

**LEONARDO MARTO SANCHES JUNIOR**

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

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

São Paulo  
2007

**LEONARDO MARTO SANCHES JUNIOR**

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

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

Área de Concentração:  
Engenharia Automobilística

Orientador:  
Prof. Dr. Gilmar Ferreira Batalha

São Paulo  
2007

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Sanches Junior, Leonardo Marto**

**Estabilidade dimensional de carrocerias automotivas através de pré-controle aplicado no processo de junção de subconjuntos / L.M. Sanches Junior. -- São Paulo, 2007.**

**73 p.**

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

**1.Carroçaria 2.Estabilidade estrutural 3.Custo de operações I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica II.t.**

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 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 da General Motors do Brasil LTDA., recebi o apoio imensurável do Sr. Humberto Garcia e da Sra. Ana Cristina Avelino, gerentes da área de montagem de carrocerias, Sr. Douglas Vital 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 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 e empíricas em modelos de pré-controle de processos de manufatura, 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 aplicado à estabilidade dimensional de subconjuntos de carroceria para validar e controlar processos com baixo investimento e baixo custo operacional, seja durante a fase de implementação de novos produtos ou em projetos já em produção. Este trabalho limita-se apenas a demonstrar um método alternativo que controla a variação dimensional de subconjuntos de carrocerias, garantindo a repetibilidade do processo. Não substitui nenhum do sistema conhecido de controle dimensional, vindo apenas a complementar os métodos atuais conhecidos. As informações obtidas permitem a realização de pesquisas relacionadas a controle dimensional de carrocerias, bem como as ferramentas de qualidade de processos produtivos. Além disso, é possível obter melhores resultados de qualidade na montagem de automóveis através da aplicação do método prático proposto. A demonstração do método prático vinculado à teoria de pré-controle, destacando a eficácia e os resultados obtidos em relação a sistemas atuais de controle dimensional de carrocerias automotivas, é a proposta original do autor.

Palavras chaves: Carroçaria, estabilidade dimensional, custo de operação, pré-controle e tomografia.

## 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 the manufacturing process. A pre-control method is demonstrated to define 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 with low investments and low structural cost, from the project implementation phase to the production phase. The constraints of the paper 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. The method demonstration, theory analysis and results evaluation are the original author's proposal.

Key words: Body-in-white, structural stability, operationall cost, pre-control and tomoana.

## SUMÁRIO

**LISTA DE TABELAS**

**LISTA DE FIGURAS**

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**LISTA DE SÍMBOLOS**

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Situação problema .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Escopo do trabalho .....</b>	<b>2</b>
<b>2 PRÉ-CONTROLE APLICADO À PROCESSOS DE MANUFATURA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Histórico do pré-controle .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Comparação entre pré-controle e gráficos de controle.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Conceitos do pré-controle .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.1 Erros associados ao pré-controle .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.2 Capabilidade do processo e o pré-controle .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.2.1 Impactos da Capabilidade do processo no pré-controle .....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Intervalos entre amostras .....</b>	<b>12</b>
<b>2.5 Aplicação do pré-controle no processo produtivo .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5.1 Qualificação dos ajustes do processo .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5.2 Pré-controle na produção .....</b>	<b>14</b>
<b>2.6 Calibradores para o pré-controle .....</b>	<b>15</b>
<b>2.7 Considerações sobre pré-controle .....</b>	<b>16</b>
<b>3 ESTRUTURA DE TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Conceitos e princípios básicos .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.1 Estrutura de referência (Datum) .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.2 Características inter-relacionadas .....</b>	<b>17</b>



3.1.3 Características de contornos e limites .....	19
3.2 Aplicação do Controle de Tolerâncias Geométrica .....	19
<b>4 CONTROLE DIMENSIONAL DE CARROCERIAS AUTOMOTIVAS ...</b>	<b>21</b>
4.1 Conceitos e definições .....	21
4.2 Processos de medição de carrocerias .....	21
4.2.1 Pontos e plano de medição .....	23
4.3 Equipamentos de controle dimensional .....	25
4.3.1 Máquina de medição coordenada - CMM (Coordinated Measurement Machine) .....	25
4.3.2 Máquina de medição coordenada portátil .....	26
4.3.3 Sistema de medição a laser .....	26
4.3.4 Dispositivos de inspeção e coletores de dados .....	28
4.4 Controle e monitoramento dimensional .....	28
4.4.1 95%@ 6 Sigmas no processo dimensional de carroceria .....	32
<b>5 METODOLOGIA DE PRÉ-CONTROLE NO PROCESSO DE JUNÇÃO DE CARROCERIAS .....</b>	<b>33</b>
5.1 Revisão do Processo de junção de carrocerias para a aplicação do pré- controle .....	34
5.1.1 Solda por resistência elétrica .....	32
5.1.2 Estação de solda a ponto manual .....	37
5.1.3 Máquinas de solda a ponto .....	37
5.1.4 Dispositivos de junção de subconjuntos de carroceria .....	38
5.1.5 Estação de solda a ponto automática .....	40
5.2 Variação .....	40
5.2.1 Custo da variação .....	42
5.3 Preparação de peças padrão .....	43
5.4 Calibração do processo de junção de carrocerias .....	45
5.5 Validação do processo de junção de carrocerias .....	47
5.6 Pré-controle do processo produtivo e solução de problemas .....	49
5.7 Terminologias do método de pré-controle .....	50

<b>6 APLICAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO DE PRÉ-CONTROLE NO PROCESSO DE JUNÇÃO DE SUBCONJUNTOS DE CARROCERIAS....</b>	<b>52</b>
<b>6.1 Características da empresa escolhida para aplicação do método .....</b>	<b>52</b>
<b>6.2 Tomoana: Método aplicado de pré-controle .....</b>	<b>53</b>
<b>7 RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
<b>7.1 Subconjuntos avaliados .....</b>	<b>61</b>
<b>7.2 Controle estatístico do processo e capacidade .....</b>	<b>63</b>
<b>7.3 Impactos do pré-controle no processo .....</b>	<b>65</b>
<b>7.4. Impactos do pré-controle nos Indicadores de Qualidade .....</b>	<b>66</b>
<b>7.5 Impactos nos custos de produção .....</b>	<b>68</b>
<b>8 CONCLUSÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>9 PERSPECTIVAS E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>71</b>
<b>10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>72</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens do pré-controle sobre os gráficos de controle, conforme Bhote, Keki R. (1991) .....	5
Tabela 2 – Exemplos para frequência de amostras de pré-controle .....	13
Tabela 3 – Relatório de dados coletados dos sistemas de medição .....	29

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Zonas de tolerância do pré-controle .....	9
Figura 2 – Porcentagem da tolerância dentro das zonas de pré-controle .....	9
Figura 3 – Zonas de pré-controle para tolerâncias unilaterais .....	10
Figura 4 – Zonas de pré-controle para tolerâncias de máximo ou mínimo .....	10
Figura 5 – Distribuição normal do processo em função de Cp e Cpk .....	11
Figura 6 – Gráfico de probabilidade de cinco amostras verdes consecutivas em função do índice Cpk do processo .....	12
Figura 7 – Critério de aprovação – cinco verdes consecutivos .....	14
Figura 8 – Critério de aprovação / rejeição do pré-controle .....	15
Figura 9 – Exemplo de demarcação de calibradores para pré-controle .....	15
Figura 10 – Estrutura de referência de peças .....	17
Figura 11 – Controle convencional mostrando a forma e localização perfeita .....	18
Figura 12 – Controle convencional mostrando possíveis variações na forma e localização .....	18
Figura 13 – Controle equivalente para limites e zonas de tolerâncias .....	19
Figura 14 – Exemplos de alternativas de controle de tolerâncias .....	20
Figura 15 – Sistema de coordenada para carrocerias automotivas .....	22
Figura 16 – Convenção de sinal para variações dimensional .....	23
Figura 17 – Plano de medição de carroceria automotiva .....	24
Figura 18 – Equipamento de medição coordenada (CMM) .....	25
Figura 19 – Máquina de medição coordenada portátil .....	26
Figura 20 – Estação de medição a laser de carroceria e subconjuntos – Vision System .....	27
Figura 21 – Coletor de dados aplicado em dispositivos de inspeção .....	28
Figura 22 – Gráfico de variação para ponto de medição em uma coordenada .....	29
Figura 23 – Relatório completo do dimensional de carroceria .....	31

Figura 24 – Distribuição normal e definição de Seis Sigmas .....	32
Figura 25 – Definição do critério de 95% das dimensões à 6 Sigma .....	33
Figura 26 – Esquemática de botão e ponto de solda (Ruiz, 2005) .....	34
Figura 27 – Curva de crescimento da solda típica para um tempo fixo de solda (Williams & Parker, 2004) .....	35
Figura 28 – Lóbulo de soldabilidade à uma força de eletrodo constante. (ISO 14327, 2001) .....	35
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 .....	36
Figura 30 – Estação de solda à ponto manual típica (General Motors, 1996) .....	37
Figura 31 – Tipos de MSPP's – (Catálogo técnico – OBARA Corp. – Japão).....	38
Figura 32 – Exemplos de dispositivos de junção de subconjuntos de carroceria: Compartimento do motor (Front-end), Painel interno da porta dianteira e assoalho dianteiro .....	39
Figura 33 – Estação de solda a ponto automática típica .....	40
Figura 34 - Curva de perda de Taguchi .....	42
Figure 35 - Perdas devido a variação .....	43
Figura 36 – Procedimento de preparação de peças padrão .....	45
Figura 37 – Furos de controle realizados nas peças da carroceria .....	48
Figura 38 – Critério de aprovação do processo de pré-controle .....	50
Figura 39 – Conceito de qualidade em sistema de manufatura automobilística ....	53
Figura 40 – Pontos verificados por tomoana (pré-controle) – porta dianteira .....	54
Figura 41 – Fluxograma de certificação do processo via tomoana (pré-controle) .	55
Figura 42 – Formulário para registro da certificação do processo .....	56
Figura 43 – Realização dos furos e preparação de peças padrão .....	56
Figura 44 – Fluxograma do procedimento de pré-controle no processo de junção de carrocerias .....	57

Figura 45 – Realização do pré-controle do processo .....	58
Figura 46 – Calibrador de verificação de pré-controle (tomoana) .....	58
Figura 47 – Quadro de registro de certificação e de pré-controle diário do processo .....	59
Figura 48 – Quadro de peças padrão e o dispositivo de junção da tampa do compartimento do motor e porta traseira .....	59
Figura 49 – Localização e organização das peças padrão no quadro.....	60
Figura 50 – Seqüência de posicionamento das peças padrão no dispositivo de junção da tampa do compartimento do motor .....	60
Figura 51 – Identificação do conjunto e recomendações para manipulação das peças padrão .....	61
Figura 52 – Definição da seqüência de fechamento do dispositivo de montagem para realização do pré-controle (tomana) .....	61
Figura 53 – Subconjuntos que compõe a carroceria veicular .....	62
Figura 54 – Relatório dimensional de subconjunto de carroceria .....	64
Figura 55 – Gráfico de resultado de estabilidade dimensional 95% @ 6 Sigma ....	66
Figura 56 – Gráfico de discrepâncias reportadas por clientes internos em montagens posteriores .....	67
Figura 57 – Gráfico de discrepâncias reportadas por clientes externos (Exportação) .....	68
Figura 58 - Gráfico de horas de retrabalhos por mês .....	69
Figura 59 - Gráfico de descartes de subconjuntos .....	69

## 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	Coordinated Measurement Machine
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	Datum reference frames
ISO	International Organization for Standardization
LIE	Limite inferior especificado
LIPC	Limite inferior de pré-controle
LOC	Ponto de localização (location)
LSE	Limite superior especificado
LSPC	Limite superior de pré-controle
MAG	Metal Active Gas
MED	Medida
MIG	Metal Inert Gás
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
Vision System	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 <sub>p</sub>	Capabilidade do processo	
$\sigma$	Desvio padrão	
$\bar{x}$	Média das amostras	[mm]
x	Valor da amostra	[mm]
n	Quantidade de amostras	
$\Sigma$	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 à 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 devem 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 de 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 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 aplicado 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 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 automotiva 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 trás 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 dentro dos princípios da estatística voltada ao controle de qualidade.

Para servir de base para a compreensão dos fundamentos do controle dimensional o capítulo 3 trás 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 estático 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 e levantamento de dados para análise posterior dos resultados, estes 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 nesta 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.

Este 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 vs. 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 deslocamento 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 estatísticos.

O pré-controle pressupõe que já exista um conhecimento prévio, ou que este 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 e 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 na qual existem formas e conhecimento de como ajustar a variação e os 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, são o padrão de comparação utilizado para ajuste teórico da probabilidade da habilidade do pré-controle em detectar mudanças significativas no desvio ou na variação do processo.

Pré-controle é uma técnica que ajuda aos 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 estaticamente robusto. No controle estatístico de processo são necessárias 25 amostras antes de ser possível desenhar os limites de controle e conclusões sobre o processo. Já o pré-controle inicia-se dando 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, podemos compará-lo com um dos métodos de controle de qualidade mais aplicado 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. Isto se deve ao fato de que são necessárias de 80 a 150 amostras para que se possam iniciar e estabelecer os limites de controle para os gráficos de controle.

Em contra partida, Bhote (1991), argumenta que o pré-controle pode ser usado para corridas de produção a partir de 20 unidades, desde que haja linha de pré-controle predeterminada pelo limites especificados.

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

Características	Gráficos de Controle	Pré-controle
1. Propósito	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descobrir a quantidade de variação causada pela aleatoriedade e causas determinadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevenir produção de defeitos.</li> </ul>
2. Simplicidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complexo – cálculos de controle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simples – pré-controle esta no meio da faixa especificada.</li> </ul>
3. Uso por operadores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difícil – Registro gráfico é mandatório e a interpretação é confusa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil – zonas verdes, amarelas e vermelhas. Abordagem prática para os operadores.</li> </ul>
4. Complexidade matemática	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envolve <math>\bar{X}</math>, limites de controle e o limites do processo devem ser calculados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementar – deve-se saber a dividir por 4.</li> </ul>
5. Aplicabilidade em pequenas corridas de produção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inútil para corridas abaixo de 500 unidades – amostragem de 80 a 150 unidades são necessárias para estabelecer os limites de controle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode ser usado em corridas a partir de 20 unidades; As linhas de pré-controle são predeterminadas através das especificações.</li> </ul>

6. Recalibração dos limites de controle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freqüente – na indústria nenhum processo possui variação que opera sob efeito de causas constantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não é necessária, ao menos que as especificações sejam estreitadas.</li> </ul>
7. Ajuste do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longo período, pois requer uma nova amostragem de 80 a 150 unidades para avaliação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instantâneo, ocorrendo após duas unidades.</li> </ul>
8. Freqüência de amostra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vago e arbitrário.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regra simples: Seis amostras entre o intervalo de dois ajustes ou paradas.</li> </ul>
9. Poder de discriminação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fraco – risco alfa de rejeitar quando não há rejeição é alto. Risco beta de aceitar quando a rejeições no processo é alto. Pequena relação às especificações.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente – risco alfa de rejeição é abaixo de 2% na pior condição e 0% para Cpk de 1,66. Risco beta &lt;1,36% para pior condição e 0% com Cpk de 1,66.</li> </ul>
10. Gráfico de atributos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não distinguem entre tipo de modo de defeitos ou importância.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gráficos de atributos podem ser convertidos para gráfico de pré-controle através da ponderação dos modos de defeitos em uma escala de taxa arbitrária.</li> </ul>
11. Economia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo – cálculos, formulários, amostras grandes e mais freqüentes com longas corridas de validação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo custo – cálculos simples, poucos formulários, pequenas amostras com baixa freqüência. Se a qualidade é boa, a capacidade do processo pode ser determinada em cinco amostras.</li> </ul>

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

## 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 na multiplicação dos teoremas da probabilidade, o tipo I e tipo II de taxa de erro foi calculado e considerado como sendo o risco alfa e o risco beta.

O risco alfa para o pré-controle é a faixa dos valores das quais 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, temos o risco alfa no pior caso aceitável, quando  $C_p = 1,0$  e a distribuição do processo são iguais a seis sigmas. Isto resulta no risco alfa = 0,02 ou 2%, sendo demonstrada pelas seguintes probabilidades:

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

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.



Se considerarmos, no exemplo a seguir, conforme Vandergrift (1992), um processo com  $C_p = 1,33$ , is quer dizer um processo distribuído dentro de 75% dos limites especificados, teremos:

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

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

Já o risco beta, definido por Shainin apud Vandegrif (1990), como a probabilidade de não detectar um item fora do especificado, necessita um período de uso do pré-controle para sua determinação.

Shainin (1991), basea 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 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.

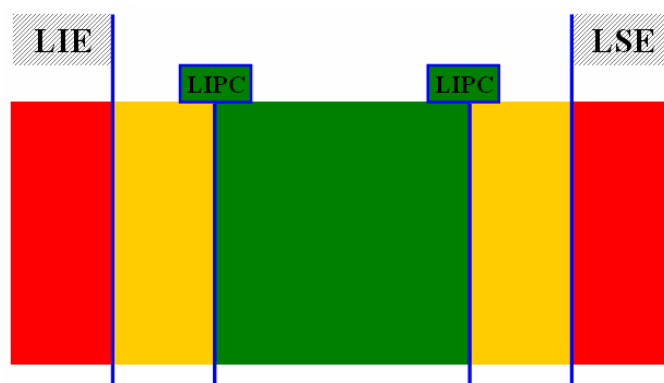


Figura 1 – Zonas de tolerância do pré-controle.

Se o CPk do processo é 1,0, isto significa que a tolerância é igual a 6 x 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.

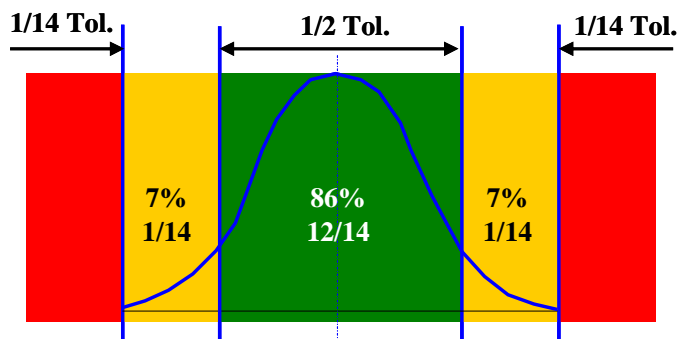


Figura 2 – Porcentagem da tolerância dentro das zonas de pré-controle.

A chance de se obter dois amarelos consecutivos na zona amarela é igual a  $(1/14) \times (1/14)$ , ou seja,  $(1/196)$ , 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.

Alguns exemplos ilustram a aplicação de pré-controle para processos que possuem tolerância para apenas um lado como dimensões de concentricidade, planicidade ou outras que apresentem variação em apenas um sentido.

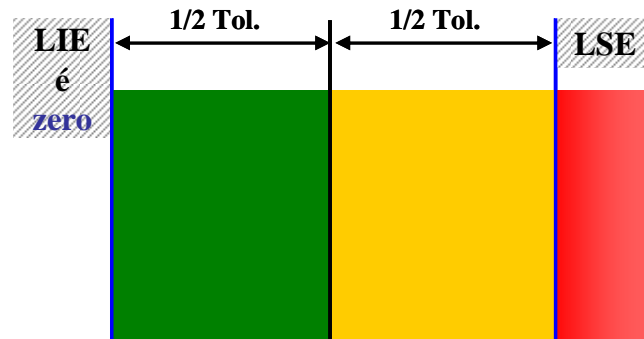


Figura 3 – Zonas de pré-controle para tolerâncias unilaterais.

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

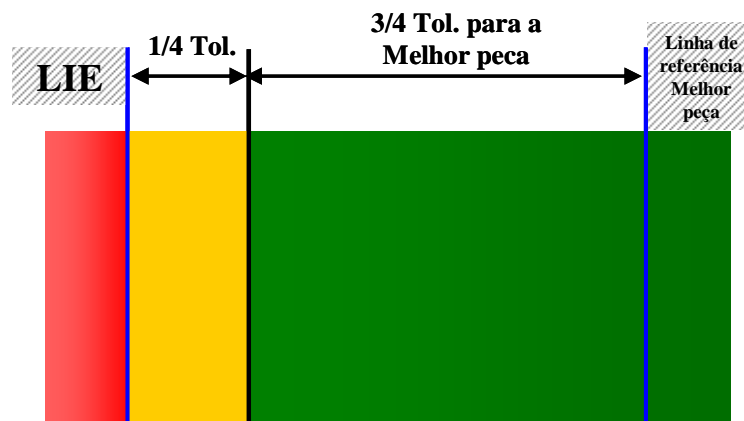


Figura 4 – Zonas de pré-controle para tolerâncias de máximo ou mínimo.

### 2.3.2.1 Impactos da Capabilidade do processo no pré-controle

Muitas literaturas associam os impactos da capabilidade do processo na efetividade de detectar alteração na média e mudanças de variação.

Quando pré-controle foi desenvolvido, a capabilidade 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, o pré-controle detecta mais rapidamente alterações no desvio médio do que gráficos de controle para baixa capacidade de processo ( $C_p = 1,0$  a  $1,2$ ).

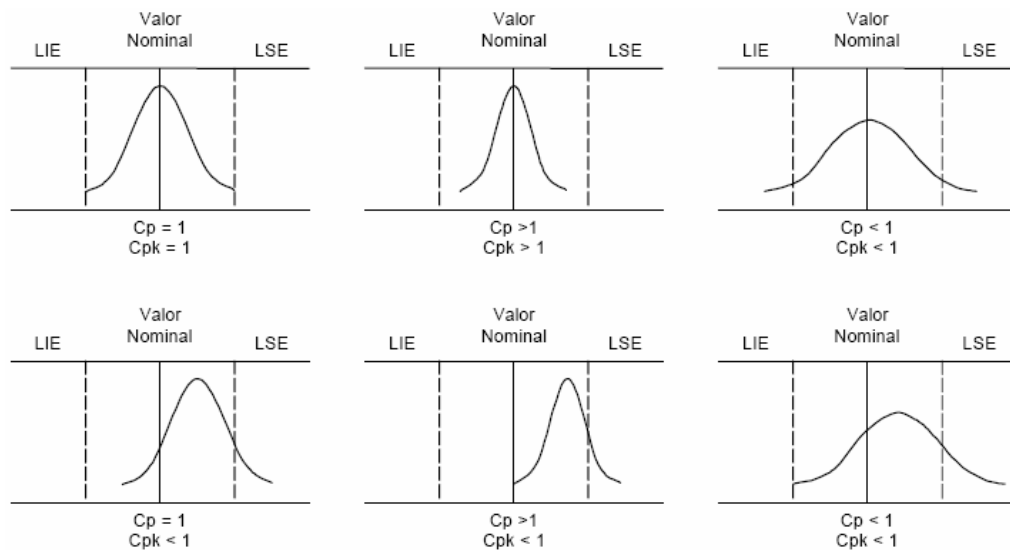


Figura 5 – Distribuição normal do processo em função de  $C_p$  e  $C_{pk}$ .

Podemos observar na Figura 6, que a chance de termos cinco amostras consecutivas na zona verde está em função do valor de  $C_{pk}$ , considerando um processo com distribuição normal, onde a variação do processo é igual à faixa de tolerância.

## PRÉ-CONTROLE

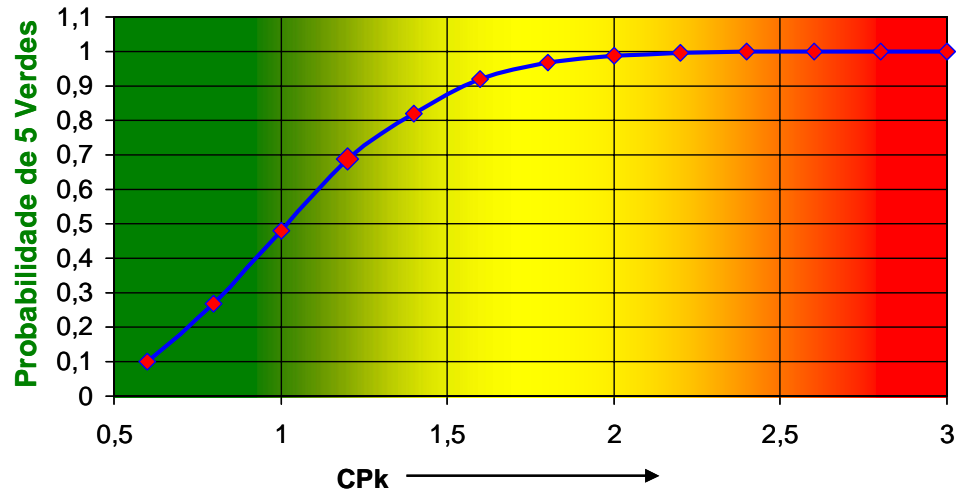


Figura 6 – Gráfico de probabilidade de cinco amostras verdes consecutivas em função do índice Cpk do processo.

A probabilidade cai drasticamente para Cpk menores que 1,5. 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.

Podemos 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 abaixo auxilia na definição da frequência.

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

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

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.

Notamos que o pré-controle pode ser considerado um método de controle vago para estágios iniciais de processo. Desta forma a frequência dependera 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 numero 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. Deste 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 cinco peças consecutivas estão na zona verde, o ajuste está OK e o processo pronto para iniciar.

Se um amarelo for detectado, deve reiniciar a contagem.

Se dois amarelos consecutivos forem detectados, ajuste o processo.

Se um vermelho for obtido, pare e ajuste o processo.

### **Qualificação do Processo: 5 verde consecutivos** **Repetibilidade**

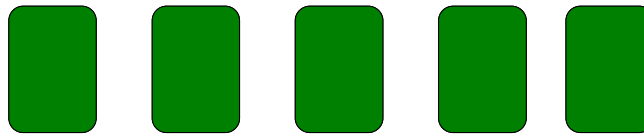


Figura 7 – Critério de aprovação – cinco verdes consecutivos.

Desta 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 temos um sinal claro que o processo não é capaz de produzir peças dentro das especificações. Neste 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 continue o processo. Se uma está na zona amarela e a outra na verde, continue.

- Se ambas A e B estão na zona amarela do mesmo lado, ajuste o processo. 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, ajuste o processo. Neste caso, as peças produzidas desde a última amostra devem ser inspecionadas, através de um rastreamento no processo.

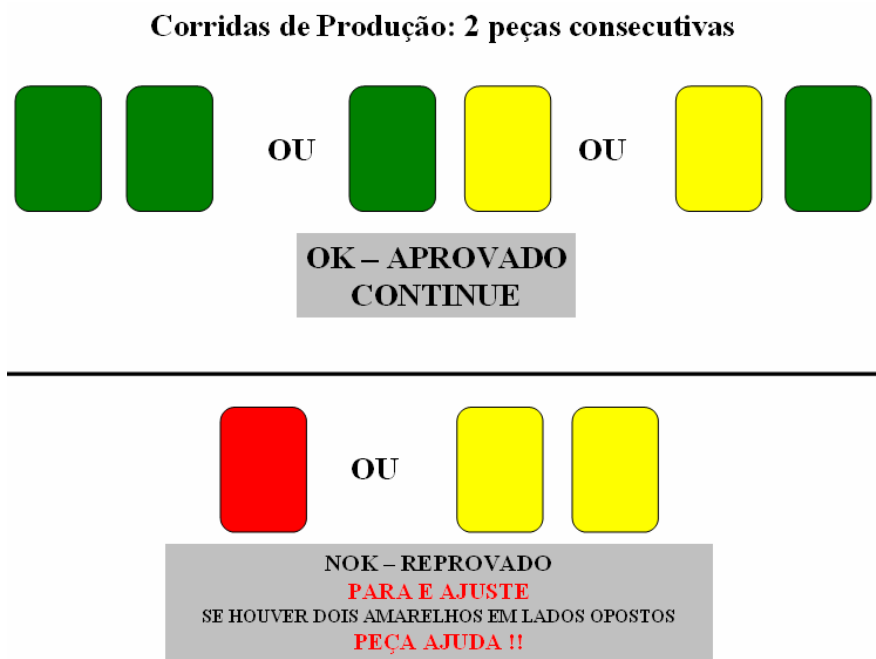


Figura 8 – Critério de aprovação / rejeição do pré-controle.

## 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:

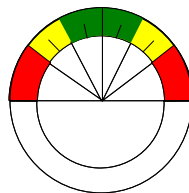


Figura 9 – Exemplo de demarcação de calibradores para pré-controle.



## **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, 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 ou folhas de registros, pois o objetivo das áreas produtivas é realizar produtos com qualidade e não gráficos e/ou registros.

## **3 ESTRUTURA DE TOLERACIAMENTO 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, sendo 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 seis 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 à estrutura de referência de uma peça, seja ela prismática ou cilíndrica.

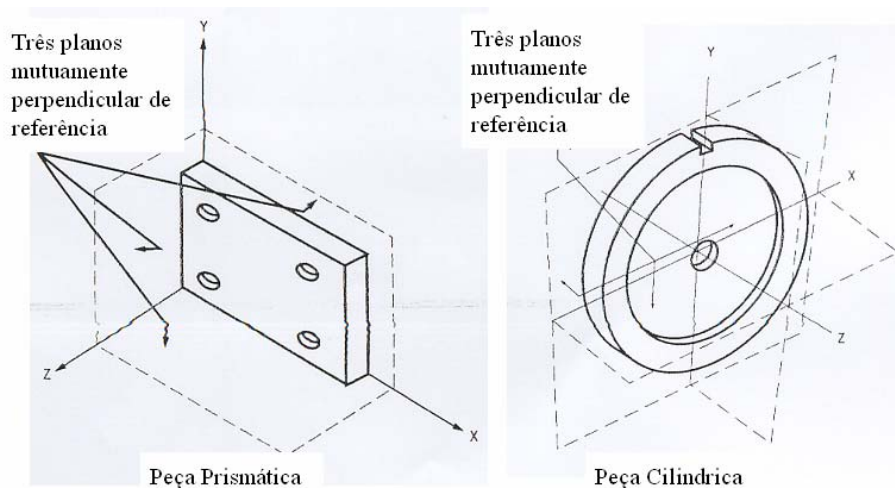


Figura 10 – Estrutura de referência de peças.

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.

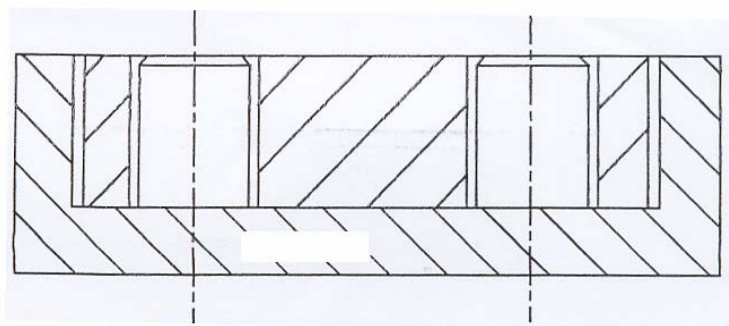


Figura 11 – Controle convencional mostrando a forma e localização perfeita.

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.

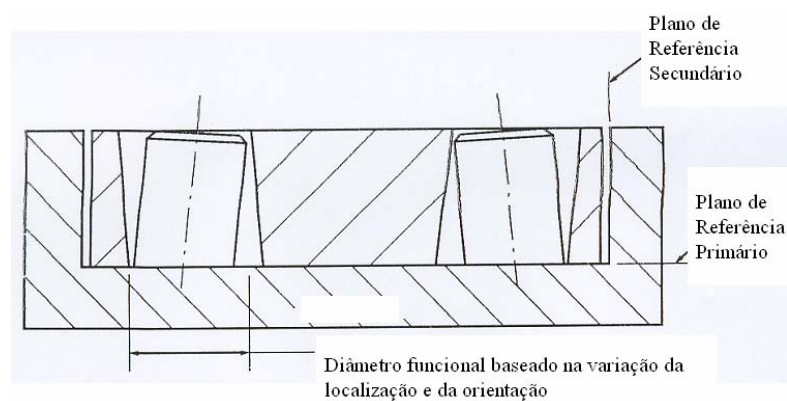


Figura 12 – Controle convencional mostrando possíveis variações na forma e localização.

### 3.1.3 Características de contornos e limites

Através deste 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.

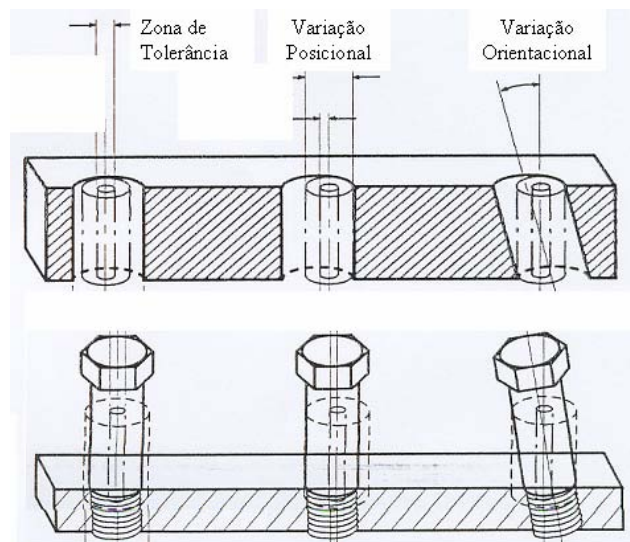


Figura 13 – Controle equivalente para limites e zonas de tolerâncias.

### 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 reduzam as variações, produzindo corretamente na primeira vez, o que para as preocupações de um mercado lucrativo, é a maneira correta de operar.

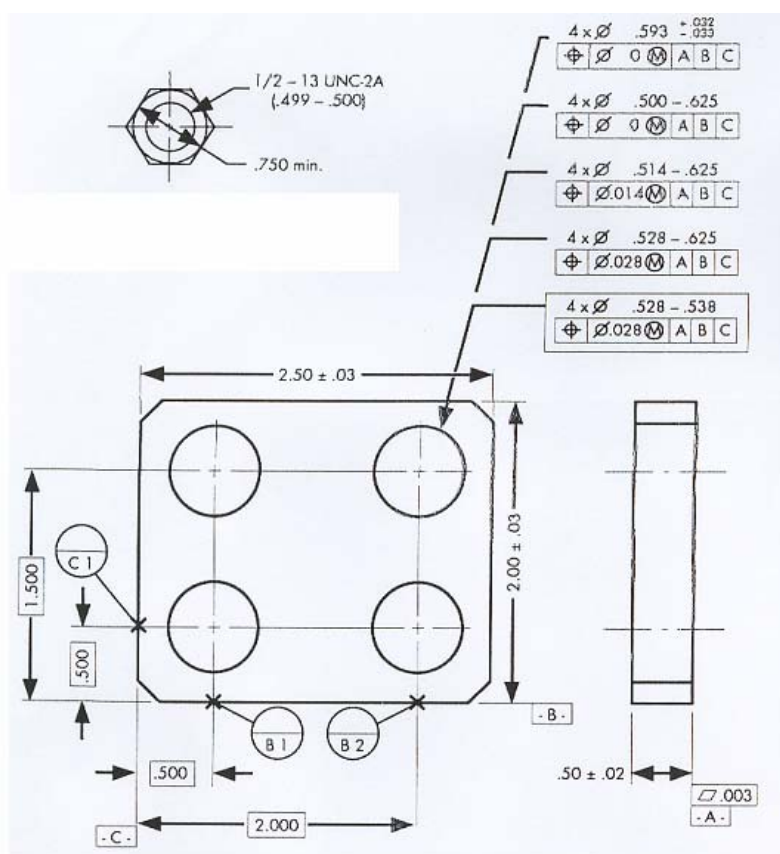


Figura 14 – Exemplos de alternativas de controle de tolerâncias.

## **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. É quantificado pelo desvio padrão que é a média dos desvios ao redor da média do processo.

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 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.

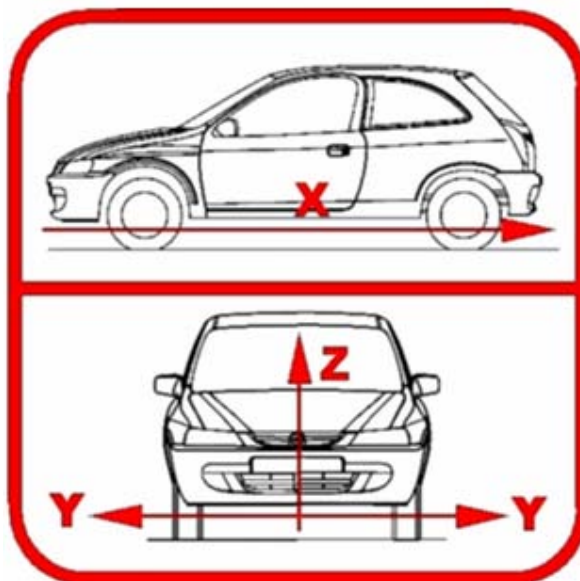


Figura 15 – Sistema de coordenada para carrocerias automotivas.

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 trás do veículo e valor negativo (-), quando o ponto medido está para frente 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 temos sinal positivo (+) e para abaixo do valor especificado, temos valores negativos (-). A Figura 16 mostra a convenção adotada para os sinais da variação obtida no dimensional de carrocerias.

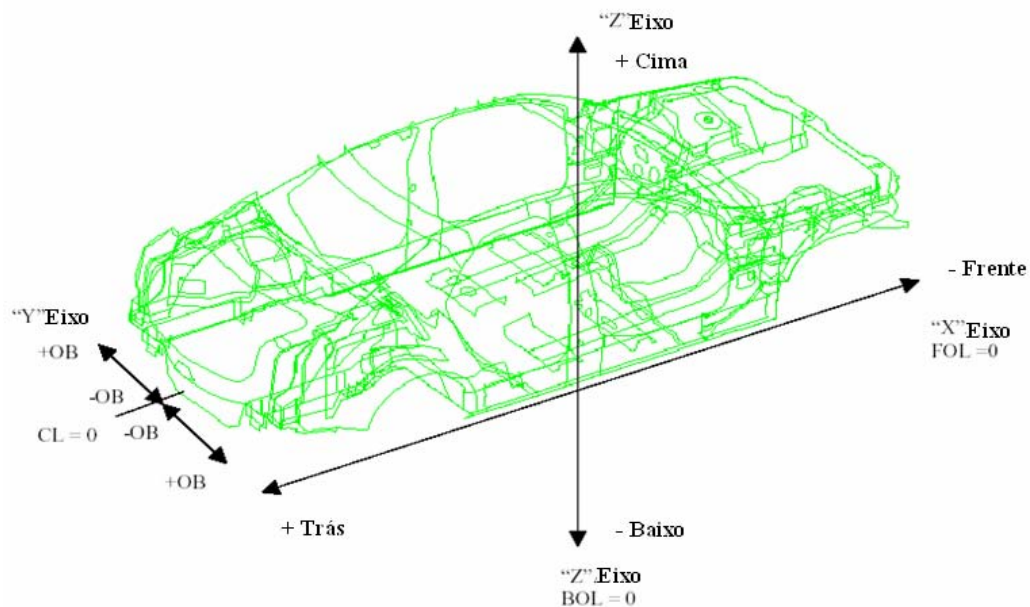


Figura 16 – Convenção de sinal para variações dimensional – (General Motors Automotive Handbook (1996))

#### 4.2.1 Pontos e plano de medição

Para que seja possível diagnosticar e obter a causa correta de problemas relacionados ao dimensional de 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 o dimensional correto.

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.

A escolha correta 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.

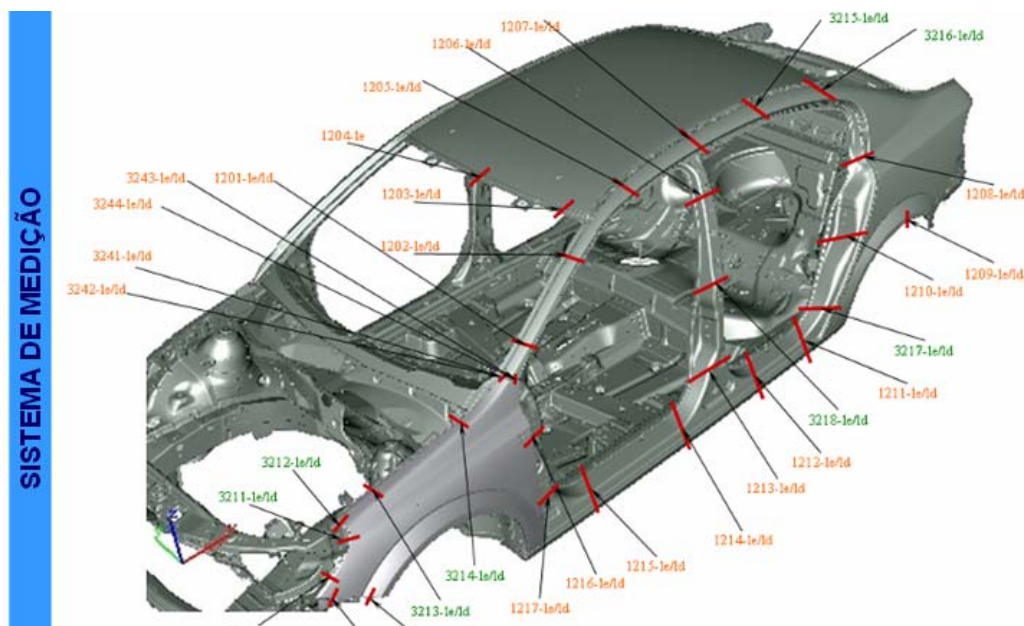


Figura 17 – Plano de medição de carroceria automotiva.

A frequência de amostra varia conforme a necessidade das verificações, que podem ocorrer em função ao 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 a variações ou problemas dimensionais.

### 4.3 Equipamentos de controle dimensional

#### 4.3.1 Máquina de medição coordenada - CMM (Coordinated Measurement Machine)

A máquina de medição coordenada, conhecida como CMM (Coordinated measurement machine), 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 estatísticos 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 fixo, 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 dimensionais 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.

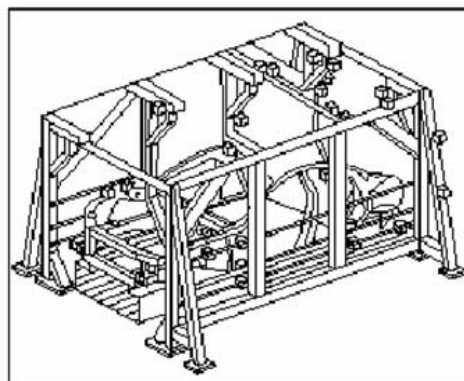


Figura 20 – Estação de medição a laser de carroceria e subconjuntos – Vision System.

#### 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).

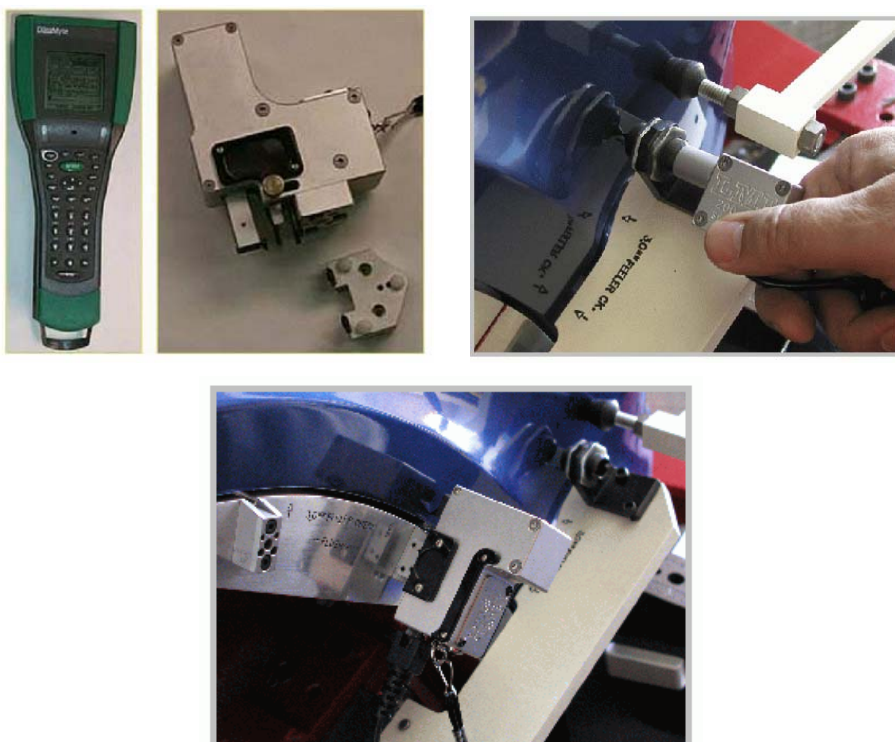


Figura 21 – Coletor de dados aplicado em dispositivos de inspeção.

#### 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.

**Variação**

```

Modelo :
Número de Série :
Data :
Inspetor:
    
```

DIM LOC410= LOCALIZAÇÃO DE RASGO 4210-LD UNIDADES=MM						FORATOL
AX	VALOR NOMINAL	MED	TOL+	TOL-	DESV	
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						FORATOL
AX	VALOR NOMINAL	MED	TOL+	TOL-	DESV	
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						FORATOL
AX	VALOR NOMINAL	MED	TOL+	TOL-	DESV	
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						FORATOL
AX	VALOR NOMINAL	MED	TOL+	TOL-	DESV	
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						FORATOL
AX	VALOR NOMINAL	MED	TOL+	TOL-	DESV	
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						FORATOL
AX	VALOR NOMINAL	MED	TOL+	TOL-	DESV	
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 --#-----

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

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.

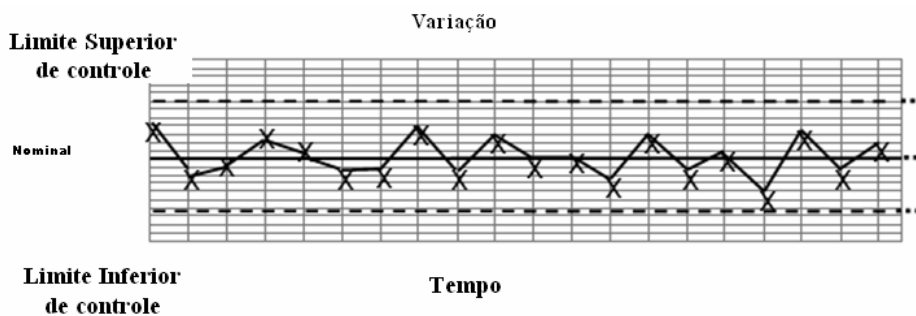


Figura 22 – Gráfico de variação para ponto de medição em uma coordenada.

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.

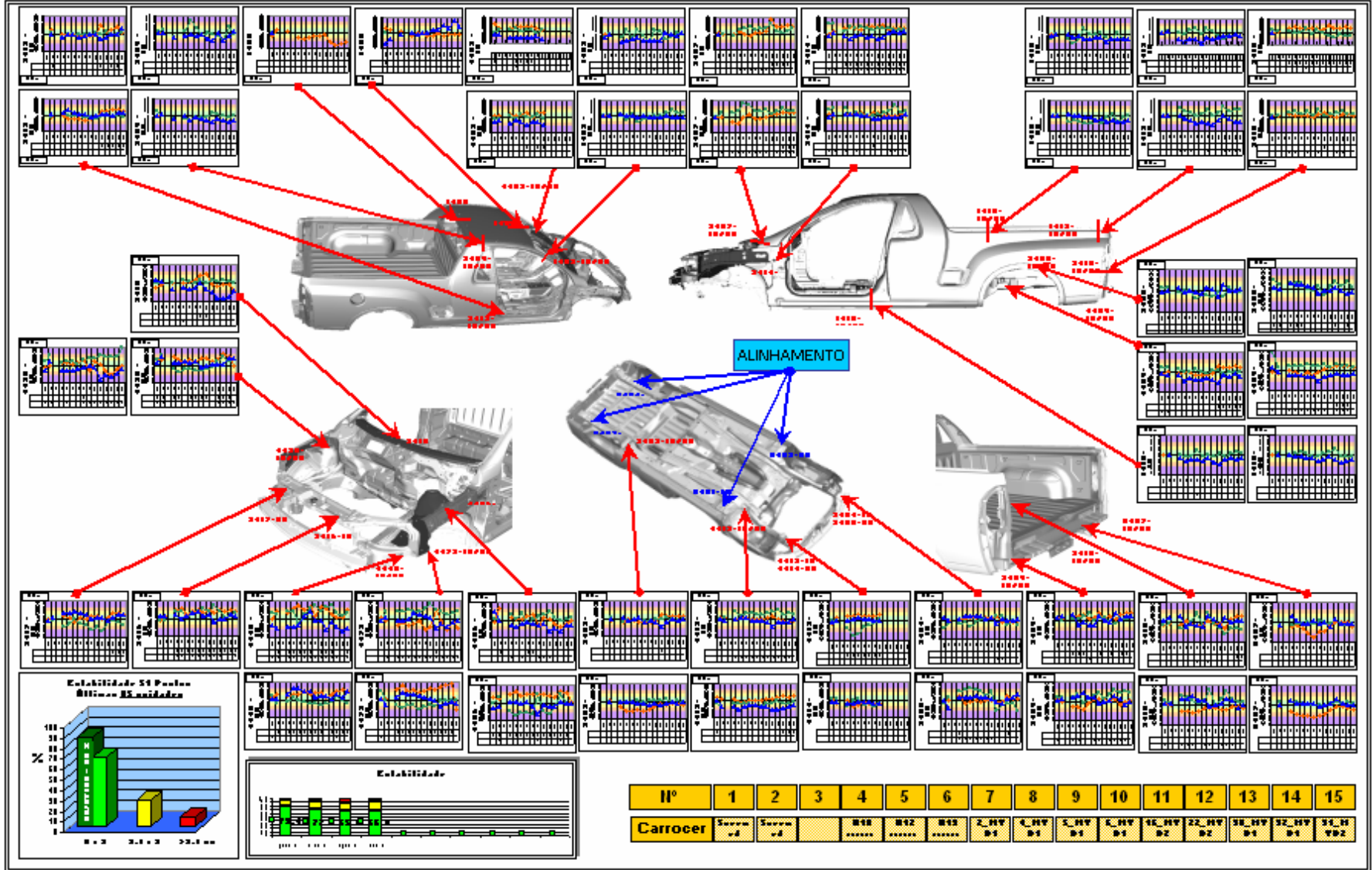


Figura 23 – Relatório completo do dimensional de carroceria.



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 10 a 15 carrocerias por dia, considerando uma empresa que opera em dois turnos de produção com 42 unidades por hora. Já para sistemas de medição a laser, os relatórios são gerados em 100% das unidades produzidas. Por sua vez, controles através de dispositivos de inspeção e coletores de dados são realizados na frequência de um subconjunto por dia.

#### 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 Seis 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 do processo, conforme mostrado na Figura 24.

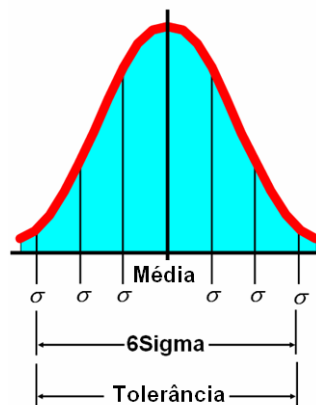


Figura 24 – Distribuição normal e definição de Seis Sigmas.

Desta forma, podemos observar que temos +/- 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

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

$\sigma =$  Desvio Padrão

(4.1)

Aplicando este conceito para o processo de medição de carrocerias, se considerarmos uma rotina de medição com 100 dimensões e aplicarmos a equação acima, teremos que 95% do valor de Seis Sigmas é igual a 2,11, sendo o valor ideal para o este indicador de qualidade. Desta forma, para o controle dimensional da carroceria teríamos os resultados conforme mostra a Figura 25.

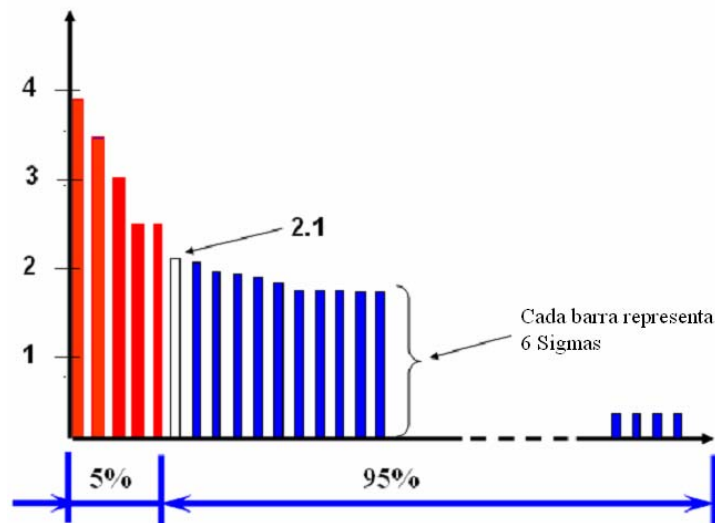


Figura 25 – Definição do critério de 95% das dimensões a 6 Sigma.

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

A metodologia proposta define o processo de pré-controle dimensional para o processo 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.

## 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 ZTA, zona termicamente afetada, conforme mostrado na Figura 26.

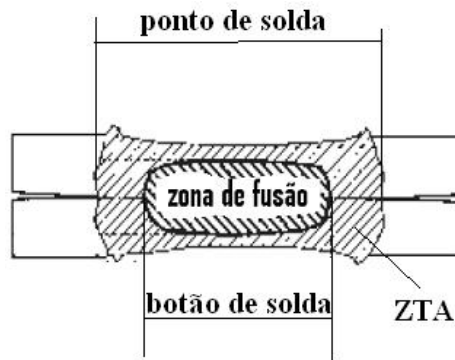


Figura 26 – Esquemática de botão e ponto de solda (Ruiz, 2005)

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.

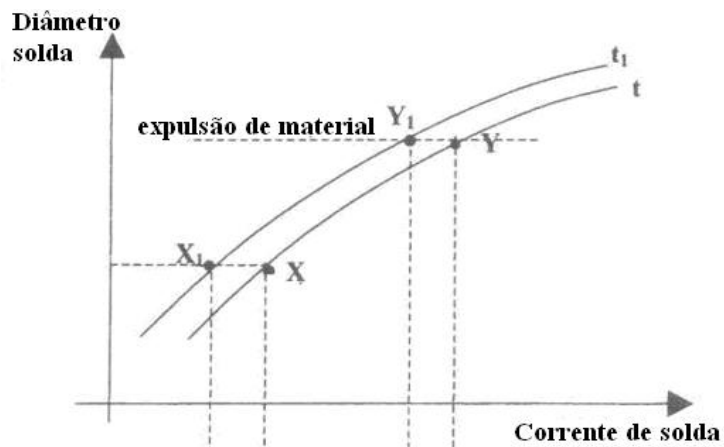


Figura 27 – Curva de crescimento da solda típica para um tempo fixo de solda  
(Williams & Parker, 2004)

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.

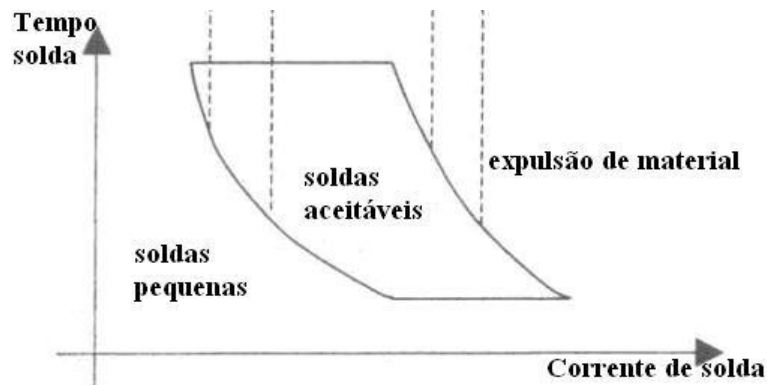


Figura 28 – Lóbulo de soldabilidade à uma força de eletrodo constante  
(ISO 14327, 2001)

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 assim, 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.

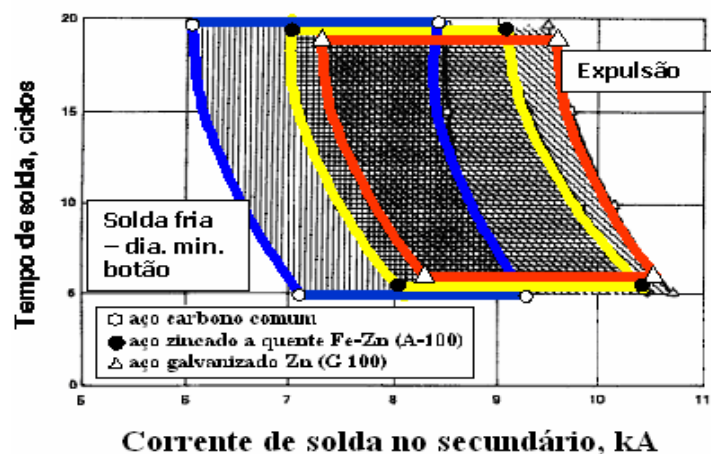


Figura 29 – Tempo de soldagem em função da corrente no secundário, espessura 0,8 mm; força – 1,8 kN, diâmetro da ponta do eletrodo–5,0 mm

(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:

- TSP/Programador de solda/Unidade auxiliar/Cabo secundário/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.

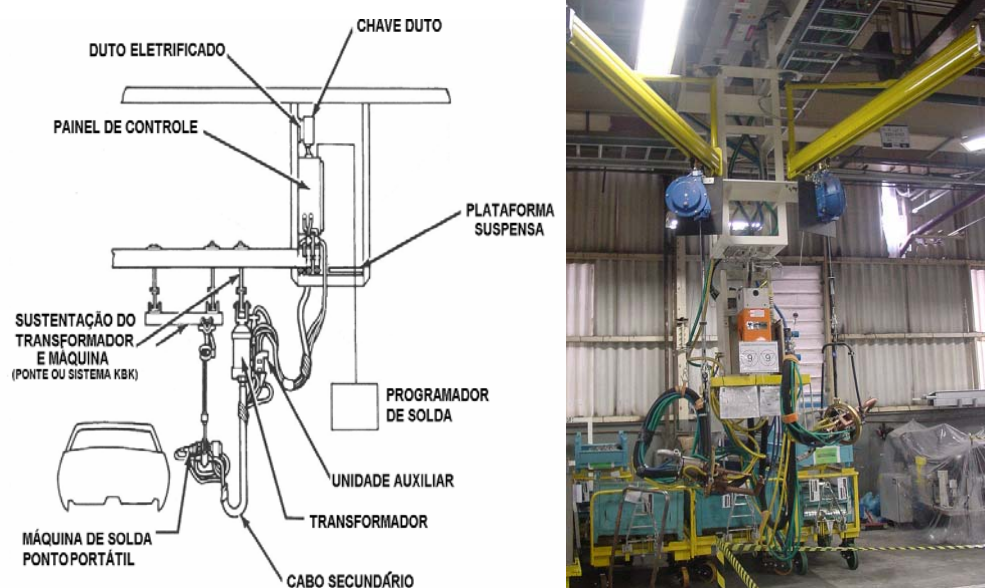


Figura 30 – Estação de solda à ponto manual típica (General Motors, 1996)

### 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 18 mostra os tipos das MSPP's.

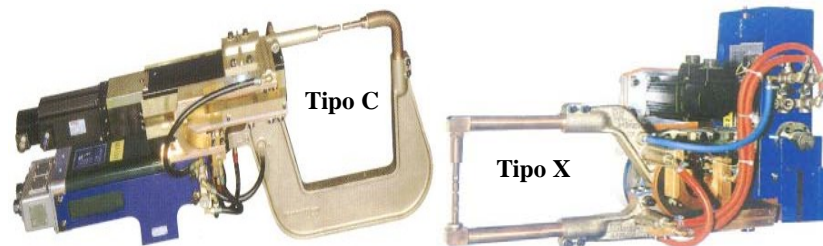


Figura 31 – Tipos de MSPP's – (Catálogo técnico – OBARA Corp. – Japão)

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 transformados;
- 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 resistir aos esforços realizados durante a operação de solda. Além disso, os dispositivos de montagem podem possuir sistemas a 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-pneumático.

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.

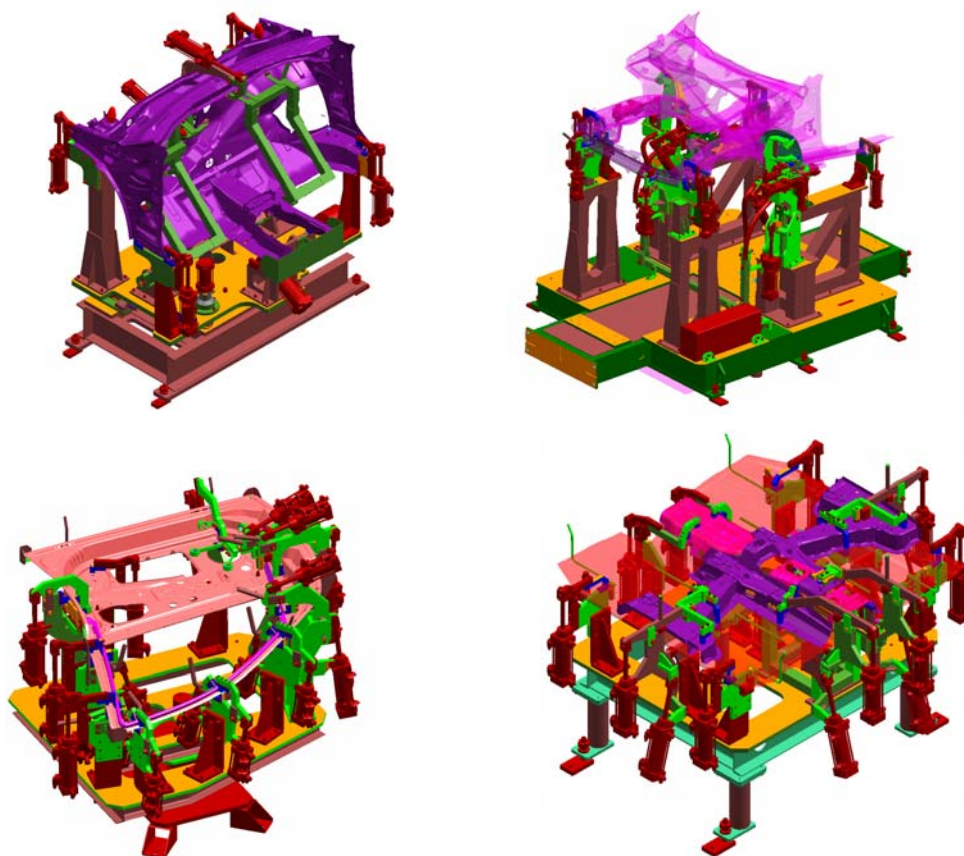


Figura 32 – Exemplos de dispositivos de junção de subconjuntos de carroceria: Compartimento do motor (Front-end), Painel interno da porta dianteira e assoalho dianteiro.



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. Em contra partida, são através dos dispositivos que podem ocorrer as principais variações dimensionais de montagem, em função a diversas razões, como desgaste, conjuntos 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 20 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 peças de conjuntos produzidos em um mesmo processo. A variação pode causar algumas conseqüências nos dispositivos de montagens como:

necessidade de calços de regulagem, interferência de conjuntos, ajustes de forma das superfícies, atrasos na produção, retrabalhos, reparos, peças defeituosas, sucata e baixa satisfação dos clientes. Há muitas fontes da variação e alguns exemplos são:

- Múltiplas ferramentas ou dispositivos.
- Ferramentas ou dispositivos danificados.
- Posicionamento incorreto ou inconsistente de peças nos dispositivos.
- Grampos de fixação com folga.
- Pinos de localização desgastados.
- Seqüência de fechamento de grampos.
- Programa ou seqüência de solda.
- Alinhamento de eletrodos da máquina de solda a ponto.
- Afição de eletrodos.
- Múltiplos operadores.
- Matéria-prima.
- Coordenada geométrica do ponto de localização incorreta (Datum coordination).

Dentre os componentes de variação dimensional encontrados, o mais comum são os decorrentes de mudanças no processo, pois causam alterações na média medida no processo. Podemos 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 e os desgastes, conseqüentemente as variações.

### 5.2.1 Custo da variação

Conforme Taguchi apud General Motors Automotive Handbook, 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).

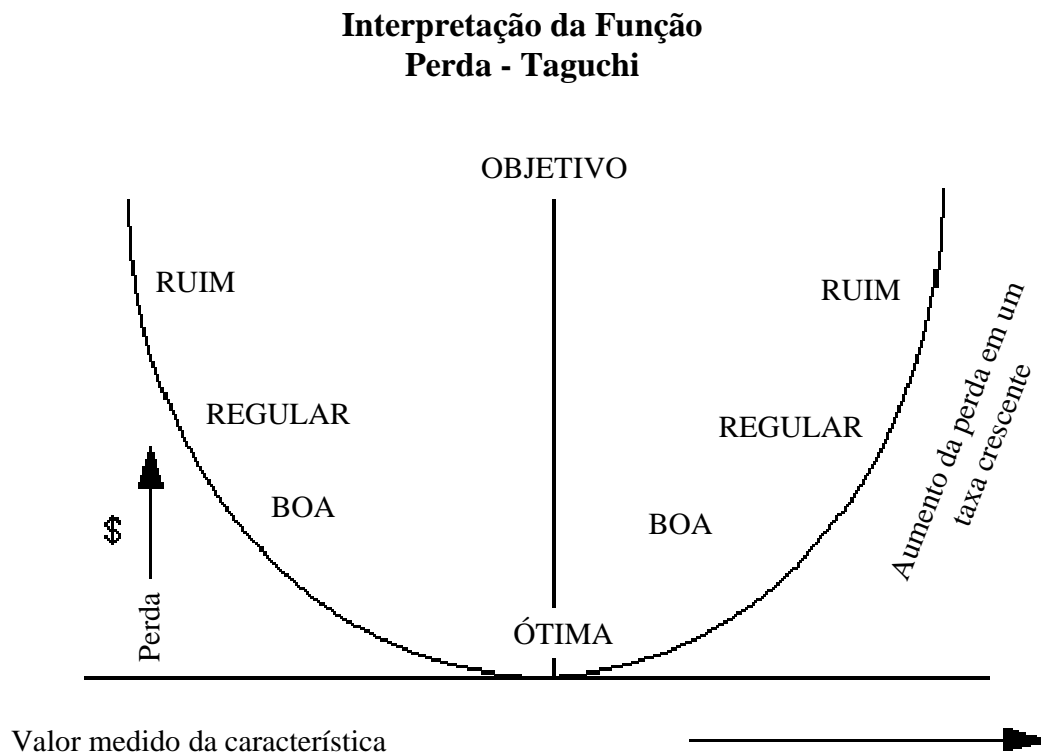


Figura 34 - Curva de perda de Taguchi.

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.

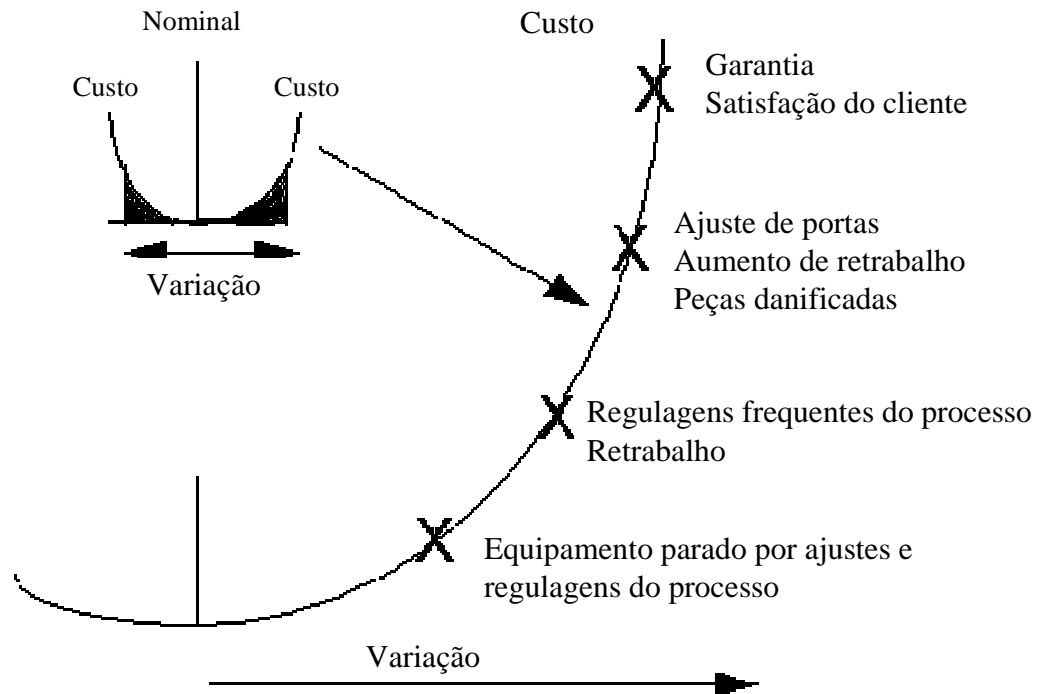


Figure 35 - Perdas devido a variação.

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.

Isto quer dizer que primeiro devemos eliminar as variações do processo, pois a baixa variabilidade, 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

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 o dimensional 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.

A seqüência de montagem deve ser seguida conforme a seqüência de montagem nos dispositivo de junção.

As peças devem ser furadas (witness hole process – witness panel), com furos de verificação de 4,0 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 rebitadas juntas em local adjacente a localização dos pontos de solda.

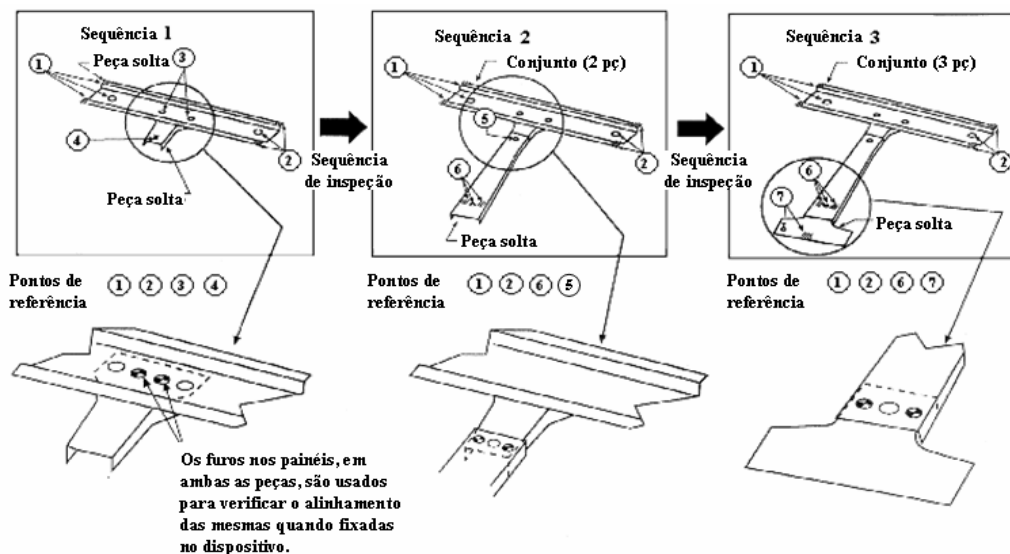


Figura 36 – Procedimento de preparação de peças padrão.

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

Posicionar as peças no dispositivo de junção, fechar e abrir 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. Reposicionar às peças e fechar os grampos novamente, repetindo três vezes 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 coordenada 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 as peças.
- e. Garantir que não haja interferência entre nos 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 são considerados 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.

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.

4. Após todas as operações terem sido inspecionadas pelo processo de calibração, solde as 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 esta 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)
“Amarelo”	Dispositivo com repetibilidade aprovada condicionalmente dentro da tolerância (furo de 3,0 ou 3,5 mm de diâmetro)
“Vermelho”	Dispositivo com repetibilidade reprovada (furo menor que 3.0 mm de diâmetro) – Analisar causa da variação, tomar ações necessárias e repetir o processo.

É recomendado realizar o processo de validação antes e após a soldagem, sendo que a máquina de solda deva 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.

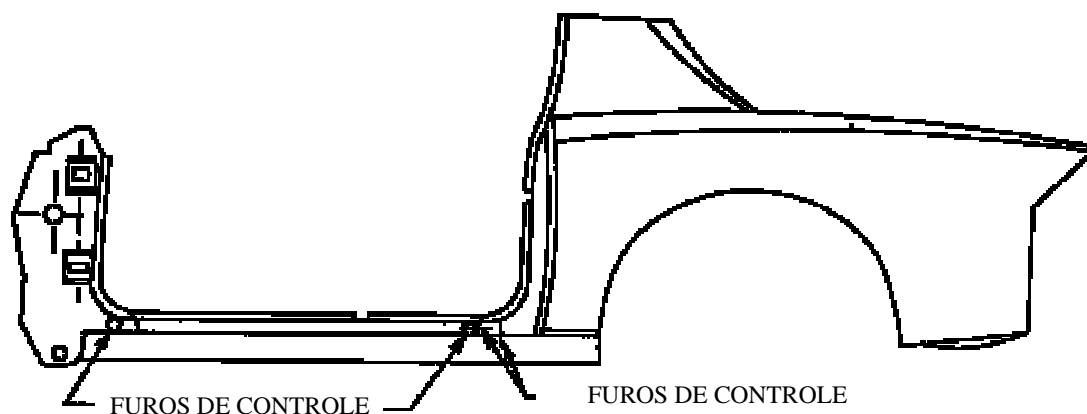


Figura 37 – Furos de controle realizados nas peças da carroceria.

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:

Posicionar as peças no dispositivo de montagem, fechar os grampos e realizar a verificação do alinhamento dos furos de verificação utilizando o calibrador. Em seguida abrir os grampos e retirar as peças.

Repetir o processo dez vezes e depois de concluído, registre no formulário próprio. 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.

Embora, 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,  $C_{pk}$ , o valor utilizado no método proposto, de dez amostras, leva em conta que cada subconjunto possui em média seis pontos de verificação, o que torna a média de  $C_{pk}$  do conjunto mais baixa, comparada a apenas

um ponto de verificação, o que justifica a definição de dez amostras para qualificação. O gráfico de variação de dimensional dos processos de junção de subconjuntos pode ser encontrado no capítulo 7 Resultados.

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.

Assegure 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. Posicione 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.

## **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, podemos verificar discrepâncias e a necessidade de correções.

Se os furos estão alinhados, isto indica que os pontos de localização do dispositivo de inspeção estão na mesma posição do dispositivo de junção. Se os furos não estão 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.

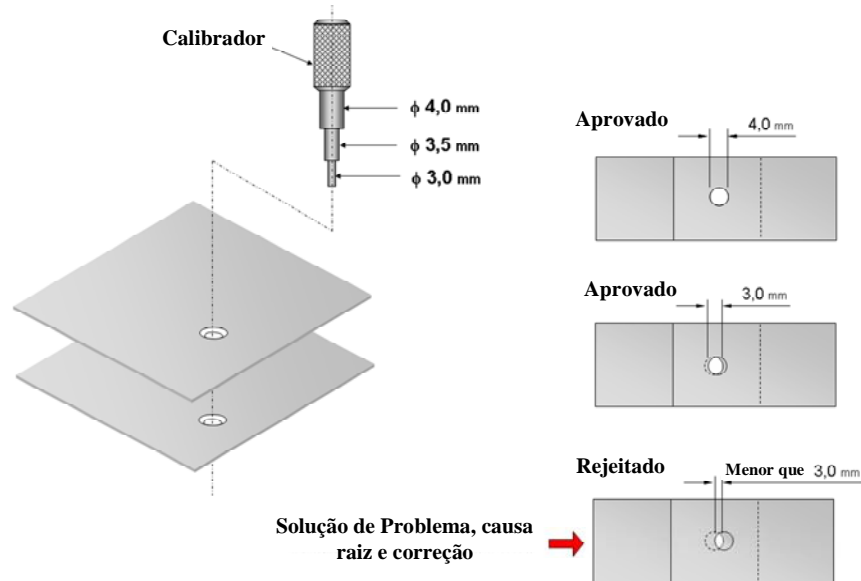


Figura 38 – Critério de aprovação do processo de pré-controle.

### 5.7 Terminologias do método de pré-controle

Avaliação funcional – processo o qual um subconjunto e carrocerias são construídos em dispositivos de inspeção para avaliar o ajuste e aparência entre as peças, não necessariamente especificadas nos projeto. Os membros do time responsáveis pela avaliação funcional tomam decisão em mudar o produto, processo ou especificações de modo a alcançar a satisfação do cliente.

Peças padrão perfurada (witness panel) – peças estampada 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 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 linhas 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 a fato de que os conjuntos que formam a carroceria nesta etapa do processo são de maiores dimensões e inviabilizam a realizações de operações manuais devido as condições ergonômicas e da 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 controle 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 (fron-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:



### RESOLVA OS PROBLEMAS POR MEIO DE TIMES DE TRABALHO

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

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 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 a seguir.

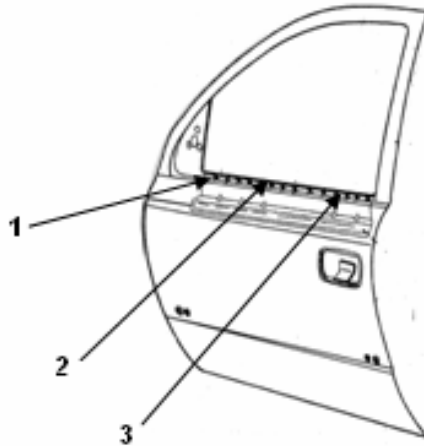


Figura 40 – Pontos verificados por pré-controle (tomoana) – porta dianteira.

Para implementar o método “Tomoana” é necessário ter um time multifuncional treinado dentro do seus 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, sendo elas:

- 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.

O fluxograma a seguir foi elaborado para auxiliar na execução do procedimento de certificação.

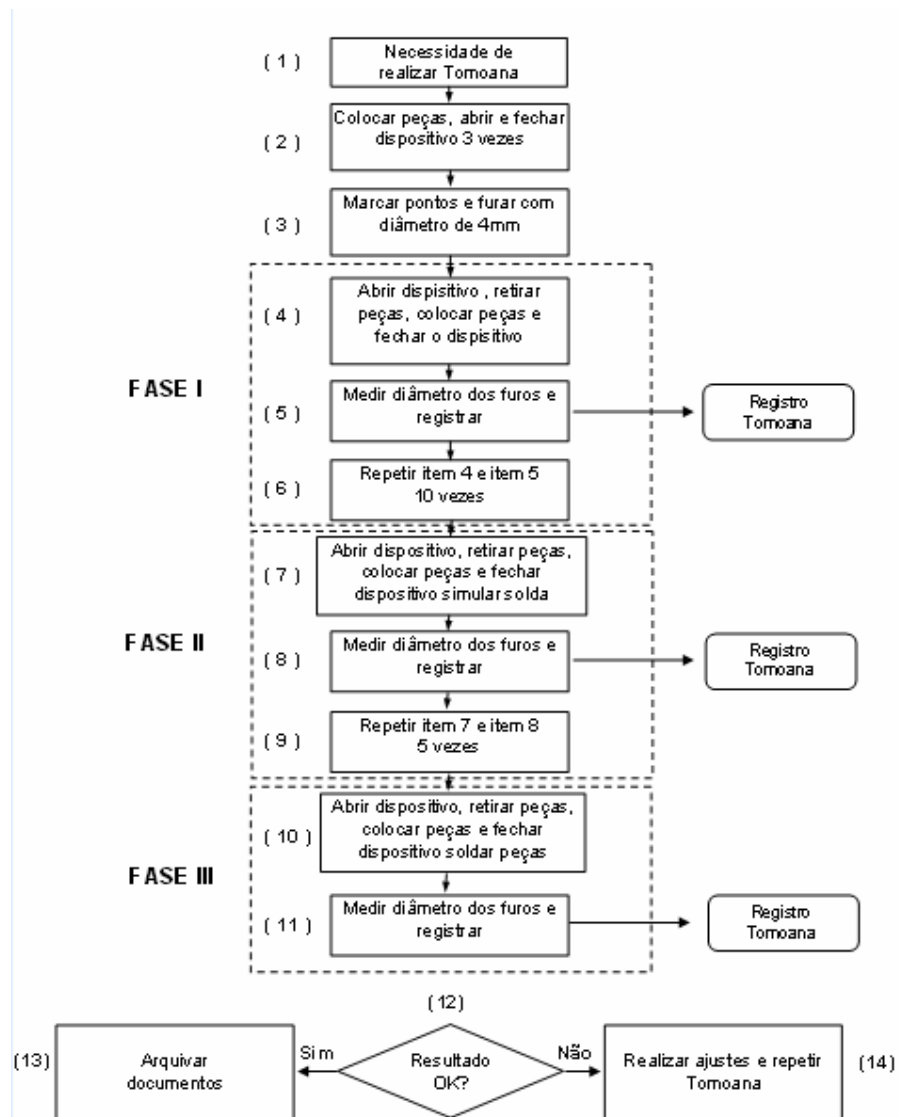


Figura 41 – Fluxograma de certificação do processo via pré-controle (tomoana).

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



TOMOANA																	
FOLHA DE ESTUDO DE REPETIBILIDADE - PLANTA S.C.S																	
Medidas realizadas (Diâmetro do Furo) <b>4.0mm</b>											Folha N°:						
Medidas sem a operação de solda ( operação apenas preso )											Medida de Solda Fria					Medida depois da oper. De Solda	
FUROS	POSICÃO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
N° Dispositivo:		Nome:				N° Conj.:				Plataforma:							
Operadores:		Data:															
Comentários:																	

Figura 42 – Formulário para registro da certificação do processo.

- 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 foto a seguir 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.

O fluxograma abaixo demonstra as etapas do procedimento de aplicação do método.

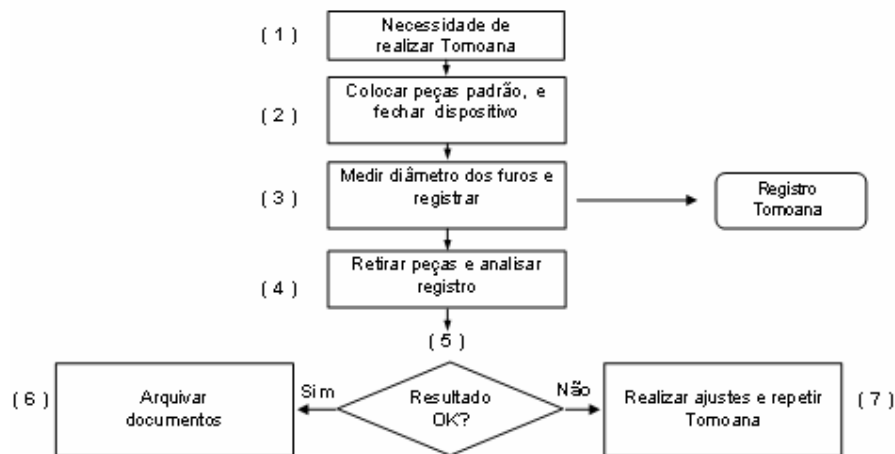


Figura 44 – Fluxograma do procedimento de pré-controle no processo de junção de carrocerias.

A frequência determinada para realização do pré-controle, tomoana, foi determinada para ocorrer no início de cada um dos dois turnos de produção, sendo necessários apenas cinco minutos para realizar a verificação. Este critério 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.

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



Figura 45 – Realização do pré-controle do processo.

Para realização dos processos 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 a seguir.

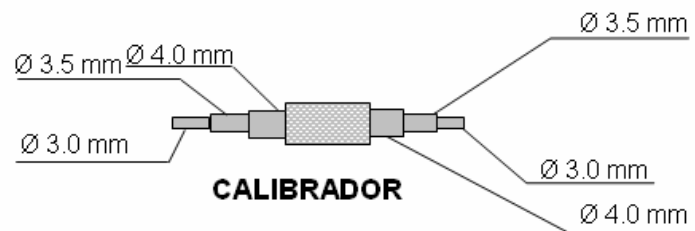


Figura 46 – Calibrador de verificação de tomoana (pré-controle).

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.

Neste quadro fica fixado o procedimento, tomoana, as folhas de registros e resultados do estudo de certificação do processo e do pré-controle diário realizado em cada ponto do subconjunto.

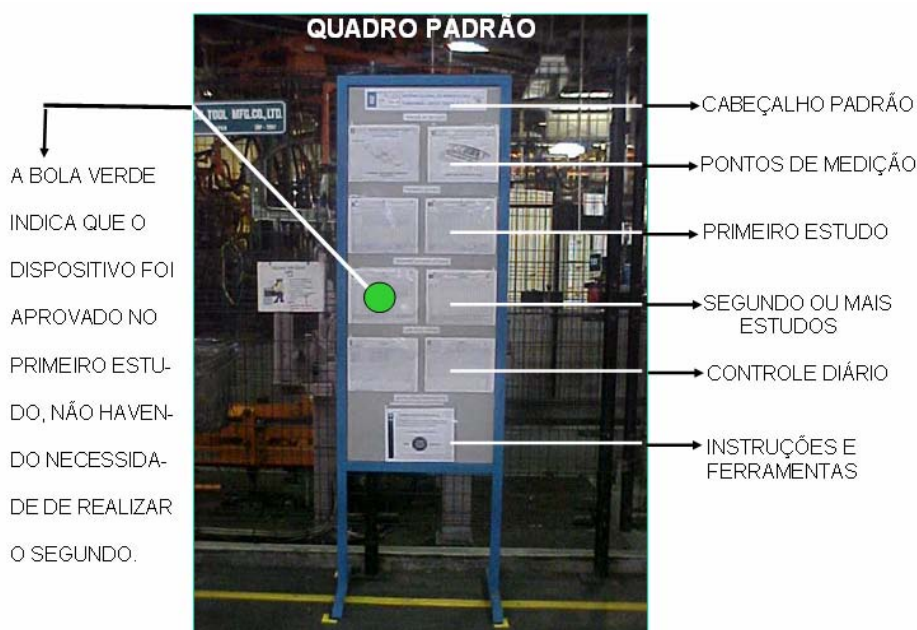


Figura 47 – Quadro de registro de certificação e pré-controle diário do processo.

Além disso, um segundo quadro dispõe as peças padrões utilizadas nos processos de pré-controle, identificando o número de cada peça, a seqüência de montagem e o período de troca para evitar desgaste excessivo dos furos de controle.

A freqüência de troca das peças é de três meses para painéis interno e seis meses para painéis externos da carroceria.

As fotos a seguir 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.**

<b>TOMOANA</b> SEQUÊNCIA DE MONTAGEM DAS PEÇAS NO DISPOSITIVOS	
<b>OP 20</b> <b>PAINEL EXTERNO COFRE</b> <b>CONJUNTO</b>	
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.

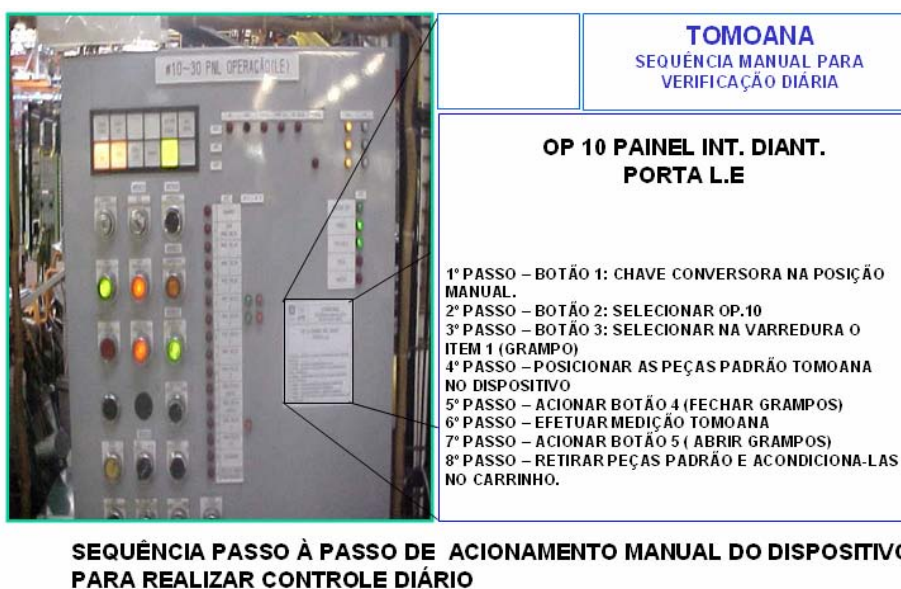


Figura 52 – Definição da seqüência de fechamento do dispositivo de montagem para realização do pré-controle (tomana).

## 7 RESULTADOS

### 7.1 Subconjuntos avaliados

O método proposto tomoana já está implementado em mais 50 subconjuntos de carroceria na empresa estudada. A Figura 53 mostra a quantidade de subconjuntos que permitem 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.

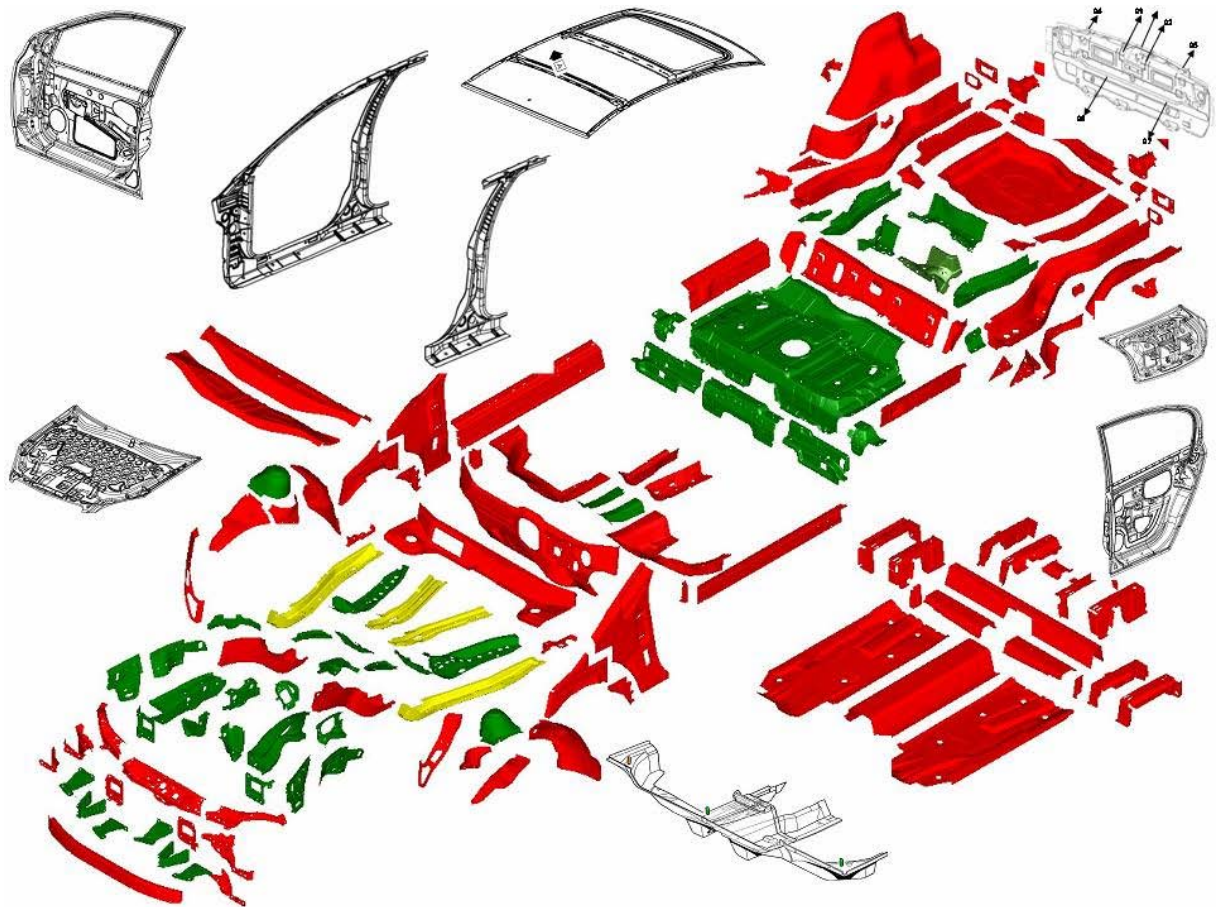


Figura 53 – Subconjuntos que compõe a carroceria veicular.

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, através de dispositivos de inspeção e coletores de dados.

Os resultados são demonstrados através 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.



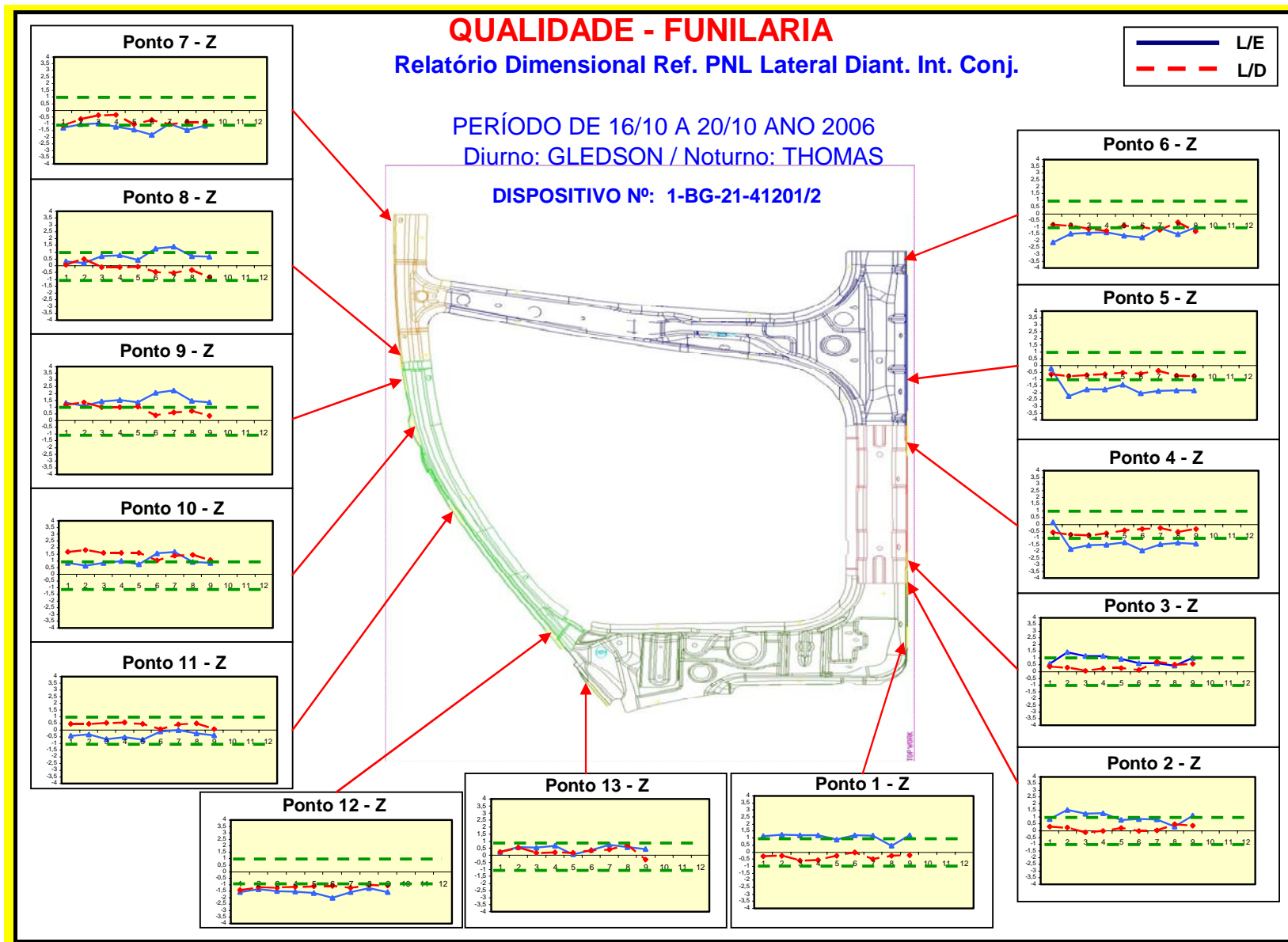


Figura 54 – Relatório dimensional de subconjuntos de carroceria.

Para o cálculo da capacidade de amostra de 10 peças, temos a seguinte equação, conforme QS9000 (1997).

$$Cp = \frac{2 * 0,9729}{6 * \left( \frac{\text{Amplitude}}{3,078} \right)} \quad (7.1)$$

Aplicando a equação para o subconjunto mostrado a capacidade do processo do subconjunto é de 1,16, 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, pudemos 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, 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 e o resultado favorável após a implementação do método pré-controle, tomoana, a partir de agosto de 2006.

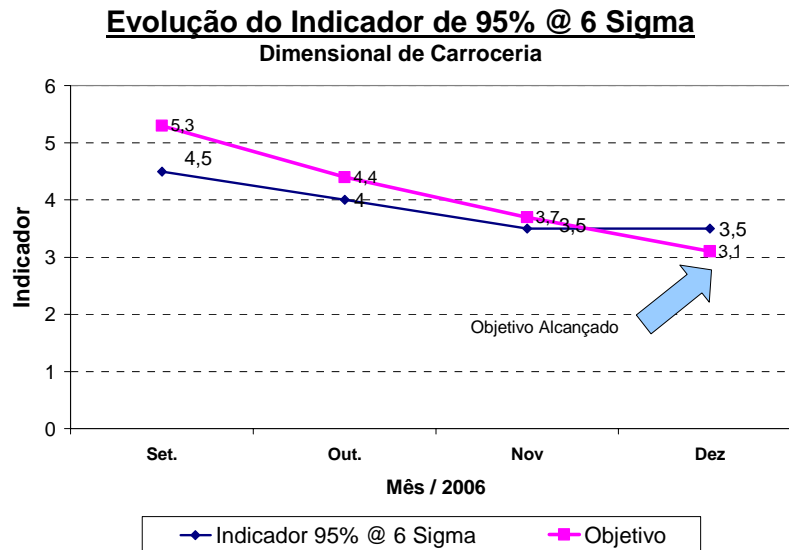


Figura 55 – Gráfico de estabilidade dimensional 95% @ 6 Sigma.

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, tivemos 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.

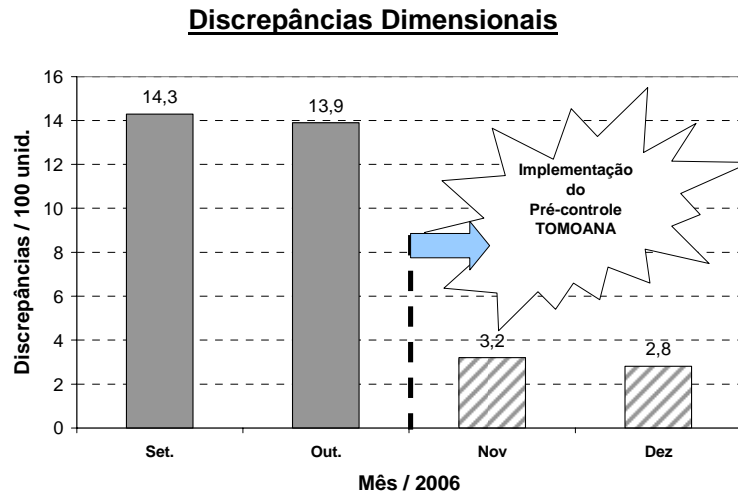


Figura 56 – Gráfico de discrepâncias reportadas por clientes internos em montagens posteriores.

Outro aspecto importante é também o número de reclamação proveniente de clientes externos, que recebem os subconjuntos para realizar a montagem dos veículos em outros países. Para estes 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 a exportação de subconjuntos.

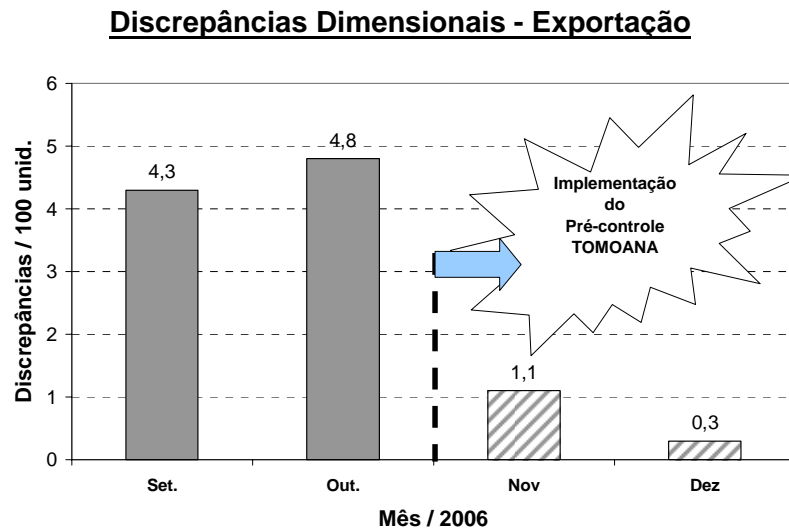


Figura 57 – Gráfico de discrepâncias reportadas por clientes externos (Exportação).

### 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.

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.

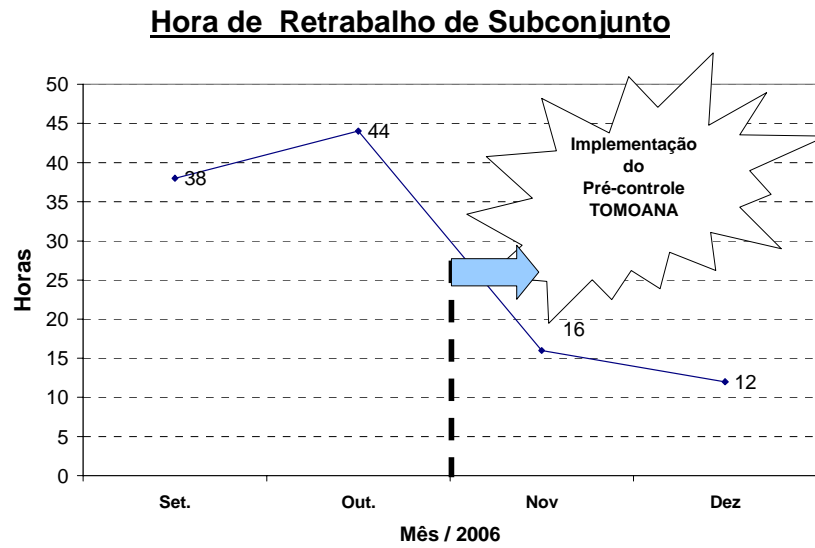


Figura 58 - Gráfico de horas de retrabalhos por mês.

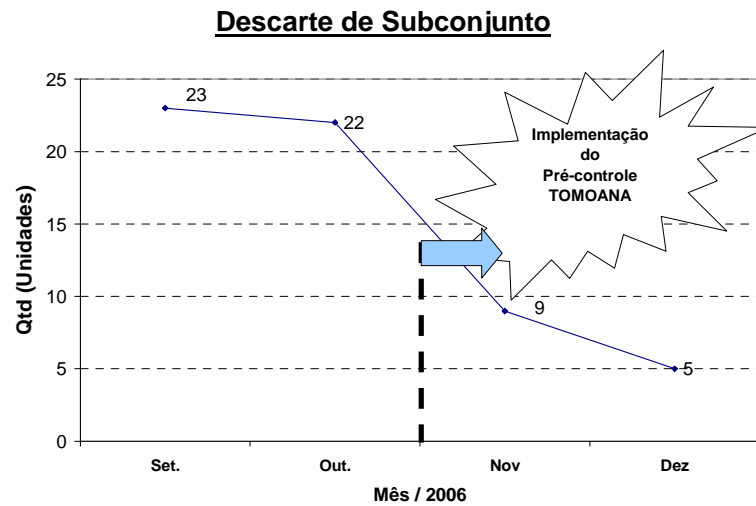


Figura 59 - Gráfico de descartes de subconjuntos.

## 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 processo de junção de subconjuntos de carroceria automotiva, vindo a complementar os métodos atuais de controle dimensionais de carrocerias automotivas.

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 que comprova a eficácia e benefício do método.

3) O método garante maior detecção e reduz as perdas em função as 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, devido ao baixo custo de investimento e operação, pode ser estendido especialmente para países em desenvolvimento, os quais possuem processos de fabricação menos automatizados, ou ainda, para empresas de pequeno porte industrial.



## 10 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.**

BAKERJIAN, R, **Tool and Manufacturing enginners 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 Desing of Experiments do Make it Happen.**, p. 171-195. Ed. Amacom.. New York, 1991.

CAMARGO, A. E. T; TAVARES, G, M., **Estudo de Capabilidade do Processo de Fabricação de uma Empresa Fornecedora de Cabos para Chicotes.** Universidade 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 od 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 determinacion óptima de parâmetros en el precontrol.** Valencia, Espanha, 2003.

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

JURAN, J.M., **Quality Control Handbook, Fifth 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](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**.

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**. 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 enginners handbook Vol. IV**, Michigan, 1987.

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