a força do eletrodo, mais largo o lóbulo, e aumentando-se essa força move-se o lóbulo no sentido de maiores correntes de solda;
- **Espessura da chapa:** aumentando-se a espessura aumenta-se a largura do lóbulo, como por exemplo: chapas de 0,4 – 0,6, 0,7 – 1,5, e acima de 1,5 mm têm uma largura de lóbulo de ~1000, ~ 1500 – 2000, e acima de 2000 A, respectivamente.
- **Propriedades do material:** quanto maior a resistividade do material base, maior o limite do lóbulo;
- **Revestimento da superfície:** a presença de revestimento afeta a resistência de interface, e com isso a corrente necessária.

Uma representação do efeito do revestimento superficial afetando a resistência e a diferença de corrente necessária para a soldagem de chapas sem revestimento e chapas revestidas com zinco puro (BZ) ou *galvannealing* (BGA) pode ser vista na Figura 29.

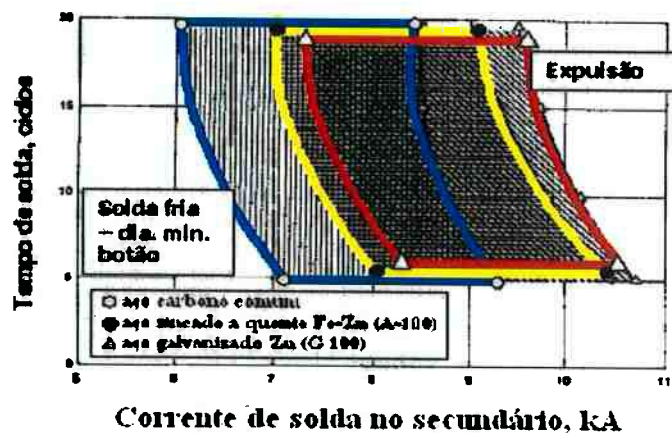


Figura 29 – Tempo de soldagem em função da corrente no secundário, espessura 0,8 mm; força – 1,8 kN, diâmetro da ponta do eletrodo–5,0 mm
(ASM, Metals Handbook)

5.1.2 Estação de solda a ponto manual

Uma estação de solda a ponto manual típica utilizada na indústria automobilística é composta por:

- Transformador de solda à ponto (TSP) / Programador de solda / Unidade auxiliar / Cabo secundário / Máquina de solda à ponto portátil (MSPP) / Estruturas de sustentação.

A Figura 30 ilustra uma estação típica de solda a ponto portátil, desde a estrutura de sustentação fixada no prédio até a máquina de solda a ponto portátil. Existem variações, de acordo com a necessidade de produção, *layout* e tipo de prédio disponível.

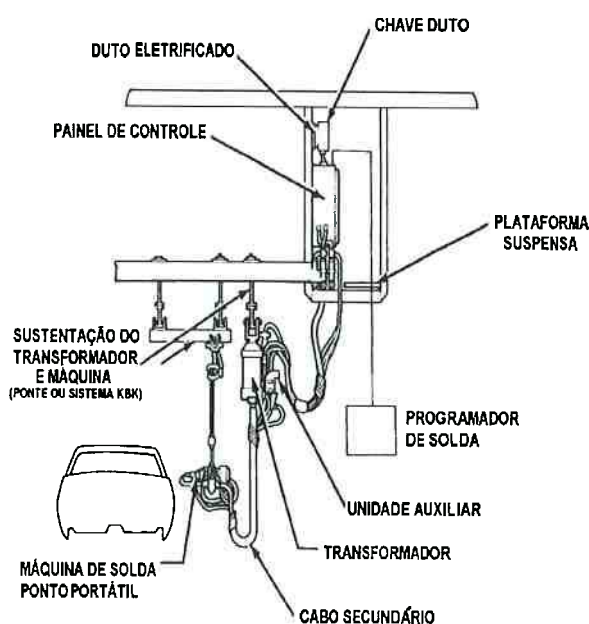


Figura 30 – Estação de solda à ponto manual típica (General Motors, 1996)

5.1.3 Máquinas de solda a ponto

As máquinas de solda a ponto utilizadas nas plantas da General Motors são na grande maioria de acionamento pneumático para obtenção da força de solda. Entretanto, existe a possibilidade de se adotar máquinas acionadas por motores elétricos (servos)

chamadas de Servo-gun. As MSPP's pneumáticas utilizam um cilindro para acionamento da parte móvel, e podem ser classificadas como ação direta (tipo C) e ação basculante (tipo X ou “pinça”). A Figura 31 mostra os tipos das MSPP's.

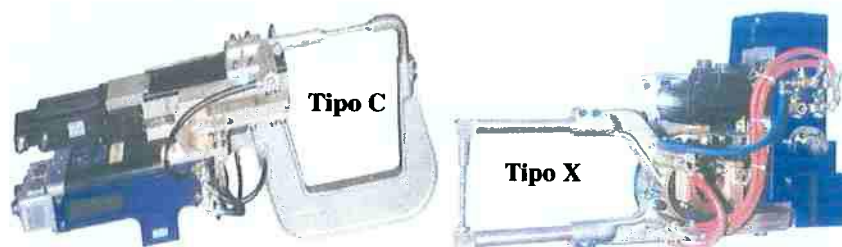


Figura 31 – Tipos de MSPP's – (Catálogo técnico – OBARA Corp. – Japão)

As condições necessárias para se atingir um tamanho aceitável da solda é geralmente especificada em termos bastante simples: por exemplo, no caso de aços baixo carbono, parâmetros típicos de solda são dados em diversas normas nacionais ou internacionais, como a ISO 14373 (2004). Esses parâmetros são comumente feitos em relação à corrente de solda, tempo de solda, força dos eletrodos e diâmetro do eletrodo. Um fator muito importante na prática para a realização dessa solda não é normalmente levado em consideração: as características da máquina de solda. Tais características podem ser consideradas em duas áreas separadas:

- Características elétricas – definidas pela configuração do transformador, forma de onda da corrente elétrica e propriedades do transformador;
- Características mecânicas – definidas em termos de desempenho do cabeçote de montagem dos eletrodos. Parâmetros importantes são indicados na ISO 669 (2000).

5.1.4 Dispositivos de junção de subconjuntos de carroceria

Dispositivos de junção ou montagem são estruturas metálicas utilizadas para posicionar as peças que compõem os subconjuntos de carroceria, de modo a garantir

seu posicionamento geométrico durante o processo de junção, geralmente utilizando solda por corrente elétrica, MIG / MAG e solda Laser.

Tais dispositivos possuem pinos e superfícies de apoio, denominadas chapelonas, que servem de referência geométrica durante a montagem e que também têm a função de resistir aos esforços realizados durante a operação de solda. Além disso, os dispositivos de montagem podem possuir sistemas à prova de erro e sensores de presença de peça para garantir que os componentes dos subconjuntos sejam montados corretamente e que não falte nenhuma peça ou operação anterior.

O nível de automação dos dispositivos de montagem pode variar conforme sua aplicação, podendo ser dispositivos com conjuntos localizadores com fechamento manual, dispositivos pneumáticos e dispositivos eletro-pneumáticos.

A Figura 32 mostra exemplos de dispositivos eletro-pneumático utilizados nos processos de junção de subconjuntos como o compartimento do motor, (*front-end*), painel interno da porta dianteira e do assoalho dianteiro.



Figura 32 – Exemplos de dispositivos de junção de subconjuntos de carroceria: Compartimento do motor (*Front-end*), Painel interno da porta dianteira e assoalho dianteiro (GMB - Tooling & Fixtures Design, 2004).

São nos dispositivos de montagem, através dos conjuntos localizadores como pinos e grampos de fixação que podem ser feitos os ajustes dimensionais para garantir a estabilidade dimensional do subconjunto e conseqüentemente da carroceria completa.

Os recursos de ajuste existentes nos dispositivos vão de encontro a afirmação de Vandergrift (1992), que pressupõe que exista um conhecimento prévio para ajustar as variações do processo.

Em contrapartida, são através dos dispositivos que podem ocorrer as principais variações dimensionais de montagem, em função a diversas razões, como desgaste, conjunto solto e outras razões que são discutidas mais adiante neste trabalho, no item 5.2.

5.1.5 Estação de solda a ponto automática

A máquina de solda pode também ser acoplada a um robô, eliminando-se problemas de ergonomia e pontos de operação sem visibilidade (pontos cegos). Existe a configuração da máquina de solda fixada em pedestal com o robô manipulando a peça para a solda através de garra, normalmente pneumática. A Figura 33 ilustra o robô com a máquina de solda em linha automática.



Figura 33 – Estação de solda a ponto automática típica
(<http://www.seesaipa.com/Robotics>, acesso:5/Fev/2004)

5.2 Variação

Variação é a diferença entre conjuntos produzidos em um mesmo processo, sendo a principal responsável pela instabilidade dimensional existente nas carrocerias automotivas.

Em virtude desta afirmação, é realizado aqui, um estudo mais detalhando sobre a variação dos processos para permitir maior compreensão dos seus efeitos no estudo de caso desenvolvido neste trabalho,

A variação pode causar algumas conseqüências nos dispositivos de montagens como: necessidade de calços de regulagem, interferência em conjuntos, necessidade de ajustes na forma das superfícies, atrasos na produção, retrabalhos, peças defeituosas, sucata e baixa satisfação dos clientes. Há muitas fontes da variação e alguns exemplos mostrados na Figura 33-A.

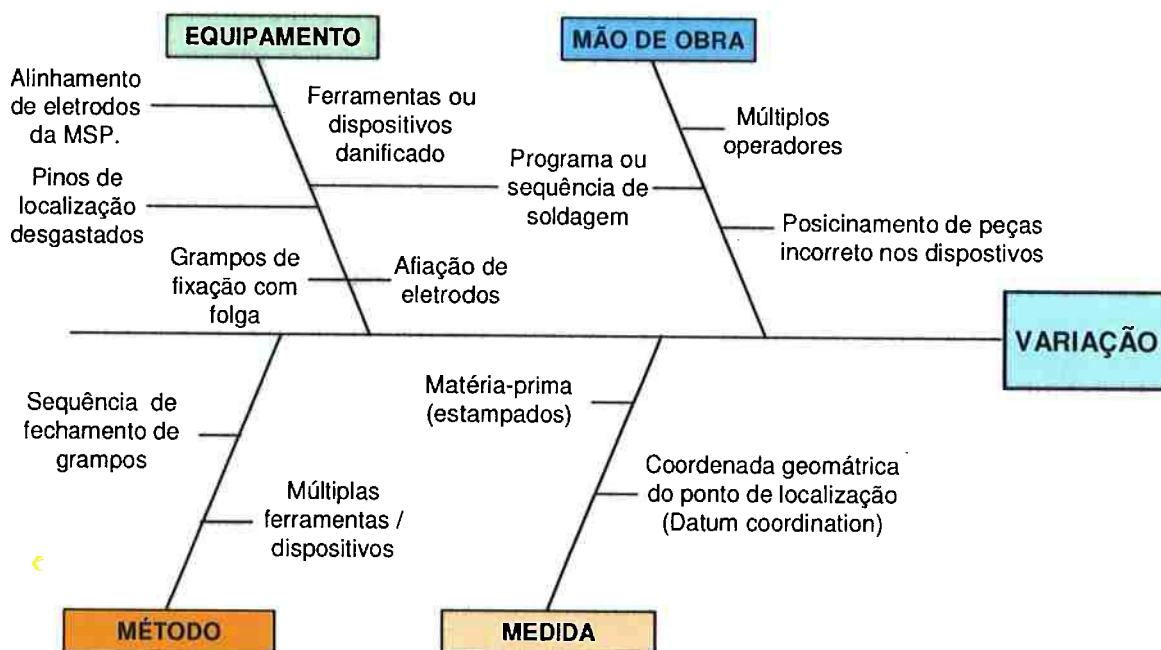


Figura 33-X – Fontes de variação no processo de junção de carrocerias.

Dentre os componentes de variação dimensional encontrados, o mais comum são os decorrentes de mudanças no processo, pois causam alterações na média medida do

processo. Podem-se destacar as mudanças de turno, mudanças de operador, mudanças de ferramentas ou dispositivos, a realização de *set-up*, ou seja, a flexibilização dos equipamentos, e ainda, o desgaste e as folgas nos conjuntos localizadores como grampos de fixação e pinos.

Para reduzir a variação, a causa raiz do problema deve ser identificada e eliminada. O processo deve ser suficientemente robusto para minimizar estes efeitos. O papel da fábrica é manter o controle e manutenção dos equipamentos e dispositivos para reduzir a variação dimensional, os desgastes e conseqüentemente as variações.

5.2.1 Custo da variação

Conforme Taguchi apud General Motors Automotive Handbook (1996), uma das formas de ilustrar o custo da variação nos processos é através da curva da função perda (*loss function curve*). Segundo ele, todo produto produzido fora das especificações gera alguma perda.

Inicialmente, as variações próximas ao objetivo ou nominal resulta em menores problemas. (ver Figura 34).

Interpretação da Função Perda - Taguchi

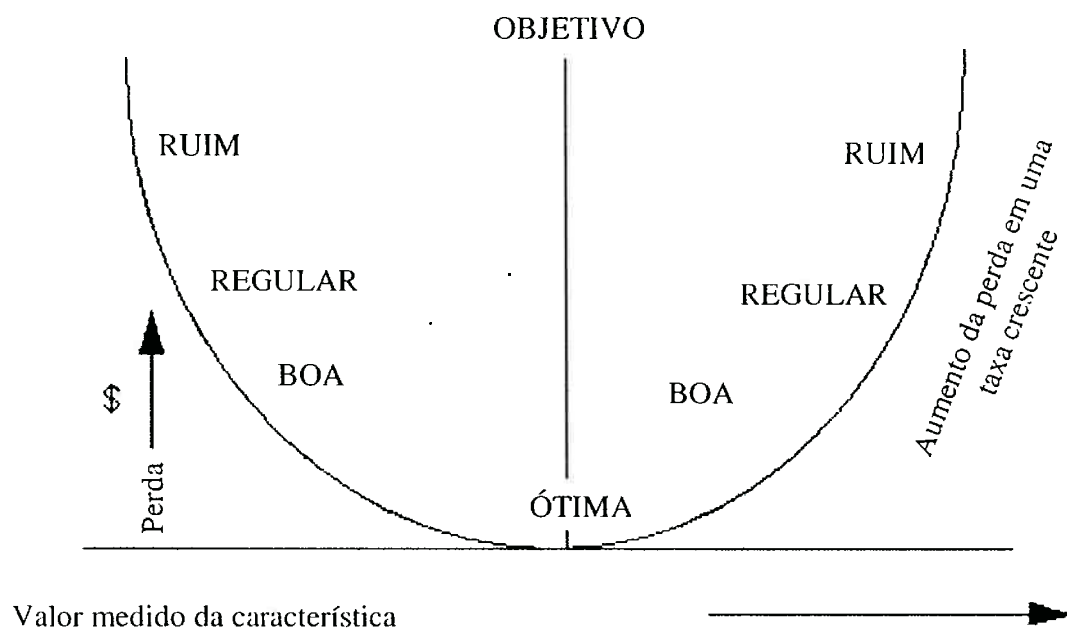


Figura 34 - Curva de perda de Taguchi.

Geralmente as variações maiores em relação ao nominal causam problemas com custo mais severos, tais como regulagens constantes, problemas de ajustes, retrabalhos, reparos e custo de garantia, conforme Figura 35.

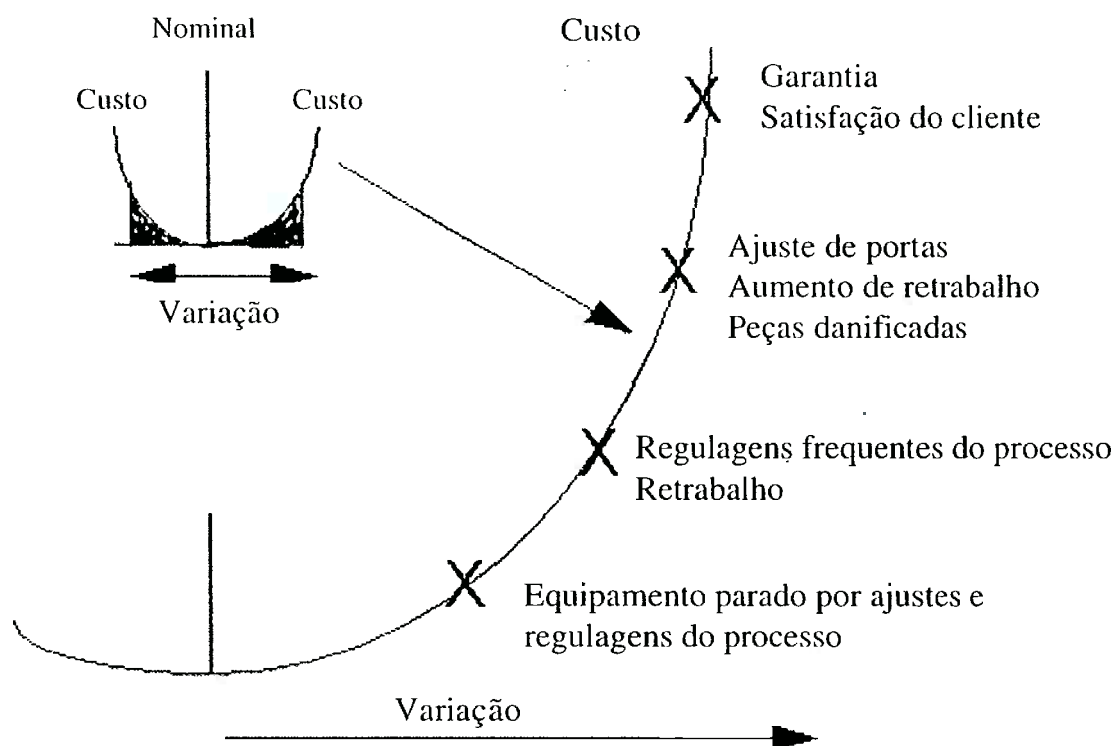


Figure 35 - Perdas devido a variação.

Taguchi menciona que para melhorar o processo é necessário reduzir a variação até que a dispersão seja pequena e estabilizada. Uma vez que a variação esteja controlada, realizam-se os ajustes necessários para trazer a dispersão média para dentro dos valores nominais do processo.

Isso quer dizer que primeiro deve-se eliminar as variações do processo, pois a baixa variabilidade é o que melhorará a precisão dos valores médios. Com a baixa variação, o processo pode ser ajustado para o objetivo especificado, uma vez que se compreendem as causas da variação do processo antes de realizar os ajustes do sistema.

5.3 Preparação de peças padrão

Define-se peça padrão a peça ou subconjunto, conforme conceitos apresentados no item 4.2.1, que devidamente preparada, é utilizado para verificação do processo produtivo.

O processo de preparação de peças padrão (*master panel*) é realizado com o objetivo de utilizar as peças no ajuste dos dispositivos de junção, como é o caso da calibração do processo ou da análise de repetibilidade, e da validação e o pré-controle do processo produtivo.

A peça padrão criada a partir do dispositivo de inspeção deve ser aplicada na calibração do processo. Já a peça padrão criada a partir do dispositivo de junção deve ser utilizada para fim de validação ou pré-controle do processo produtivo.

Os seguintes passos devem ser seguidos para preparação de peças padrão para a aplicação na calibração do processo. As peças do subconjunto são posicionadas no dispositivo de inspeção, conforme sua finalidade, localizando-as na posição de projeto, verificando as seguintes condições:

- a. Ter sido verificado as dimensões dos pontos de localização através de equipamento de medição tridimensional.
- b. Respeitar e garantir a seqüência de fechamento dos grampos de fixação.
- c. Garantir uma superfície de contato ajustada dos apoios e grampos de fixação das peças.

A cada passo da montagem, devem ser executados os furos nas superfícies de intersecção das peças próximos aos pinos de localização, de modo a garantir o controle de variação em todos os sentidos. É recomendado o mínimo de dois furos por peça para que se possam restringir todos os graus de liberdade entre as peças, ou

seja, nos eixos X+, X-, Y+, Y-, Z+ e Z-, bem como as rotações em torno dos mesmos, conforme o plano de referência ou superfícies de apoio, datum, adotado no dispositivo.

A seqüência de montagem deve ser seguida conforme a seqüência de montagem no dispositivo de junção.

As peças devem ser furadas (*witness hole process – witness panel*), com furos de verificação de $4,0^{+0,2}_{-0}$ mm de diâmetro, que são utilizados para indicar, através dos seus alinhamentos, o posicionamento relativo entre as peças do conjunto.

Ao término da furação, remover as peças e remover as rebarbas para evitar interferências durante a realização das verificações. Reposicionar para verificar a repetibilidade e alinhamento dos furos.

Ao término das furações as peças padrão devem ser rebatidas juntas em local adjacente à localização dos pontos de solda.

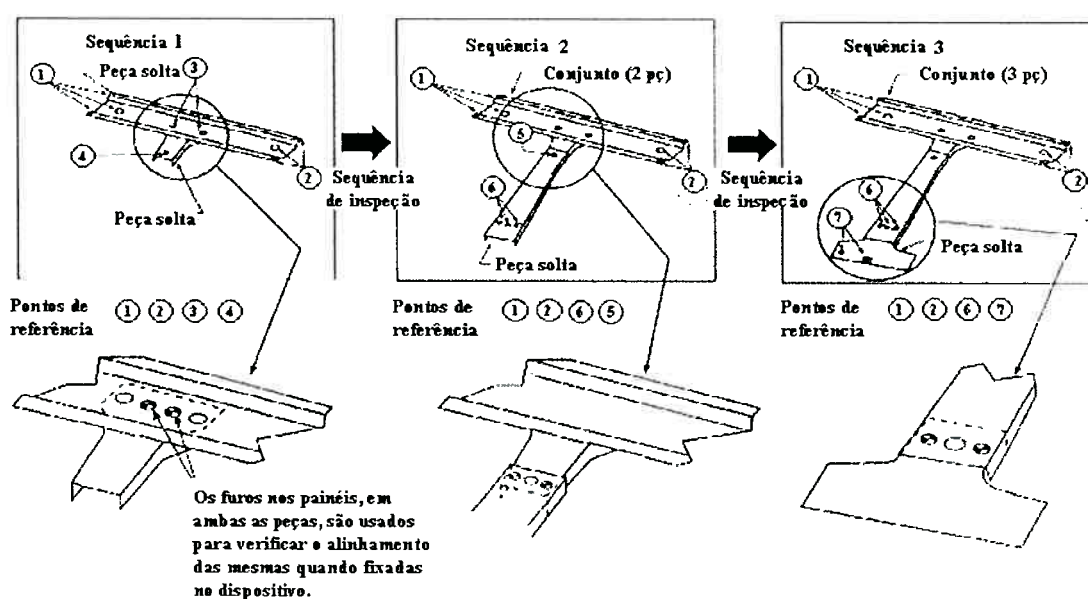


Figura 36 – Procedimento de preparação de peças padrão (General Motors Automotive Handbook, 1996).

A preparação das peças padrão deve ter o seguinte procedimento para fins de validação ou pré-controle do processo produtivo:

Posiciona-se as peças no dispositivo de junção, fecha-se e abre-se os grampos três vezes para minimizar eventuais deformações das peças.

Furar as peças com o mesmo critério mencionado para as peças padrão aplicadas a calibração do processo. Abrir os grampos, retirar as peças e remover as rebarbas dos furos. Reposicionam-se às peças e fechar os grampos novamente para verificar o alinhamento dos furos.

É recomendada a pintura das peças, de preferência através da pintura em elpo, para evitar oxidação durante a utilização periódica no processo.

5.4 Calibração do processo de junção de carrocerias

O processo de calibração dos dispositivos utiliza um conjunto montado no dispositivo de inspeção para realizar os ajustes no dispositivo de junção.

O processo deve ser realizado na ordem inversa da seqüência de montagem, partindo da operação final do processo até a primeira operação. Os passos para realização do processo são:

Remover os rebites em cada estação de montagem para que apenas as peças que são montadas naquela estação possam ser posicionadas soltas no dispositivo. Devem-se assegurar as seguintes condições antes de fixar as peças:

- a. A verificação das coordenadas dos pontos de localização com equipamento de medição tridimensional.
- b. Os pontos de localização de referência devem estar desobstruídos.

- c. A seqüência de fechamento dos grampos de fixação deve ser respeitada.
- d. As superfícies de contato nos conjuntos localizados e grampos devem estar ajustadas às peças.
- e. Garantir que não haja interferência entre os grampos de fixação.
- f. Verificar se sensores de presença não interferem na localização das peças.
- g. Assegurar que não ocorram impactos ou esforços excessivos durante o posicionamento das peças no dispositivos.

Os alinhamentos dos furos de verificação das peças padrão mostram que os pontos de localização do dispositivo de junção estão conforme os pontos de localização do dispositivo de inspeção.

Alinhamento com diferenças de :

- Até 0,5 mm é considerado OK.
- de 0,5 a 1,0 mm está OK, porém com observação.
- Maior de 1,0 mm não está bom, a discrepância deve ser investigada.

O critério de aprovação parte da tolerância especificada por engenharia para a montagem de carrocerias que é de + 1,0 mm a -1,0 mm, ou seja, uma amplitude de 2 mm.

Devido ao processo de pré-controle utilizar a concentricidade dos furos de verificação como valor nominal, tem-se então apenas 1,0 mm de tolerância para sentido o qual o furo possa estar desalinhado.

Desta forma, temos a definição das zonas de pré-controle, conforme demonstrada na Figura 3 do Capítulo 2 deste trabalho, como sendo a zona verde igual a $\frac{1}{2}$ da tolerância, ou seja, desalinhamento permitido de 0 a 0,5 mm, a zona amarela definida também pela $\frac{1}{2}$ da tolerância, ou seja, de 0,5 a 1,0 e a zona vermelha acima de 1,0.

Se o dispositivo de junção falhar no processo de calibração, as causas mais prováveis são:

- a. Interferência de guia, eletrodos ou extratores de peças do dispositivo.
- b. Pinos de localização desgastados ou fora do especificado.
- c. Seqüência incorreta dos grampos de fixação.
- d. Pressão inadequado do ar comprimido, no caso de dispositivos com automação pneumática.
- e. Mudanças de engenharia.

Após realizar os ajustes para garantir o alinhamento dos furos de verificação, remover as peças padrão do dispositivo de montagem e reposicionar para verificar a repetibilidade.

Após todas as operações terem sido inspecionadas pelo processo de calibração, realize a soldagem das peças padrão conforme seqüência de junção. A mudança na diferença de alinhamento permitida é de 0,5 mm. Furos que possuíam diâmetro do alinhamento igual a 3,0 mm devem continuar com a mesma dimensão.

O diâmetro obtido através do alinhamento dos furos de verificação das peças padrão deve ser repetido após abertura e fechamento dos grampos de fixação.

O processo deve ser registrado conforme formulários de registro de calibração de dispositivos.

Se ao término do processo de calibração, o dispositivo necessitar ser relocado, deve-se realizar novamente o processo devido ao desnivelamento do dispositivo. É necessário realizar peças padrão no dispositivo de montagem antes da mudança de local, para serem utilizadas como referencia, após conclusão da mudança de posição do dispositivo para o novo local.

5.5 Validação do processo de junção de carroceria

O processo de validação do processo de junção de carrocerias, realizado através da certificação da repetibilidade dos dispositivos, é de responsabilidade da engenharia de manufatura durante a fase de implementação de novos processos e produtos e posteriormente, da engenharia de produção da fábrica, devendo ocorrer periodicamente durante a produção.

Devem ser utilizadas as peças padrão (*witness master panel*), preparadas através do procedimento de preparação de peças padrão para validação do processo.

Através de um calibrador (*gauge*) especial para essa aplicação, obtêm-se os resultados de alinhamento dos furos de verificação, classificado conforme o critério:

“Verde”	Dispositivo com repetibilidade aprovada (furo de 4.0 mm de diâmetro) – Estudo Aprovado.;
“Amarelo”	Dispositivo com repetibilidade aprovada condicionalmente dentro da tolerância (furo de 3,0 ou 3,5 mm de diâmetro) – Estudo Aprovado;
“Vermelho”	Dispositivo com repetibilidade reprovada (furo menor que 3.0 mm de diâmetro) – Analisar causa da variação, tomar ações necessárias e repetir o processo e realizar novo estudo de repetibilidade.

A adoção de furos com o diâmetro de 4 mm é devido a formas geométricas das peças estampadas que compõem os subconjuntos de carrocerias, que em geral, possuem

flanges padronizadas com o mínimo de 15 mm de largura o que impede a realização de furos de maior dimensão.

Em contra partida, realizar furos com diâmetro menor do que 4,0 mm torna frágil os calibradores de verificação, causando deformações que inviabiliza as verificações de alinhamento dos furos.

O critério de escalonamento das zonas verde (4 a 3,5), amarela (3,5 a 3,0) e vermelha (menor que 3,0) segue a mesma justificativa apresentada no item 5.4, o qual esta relacionado com as tolerâncias especificadas de montagem de carrocerias.

É recomendado realizar o processo de validação antes e após a soldagem, sendo que a máquina de solda deve estar no modo “solda fria”. Após a conclusão do processo, deve-se concluir com a realização da solda no modo “solda quente”, concluindo a montagem do conjunto e confirmando a repetibilidade do processo.

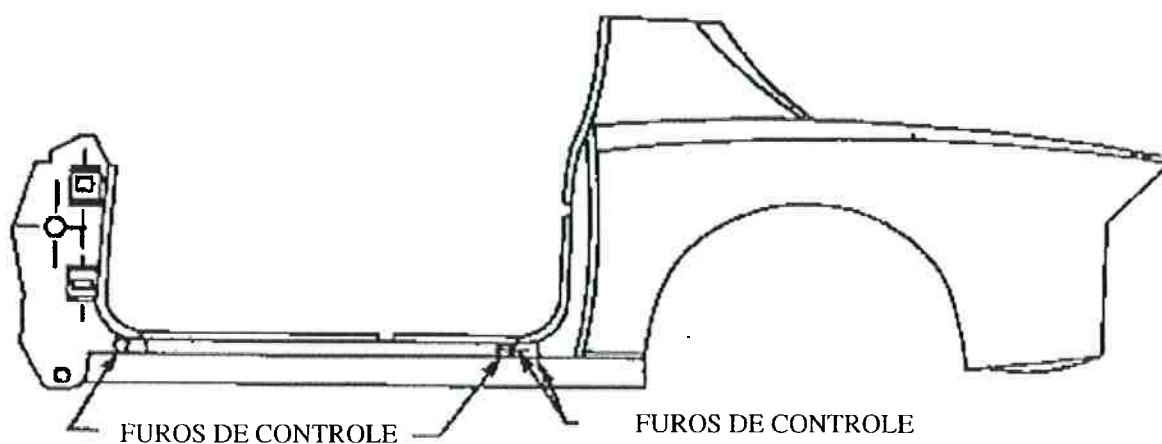


Figura 37 – Furos de controle realizados nas peças da carroceria.

O processo da validação é similar ao processo de calibração do processo exceto pelo fato que se concentra no aspecto de repetibilidade da variação, enquanto a calibração do processo leva em conta as coordenadas do dispositivo de inspeção.

A validação do processo apenas responde a questão “Como está a repetibilidade do dispositivo antes e após a junção?”. Esta pergunta deve ser realizada continuamente durante a vida do processo.

O procedimento segue as seguintes etapas:

- Posicionam-se as peças no dispositivo de montagem, fecham-se os grampos para realizar a verificação do alinhamento dos furos de verificação utilizando o calibrador. Em seguida abrem-se os grampos e retirar as peças.
- Repetem-se a etapa anterior cinco vezes, conforme mencionado no item 2.5. deste trabalho, registrando em formulário próprio após concluído.
- Em seguida, fechar os grampos novamente, aplicar a “solda fria” e observar eventuais movimentos das peças. Repetir o processo cinco vezes com “solda fria”. Se for necessário, prepare novas peças padrão caso o dispositivo não seja aprovado até esta etapa do teste.

Vale ressaltar, conforme discutido do item 2.5, que conforme mencionado por Urdhwareshe (2002), o número de cinco amostras utilizadas para a validação do processo é adequado, pois está vinculado a capacidade do processo, C_{pk} , sendo que o valor observado nos subconjuntos do estudo de caso está entre 0,8 a 1,4. A Figura 54 apresenta um exemplo da variação de dimensional dos processos de junção em um dos subconjuntos estudados.

Após a conclusão dos testes com “solda fria”, fechar os grampos e soldar todos os pontos de solda no modo “solda quente”, abrir os grampos e verificar novamente o alinhamento dos furos.

Assegurar que sejam observadas as seguintes condições:

1. Os grampos de fixação não interferem;

2. As superfícies de contato dos grampos e dos conjuntos de apoio estão bem ajustadas às peças;
3. Sensores de presença não estão interferindo na localização correta das peças;
4. Posicionar as peças nos dispositivos evitando choques e impactos.

A área de fabricação deve manter os registros de repetibilidade e as datas das últimas validações de repetibilidade realizadas.

Se a validação do processo for aprovada no primeiro estudo, o formulário recebe um círculo verde e dispensa a repetição de um segundo estudo. Caso o primeiro estudo não valide o processo, este é arquivado, sendo realizados os ajustes necessários no processo para iniciar um segundo estudo, ou quantos forem necessários até garantir a validação do processo.

5.6 Pré-controle do processo produtivo e solução de problemas

Como ferramenta de solução de problema o processo de pré-controle aplicado à junção de subconjuntos de carroceria é considerado um processo reverso. As peças podem ser localizadas no dispositivo de montagem, furadas para obter os furos de alinhamento e levadas até o dispositivo de inspeção. Pelo posicionamento das peças nos dispositivos de inspeção, pode-se verificar discrepâncias e a necessidade de correções.

Se os furos estiverem alinhados, isto indica que os pontos de localização do dispositivo de inspeção estão na mesma posição do dispositivo de junção. Se os furos não estiverem alinhados, então os pontos de localização estão deslocados. Os critérios para aprovação do alinhamento dos furos são:

- Furos alinhados onde é utilizado o calibrador de 4,0 mm são aprovados;

- Furos alinhados onde é utilizado o calibrador de 3,5 mm são aprovados;
- Furos alinhados onde é utilizado o calibrador de 3,0 mm são aprovados, porém devem ser registrados na documentação. Esta variação pode tornar-se um problema futuro no início ou durante o processo de produção, portanto a informação obtida deve ser utilizada para o processo de solução de problemas;
- Furos alinhados com dimensões inferiores que não possibilitam utilizar o calibrador de 3,0 mm são reprovados, devendo ser ajustados os pontos de localização das peças.

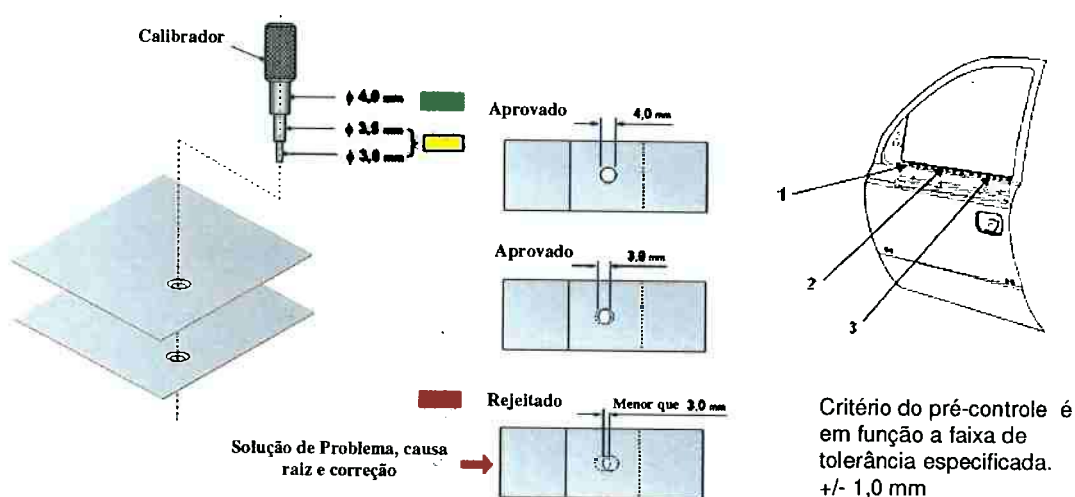


Figura 38 – Critério de aprovação do processo de pré-controle.

5.7 Terminologias do método de pré-controle

Peças padrão perfurada (*witness panel*) – peças estampadas da carroceria com furos para verificação de alinhamento com outra peça do subconjunto, de modo a garantir o ajuste entre as superfícies, garantindo uma mesma localização, seja no dispositivo de inspeção ou de junção.

Furo de verificação (*witness panel hole*) – furo com diâmetro de 4,0 mm que passa através das superfícies de intersecção de peças estampadas de um subconjunto, montadas em dispositivos de inspeção ou junção. Os furos são utilizados para

É nas operações existentes nas células de montagens de subconjuntos que estão as operações alvo para a aplicação e validação do método de pré-controle proposto.

6.2 *Tomoana*: Método aplicado de pré-controle

Tomoana, como foi batizado na empresa automobilística estudada, é um método prático de aplicação de pré-controle voltado aos processos de junção de subconjuntos de carrocerias automotiva.

A palavra “*Tomoana*” é de origem japonesa onde o termo “*tomo*” significa em português coincidente e “*ana*” significa furo.

O principal conceito do *Tomoana* é identificar alterações no processo que possam gerar subconjuntos fora da especificação dimensional.

É uma importante ferramenta para promover o conceito de qualidade de empresas com sistema de qualidade total. No caso da empresa em estudo o *Tomoana* está voltado para o conceito mostrado na Figura 39.



Figura 39 – Conceito de qualidade em sistema de manufatura automobilística.

(Sistema de Qualidade - GMB – Built in Quality, 2002)

verificar o alinhamento das peças e a localização em relação aos pontos de referência do dispositivo.

Risco Alfa – probabilidade de concluir que o processo está “fora de controle” quando de fato, não está.

Risco Beta – Probabilidade de não parar o processo quando de fato, este está “fora de controle”.

Processo “fora de controle” – Gráficos de controle: processo produtivo imprevisível ou instável; Pré-controle: produção de amostras fora dos limites especificados.

Taxa de falso alarme – taxa a qual o processo sinaliza um problema, quando na verdade ele não existe.

Sinais indicadores de pré-controle – Ajustar: dois amarelos na mesma zona; Parar: um vermelho ou dois amarelos em zonas opostas.

Linhas de pré-controle – duas linhas as quais dividem a região verde da região amarela, localizadas a 25% e 75% da faixa especificada.

Capabilidade do processo (C_p) – distribuição do processo relacionada à faixa de especificação. $C_p = 1$ indica que a distribuição do processo está dentro da faixa especificada.

Qualidade – Gráficos de controle: conformidade do processo para estabilizar e atingir valor médio dos limites especificados; pré-controle: Conformidade do processo dentro do limites especificados.

6 APLICAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO DE PRÉ-CONTROLE NO PROCESSO DE JUNÇÃO DE SUBCONJUNTOS DE CARROCERIAS

6.1 Características da empresa escolhida para aplicação do método

Para aplicação prática do método de pré-controle na junção de subconjuntos de carrocerias foi escolhida uma empresa montadora de veículos na região do ABC paulista.

Tal empresa atua com a capacidade produtiva de quarenta e duas unidades por hora, trabalhando em dois turnos de produção, montando cinco plataformas de veículos, os quais derivam em oito modelos diferentes simultaneamente na linha final de montagem.

A área de estruturação de carrocerias possui um nível global de 38% de automação, sendo composta por linha exclusiva para a estruturação de cada plataforma e células de montagem subconjuntos.

As linhas de estruturação possuem um alto nível de automação, 85% dos processos de montagem e soldagem por resistência são automáticos. Isto se deve ao fato de que os conjuntos que formam a carroceria nesta etapa do processo são de maiores dimensões e inviabilizam a realização de operações manuais devido as condições ergonômicas e de segurança dos operadores.

Em função das condições mencionadas, as linhas de estruturação não são o foco de aplicação do método de pré-controle, pois nestas linhas já existem controles estatísticos do processo através de leitores óticos e *vision system*.

Já os subconjuntos menores que formam as partes principais da carroceria, sendo eles o assoalho completo, as laterais e compartimento frontal (*front-end*) são montados em células de montagem, com baixo nível de automação, utilizando processos de montagem e soldagem por resistência manual.

É nas operações existentes nas células de montagens de subconjuntos que estão as operações alvo para a aplicação e validação do método de pré-controle proposto.

6.2 *Tomoana*: Método aplicado de pré-controle

Tomoana, como foi batizado na empresa automobilística estudada, é um método prático de aplicação de pré-controle voltado aos processos de junção de subconjuntos de carrocerias automotiva.

A palavra “*Tomoana*” é de origem japonesa onde o termo “*tomo*” significa em português coincidente e “*ana*” significa furo.

O principal conceito do *Tomoana* é identificar alterações no processo que possam gerar subconjuntos fora da especificação dimensional.

É uma importante ferramenta para promover o conceito de qualidade de empresas com sistema de qualidade total. No caso da empresa em estudo o *Tomoana* está voltado para o conceito mostrado na Figura 39.

SATISFAÇA O SEU CLIENTE



RESOLVA OS PROBLEMAS POR MEIO DE TIMES DE TRABALHO

Figura 39 – Conceito de qualidade em sistema de manufatura automobilística.

(Sistema de Qualidade - GMB – Built in Quality, 2002)

Em geral, os critérios adotados para determinar quais subconjuntos da carroceria devem ter o método *Tomoana* é através da escolha de subconjuntos com destino a exportação, tais como portas, tampas do compartimento do motor, tampas do compartimento do porta-malas e tampa traseira, ou ainda, através da escolha de subconjuntos que apresentam alto número de reclamação de clientes internos, ou seja, das etapas seguintes da cadeia de montagem de veículos, reclamações estas, causadas por dificuldade de montagem de componentes devido a variações dimensionais nos subconjuntos da carroceria.

Juran (1998) cita que o pré-controle é mais adequado nos estágios iniciais de um processo onde se conheça a capacidade do processo, e nestes subconjuntos escolhidos já existe o controle estatístico que fornece a capacidade do processo de cada subconjunto.

Para cada subconjunto escolhido para aplicação do pré-controle, *Tomoana*, são identificados os pontos de verificação conforme mostra a Figura 40.

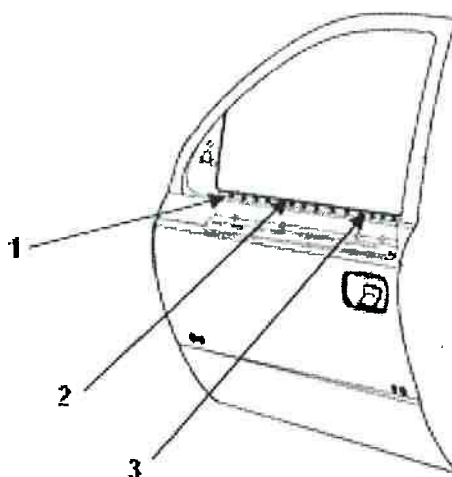


Figura 40 – Pontos verificados por pré-controle (*Tomoana*) – porta dianteira.

Para implementar o método *Tomoana* é necessário ter um time multifuncional treinado dentro dos procedimentos e critérios, com representantes das áreas de produção, manutenção, qualidade e engenharia de produção.

Além de treinamento, são necessários alguns recursos de infra-estrutura como quadro para acomodação das peças padrão, folhas de registro, folhas de estudos de repetibilidade, certificação inicial do processo e o *gauge* ou calibrador de verificação.

O método *Tomoana* utiliza apenas três das quatro aplicações mencionadas nos itens 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6. deste trabalho dentro do processo produtivo.

O item 5.4, calibração do processo produtivo, é aplicado na fase de implementação de novos processos produtivos ou em alteração dos processos já existentes. Tal atividade é realizada pelas áreas de engenharia de manufatura e ferramentaria, que são responsáveis pela instalação e calibração dos dispositivos e equipamentos para atender novos produtos.

As atividades com aplicação voltadas à de produção são:

- Validação do processo de junção de carrocerias: conforme apresentado no item 5.5 deste trabalho, esta aplicação tem a função de verificar a repetibilidade de novos processos de junção de carrocerias.

A Figura 41 apresenta o fluxograma que foi elaborado pela área de produção da empresa onde o estudo de caso foi desenvolvido para auxiliar na execução do procedimento de validação do processo.

O fluxograma é composto de 14 etapas, divididas em três fases principais, onde a fase I avalia capacidade de repetição do dispositivo individualmente, a fase II verifica repetibilidade do processo incluindo os esforços gerados pelo processo de pinçamento da MSPp e a fase III que avalia o processo completo, incluindo a soldagem definitiva do subconjunto e os seus efeitos térmicos.

Cada etapa do fluxograma segue o procedimento e justificativas apresentadas no item 5.5 deste trabalho.

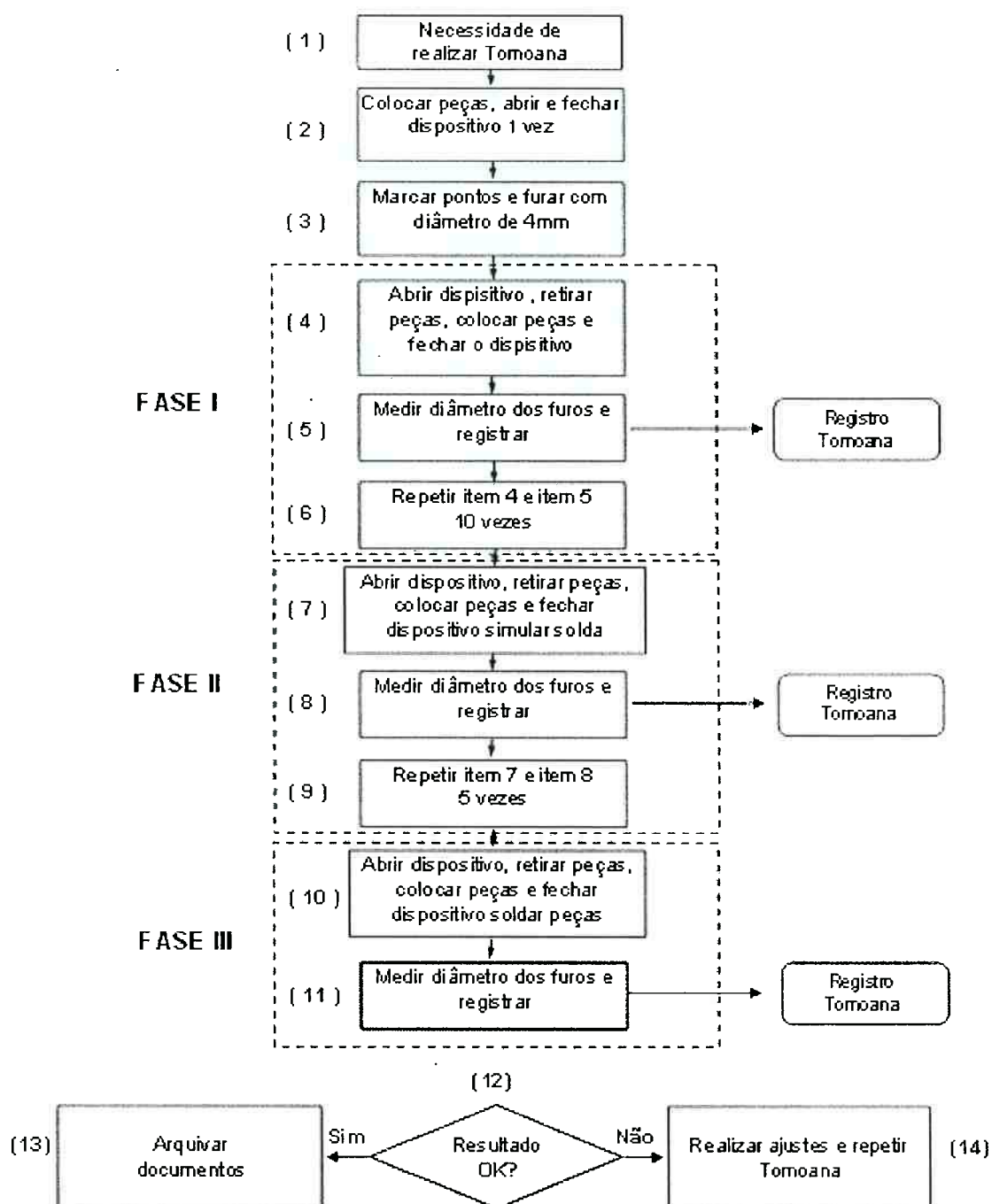


Figura 41 – Fluxograma de certificação do processo via pré-controle (Tomoana).

A fim de permitir os registros das informações obtidas no procedimento de certificação do processo o formulário abaixo foi desenvolvido, para este estudo de caso, para documentar os resultados.

TUMOANA												
Medidas realizadas (Diâmetro do Furo) 4,000						Folha Nº 001						
Medidas sem a operação de soida (operação apenas preso)						Medida de Soida Fra					Medida de Soida	
FUROS	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	16	
1	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	
2	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4,0	3,5	4,0	4,0	4,0	
3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	
4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	
5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
6	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
7	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

Nº Dispositivo	Nome	Nº Conj.	Plataforma
Operadores	Antônio D. Costa		
Comentários	Data 30.04.05		
	Furos de 1,5 de comprimento e 70 unidades a serem produzidas		

Figura 42 – Formulário para registro da certificação do processo.

O formulário identifica através do campo “FUROS” o número do furo de verificação, os valores encontrados em cada uma das fases do método e as observações em caso de ocorrer valores abaixo do aceitável.

- Preparação de peças padrão: conforme mencionado no item 5.3, a função deste procedimento é elaborar peças padrão a serem usadas no acompanhamento de qualidade do processo.

A Figura 43 demonstra a realização da operação conforme descrito no item 5.3



Figura 43 – Realização dos furos e preparação de peças padrão.

- Pré-controle do processo produtivo de junção de subconjuntos: a última aplicação implementada na empresa estudada, conforme item 5.6, tem a função de verificar a conformidade dos subconjuntos dentro das especificações dimensionais.

A Figura 44 apresenta o fluxograma desenvolvido para demonstrar as etapas do procedimento de aplicação do método.

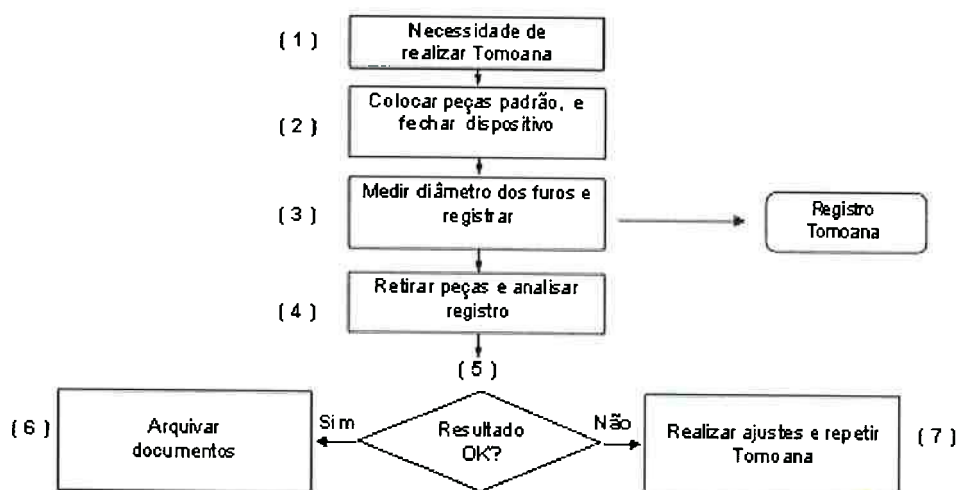


Figura 44 – Fluxograma do procedimento de pré-controle no processo de junção de carrocerias.

A etapa 1 está relacionada com o critério para escolha dos subconjuntos que devem ser submetidos a realização do pré-controle, *Tomoana*, conforme mencionado no item 6.2 deste trabalho, e na frequência de realização do método, que foi determinada para ocorrer no início de cada um dos dois turnos de produção, sendo necessários apenas cinco minutos para realizar a verificação.

O critério de frequência foi adotado baseado nos argumentos de frequência apresentado por Shainin (1990), no item 2.4, a fim de evitar peças fora do especificado no início da produção.

Para o estudo de caso, considera-se como o tempo de ajuste o período entre as manutenções preventivas e corretivas dos dispositivos de montagem, o que em média são de 10 dias úteis de produção. Portanto a frequência ideal calculada para realização do pré-controle *Tomoana* é de 1,6 dias. Entretanto, para garantir o treinamento e envolvimento de ambos os turnos produtivos, foi adotado o critério mencionado de todo início de turno, que equivale a 0,5 dia, ou 2 vezes por dia..

A Figura 45 demonstra como é realizado pré-controle no processo.



Figura 45 – Realização do pré-controle do processo.

Para realização do processo proposto pelo pré-controle *Tomoana*, é necessária a fabricação de calibradores especiais.

Devem ser fabricados com aço SAE 1050, temperado e revenido, conforme o croqui da Figura 46.

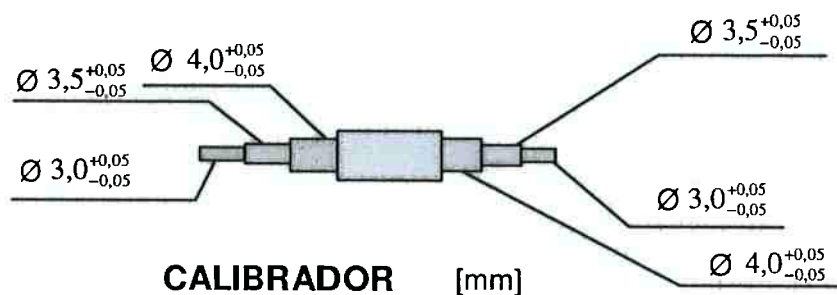


Figura 46 – Calibrador de verificação de Tomoana (pré-controle).

A fim de facilitar gerenciamento visual e a realização do pré-controle, cada célula de montagem recebeu um quadro para centralizar as informações sobre o processo.

A figura 47 mostra o quadro onde fica fixado o procedimento *Tomoana*, as folhas de registros e resultados do estudo de certificação do processo, conforme item 5.5, e o pré-controle diário realizado em cada ponto do subconjunto.



Figura 47 – Quadro de registro de certificação e pré-controle diário do processo.

Além disso, um segundo quadro dispõe as peças padrão utilizadas nos processos de pré-controle, identificando o número de cada peça, a sequência de montagem e o período de troca das peças padrão.

A necessidade de se trocar as peças padrão periodicamente se deve ao fato de que a peça padrão é utilizada diariamente no processo de pré-controle; *Tomoana*, e é sujeita ao desgaste, além de eventuais acidentes que podem causar deformações nas peças e nos furos de controle.

A frequência estabelecida para a troca das peças padrão é de seis meses para painéis externos da carroceria, salvo em caso de acidentes onde as peças serão substituídas imediatamente, tão logo seja detectado visualmente algum dano.

As fotos da Figura 48 mostram alguns exemplos de quadro e a facilidade de se aproximar da estação de montagem e de manter a organização das peças.



Figura 48 – Quadro de peças padrão e dispositivo de junção da tampa do compartimento do motor e porta traseira.



Figura 49 – Localização e organização das peças padrão no quadro.

ESTA ETIQUETA INDICA A OPERAÇÃO E O NOME DO CONJUNTO A SER VERIFICADO.

TOMOANA SEQUÊNCIA DE MONTAGEM DAS PEÇAS NO DISPOSITIVOS	
OP 20 PAINEL EXTERNO COFRE CONJUNTO	
A - PAINEL EXTERNO COFRE	n° 93325517
B - REFORÇO PNL EXTERNO CAPÔ	n° 93309034

INDICA TAMBEM A SEQUÊNCIA CORRETA DE DISPÔR AS PEÇAS PADRÃO NO DISPOSITIVO PARA REALIZAR O CONTROLE DIÁRIO.

Figura 50 – Sequência de posicionamento das peças padrão no dispositivo de junção da tampa do compartimento do motor.



Figura 51 – Identificação do conjunto e recomendações manipulação das peças padrão.

Para as operações onde os equipamentos e dispositivos de montagem são automáticos foi desenvolvido um roteiro de seqüência de fechamento dos conjuntos de localização, a fim de evitar alterações nos resultados dimensionais do pré-controle.

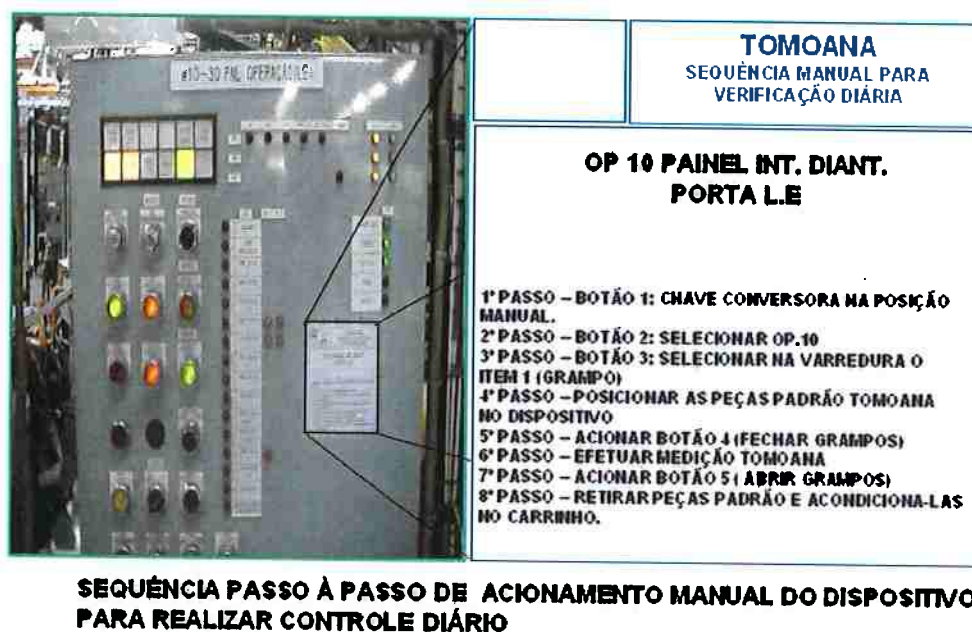


Figura 52 – Definição da seqüência de fechamento do dispositivo de montagem para realização do pré-controle (Tomoana).

7 RESULTADOS

7.1 Subconjuntos avaliados

O método proposto *Tomoana* já está implementado em 57 subconjuntos de carroceria na empresa estudada. A Tabela X e a Figura 53 mostra a quantidade de subconjuntos que permitiram a implementação do processo de pré-controle.

Conforme Bhote (1991), por ser um processo de fácil aprendizado e aplicação, o método se difundiu rapidamente, o que gradativamente torna o processo de junção de carroceria cada vez mais robusto.

Tabela 4 – Subconjuntos com pré-controle *Tomoana*.

TOMOANA

MODELO	CONJUNTO	QTD
"A"	PORTA DIANTEIRA LD/LE	4
	PORTA TRASEIRA LD/LE - PANEL INT. / EXT.	8
	TAMPA DO COFRE - PANEL INT. / EXT.	2
	TAMPA DO PORTA MALAS	1
	TETO (CONVENCIONAL / SOLAR)	2
	PAINEL LATERAL INTERNO LD/LE	4
	PAINEL LATERAL REF. ABERTURA DE PORTAS LD/LE	4
	PAINEL LATERAL EXTERNO LD/LE	2
	REFORÇO DA COLUNA "A"	2
	REFORÇO DA COLUNA "B"	2
	ASSOALHO COMPLETO	2
	SOLEIRA LATERAL LD/LE	2
	EXTENSÃO DO ASSOALHO DIANTEIRO	2
	CAIXA DE RODA TRASEIRA	2
	PAINEL TRASEIRO	1
	ABERTURA DO PARA-BRISA	1
	REFORÇO DAS DOBRADIÇAS PORTAS DIANT. LD/LE	2
	REFORÇO DAS DOBRADIÇAS PORTAS TRAS. LD/LE	2
	PAINEL DIVISOR DO PORTA MALAS	1
	LONGARINAS DIANTEIRAS LD/LE	2
	LONGARINAS TRASEIRAS LD/LE	2
	SUORTE DO BANCO DIANTEIRO	1
	PAINEL FRONTAL	1
	PAINEL DASH - REFORÇO	4
	REFORÇO DO ASSOALHO TRASEIRO	1
	TOTAL	

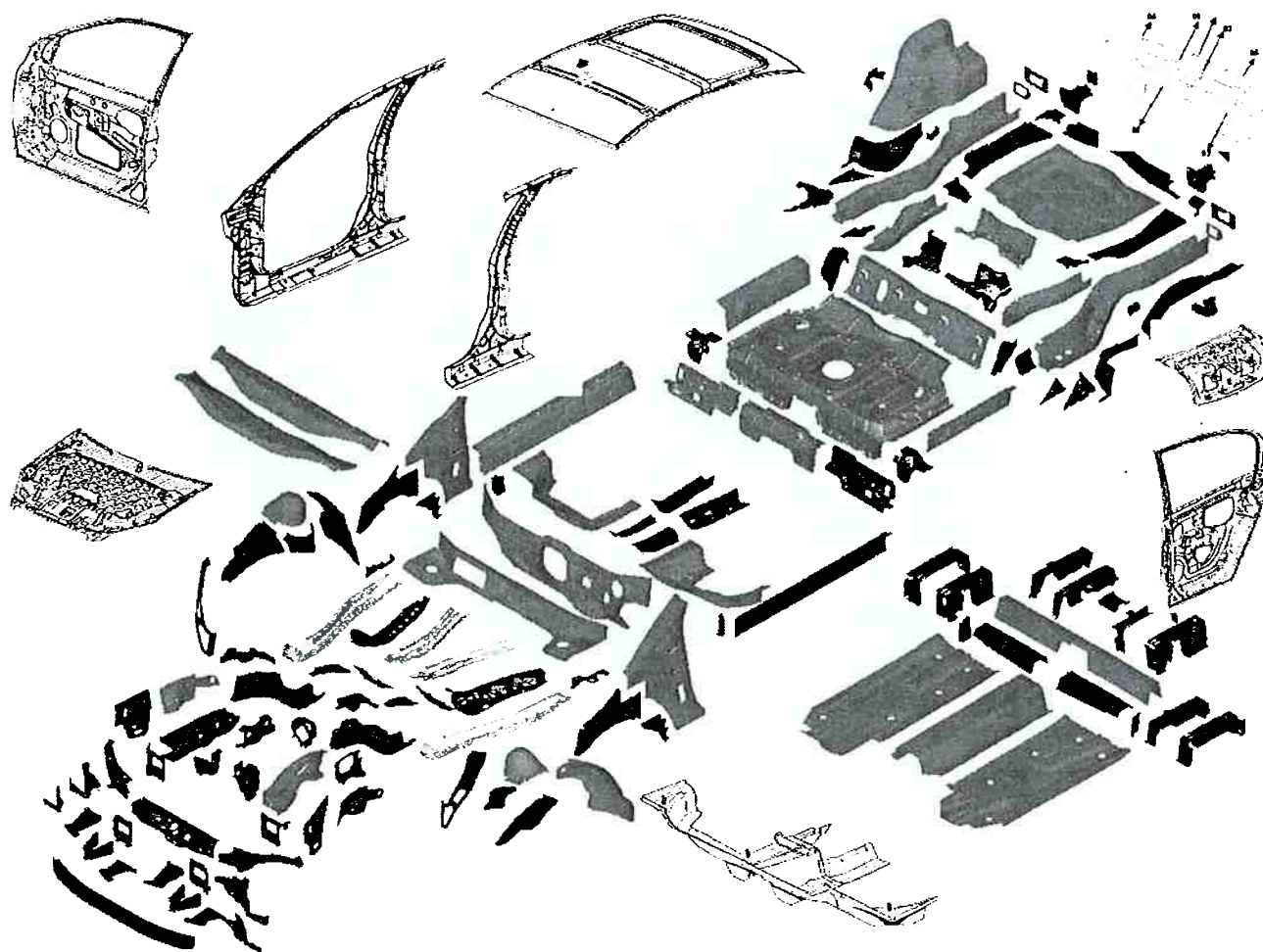


Figura 53 – Subconjuntos que compõem a carroceria veicular.

Para o estudo do método de pré-controle foram utilizados os subconjuntos do painel interno da abertura de porta da lateral da carroceria, lado esquerdo e direito através da análise e validação dos resultados.

7.2 Controle estatístico do processo e capacidade

Cada subconjunto possui controle estatístico do processo realizado através de medições diárias, uma vez a cada turno, por intermédio de dispositivos de inspeção e coletores de dados.

Os resultados são demonstrados por meio de relatório conforme mostra a Figura 54 e permite observar que há pouca variação dimensional nos pontos coletados, o que

torna a aplicação do método consistente conforme a afirmação de Shainin (1990) sobre a capacidade do processo.

Alguns pontos como o ponto 5 – Z lado esquerdo (L/E) e 10 – Z lado direito (L/D), mostram um deslocamento em relação aos valores de tolerância especificada, embora sem variações significativas. Isso se deve ao fato destes pontos estarem submetido a desvios de engenharia para permitir compensar alterações dimensionais de outros componentes que serão montados no veículo em etapas posteriores do processo.

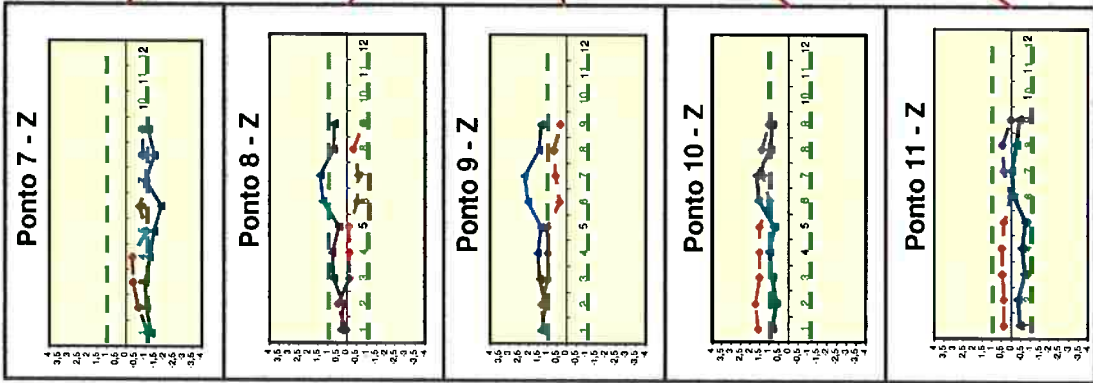
QUALIDADE - FUNILARIA

Relatório Dimensional Ref. PNL Lateral Diant. Int. Conj.

PERÍODO DE 16/10 A 20/10 ANO 2006

— L/E
— L/D

L/E - Lado Esquerdo
 L/D - Lado Direito



Tolerância Especificada +/- 1,0 mm
 Valor Nominal

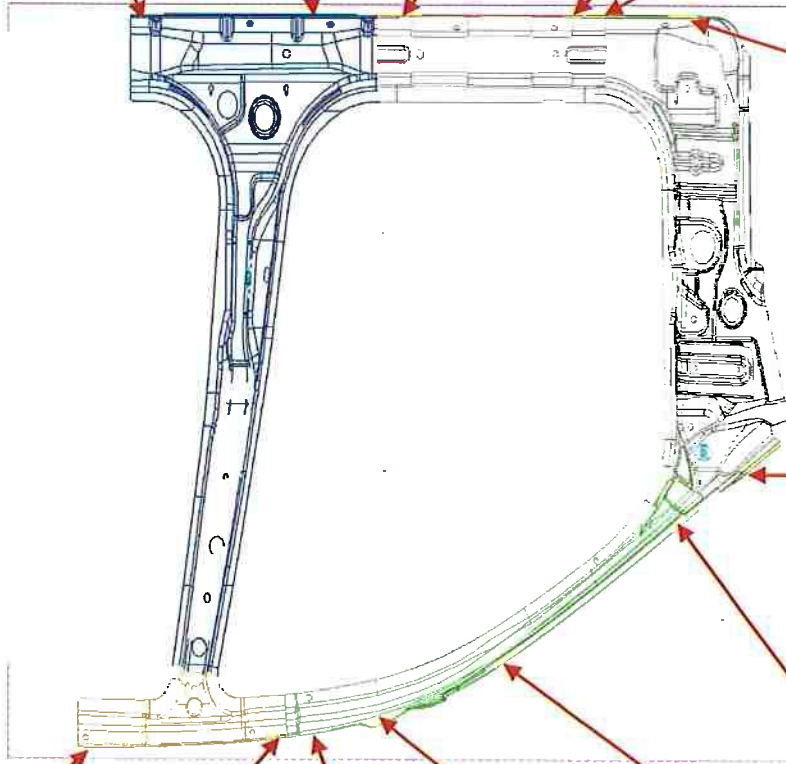
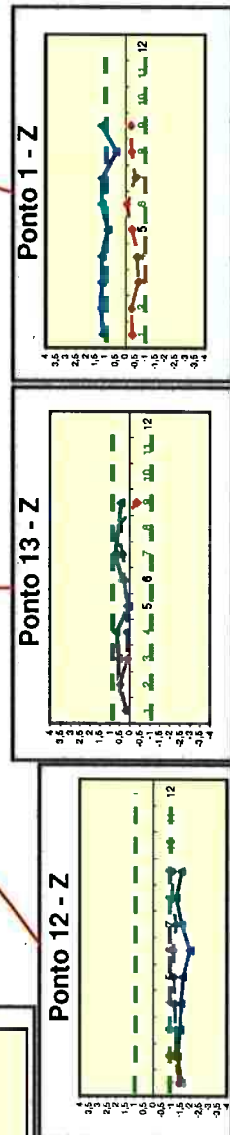
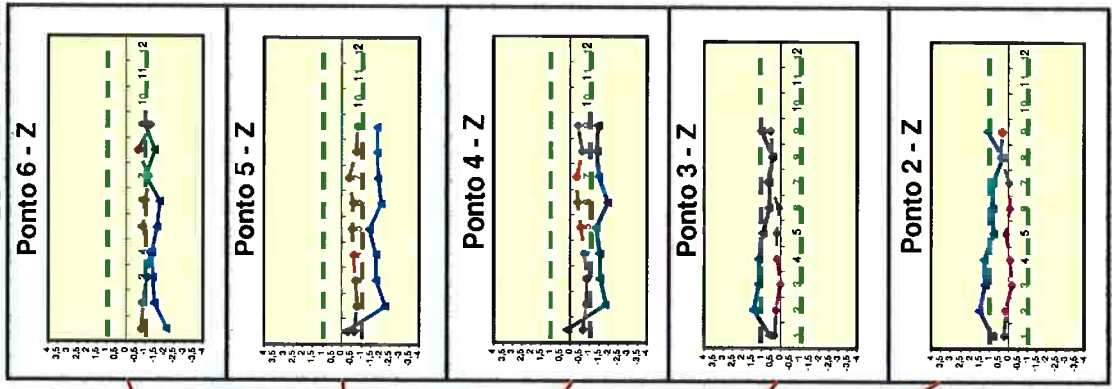


Figura 54 – Relatório dimensional de subconjuntos de carroceria.

Para o cálculo da capacidade de uma amostra com 10 peças, considera-se o valor de 3,078, tabelado conforme QS9000 (1997), e como tolerância especificada o valor de +/- 1,0 mm

$$Cp = \frac{\text{Amplitude da Tolerância Especificada}}{6 * \left(\frac{\text{Amplitude}}{3,078} \right)} = Cp = \frac{2 * 1}{6 * \left(\frac{\text{Amplitude}}{3,078} \right)} \quad (7.1)$$

Aplicando a equação para cada ponto medido no subconjunto mostrado, a capacidade é de 0,9 a 1,4, o que conforme mencionado por Marchertich (1990), é adequado a aplicação do pré-controle.

7.3 Impactos do pré-controle no processo

Através do método proposto de pré-controle, denominado *Tomoana*, aplicado no processo de junção de subconjuntos, foi possível obter maior estabilidade dimensional das carrocerias, comprovadas através da redução das variações mostradas pelos gráficos de controle estatístico de processo.

O método foi fundamental para permitir alcançar o objetivo de 95% @6Sigma, conforme definições do item 4.4.1, o qual demonstra que 95% dos pontos de medição da carroceria estão variando dentro da faixa de Seis sigmas.

A Figura 55 demonstra os valores obtidos nos últimos meses no estudo de caso, para o modelo de veículo que teve o método pré-controle, *Tomoana*, aplicado em 57 do seus subconjuntos, mostrando resultado favorável a partir de agosto de 2006.

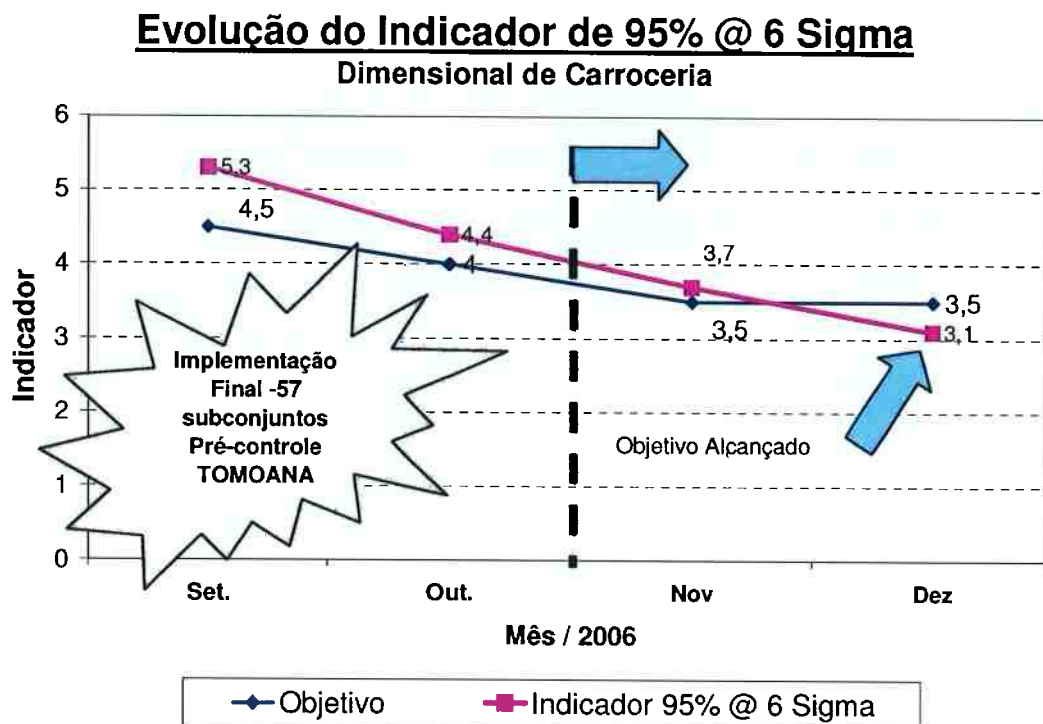


Figura 55 – Gráfico de estabilidade dimensional 95% @ 6 Sigma.

O processo de pré-controle também motivou os operadores, conscientizando-os sobre a importância da qualidade e transferindo a responsabilidade pelo processo, pois diariamente cada operador realiza a verificação de pré-controle *Tomoana*, no seu dispositivo.

7.4 Impactos nos Indicadores de Qualidade

Além da estabilidade dimensional, houve grandes reduções no número de problemas de montagem reportado pelas etapas finais de montagem, os quais eram causados por variações do processo de junção de carroceria.

A Figura 56 mostra a redução no número de unidades que não permitiam montagem de componentes posteriores de em função a variações dimensionais. É possível notar que após a implementação do método, as ocorrências reduziram significativamente.

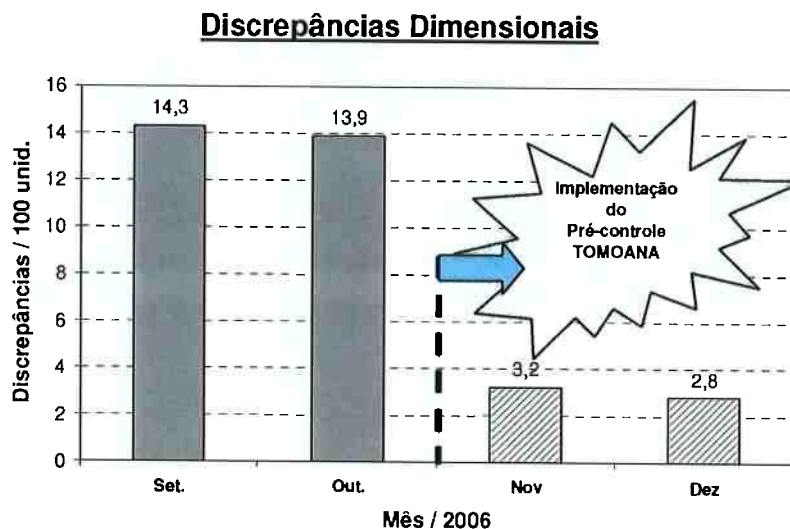


Figura 56 – Gráfico de discrepâncias reportadas por clientes internos em montagens posteriores.

Outro aspecto importante é também o número de reclamações provenientes de clientes externos, que recebem os subconjuntos para realizar a montagem dos veículos em outros países. Para esses casos, a importância de se garantir um processo robusto é ainda maior, pois muitas vezes tais clientes não possuem estrutura, ou até mesmo as peças que permitam retrabalhos, o que pode causar a rejeição de todo o lote de peças produzidas.

A Figura 57 mostra a redução no número de ocorrências de peças com problemas dimensionais provenientes de clientes externos, em função da exportação de subconjuntos.

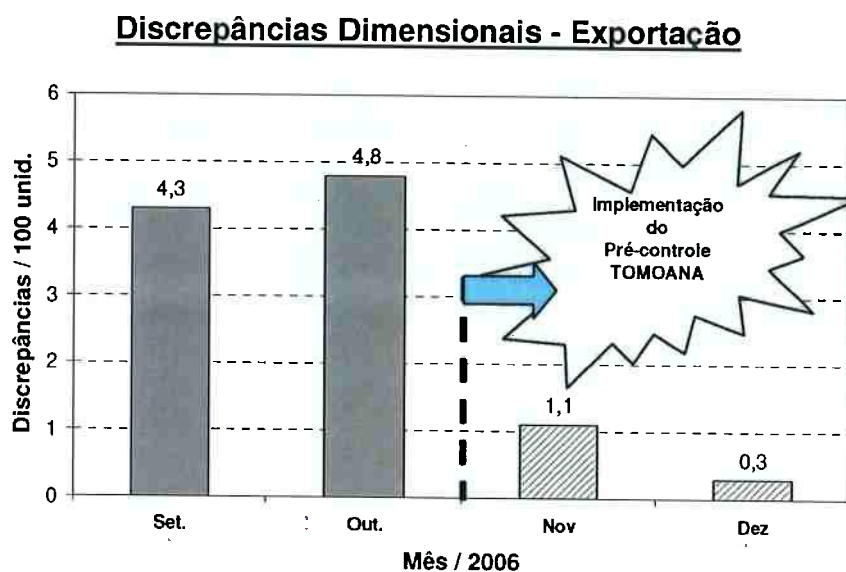


Figura 57 – Gráfico de discrepâncias reportadas por clientes externos (Exportação).

7.5 Impactos nos custos de produção

Levando em conta todos os benefícios de qualidade que o método *Tomoana* proporciona é possível converter tais resultados para uma avaliação econômica.

Através da redução do número de retrabalhos realizados por subconjuntos defeituosos, ou mesmo pelo custo de descarte daqueles subconjuntos que não possibilitam retrabalhos adequados, é possível comparar os resultados econômicos da implementação do sistema de pré-controle *Tomoana*, no processo de junção de carrocerias automotivas.

Tabela 5 – Despesas com retrabalho e descarte de peças e conjuntos, Fonte: Estudo de Caso – Montadora ABC – Ref. 2006.

RETRABALHO E DESCARTE - ACOMPANHAMENTO ANUAL

M.O/h = 20,00 R\$ Preço Médio Descarte: ##### R\$ Dolar em 30/12/2006 US: 2,15

Geral													
	Jan.	Fev.	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
M.O Retrabalho [h]	437	445	437	445	437	432	437	454	437	463	341	324	5088
M.O Retrabalho [R\$]	8733,3	8906,7	8733,3	8906,7	8733,3	8646,7	8733,3	9080	8733,3	9253,3	6826,7	6480	101.766,67
Descarte (Qtd)	141	152	162	137	134	132	133	132	113	112	99	95	1542
Descarte [R\$]	14100	15200	16200	13700	13400	13200	13300	13200	11300	11200	9900	9500	154.200,00
Total R\$													255.966,67
Total US\$													119.054,26

Itens com Tomoana													
	Jan.	Fev.	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
M.O Retrabalho [h]	38	40	38	40	38	37	38	42	38	44	16	12	421
M.O Retrabalho [R\$]	760	800	760	800	760	740	760	840	760	880	320	100	8.280,00
Descarte (Qtd)	31	32	32	27	24	22	23	22	23	22	9	5	272
Descarte [R\$]	3100	3200	3200	2700	2400	2200	2300	2200	2300	2200	900	500	27.200,00
Total Tomoana R\$													35.480,00

3930	Média Bimestral	47160	10920	910	Média Bimestral	36.240,00
Total Redução US\$						16.855,81
Redução Anual %						14%

A tabela 5 mostra os valores das despesas com retrabalho e descartes de peças e conjuntos de carroceria no ano de 2006, comparando a média do início do ano com a média do final do ano, quando o método pré-controle, *Tomoana*, já havia sido aplicado.

Tomando como referência apenas os 57 conjuntos os quais foram aplicado o método *Tomoana*, verificamos uma redução média de US\$ 16.855,81 durante o ano de 2006, o que comparado com o valor total das despesas de todos os modelos e conjuntos produzido pela empresa do estudo de caso, representa 16% de redução anual.

Pode-se dizer, que os resultados podem ser ainda mais favoráveis se aplicado em uma quantidade maior de conjuntos que compõem todos os modelos de veículos montados pela empresa.

Os gráficos contidos nas Figuras 58 e 59 demonstram a redução no número de horas consumidas por mês para a realização de retrabalhos em subconjuntos e o número de

subconjuntos descartados durante o processo de montagem de carrocerias, conforme demonstrados na tabela 5.

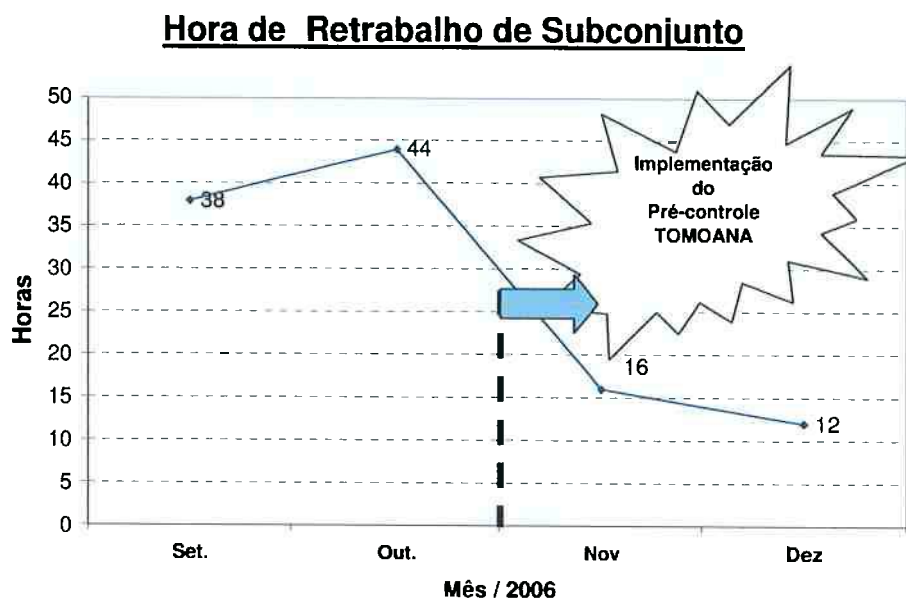


Figura 58 - Gráfico de horas de retrabalhos por mês.

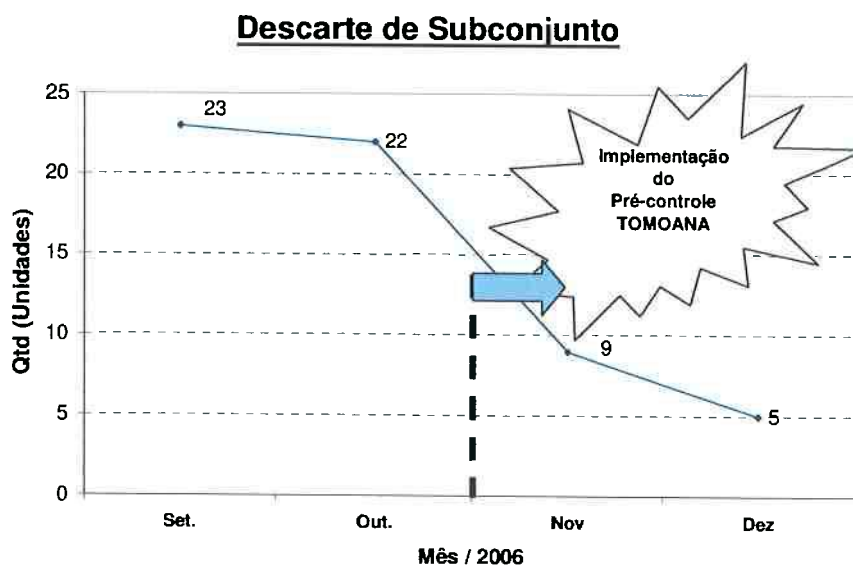


Figura 59 - Gráfico de descartes de subconjuntos.

8 CONCLUSÃO

Após o desenvolvimento do trabalho, pode-se chegar às seguintes conclusões:

1) A aplicação da metodologia de pré-controle mostrou-se viável no processo de manufatura, em particular nos processos de junção de subconjuntos de carroceria automotiva, vindo a complementar os métodos atuais de controle dimensional.

2) O pré-controle, conforme apresentado no estudo bibliográfico mostrou-se uma ferramenta de aplicação simplificada e que pode ser utilizada pelos próprios operadores de produção à baixo custo de operação e com baixo investimento.

Houve um melhor resultado na estabilidade dimensional da carroceria a qual os subconjuntos foram submetidos ao processo de pré-controle *Tomoana*. O indicador de estabilidade dimensional utilizado, 95% @ 6 Sigma, alcançou o valor de 3,5 comprovando a eficácia e benefício do método.

3) O método garante maior detecção e reduz as perdas em função das variações do processo de junção de carrocerias, as quais representaram para a empresa estudada uma redução de 14% nos gastos com retrabalhos e descarte de subconjuntos de carroceria. Tal resultado equivale a uma redução anual de US\$ 16.000,00. Além disso, a aplicação do método se mostrou mais eficaz em subconjuntos fabricados a partir de processo manuais ou que permitam maior interação da mão-de-obra de produção.

9 PERSPECTIVAS E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho permite ser utilizado como base para estudos de novas metodologias de aplicação do pré-controle em outros processos de manufatura.

Serve como base para aprofundar estudos quanto a métodos de controle de qualidade dimensional de carrocerias, ou qualquer outra estrutura fabricada em larga escala de produção.

O método de pré-controle proposto permite o desenvolvimento de modelo probabilístico de toleranceamento para determinação dos pontos de verificação.

REFERÊNCIAS

ADVANCED TECHNOLOGY PROGRAM. **The Development of Advanced Technologies and Systems for Controlling Dimensional Variation in Automobile Body Manufacturing**. Disponível em: <<http://www.atp.nist.gov/eao/gcr-709.htm#I>> Acesso em: 13 de out. 2006.

ASM, American Society for Metal, **Metal handbook**, 1973.

BAKERJIAN, R, **Tool and Manufacturing engineering handbook Vol. VI**, Michigan, 1992.

BHOTE, K. R., **Control charts vs. precontrol: Horse and buggy vs. Jet Age**. New York, 1991.

BHOTE, K. R., **World Class Quality: Using Design of Experiments to Make it Happen**., p. 171-195. Ed. Amacom.. New York, 1991.

CAMARGO, A. E. T; TAVARES, G. M., **Estudo de Capacidade do Processo de Fabricação de uma Empresa Fornecedora de Cabos para Chicotes**. Universidade Federal de Itajubá – MG, 2002.

DATALIZER. **Cp e Cpk – "Série: Índices de Capacidade e Performance do Processo"**. Disponível em: <<http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/info/arquivos/info57/57.html>> Acesso em: 11 de out. 2006.

DATALIZER. **Desvio Padrão – "Série: Índices de Capacidade e Performance do Processo"**. Disponível em: <<http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/info/arquivos/info54/54.html>> Acesso em: 11 de out. 2006.

DICKENSON, D. W. **"Welding in the automobile industry"**, Research Report SG81-5, AISI / Committee of Sheet Steel Producers, Agosto. 1981.

GANOWSKI, F. J., WILLIAMS, N. T. **Advanced in resistance spot and seam welding of zinc-coated steel strip**, Sheet Met. Ind., 1972, 49, (11), 692-704.

GENERAL MOTORS **Automotive Handbook**, 1996.

GINER, V., SAN MATÍAS, S., **Una metodología para la determinación óptima de parâmetros en el precontrol**. Valencia, Espanha, 2003.

BOSCH GMBH, R, **Bosch Automotive Handbook 5th Edition**. 2004. 320p. Alemanha. 2004.

JURAN, J.M., **Quality Control Handbook, 5th Edition**. Ed. McGraw-Hill. 1998.

KRAUSE, H. J., SIMON, G. **Proc. Conf. "Resistance welding 81"**, Essen, Alemanha, Sept. 1981, Deutscher Verlag für Schweißtechnik (DVS), 85-100.

MICQUALITY. **Pre-control**. Disponível em: <http://www.micquality.com/six_sigma_glossary/pre-control.htm#1> Acesso em: 13 de out. 2006.

MONTGOMERY D. C., **Introduction to statistical quality control 5th Edition**. Arizona, 2005.

QS9000, (1997). **Fundamentos do Controle Estatístico do Processo**. São Paulo: I.Q. -A - Instituto da Qualidade Automotiva.

RUIZ, D. C.. **Contribuição ao Desenvolvimento de Processos de Montagem e Soldagem de Carrocerias Automotivas**. Trabalho de Conclusão de Curso, USP – SP, 2005.

SHAININ, D., **Comments on precontrol versus control charting: A critical comparison**, 1990.

SIX SIGMASPC. **Pre-control Limits - Narrow Limit Gauging**. Disponível em: <<http://www.sixsigmaspc.com/six-sigma-spc-articles/pre-control.html>> Acesso em: 11 de out. 2006.

STAINER, S. H., **Pre-Control e Some Simple Alternatives**. Waterloo, 2006. Disponível em: <<http://www.stats.uwaterloo.ca/~shsteine/papers/pre.pdf>> Acesso em: 20 de out. 2006.

URDHWARESHE H. P., **The power of pre-control**. Quality & Productivity Journal, 2002.

VANDERGRIFT, L., **Precontrol: Validity of underlying assumptions and applicability to manufacturing processes**, 1992.

WILLIAMS, B. A. **Standard Work – lean tools and techniques**. 2001, 8p. SAE Paper [2001-01-2598] Aerospace manufacturing technology conference – Seattle. Washington, 2001.

WILLIAMS, N. F., PARKER, J. D. **Review of resistance spot welding of steel sheets, part 2: factors influencing electrode life**. Int. Mat. Review, 2004, 49, (2), 77-108.

WICK, C, **Tool and Manufacturing engineers handbook Vol. IV**, Michigan, 1987.

WOODALL, W.H., **Controversies and contradictions in statistical Process Control**. Minnessota, 2000.