

DENIS LUQUE MARTINS

**CONFIABILIDADE NA ESTRUTURAÇÃO DE
CARROCERIAS DE VEÍCULOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para
obtenção de título de Mestre em
Engenharia.

São Paulo
2002

FICHA CATALOGRÁFICA

Luque Martins, Denis
Confiabilidade na estruturação de carrocerias de
veículos / Denis Luque Martins. -- São Paulo, 2002.
70 p.

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

1.Carroçaria (Confiabilidade) 2.Veículos I.Universidade de
São Paulo. Escola Politécnica. II.t.

Dedicatória

Aos engenheiros de manufatura da
General Motors do Brasil.

Àqueles que têm interesse pela área de
manufatura automotiva.

Agradecimentos

Ao orientador Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza pela confiança depositada e valiosa orientação.

À General Motors do Brasil pelo estímulo, credibilidade e apoio, em especial a Cláudio Mizioka, Edson Quatrocchi, José Alberto Silva, Roque A. Testai e Tânia Mara Farias. Aos colegas de turma pelo incentivo.

Aos meus familiares pelo incentivo e compreensão.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram com a execução deste trabalho e que involuntariamente foram omitidos.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
Lista de Abreviaturas	
Lista de Símbolos	
Resumo	
Abstract	
1. INTRODUÇÃO	1
2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PROJETO E FABRICAÇÃO DA CARROCERIA	5
2.1. Confiabilidade e Qualidade	5
2.2. Dimensionamento e Toleranciamento Geométrico GD&T	6
2.3. A Estruturação da Carroceria	9
2.3.1. Solda a Ponto por Resistência	9
2.3.2. Solda a Arco	14
2.3.3. Solda a Laser	16
2.3.4. Os Dispositivos de Solda e Montagem	19
3. O SISTEMA DE MEDIÇÃO	26
3.1. Considerações Iniciais	26
3.2. Descrição do Equipamento de Medição	26
3.3. A Cabine de Medição	29
3.4. Os Sensores TriCam	30
3.5. Tipos de Relatórios	31
4. RESULTADOS APRESENTADOS PELO SISTEMA DE MEDIÇÃO	34
5. DISCUSSÃO	48
5.1. Considerações Iniciais	48
5.2. Propostas para Avaliação dos Resultados da Medição	48
5.2.1. Histograma e Confiabilidade	48

ERRATA

PÁGINA	LINHA	ONDE SE LÊ	LEIA-SE
Abstrat	8 ^a	emitted	printed
8	17 ^a	a performance	o desempenho
48	10 ^a	em alguns casos	em alguns casos, como os pontos 13-D X e 13-D Z, indicados na Figura 4.1,
52	17 ^a	Este limite ...	Pela avaliação utilizada atualmente pela Produção, todos os pontos são capazes. Avaliando-se pelo critério proposto na Tabela 5.2, os seis primeiros pontos são incapazes. Este limite de aceitação ...
54	8 ^a	A recomendação de um novo relatório ...	Na avaliação utilizada atualmente, os pontos 4-D Z, U X, U Z, 14-D Y e 13-D Y estão além do limite de aceitação, fixado em 3,00. A recomendação de um novo relatório ...
54	20 ^a	Tomando os pontos ...	Por este método de avaliação proposto, os pontos inaceitáveis do diagrama da Figura 4.6 passam a ser os pontos 4-D Z, U Z, 14-D Y, 13-D Y e 1 Z. Tomando os pontos ...

5.2.2. Diagramas de Pareto	52
5.2.3. Tendência do Valor Médio	56
5.3. Considerações Gerais no Tratamento dos Dados	58
5.3.1. Confiabilidade Dimensional Total	58
5.3.2. Dispersão de Leitura dos Sensores	59
5.4. Avaliação Econômica da Confiabilidade	59
6. CONCLUSÕES E CONTINUIDADE DO ASSUNTO	61
6.1. Conclusões	61
6.2. Recomendações para Futuros Trabalhos	66
ANEXO – Valores de Distribuição Normal	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÊNDICE I – Simbologia de GD&T	
APÊNDICE II – Fabricantes de Equipamentos	

Lista de Figuras

Figura 1.1. Função de Perda para Variação Dimensional	3
Figura 2.1. GD&T – Quadro Básico de Controle	7
Figura 2.2. Solda a Ponto	10
Figura 2.3. Máquina de Solda a Ponto Manual	11
Figura 2.4. Máquina de Solda a Ponto para Robô	11
Figura 2.5. Estação de Solda a Ponto Manual	12
Figura 2.6. Robô de Solda a Ponto	13
Figura 2.7. Pedestal para Máquina de Solda a Ponto	13
Figura 2.8. Solda a Arco Elétrico com Proteção Gasosa	14
Figura 2.9. Equipamento Manual de Solda a Arco Elétrico com Proteção Gasosa	15
Figura 2.10. Solda a Arco Elétrico por Robô com Proteção Gasosa	15
Figura 2.11. Fusão a Laser	16
Figura 2.12. Distribuição de Energia no Laser	17
Figura 2.13. Estação de Trabalho – Solda Manual	19
Figura 2.14. União de Subconjuntos dos Assoalhos e Compartimento do Motor	20
Figura 2.15. Hexágono das Causas da Falha Humana, Couto (1996)	24
Figura 3.1. Pontos de Medição da Carroceria	28
Figura 3.2. Cabine de Medição	29
Figura 3.3. Triangulação do Laser no Sensor TriCam	30
Figura 3.4. Identificação Padrão nos Relatórios Emitidos pelo Sistema de Medição	32
Figura 4.1. Relatório Histograma	34
Figura 4.2. Relatório Diagrama de Pareto CP	35

Figura 4.3. Relatório Diagrama de Pareto Capacidade do Processo	36
Figura 4.4. Relatório Diagrama de Pareto Porcentagem de Capacidade	37
Figura 4.5. Relatório Diagrama de Pareto CPK	38
Figura 4.6. Relatório Diagrama de Pareto 6σ	39
Figura 4.7. Relatório Diagrama de Pareto Média	40
Figura 4.8. Relatório Carta de Controle	41
Figura 4.9. Relatório Dados das Medições dos Pontos de Checagem – Parte I	42
Figura 4.10. Relatório Dados das Medições dos Pontos de Checagem – Parte II	43
Figura 4.11. Relatório Dados das Medições dos Pontos de Checagem – Parte III	44
Figura 4.12. Relatório Gerencial	45
Figura 4.13. Relatório Média e Dispersão	46
Figura 4.14. Relatório CP e CPK	47
Figura 5.1. Confiabilidade na Distribuição Normal	49
Figura 5.2. Exemplo de Histograma	50
Figura 5.3. Confiabilidade do Ponto P2	51
Figura 5.4. Diagrama de Pareto do Erro da Meta de Confiabilidade	55
Figura 5.5. Diagrama de Pareto do Erro da Média	56
Figura 6.1. Do Diagrama de Pareto ao Diagrama de Causa-e-Efeito, Shiba; Graham; Walden (1997)	63
Figura 6.2. Diagrama de Causa-e-Efeito, Shiba; Graham; Walden (1997)	63
Figura 6.3. Exemplo de FTA	64
Figura 6.4. O Ciclo de Aperfeiçoamento SDCA/PDCA, Shiba; Graham; Walden (1997)	65

Lista de Tabelas

Tabela 3.1. Descrição dos Pontos Medidos pelo Sistema	27
Tabela 3.2. Identificação Padrão dos Relatórios	31
Tabela 5.1. Exemplo de Relatório Dimensional	50
Tabela 5.2. Critério de Avaliação de CP, Juran; Gryna (1988)	52

Lista de Abreviaturas

CLP	Controlador Lógico Programável
diant.	dianteiro, dianteira
GD&T	<i>Geometric Dimensioning and Tolerancing</i>
HB	<i>hatch back</i>
INF.	inferior
LD	lado direito
LE	lado esquerdo
LIM.	limite
MIG	<i>Metal Inert Gás</i>
NB	<i>notch back</i>
PDCA	<i>Plan / Do / Check / Act</i>
R&R	repetibilidade e reprodutibilidade
SDCA	<i>Standardize / Do / Check / Act</i>
SUP.	superior
tras.	traseiro, traseira
UV	ultra violeta

Lista de Símbolos

®	Marca Registrada
σ	sigma, desvio padrão

Resumo

Neste trabalho estuda-se a confiabilidade na estruturação de carrocerias de veículos, tomando como base de estudo a estruturação primária (*framing I*) do veículo de passeio Astra modelo HB (*hatch back*), produzido na fábrica de São Caetano do Sul da General Motors do Brasil. A estruturação primária consiste na união do compartimento do motor (*front end*) com o assoalho conjunto completo. A coleta de dados da carroceria é feita através de um sistema de medição a laser. O sistema instalado mede a variação do posicionamento de 35 pontos do veículo com relação à cota nominal nas direções X, Y e Z. Mostra-se aqui uma avaliação dos tipos de relatórios emitidos por este sistema e propõem-se melhorias a fim de direcionar as especificações técnicas para futuras compras de sistemas semelhantes.

Abstract

This is a study of the reliability on vehicles "Body in White" build up systems, taking the vehicle Astra hatch back model as the basic case on its primary framing build up, produced at General Motors do Brasil, São Caetano do Sul plant. The primary framing consists in joining the front end assembly to the underbody assembly. Data is collected by a laser measurement system. The installed equipment determines the variation of 35 points from nominal quote in X, Y and Z directions. It is shown here an analysis of types of reports emitted by this system and improvements are proposed to guide technical specifications in future acquisitions of similar systems.

1. INTRODUÇÃO

A indústria automotiva está sujeita às mudanças constantes do cenário mundial, onde a globalização traz o aumento da concorrência aliada ao aumento das exigências dos clientes e consumidores. Neste contexto, a garantia da qualidade dos produtos e o baixo custo tornam-se fatores essenciais à sobrevivência das empresas do ramo. Não obstante, os competidores também podem criar e fabricar produtos confiáveis, funcionais e a baixo custo, e a diferenciação que destaca uma empresa das demais é, segundo Shiba; Graham; Walden (1997), a criação de produtos inovativos que irão superar os produtos dos competidores.

A garantia da qualidade dos veículos envolve o comprometimento de uma série de áreas de atuação, que vão desde o planejamento do projeto do produto, passando pelo projeto propriamente dito, fabricação, distribuição, vendas e pós-vendas até a satisfação do cliente ou consumidor final. Corrêa; Giansesi (1993) destacam a manufatura como uma importantíssima arma competitiva que tem “o potencial de criar vantagem competitiva sustentada através do atingimento de excelência em suas práticas.” Neste contexto, qualidade e confiabilidade são critérios de considerável eficácia na contribuição à estratégia de manufatura e à estratégia organizacional.

Existem diversos fatores que garantem a qualidade do veículo no âmbito da manufatura, dentre eles o controle do processo produtivo. Dentre as áreas de manufatura, a estruturação da carroceria é um item de elevada importância, pois a sua qualidade tem impactos no custo de produção, no prazo de entrega (se há retrabalho), na eficiência

funcional de diversos outros componentes, na qualidade final do veículo (sob muitos aspectos) e na satisfação do cliente.

A finalidade do presente trabalho visa focar exatamente neste importante item que é a estruturação de carrocerias de veículos, estudando a metodologia de análise da confiabilidade de produção monitorada por equipamentos atualmente em uso nas indústrias automotivas, tomando como referência o equipamento de medição a laser de carrocerias instalado na planta de São Caetano do Sul da General Motors do Brasil. O objetivo da redução da variação dimensional nos processos produtivos de montagem de carrocerias é criar processos estáveis que garantam a qualidade do produto final, o entusiasmo do cliente e, conseqüentemente, o aumento do lucro. O estudo deste trabalho apresenta conclusões que habilitam a empresa a medir e interpretar de forma mais coerente as características do sistema produtivo de carrocerias quanto ao objetivo acima citado. Propõem-se sugestões para a especificação técnica de equipamentos semelhantes para as futuras aquisições da engenharia de processos de manufatura e recomendações sobre a análise dos dados para a engenharia de produção.

A variação dimensional que ocorre na montagem ou estruturação de carrocerias precisa ser monitorada e controlada. Conforme menciona Kaminski (2000), “a quantificação da confiabilidade é necessária para que, através dela, se possam extrair outros dados de interesse, além de transformar a meta em algo a ser atingido.” Os impactos que a variação dimensional excessiva causa para a indústria têm custos resultantes de paradas de produção para ajustes do processo de fabricação, retrabalhos e rejeição de unidades, aumento de custo por garantia e a insatisfação do cliente. Segundo Taguchi (1989), a Função de Perda (*Loss Function*) é de ordem quadrática, e verifica-se que o prejuízo é proporcional ao quadrado da variação dimensional. A

Figura 1.1 ilustra o impacto desta variação nos custos relativos à produção de carrocerias de veículos.

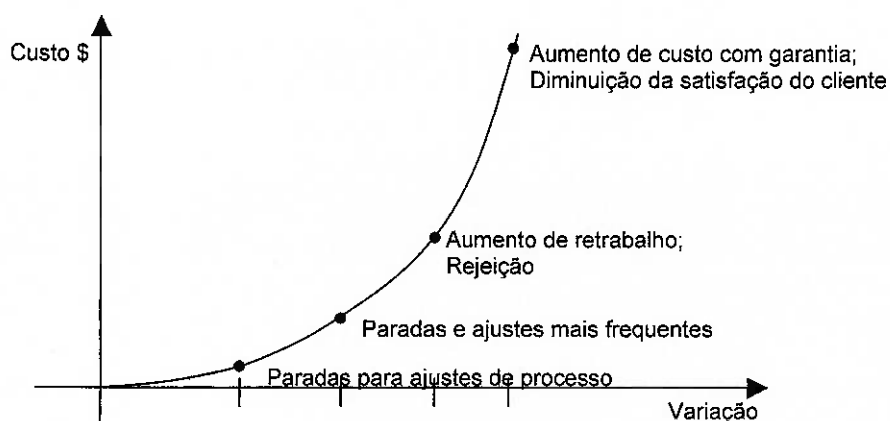


Figura 1.1. Função de Perda para Variação Dimensional

O método de análise do equipamento de medição consiste em avaliar os tipos de relatórios emitidos pelo mesmo e confrontá-los com as necessidades da manufatura, baseando-se em conceitos teóricos de qualidade, confiabilidade e estratégias de produção.

A confiabilidade aumenta de importância em produtos de elevado grau de complexidade, como é o caso do sistema produtivo de carrocerias de veículos. Para que tais produtos atinjam a excelência em qualidade, é necessário considerar, segundo Kaminski (2000), a quantificação da confiabilidade, a definição do desempenho desejado e os possíveis ambientes de operação do produto (no caso, o sistema produtivo). Este trabalho limita-se a tratar da quantificação da confiabilidade do sistema produtivo sem definir valores de desempenho. Quanto ao ambiente de operação, embora seja perfeitamente conhecido (ambiente de fábrica), também não será alvo de discussão.

A motivação deste trabalho é a contribuição à indústria automotiva dos aspectos amplos da aplicação e uso da teoria

estatística no chão de fábrica, dando suporte às equipes de manutenção, aos engenheiros de produção, engenheiros de processo, gerentes e diretores nas suas decisões, cumprindo parte da minha missão como engenheiro de processos de montagem de carrocerias, inculcando na empresa o valor do retorno em pesquisa e desenvolvimento, provando o potencial que a pesquisa tem em liderar mudanças. Outra contribuição que me traz grande satisfação é a difusão do *know-how* da indústria no universo acadêmico. Este fluxo de informações possibilita a atualização dos currículos escolares, a adequação dos engenheiros às necessidades da indústria e a aceleração do desenvolvimento dos conhecimentos e das suas aplicações, agindo de forma que a informação retorne à indústria num grau de maturidade maior, proporcionando um ganha-ganha entre a empresa e a universidade.

No capítulo dois, são apresentados os conceitos de qualidade e confiabilidade, as variáveis que influenciam o projeto da carroceria, as formas de indicação de suas tolerâncias, o planejamento do processo de produção no tocante ao impacto das variações dimensionais no produto e a idéia de estruturação de uma carroceria de veículo. O terceiro capítulo apresenta uma descrição do equipamento de aquisição de dados dimensionais, o seu uso pela fábrica e a metodologia de análise. No quarto capítulo são apresentados os tipos de relatórios emitidos pelo equipamento de medição. No capítulo cinco é feita uma proposta de avaliação dos resultados de medição com algumas recomendações à engenharia de produção, servindo de guia para as especificações técnicas de novas compras destes equipamentos ou similares. Também é abordada a influência das alterações propostas no custo associado à produção e retrabalho do veículo. O capítulo seis traz as conclusões do trabalho. Por fim, há recomendações para trabalhos futuros relacionados ao tema apresentado.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PROJETO E FABRICAÇÃO DA CARROCERIA

2.1. Confiabilidade e Qualidade

Segundo Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment (AGREE), 1957 apud Juran; Gryna (1988), confiabilidade é “a probabilidade de um produto executar sem falhas uma determinada função sob condições pré-estabelecidas por um período de tempo determinado.” Ou ainda, segundo a definição da European Organization for Quality Control de 1965, é “a medida da habilidade de um produto operar com sucesso, quando solicitado, por um período de tempo pré-determinado e sob condições ambientais específicas. É medida como uma probabilidade.” Assim sendo, estará sendo medida aqui a habilidade do sistema produtivo de estruturação de carrocerias de operar com sucesso, ou seja, produzir subconjuntos metálicos e estruturar a carroceria dentro das tolerâncias dimensionais especificadas por desenho, trabalhando no ambiente de fábrica conhecido e tendo como período o tempo em que o veículo será produzido. Adaptando a menção de Tichý (1993) sobre utilidades de instalações, a garantia da confiabilidade é um processo de decisão que começa com a primeira intenção de construção do sistema produtivo para o propósito definido, num espaço e tempo determinados e num ambiente conhecido (incluindo-se aqui o fator humano). Este processo de decisão da garantia da confiabilidade termina no desmantelamento ou desativação do sistema, que deve coincidir com o final do ciclo produtivo do veículo. Deve-se considerar o fato de que os equipamentos e dispositivos do sistema produtivo estão sujeitos à

deterioração, e a vida útil e a confiabilidade de cada um deles produzir corretamente são influenciadas pelo modelo de manutenção aplicado.

A medida da habilidade é obtida através da avaliação do resultado do desempenho esperado. Se o desempenho esperado é produzir componentes da estruturação do veículo, o resultado são os produtos metálicos. Dessa forma, a avaliação desse resultado é obtida na medição dimensional das unidades produzidas, determinando se o sistema produtivo operou com sucesso (carroceria dentro das tolerâncias dimensionais especificadas no projeto) ou não. Assim, a confiabilidade dimensional em um ponto da carroceria é a medida de probabilidade de o mesmo ponto de cada carroceria estar dentro da faixa de tolerância especificada por desenho.

Como a confiabilidade é uma característica de qualidade intrínseca do produto, segundo Freitas; Colosimo (1997), é necessário que se estabeleçam e cumpram metas relacionadas a ela. Desta forma, o conhecimento da confiabilidade dá suporte às decisões de onde se quer chegar e como agir para que isso ocorra.

2.2. Dimensionamento e Toleranciamento Geométrico (GD&T)

O Dimensionamento e Toleranciamento Geométrico, do inglês *Geometric Dimensioning and Tolerancing* (GD&T) é uma linguagem gráfica internacional de engenharia cuja função é permitir que desenhistas e engenheiros transmitam as informações de maneira clara e objetiva nos desenhos de produto. Os conceitos, símbolos e estrutura matemática do GD&T proporcionam uma maneira precisa e lógica de descrever as tolerâncias de manufatura que são aplicadas a peças ou conjuntos de peças, permitindo uma interpretação única. Os símbolos e

suas interpretações estão documentados na norma ASME Y 14.5M-1994 de padronização industrial para práticas de dimensionamento, tolerâncias em desenhos de engenharia e documentos correlatos. Segundo a norma acima citada, tolerância é a quantidade numérica que uma superfície geométrica de uma peça pode variar em relação a um sólido ou um plano ideal, sendo representada no desenho de fabricação da peça.

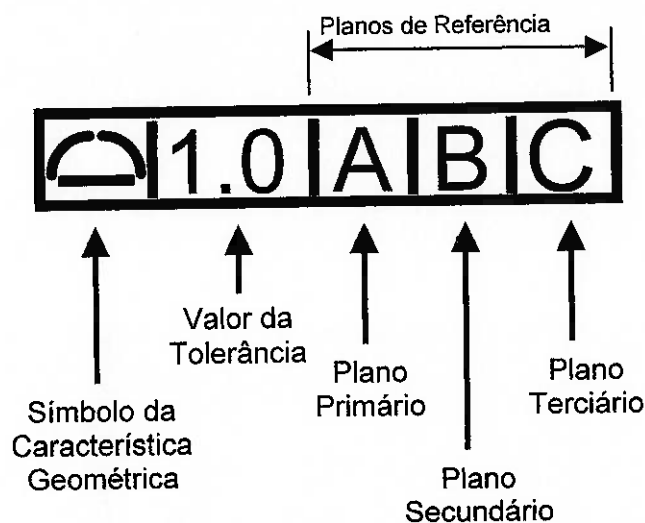


Figura 2.1. GD&T – Quadro Básico de Controle

Cada quadro de controle como o da Figura 2.1 contém informações identificando a característica a ser controlada (símbolo da característica geométrica), os limites de erro ou variação permitidos (valor da tolerância) e os pontos ou superfícies a partir dos quais a característica será medida (referência aos planos). Adicionalmente podem ser usados símbolos para especificar o formato teórico de aplicação da zona de tolerância (símbolo de diâmetro e de condição de materiais).

Os planos de referência são as designações de apoio em cada peça para eliminar os seis graus de liberdade que ela tem no espaço. Essas referências são utilizadas nos projetos dos dispositivos de

montagem, de solda e de inspeção de modo que a peça ou conjunto metálico seja fixado no dispositivo sempre pelos mesmos pontos ou regiões, sendo que numa sequência de operações de montagem ou de solda, cada dispositivo de cada operação apóia sempre por esses mesmos pontos ou regiões. Isto permite que se mantenham as características dimensionais livres das influências das deformações causadas por forças internas indesejadas que, depois de montado ou soldado o conjunto, podem provocar altas tensões internas e deformação permanente acima do limite especificado.

As tolerâncias de manufatura indicam o reconhecimento do fato de que é impossível alcançar a perfeição dimensional. Não obstante, sob o ponto de vista econômico, a perfeição pode ser uma meta cara e inapropriada. Tolerâncias desnecessariamente pequenas não contribuem para o aumento de qualidade ou desempenho da peça ou conjunto, apenas aumentam os custos. A especificação adequada das tolerâncias minimiza os custos de manufatura e montagem, assegura a performance do produto e permite avaliar e manter os controles de processos.

GD&T é apenas uma das ferramentas da Engenharia Dimensional no processo de desenvolvimento do produto. O uso da linguagem do GD&T é um assunto extenso e seus detalhes serão omitidos neste trabalho. Esta seção tem o objetivo apenas de mencionar o tema como indicação da forma de comunicação dos requisitos técnicos dimensionais das carrocerias de veículos. O Apêndice I mostra um exemplo de um parâmetro com a linguagem simbólica GD&T nas indicações de suas tolerâncias geométricas.

2.3. A Estruturação da Carroceria

Os desenhos do produto e suas especificações técnicas, incluindo aí seus parâmetros de tolerâncias, são passados à engenharia de manufatura que planeja e projeta a linha de produção de modo a satisfazer estas exigências. O planejamento do processo de manufatura envolve, resumidamente, a elaboração de uma estratégia macro de implementação do novo sistema (ou alteração do sistema existente), estimando custos; seleciona a tecnologia pertinente para a meta a ser atingida, determinando o grau de automação; para cada subsistema, define se será fabricado pela própria empresa ou comprado de fornecedores; especifica as condições das células produtivas à engenharia de projetos de dispositivos ou a fornecedores, incluindo aqui o estudo de processo das principais fontes de variabilidade dimensional, procurando eliminá-las; acompanha o projeto, fornecendo diretrizes; acompanha a construção e a validação dos dispositivos e equipamentos; valida as células de produção na fábrica; acompanha corrida-piloto dos novos veículos e o início de produção.

A estruturação da carroceria é feita através da união de chapas metálicas por solda, cujos tipos são:

- Solda a ponto por resistência;
- Solda a arco;
- Solda a laser.

2.3.1. Solda a Ponto por Resistência

A solda a ponto por resistência é uma pequena e localizada solda feita entre chapas sobrepostas, conforme a Figura 2.2, por onde a corrente elétrica que provém de um eletrodo atravessa as chapas e chega ao outro eletrodo. A resistência ao fluxo de corrente faz as chapas se aquecerem naquele ponto, e dependendo do tempo e da

quantidade de corrente, provoca a fusão dos metais. Há três elementos básicos envolvidos neste tipo de solda: corrente elétrica, pressão e tempo. A corrente elétrica provém do eletrodo e é conduzida pela chapa metálica até o outro eletrodo, normalmente variando entre nove mil e treze mil amperes. A pressão é obtida da força de cilindros pneumáticos instalados nas máquinas de solda a ponto, de duzentos a mil e trezentos quilogramas-força, transferindo esta força aos eletrodos, que comprimem as chapas que formam a união. O tempo de fluxo de corrente é regulado por um painel elétrico de comando de solda. Assim, a fusão dos metais é obtida pelo calor gerado, que depende da quantidade de corrente, do tempo que essa corrente flui pelas chapas e da pressão que é imposta entre as chapas. A combinação destes três elementos varia de acordo com o tipo da liga metálica. Este tipo de solda compõe a maioria das soldas presentes na carroceria de um veículo.

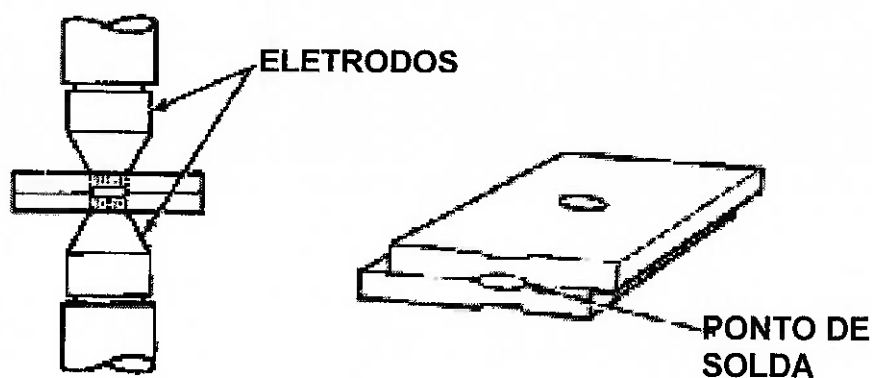


Figura 2.2. Solda a Ponto

Existem diversos tipos e modelos de máquinas de solda a ponto. A escolha da máquina adequada depende da força que ela deve exercer sobre as chapas a serem soldadas e do acesso às peças metálicas da carroceria. Quando os modelos existentes não atendem a uma determinada necessidade, uma nova máquina é projetada. Alguns componentes básicos presentes nessas máquinas de solda são: eletrodo, porta-eletrodo, braços e corpo da máquina, normalmente

feitos em cobre ou liga de cobre (em casos específicos os braços e o corpo podem ser confeccionados em alumínio), cilindro pneumático (para ação de força), cabos de cobre para transferência de corrente, diversos conectores e ainda gatilho e arco giratório para o caso de uso manual. Nas Figuras 2.3 e 2.4 são mostradas, respectivamente, uma máquina de solda a ponto manual e uma máquina de solda a ponto para robô.

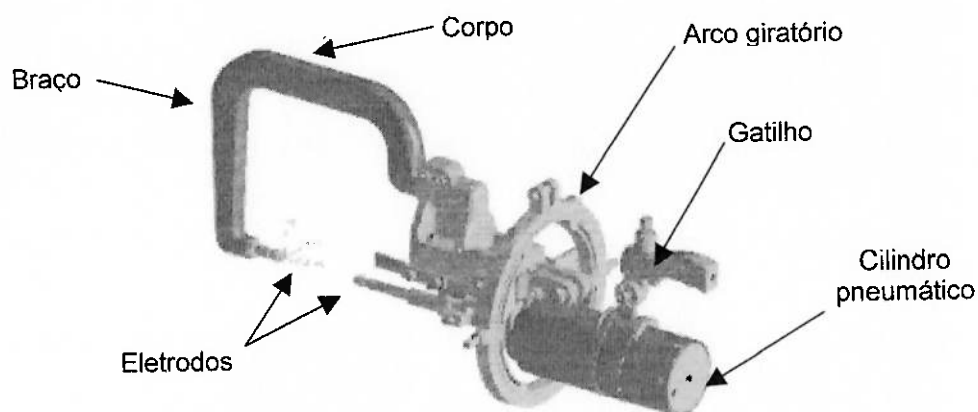


Figura 2.3. Máquina de Solda a Ponto Manual

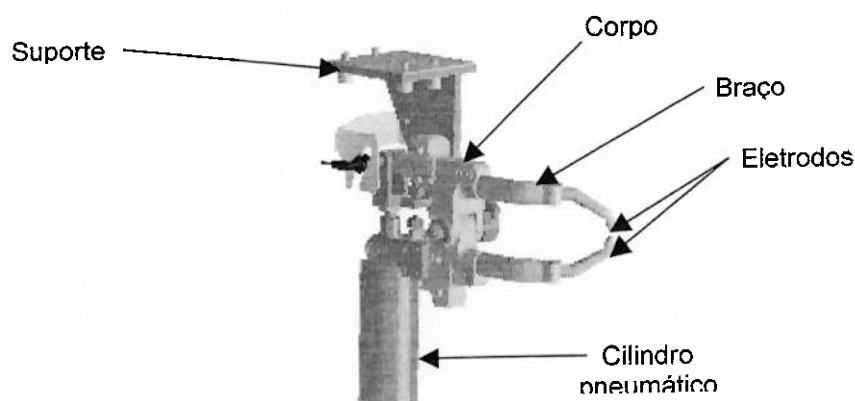


Figura 2.4. Máquina de Solda a Ponto para Robô

As máquinas de solda a ponto utilizam periféricos essenciais para o seu funcionamento, tais como transformador, painel de comando de solda, painel de seleção (habilita ou desabilita pressão e

corrente), painel de entrada (para regulagem da corrente e plugue do sinal do gatilho), filtro de ar, regulador de pressão, cabo de solda, mangueiras de ar e de água de refrigeração.

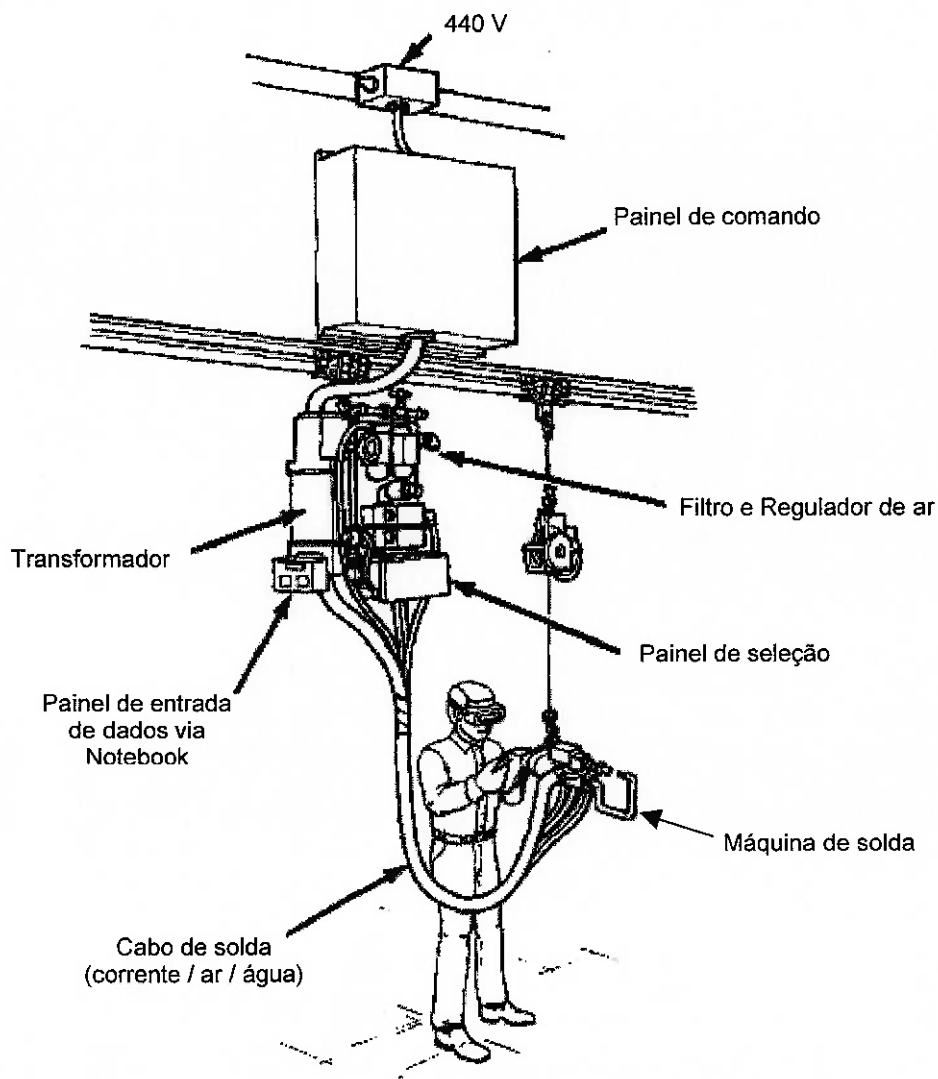


Figura 2.5. Estação de Solda a Ponto Manual

Além da utilização manual da máquina pelo operador, ela pode ser montada num dispositivo de solda com acionamento automático, no punho do robô ou num pedestal, sendo que neste último caso o robô manipula a peça a ser soldada através de uma garra acoplada ao seu punho. As três alternativas acima citadas são mostradas nas Figuras 2.5 a 2.7. Existem ainda outras alternativas de utilização automática

de solda a ponto menos comuns e são projetadas para casos muito particulares, por exemplo, usando as prensas de solda.

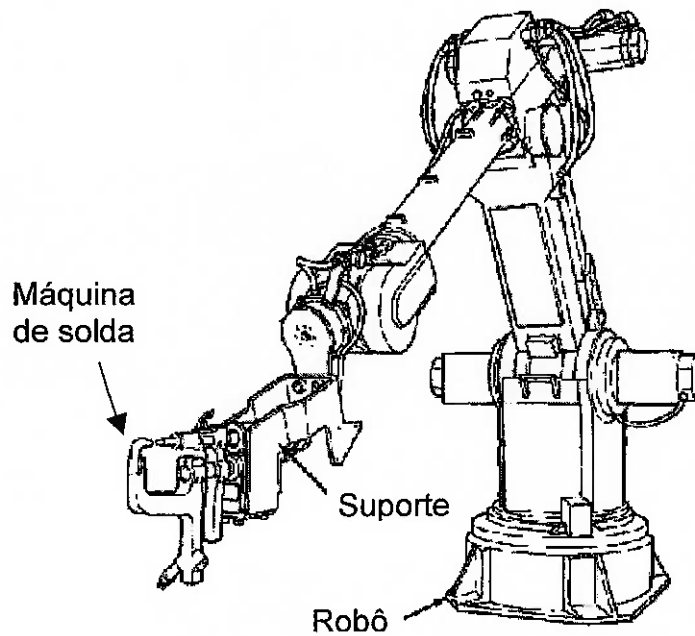


Figura 2.6. Robô de Solda a Ponto

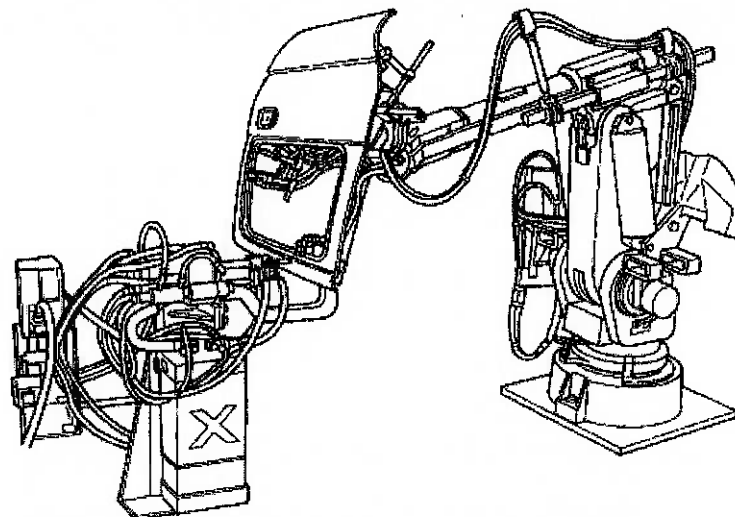


Figura 2.7. Pedestal para Máquina de Solda a Ponto

2.3.2. Solda a Arco

A solda a arco é um processo de solda que usa a formação de um arco elétrico entre a chapa metálica e a ponta do eletrodo como fonte de calor para unir os metais. O eletrodo pode ou não servir de material de preenchimento. Nas operações de solda em carrocerias na linha de produção usa-se, normalmente, o eletrodo como material de preenchimento com alimentação automática, onde a área de solda é protegida da contaminação atmosférica do nitrogênio, do oxigênio e de vapores de água através do fluxo de um gás de proteção, usualmente argônio, hélio ou dióxido de carbono. Este processo de solda a arco que utiliza gás de proteção inerte é comumente chamado de MIG (*Metal Inert Gás*), e é usual na indústria automotiva a utilização do termo “solda a MIG” designando este tipo de solda a arco com gás inerte. A Figura 2.8 ilustra a região da solda para este caso.

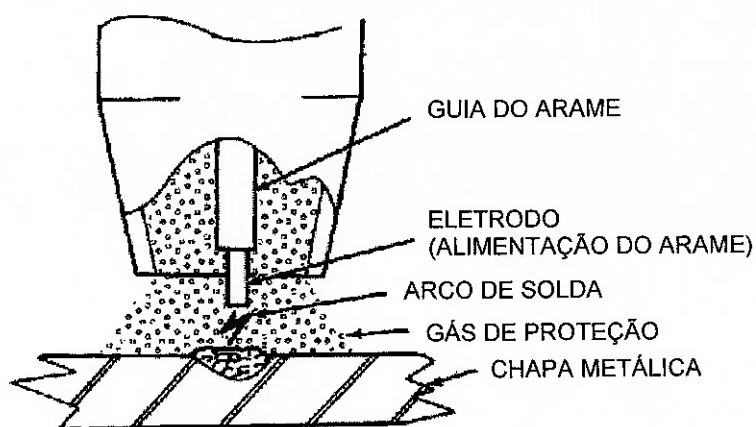


Figura 2.8. Solda a Arco Elétrico com Proteção Gasosa

No caso da alimentação automática do eletrodo, este também é chamado de arame de solda. O equipamento de solda para esta aplicação é mostrado na Figura 2.9 se para o uso manual e na Figura 2.10 montado no robô. Os elementos básicos para uma boa regulagem deste tipo de solda são: tensão, velocidade do arame e fluxo de gás de proteção. Uma vantagem da solda a MIG para a solda a ponto é a versatilidade de acesso, feito por somente um lado, enquanto que a

solda a ponto necessita de acesso a ambos os lados das chapas para posicionamento dos eletrodos, conforme ilustrado na Figura 2.2. A solda a MIG é aplicada na união de partes onde o acesso para solda a ponto é inviável, na solda de dobradiças de portas, em soldas de porcas, pinos, parafusos e em reparos nas estações de acabamento da carroceria. Em alguns casos, estes reparos utilizam eletrodo de estanho com alimentação manual, normalmente para acabamento mais fino nas regiões de superfícies externas.

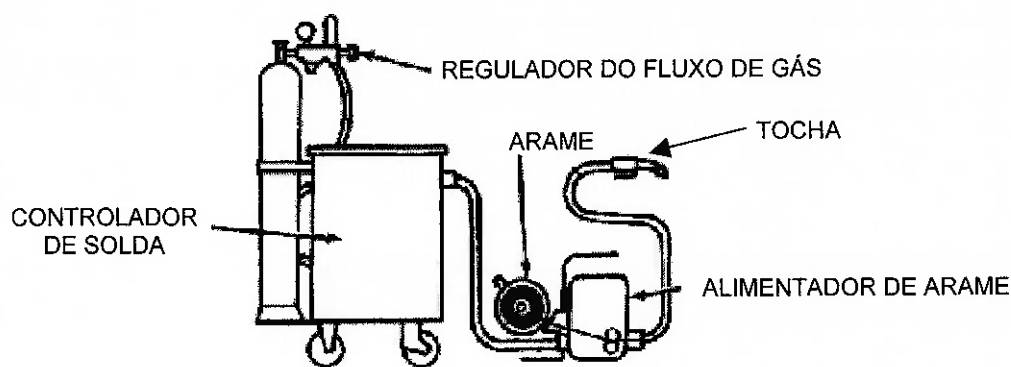


Figura 2.9. Equipamento Manual de Solda a Arco Elétrico com Proteção Gasosa

Informações mais detalhadas sobre os equipamentos de solda a MIG podem ser obtidas em catálogos e manuais dos fabricantes, tais como os mencionados no Apêndice II.

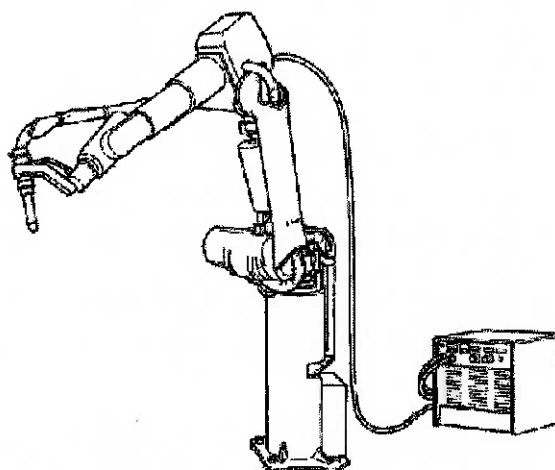


Figura 2.10. Solda a Arco Elétrico por Robô com Proteção Gasosa

2.3.3. Solda a Laser

Os conceitos de emissão estimulada de energia eletromagnética para a formação do laser (sigla obtida do inglês *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) podem ser encontrados na vasta literatura que trata do assunto e serão omitidos neste trabalho. A solda a laser consiste na concentração de uma grande quantidade de energia em uma pequena área através da convergência de laser, produzindo calor com a finalidade de fundir as chapas metálicas. O raio laser mais frequentemente utilizado para solda é produzido por um gerador a dióxido de carbono. A emissão é amplificada, direcionada para o local de solda por um espelho e concentrada por uma lente convergente. Os elementos básicos deste tipo de solda são: potência do raio, diâmetro do raio e distância focal (com relação às chapas metálicas). As chapas devem manter-se unidas, sendo necessário aplicar uma força através de dispositivos adequados. Um sistema de solda a laser é composto por gerador de laser, sistema de alimentação de gás, resfriador, sistema de projeção do raio, sistema de controle, dispositivos e cabine de segurança. Conforme o raio laser se move em uma direção determinada, o metal é progressivamente fundido. Após a passagem do raio, ele se solidifica formando o cordão de solda, tal como indicado na Figura 2.11.

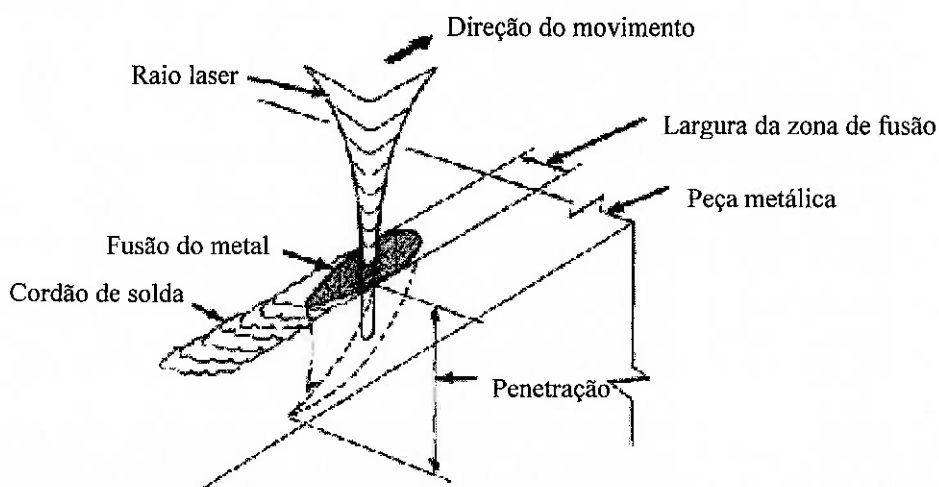


Figura 2.11. Fusão a Laser

O gerador de laser normalmente é de alta potência, acima de dois mil watts, gerando um raio que tem um modo de alta ordem, ou seja, a energia do raio é mais suavemente distribuída ao longo do diâmetro, sendo que quanto mais uniforme é esta distribuição, mais bem adaptado o raio é para a solda. O modo de baixa ordem é utilizado para cortes de chapa, pois a potência do raio fica concentrada somente no centro do raio, resultando em alta densidade de energia, tal como indicado na Figura 2.12.

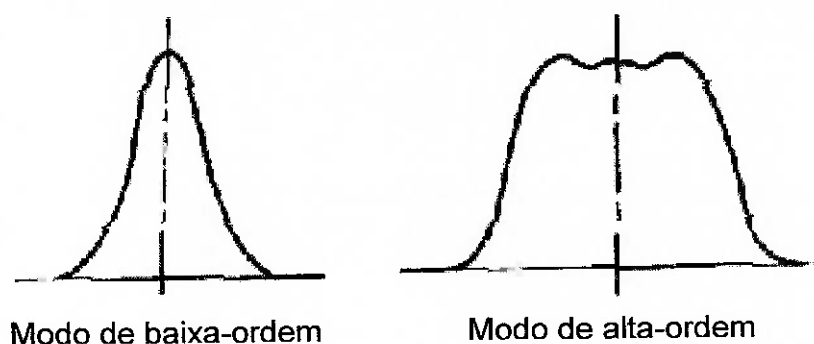


Figura 2.12. Distribuição de Energia no Laser

O sistema de alimentação de gás é responsável por suprir o gerador e o gás de proteção na região de fusão das chapas para a proteção da solda.

O resfriador é usado para remover calor do gerador e resfriar os espelhos do sistema de projeção do raio laser. O gás do gerador de laser requer que o excesso de calor seja removido para que o raio seja eficientemente produzido.

O sistema de projeção projeta o raio do gerador até o espelho de foco final.

O sistema de controle é completamente automatizado, possuindo microprocessadores que controlam todas as funções do sistema de solda a laser.

Dispositivos são requeridos para localizar e fixar as chapas metálicas a serem unidas de modo a não haver excessiva distância entre elas. Na maioria dos casos, um rolete é acoplado ao lado do projetor de raio no punho de um robô, pressionando a superfície antes da ação do raio.

A cabine de segurança tem duas finalidades: tanto a proteção dos operadores da área quanto a proteção do equipamento. No primeiro caso, o raio laser e os raios UV da solda podem causar danos à pele e aos olhos. No segundo, a proteção do ambiente de solda contra as variações de temperatura, umidade e pressão, além da penetração de impurezas e sujeira, garante as condições para o resultado de uma solda com qualidade.

A solda a laser tem certas vantagens sobre a solda convencional a ponto e sobre as aplicações da solda a arco:

- O acesso a somente um lado da chapa.
- Possibilidade de redução do tamanho do flange de solda, resultando na diminuição da massa do veículo.
- Menor distorção na região de solda, pois devido à ausência de contato mecânico não há formação de ondulações na chapa, o que é comum na solda a ponto.
- Elimina a reposição de itens de consumo, como os eletrodos e cabos de potência.

A aplicação mais comum deste tipo de solda é na união do teto com as laterais da carroceria. Nenhuma restrição técnica é feita a

aplicações em outros subconjuntos metálicos, porém, o alto custo de investimento envolvido neste tipo de solda não justifica este uso.

2.3.4. Os Dispositivos de Solda e Montagem

Na estruturação de carrocerias as células de montagem dos subconjuntos metálicos recebem os painéis estampados e/ou subconjuntos menores de outras células produtivas. Esta montagem é executada em um dispositivo de solda ou dispositivo de montagem, que visa garantir que as dimensões e tolerâncias especificadas sejam atingidas, seguindo as informações de GD&T. Os componentes são posicionados no dispositivo e fixados. Procede-se, então, à união das partes metálicas através de solda a ponto, a MIG ou a laser, manual ou automaticamente. Uma vez estruturados, isto é, não alteram as posições relativas de seus componentes quando solicitados por pequenos esforços de tração e torção, estes subconjuntos são transferidos e/ou posicionados em dispositivos de outras células para formarem subconjuntos maiores até a formação da carroceria completa.

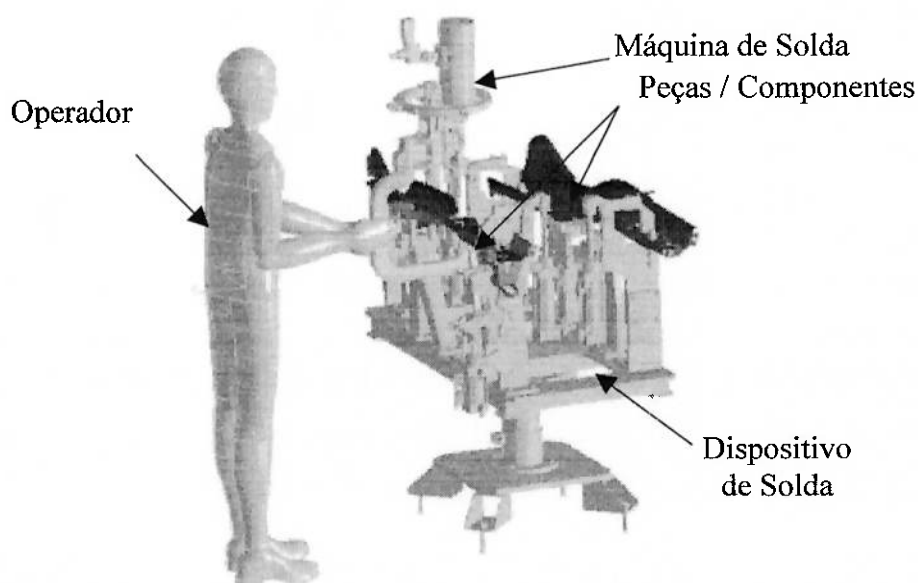


Figura 2.13. Estação de Trabalho – Solda Manual

A Figura 2.13 mostra uma estação de trabalho para solda de longarinas com operação de solda a ponto manual. Num primeiro estágio, uma estação de trabalho como esta recebe os componentes estampados e comprados. Num outro exemplo, no Painel Interno Conjunto da Porta Lateral Esquerda Dianteira entram os componentes: Painel Interno da Porta, Barra de Impacto, Reforço da Dobradiça, Reforço da Fechadura, Arco da Janela, Reforço da Trava. Um dispositivo ou uma sequência de dispositivos (dependendo do volume de produção requerido e das características do produto) permite a fixação dos componentes para a operação de solda. Este conjunto formado é componente de outro conjunto maior (hierarquicamente), que é a Porta Lateral Esquerda Dianteira Conjunto Completo, recebendo também o Painel Externo Conjunto da Porta. Outro exemplo de formação de subconjuntos é ilustrado na Figura 2.14. Os subconjuntos Assoalho Traseiro, Assoalho Dianteiro e Compartimento do Motor são estruturados em células individuais e unidos em uma estação de operação na linha de montagem principal. Ali, esses subconjuntos são soldados e a estruturação da carroceria completa é finalizada ao longo da linha.

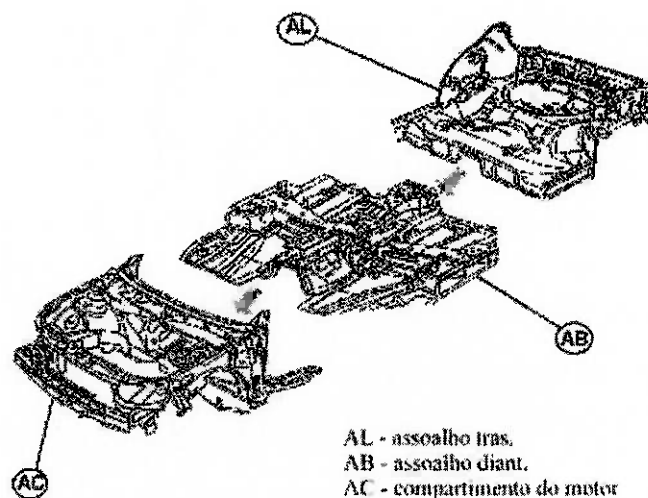


Figura 2.14. União de Subconjuntos dos Assoalhos e Compartimento do Motor

Todos os dispositivos de solda e montagem fazem uso do *poka-yoke*, termo japonês que significa “a prova de erro”. Um elemento *poka-yoke* é aquele que previne que os componentes sejam incorretamente posicionados, soldados ou montados. Eles podem ser mecânicos ou eletrônicos. O *poka-yoke* mecânico pode ser uma haste ou uma figura do dispositivo que impede que a peça seja posicionada de forma invertida ou girada. O *poka-yoke* eletrônico pode ser um sensor indutivo de presença de peça, que somente libera o sinal para um CLP se a peça estiver na posição correta, e este sinal libera o dispositivo para acionar os grampos de fixação e ativar o robô ou liberar uma solda, por exemplo.

Num dispositivo de solda ou montagem, o desgaste dos elementos de fixação e dos pinos localizadores pode aumentar as variações dimensionais. Falhas dos atuadores, condições de temperatura, umidade, pressão, vibração e condições do operador também podem ser fontes de variação na dimensão final do subconjunto. Por isso, a atuação da manutenção da fábrica e o correto gerenciamento da sua estratégia são essenciais para a garantia da qualidade da carroceria. Assim como a fase de validação destes dispositivos antes do início de produção é de fundamental importância para a eliminação de erros sistemáticos, a ação da manutenção da fábrica também é igualmente importante, pois os desgastes e falhas de componentes dos dispositivos podem ser fontes desses erros sistemáticos. Os erros aleatórios podem ser tratados estatisticamente, os erros sistemáticos não. Segundo Taylor (1997), os erros sistemáticos devem ser identificados e reduzidos até que sejam menores que a precisão requerida. O ajuste dos dispositivos reduz os erros sistemáticos de produção. O correto projeto dos dispositivos, com o uso dos *poka-yokes*, também reduz os erros sistemáticos de produção. Erro aleatório está relacionado com a tolerância ou

dispersão, enquanto que erro sistemático está ligado à acuracidade da média. A American Society for Quality (ASQ) define acuracidade como a característica de uma medição que diz quão perto o valor observado está do valor verdadeiro. Os erros aleatórios fornecem, através de tratamento estatístico, a confiabilidade. Já os sistemáticos são de difícil avaliação. Para este caso, o uso de uma ferramenta como o Diagrama de Causa-e-Efeito de Ishikawa (diagrama dos cinco por quês), descrito em Shiba; Graham; Walden (1997), pode ser muito útil para sua detecção.

A estruturação da carroceria de um veículo é responsável pela qualidade de *matching* dos componentes, que é a continuidade superficial na transição de uma peça metálica para outra; por exemplo, entre o paralamas dianteiro e a porta lateral dianteira da carroceria de um veículo. Uma vez que todos os componentes de um subconjunto metálico tenham suas qualidades individuais asseguradas, a união deles deve ser garantida pela estruturação da carroceria como um todo, assegurando que os limites de tolerâncias sejam respeitados.

O dispositivo de solda ou de montagem precisa ser robusto. Segundo a American Society for Quality (ASQ), robustez é a condição de um produto ou processo que o mantém relativamente estável, com um mínimo de variação, mesmo que fatores externos que influenciem o seu funcionamento ou uso estejam em constante mudança. Para os dispositivos de montagem de carrocerias, a robustez também se estende à insensibilidade a flutuações no processo de produção oriundas de células produtivas de etapas anteriores. Esta condição confere uma qualidade robusta a todo o sistema produtivo, ou seja, o seu desempenho é menos sensível a ruídos. Estes ruídos são definidos por NUMA (1999) como fatores de perturbação que causam variabilidade da função, e estão ligados ao ambiente ou ao processo de fabricação. Neste ponto de definição do planejamento do processo

produtivo, o método de controle de qualidade é o *off-line quality control*, definido por NUMA (1999) como o método usado durante o projeto do produto (neste caso, o produto é o dispositivo de montagem) e do processo para garantir a melhoria do produto. O uso de elementos *poka-yoke* nos dispositivos e células de fabricação contribui para garantir a robustez do sistema.

Depois que o processo de produção foi determinado e está validado, operando em condições normais, ocorrem variações dimensionais na produção devido às seguintes fontes:

- Variabilidade nos materiais e componentes estampados;
- Desvio de processo, desgaste de ferramenta, falha de máquina, etc;
- Variabilidade na execução;
- Meio ambiente;
- Fator humano.

Tichý (1993) considera ainda que o fator humano é um componente do meio ambiente, o que faz sentido se a definição de ambiente for tudo que circunda o objeto de foco ou faz conexão com ele. Juran; Gryna (1988) considera três critérios essenciais de autocontrole quando o sistema produtivo envolve pessoas:

1. O conhecimento do que é necessário ser feito;
2. O conhecimento do que está sendo feito;
3. A regulagem ou o controle do processo.

As fontes de variação citadas podem ser separadas em categorias de controlabilidade, sendo que as duas categorias mais importantes são:

- Controlável pelo operador;
- Controlável por gerenciamento.

Assim sendo, o erro é controlável pelo operador se todos os três critérios de autocontrole estão presentes, e é controlável por gerenciamento se um ou mais dos itens acima não estão presentes.

Couto (1996), no estudo da ergonomia humana, menciona que a falha humana decorre de um ou mais dos fatores indicados na Figura 2.15.



Figura 2.15. Hexágono das Causas da Falha Humana, Couto (1996)

Cada um destes fatores pode ser fonte de variação na montagem. Apesar de serem considerados de falha humana, todos, com exceção do fator “deslize”, podem ser controláveis por gerenciamento.

O controle por gerenciamento, atuante diretamente no dia-a-dia da produção, engloba desde a formulação de uma estratégia de produção alinhada com a estratégia da manufatura e a estratégia da organização. Sua atuação abrange treinamento dos empregados, formalização de procedimentos de *setup* das máquinas, formalização das alterações dos sistemas de controle, implementação de planos de controle do processo, avaliação de sistemas de medição (R&R), trabalho em equipe, controle de manutenção preventiva, alocação de

prioridades e comprometimento das gerências de todos os departamentos envolvidos.

As fontes de variação podem ser mensuradas através do controle de qualidade durante a produção, designado como *on-line quality control*, que é o método usado durante a produção para melhorar e manter a qualidade de um produto. De acordo com Taguchi (1989), há três formas deste tipo de controle. A primeira é o **diagnóstico do processo e ajuste**, feito a intervalos regulares, parando o sistema para diagnosticar e ajustar caso necessário, reiniciando a produção. A segunda forma consiste na **predição e correção**, na qual uma característica do produto a ser controlada é medida a intervalos regulares e seus valores são comparados com um padrão; se o valor medido difere do valor padrão, o sistema de produção é modificado automaticamente a fim de reduzir a diferença; também é conhecido por controle de realimentação ou de malha fechada. A terceira forma do controle de qualidade *on-line* é a **medição e ação**, também conhecida como inspeção, na qual cada item produzido é medido e, estando fora de especificação, buscam-se e minimizam-se as causas da variação. Esta última é a forma de controle de qualidade adotada para o sistema de produção de carrocerias na General Motors. A primeira forma geraria paradas de produção frequentes, ocasionando perdas intoleráveis ou superdimensionamento do sistema produtivo, inviabilizando economicamente a produção; a segunda forma teria custos elevadíssimos aliados a limitações técnicas para a sua execução.

3. O SISTEMA DE MEDIÇÃO

3.1. Considerações Iniciais

O objetivo desta seção é descrever o sistema de medição instalado na fábrica, os tipos de relatórios e a interface com o usuário (o engenheiro de produção).

3.2. Descrição do Equipamento de Medição

A medição da carroceria é feita pelo sistema Perceptron® a laser, medindo a variação do posicionamento de 35 pontos da carroceria do veículo Astra com relação à cota nominal nas direções X, Y e Z. A direção X é relativa ao comprimento do veículo, a direção Y é relativa à sua largura e a direção Z à sua altura. A escolha dos pontos medidos neste sistema baseia-se na necessidade de um controle maior do dimensional por serem críticos à qualidade final do veículo. São pontos de montagem de suspensão, coxins do motor, travas, paralamas, cofre*, faróis, parabrisa e outros. A Figura 3.1 indica os pontos medidos pelo sistema. A Tabela 3.1 detalha os pontos mostrados na Figura 3.1. A carroceria, neste estágio da sua estruturação, está semi-estruturada, tendo sido concluída a sua estruturação primária (*framing I*) formada por compartimento do motor, assoalho dianteiro conjunto e assoalho traseiro conjunto.

* O termo “cofre” é utilizado na indústria automotiva para designar o capô ou o capuz do motor.

Tabela 3.1. Descrição dos Pontos Medidos pelo Sistema

Ponto medido	Descrição do local do ponto
1	Trava do espigão do cofre
3e	Fixação superior do farol LE
3d	Fixação superior do farol LD
4e	Fixação inferior do farol LE
4d	Fixação inferior do farol LD
5e	Fixação dianteira do paralama LE
5d	Fixação dianteira do paralama LD
8e	Fixação traseira do paralama LE
8d	Fixação traseira do paralama LD
11e	Viga do pára-choque dianteiro LE
11d	Viga do pára-choque dianteiro LD
13e	Fafá LE
13d	Fafá LD
14e	Fixação intermediária do <i>subframe</i> LE
14d	Fixação intermediária do <i>subframe</i> LD
16e	Fixação dianteira do <i>subframe</i> LE
16d	Fixação dianteira do <i>subframe</i> LD
17	Furo do liame da transmissão – <i>dash</i>
20e	Furo dianteiro do painel do assoalho dianteiro LE
21	Fixação central do limpador de parabrisa
22e	Cavalete de fixação do <i>cockpit</i> LE
22d	Cavalete de fixação do <i>cockpit</i> LD
23	Furo LE do painel traseiro inferior
24	Furo LD do painel traseiro inferior
31d	Furo traseiro LD do painel do assoalho dianteiro
38e	Longarina tras. LE – furo entre oblongo e apoio da mola
38d	Longarina tras. LD – furo entre oblongo e apoio da mola
40e	Furo traseiro LE do painel do assoalho traseiro (só HB)
40d	Furo traseiro LD do painel do assoalho traseiro (só HB)
41e	Furo de fixação do amortecedor traseiro LE
41d	Furo de fixação do amortecedor traseiro LD
42e	Fixação traseira do <i>subframe</i> LE
42d	Fixação traseira do <i>subframe</i> LD
L	Fixação inferior dianteira do coxim do motor
U	Fixação superior do coxim do motor

Esta tabela é a mesma utilizada na fábrica e a descrição dos locais dos pontos medidos contém expressões do uso cotidiano.

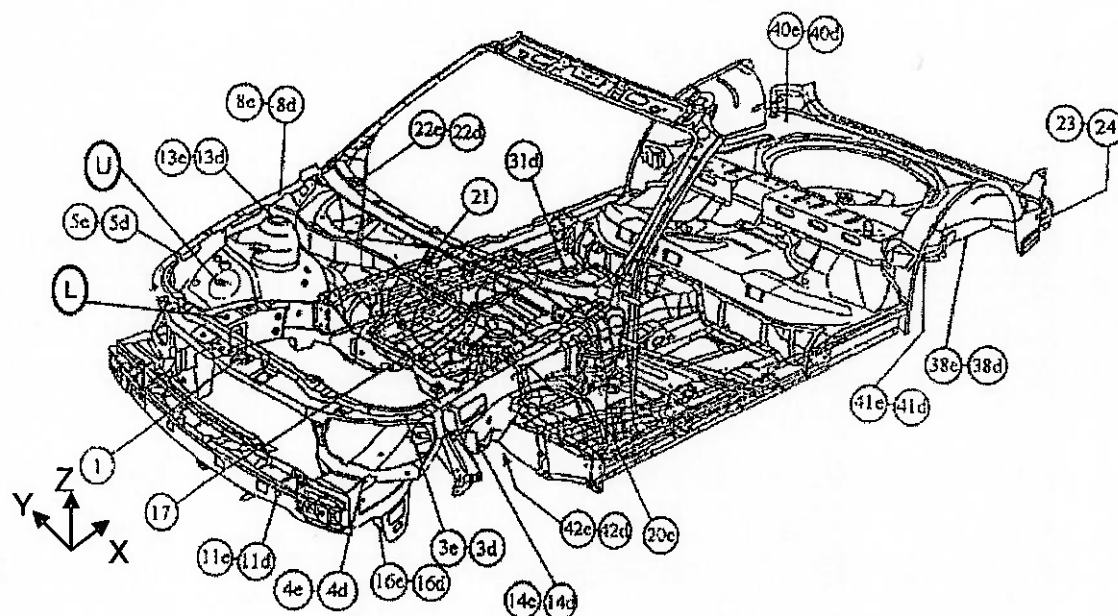


Figura 3.1. Pontos de Medição da Carroceria

O sistema de medição possui um controlador denominado DSP 1000, que é um sistema computadorizado que permite processar imagens de vídeo captada pelos sensores TriCam® que executam as medições dimensionais utilizando método laser. O DSP 1000 consiste em uma unidade controladora de visão, unidade de difusão de cores, caneta ótica, impressora e equipamento de dimensionamento de energia. Vários outros componentes como CLPs, robôs, outros sistemas de computadores e redes de comunicação de fábrica podem ser acrescentados ao sistema de medição.

O sistema de medição Perceptron® gera relatórios estatísticos considerando as diferenças das coordenadas dos pontos em relação ao nominal (o sistema físico é calibrado pelo nominal) e suas variações, e é feito um controle sobre a tolerância admitida em cada ponto. Soa um

alarme se a carroceria estiver com variações acima de um valor pré-determinado e a unidade é retirada da linha de produção para análise. Define-se, então, se a carroceria pode ser retrabalhada, se é possível prosseguir com o valor dimensional apurado ou se é necessário rejeitar a mesma e proceder à sua destruição. Em qualquer dos casos, a engenharia de produção toma providências para identificar e eliminar as causas do problema.

3.3. A Cabine de Medição

Uma estação de operação exclusiva para esta medição é adicionada na linha de produção, sendo esta constituída de uma cabine protegida para que os raios luminosos não atinjam os olhos dos operadores das estações de trabalho adjacentes. Os sensores óticos são posicionados no interior da cabine e a carroceria do veículo é posicionada automaticamente, como uma estação na sequência das operações de produção. O esquema da cabine é indicado na Figura 3.2.

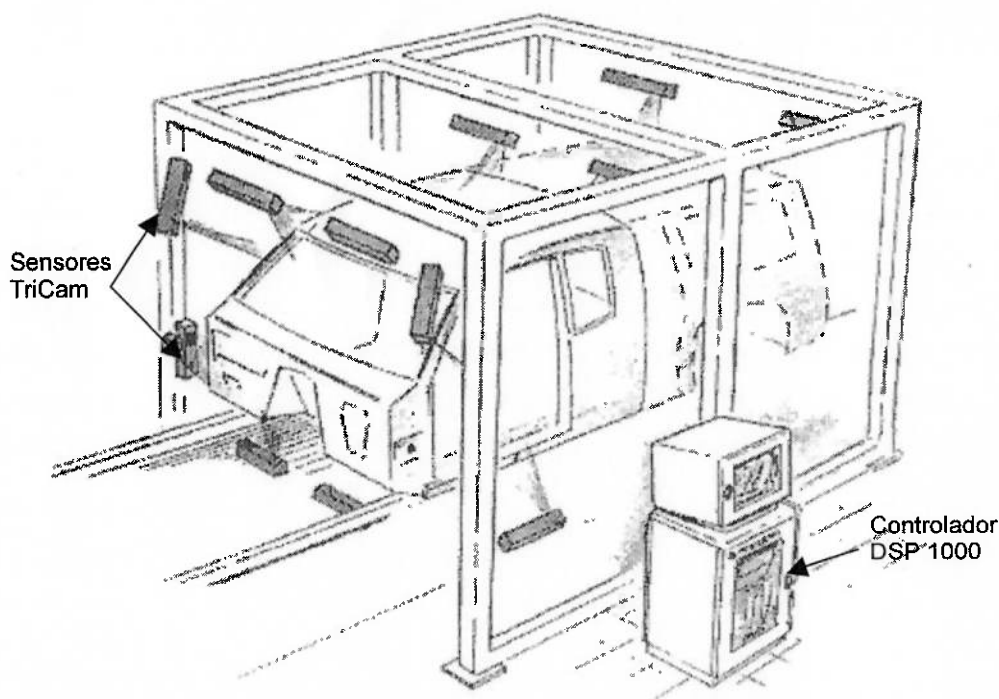


Figura 3.2. Cabine de Medição

3.4. Os Sensores TriCam

A medição de cada ponto é feita por um sensor emissor-receptor laser exclusivo. Estes sensores são projetados e testados para garantir precisão e repetibilidade. A operação de identificação da leitura de cada sensor baseia-se na triangulação do laser emitido, determinando a diferença de distância do valor esperado, tal como indicado na Figura 3.3. O raio emitido pelo diodo laser deixa a janela de saída e atinge a superfície da peça a ser medida. Este raio é refletido para o espelho e focado na matriz de leitura. Este algoritmo é processado e identifica-se a diferença da leitura para o valor esperado.

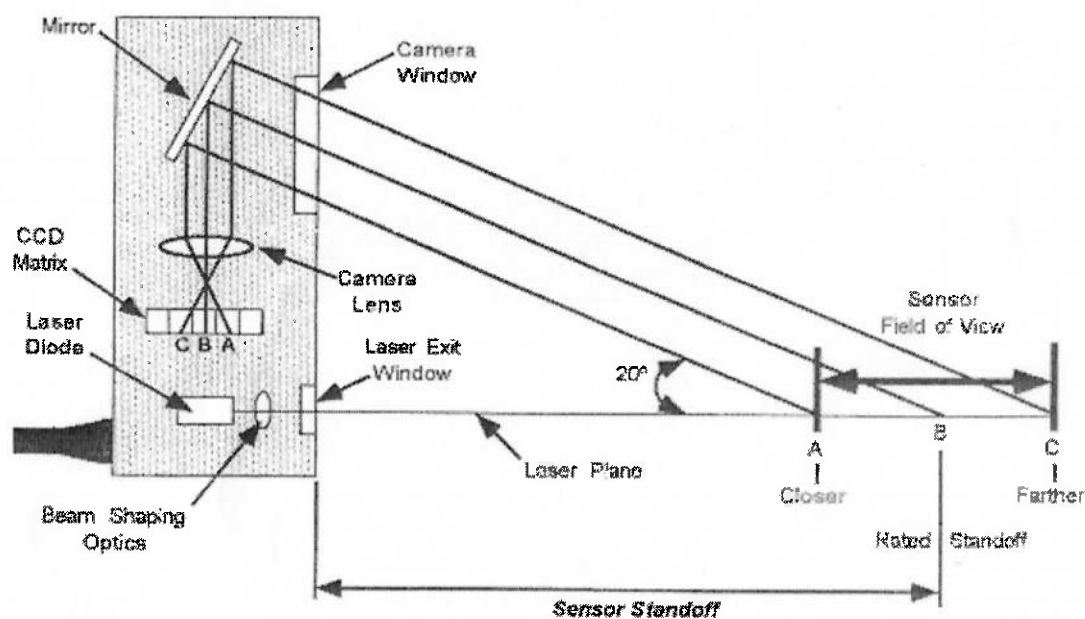


Figura 3.3. Triangulação do Laser no Sensor TriCam

Os sensores utilizados são sensores de superfície ou de contorno, dependendo da aplicação. Os sensores de superfície, aplicados quando há furos na peça, primeiro inundam a peça a ser medida com luz, permitindo ao TriCam localizar as características em X e Y. Em seguida o sensor projeta uma linha laser e triangula sobre

ela para computar o valor de Z da faixa. O sistema então calcula os dados X, Y, Z e o centro tridimensional de um furo, rasgo ou retângulo. Os sensores de contorno são aplicados em superfícies que podem ser reduzidas a contornos simples onde não há descontinuidade da peça.

3.5. Tipos de Relatórios

Os relatórios emitidos pelo sistema são visualizados no monitor do controlador e podem ser impressos. O menu de navegação permite selecionar o tamanho da amostra e o tipo de relatório. O sistema pode emitir diversos relatórios, sendo que os principais tipos são *Histogramas, Diagramas de Pareto, Cartas de Controle, Dados das Medições dos Pontos de Checagem, Relatórios Gerenciais, Estatísticas de Média e Dispersão por Região da Carroceria e Estatísticas de CP e CPK por Região da Carroceria*. Todos os relatórios apresentam uma identificação padrão, conforme a Tabela 3.2 e a indicação no exemplo de histograma da Figura 3.4.

Tabela 3.2. Identificação Padrão dos Relatórios

Área	Informação padrão
1	Tipo do relatório
2	Modelo de veículo da amostra (NB ou HB)
3	A região da carroceria
4	Identificação do sensor ou ponto medido (ver Tabela 3.1)
5	Identificação das carrocerias da amostra
6	Período de produção das carrocerias da amostra
7	Data de impressão do relatório
8	Tamanho da amostra
9	Informação do relatório
10	Ilustração da região e do ponto medido

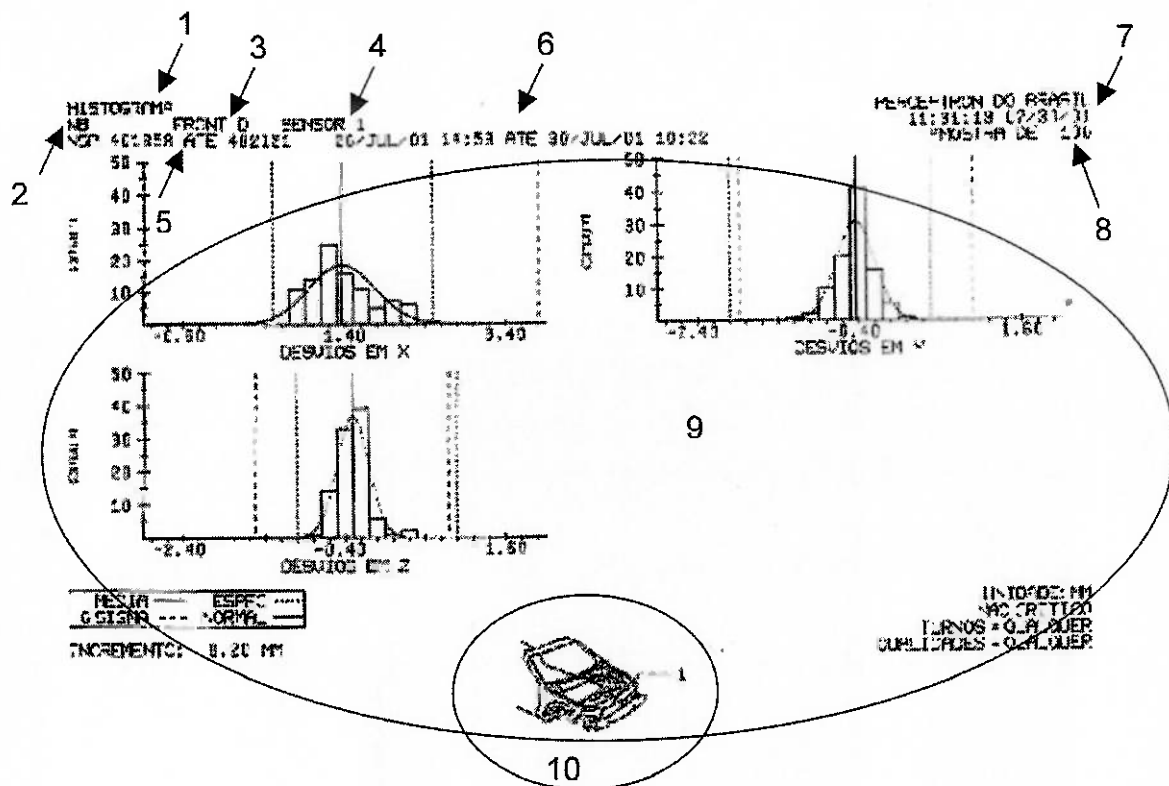


Figura 3.4. Identificação Padrão nos Relatórios Emitidos pelo Sistema de Medição

O Diagrama de Pareto, definido em Shiba; Graham; Walden (1997) como um gráfico de barras que mostra o maior problema à esquerda seguido pelos problemas de importância menor, é apresentado pelo sistema em seis versões diferentes, mostrando:

- *Razão de Capacidade* – também conhecido por índice de capacidade do processo (CP), é a razão do valor de 6σ pelo valor de tolerância (limite superior menos o limite inferior de especificação) do ponto da carroceria.

$$CP = 6\sigma / (\text{LIM. SUP.} - \text{LIM. INF.}) \quad (3.1)$$

- *Capacidade do Processo* – o valor de tolerância (limite superior menos o limite inferior de especificação) dividido pelo valor de 6σ . O inverso da Razão de Capacidade.
- *Porcentagem de Capacidade* – a Razão de Capacidade multiplicado por cem.
- *CPK* – índice determinado pelo menor valor entre o limite superior de especificação menos a média dividido por 3σ e a média menos o limite inferior de especificação dividido por 3σ . Quanto maior o valor do índice, melhor é a capacidade do processo em se manter longe dos limites de especificação.

$$CPK = \text{MIN} \left[(\text{LIM. SUP.} - \text{MÉDIA})/3\sigma, (\text{MÉDIA} - \text{LIM. INF.})/3\sigma \right] \quad (3.2)$$

- *6-sigma* – valor de seis vezes o desvio padrão σ dos pontos medidos.
- *Média* – valor das dimensões médias dos pontos medidos.

4. RESULTADOS APRESENTADOS PELO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Este capítulo apresenta os principais relatórios emitidos pelo sistema de medição e serão utilizados para a discussão no capítulo cinco.

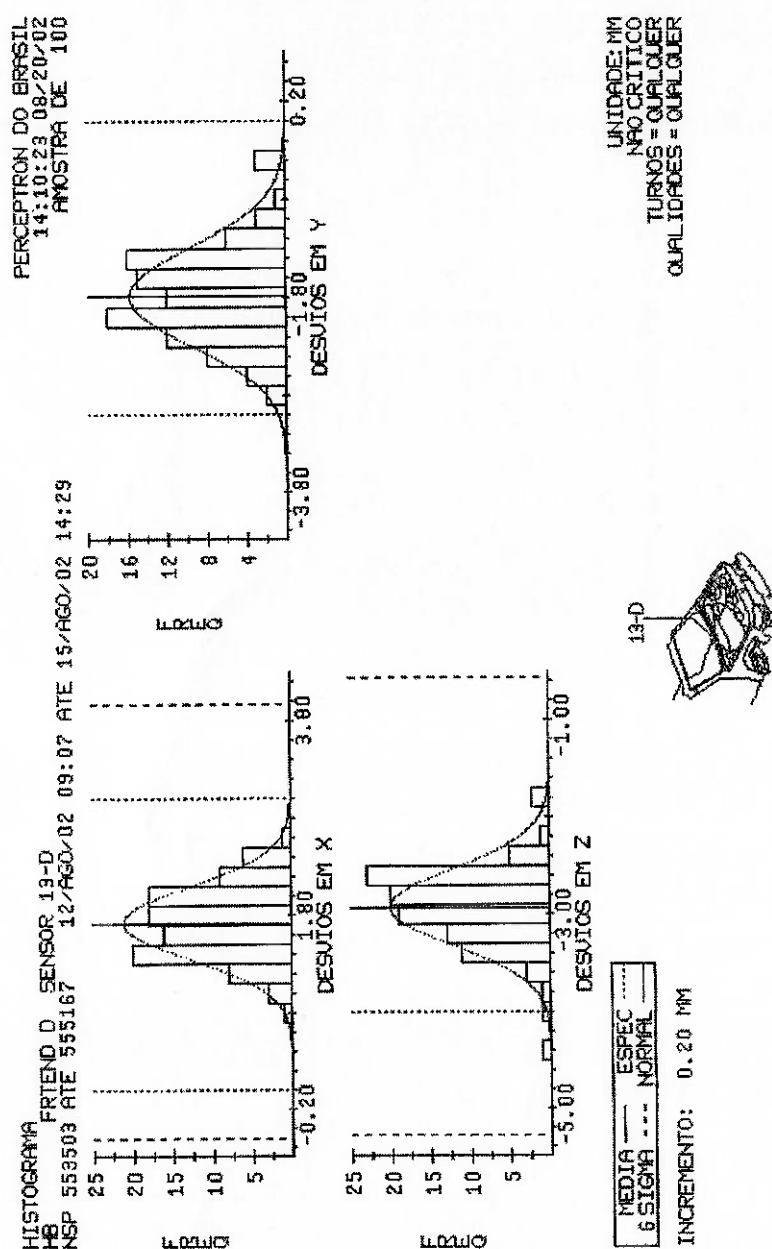
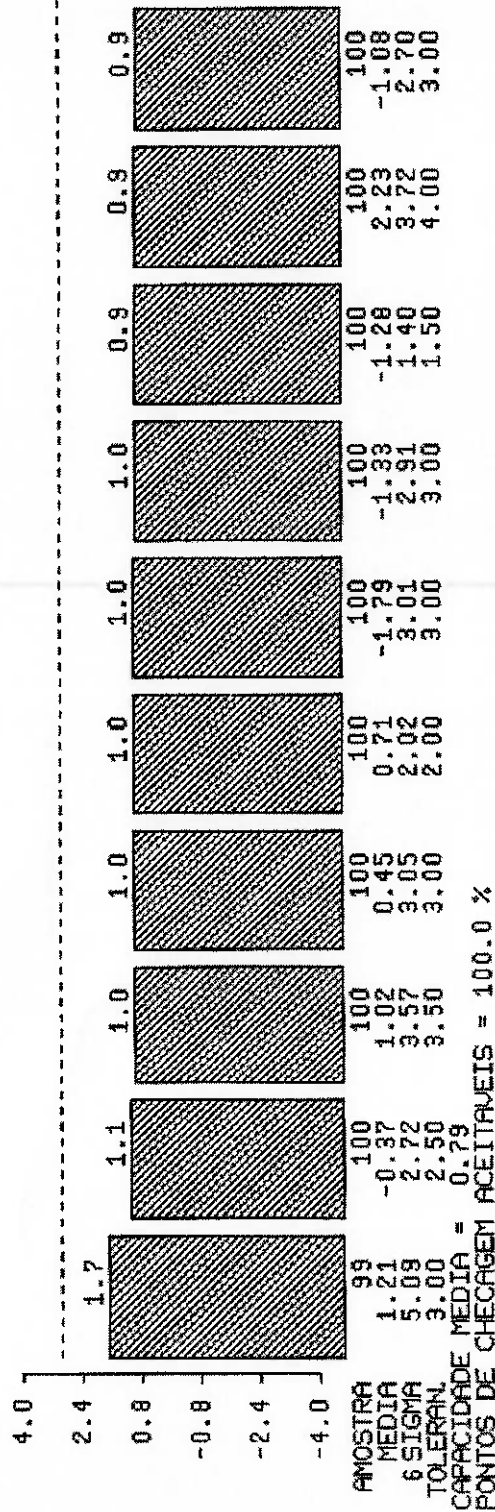


Figura 4.1. Relatório Histograma

RELATORIO CP PARETO
 HB FRTEND D
 NSP 553503 ATE 555167 12/AGO/02 09:07 ATE 15/AGO/02 14:29
 CAPABILITY RATIO LIMITE DE ACEITACAO = 3.00

PERCEPTRON DO BRASIL
 14:05:51 08/20/02
 AMOSTRA DE 100

4-D	1	11-D	13-D	8-D	11-D	U	8-D
+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	-/+	+/-
Z	Z	Z	Z	Z	Z	X	Z



UNIDADE: MM
 TODOS OS DADOS
 TURNOS = QUALQUER
 QUALIDADES = QUALQUER

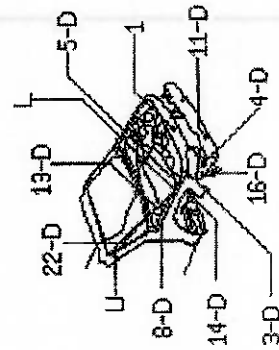
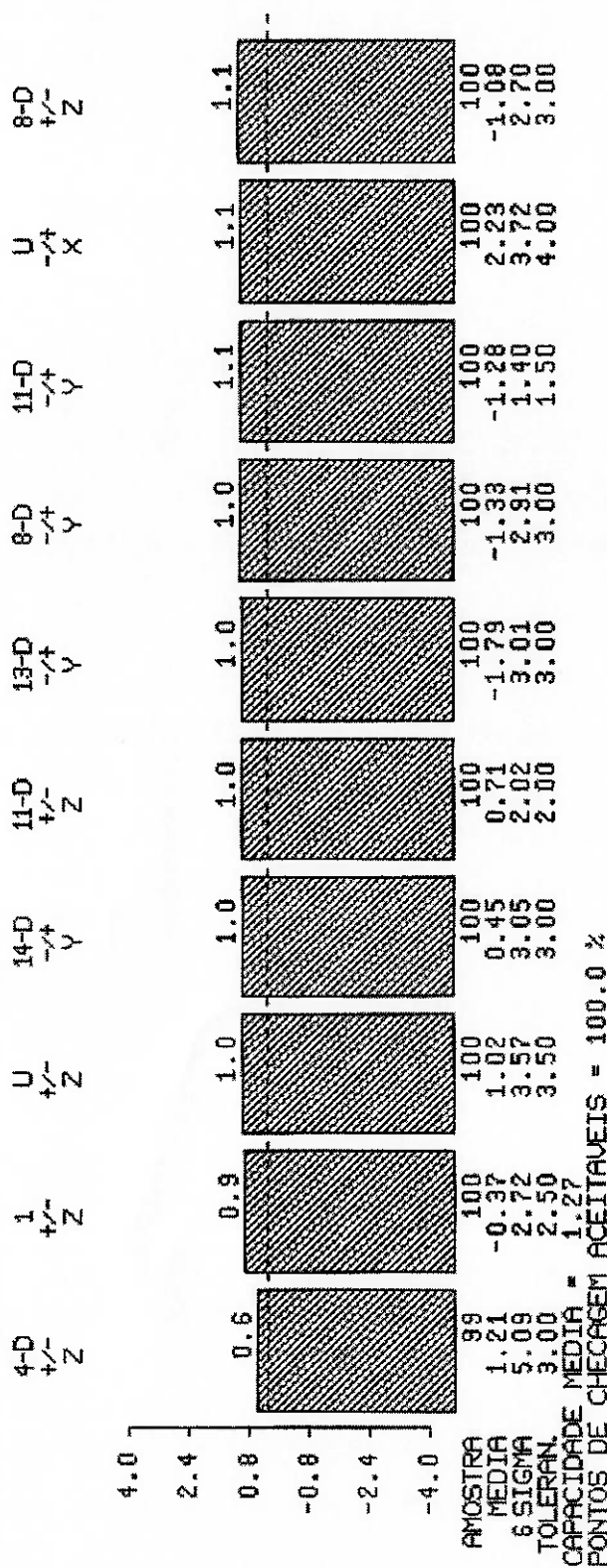


Figura 4.2. Relatório Diagrama de Pareto CP

PERCEPTRON DO BRASIL
14:06:40 08/20/02
AMOSTRA DE 100

RELATORIO CP PARETO
HB FRTEND D
NSP 553503 ATE 555167 12/AGO/02 09:07 ATE 15/AGO/02 14:29
PROCESS CAPABILITY LIMITE DE ACEITACAO = 0.3



UNIDADE: MM
TODOS OS DADOS
TURNOS = QUALQUER
QUALIDADES = QUALQUER

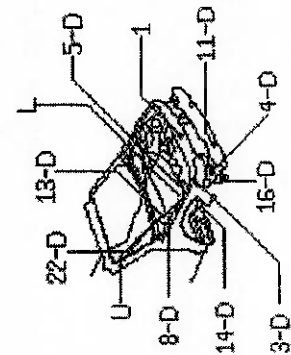
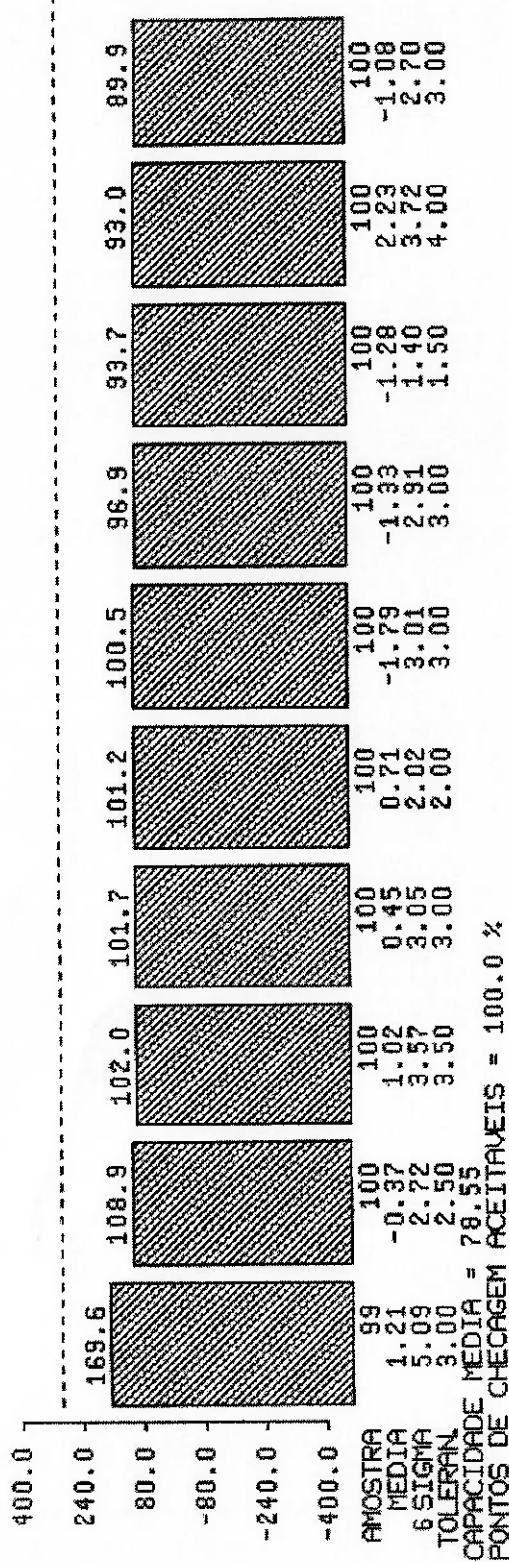


Figura 4.3. Relatório Diagrama de Pareto Capacidade do Processo

PERCEPTRON DO BRASIL
14:07:21 08/20/02
AMOSTRA DE 100

RELATORIO CP PARETO
HB FRTEND D
NSP 553503 ATE 555167 12/AGO/02 09:07 ATE 15/AGO/02 14:29
CAPABILITY % LIMITE DE ACEITACAO = 300.0

4-D	1	U	14-D	11-D	13-D	8-D	11-D	U	8-D
+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Z	Z	Z	Y	Z	Y	Y	Y	X	Z



UNIDADE: MM
TODOS OS DADOS
TURNOS = QUALQUER
QUALIDADES = QUALQUER

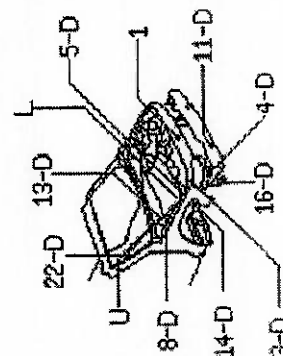
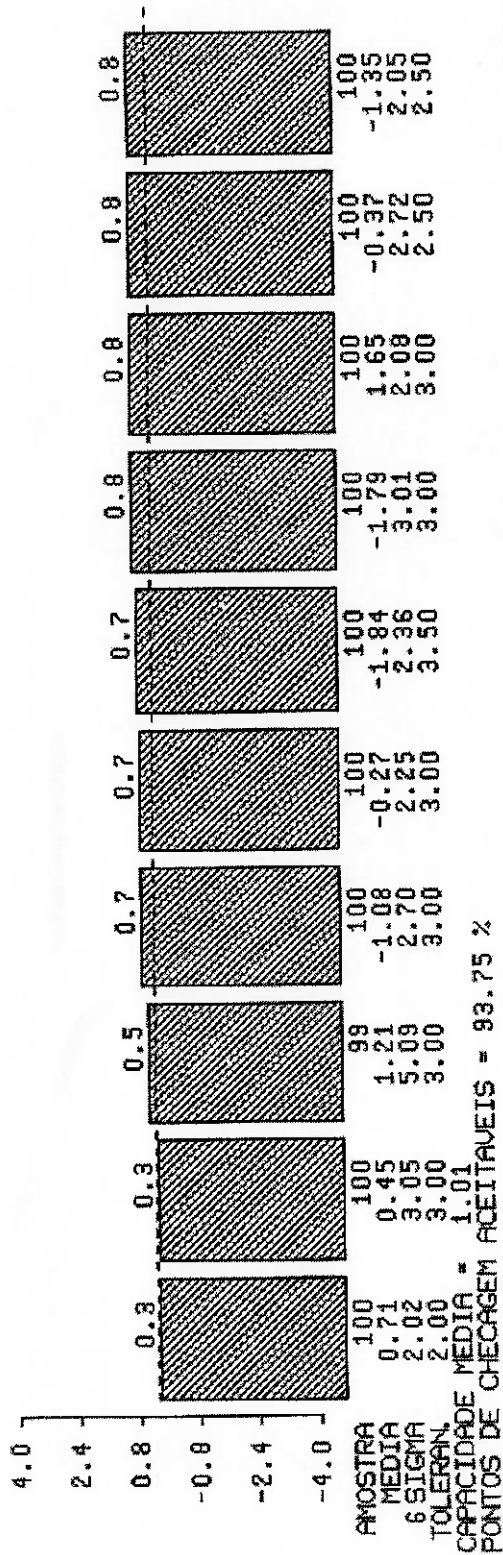


Figura 4.4. Relatório Diagrama de Pareto Porcentagem de Capacidade

PERCEPTRON DO BRASIL
14:07:45 08/20/02
AMOSTRA DE 100

RELATORIO CP PARETO
HB FRTEND D
NSP 553503 ATE 555167 12/AGO/02 09:07 ATE 15/AGO/02 14:29
CPK LIMITE DE ACEITACAO = 0.33

11-D	14-D	4-D	8-D	3-D	11-D	13-D	8-D	1	5-D
+/-	-/+	+/-	+/-	-/+	-/+	-/+	-/+	+/-	-/+
Z	Y	Z	Z	X	X	Y	X	Z	Y



UNIDADE: MM
TODOS OS DADOS
TURNOS = QUALQUER
QUALIDADES = QUALQUER

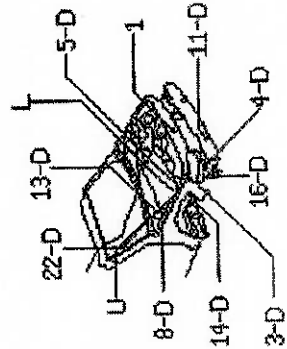
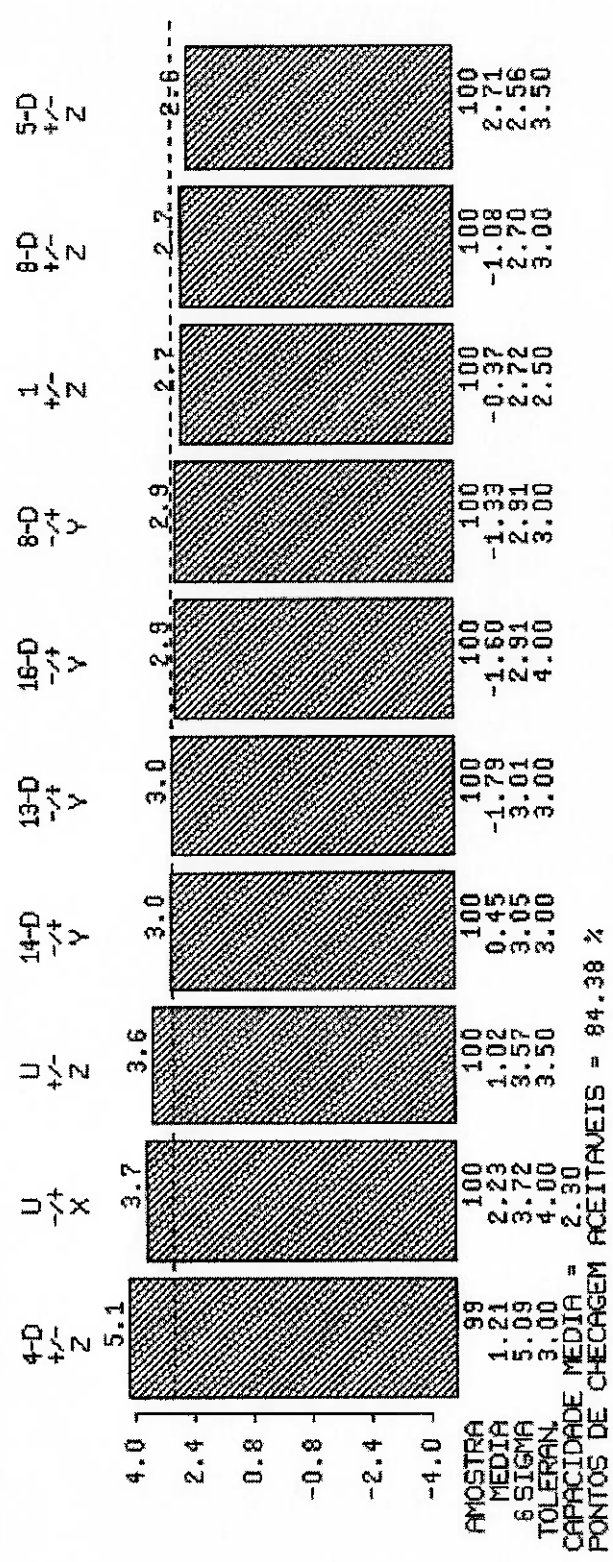


Figura 4.5. Relatório Diagrama de Pareto CPK

PERCEPTRON DO BRASIL
 14:08:15 08/20/02
 AMOSTRA DE 100

RELATORIO CP PARETO
 HB FRTEND D
 NSP 553503 ATE 555167 12/AGO/02 08:07 ATE 15/AGO/02 14:29
 6 SIGMA LIMITE DE ACEITACAO = 3.00



UNIDADE: MM
 TODOS OS DADOS
 TURNOS = QUALQUER
 QUALIDADES = QUALQUER

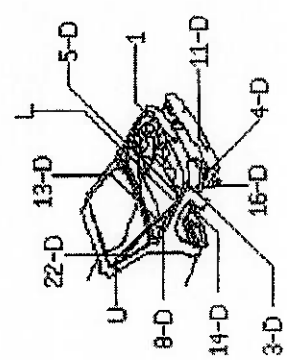
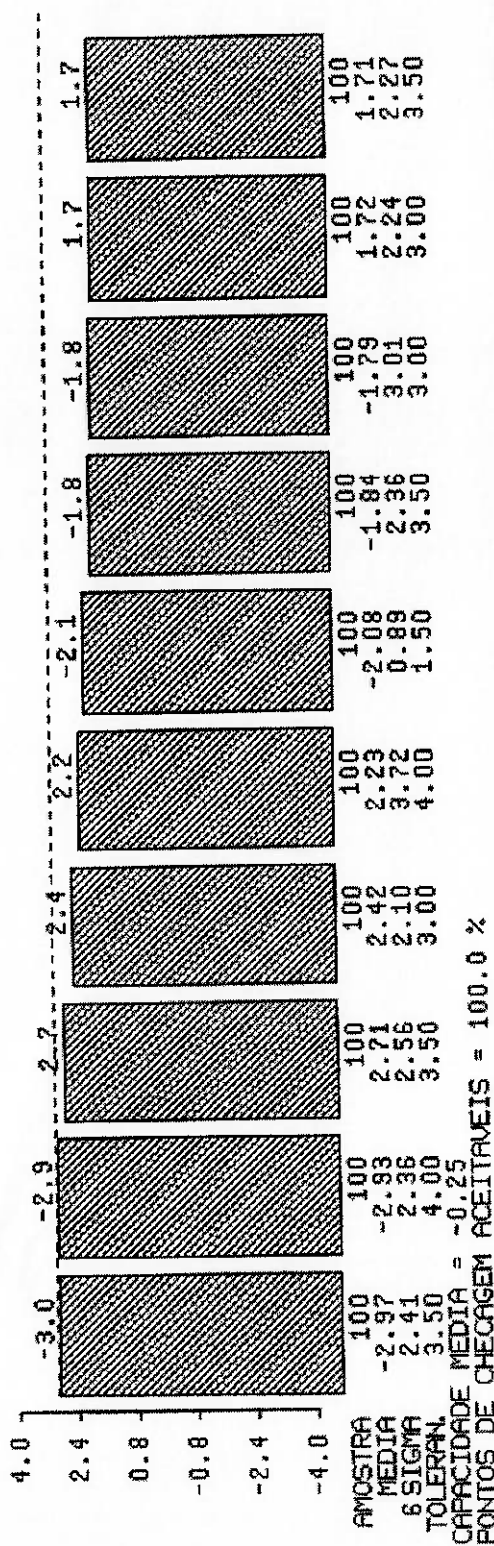


Figura 4.6. Relatório Diagrama de Pareto 66

PERCEPTRON DO BRASIL
14:08:36 08/20/02
AMOSTRA DE 100

RELATORIO CP PARETO
HE FRIENO D
NSP 553503 ATE 555167 12/AGO/02 08:07 ATE 15/AGO/02 14:29
MEAN LIMITE DE ACEITACAO = 3.00



UNIDADE: MM
TODOS OS DADOS
TURNOS = QUALQUER
QUALIDADES = QUALQUER

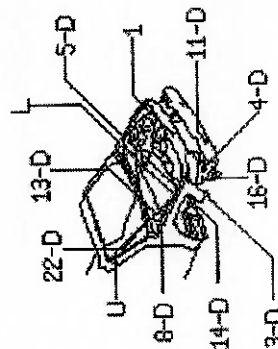
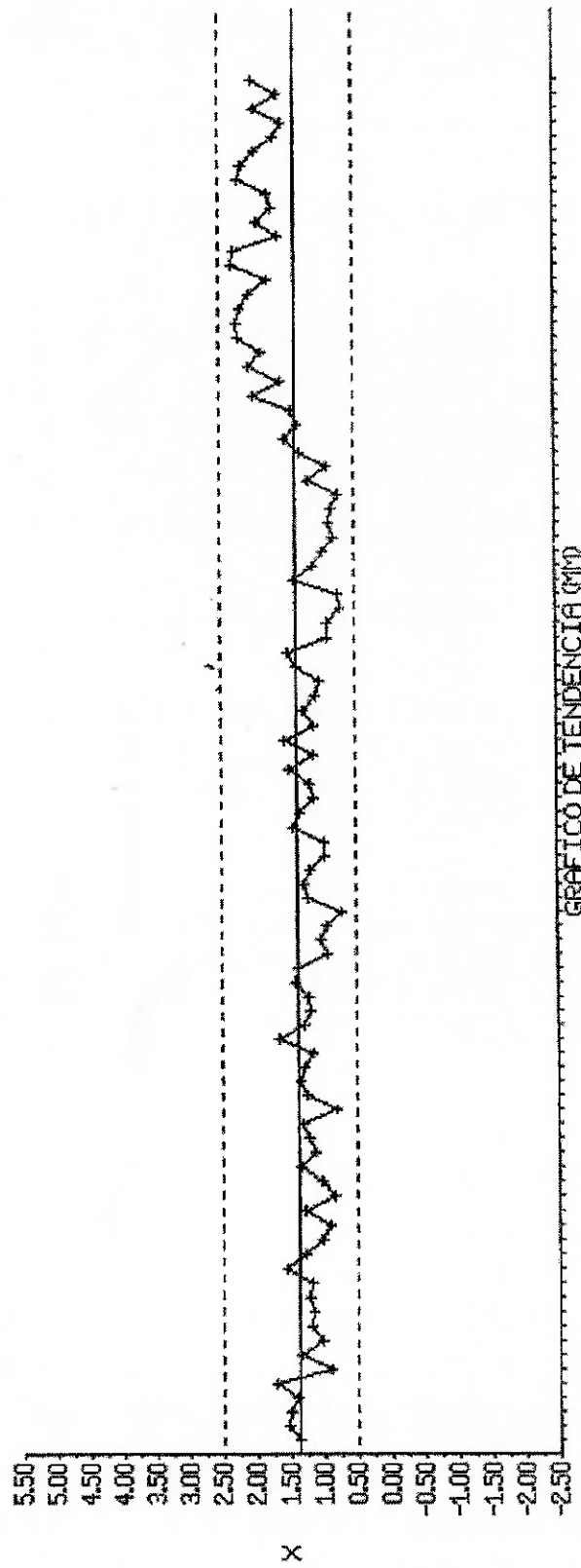


Figura 4.7. Relatório Diagrama de Pareto Média

PERCEPTRON DO BRASIL
11:22:35 07/30/01
AMOSTRA DE 96

GRAFICOS X-BAR & R
FRONT D SENSOR 1
NSP 401858 ATE 402121 26/JUL/01 14:53 ATE 30/JUL/01 10:22



TAMANHO SUBCONJUNTO : 1
NUMERO SUBCONJUNTOS : 96

MEDIA	---
SPEC S/I	---
REJT S/I	---

MEDIA: 1.37
6σ: 2.45
INTERVALO: 1.60
AMOSTRAS: 96

UNIDADE: MM
NAO CRITICO
TURNOS = QUALQUER
QUALIDADES = QUALQUER



Figura 4.8. Relatório Carta de Controle

PERCEPTRON DO BRASIL
11:29:33 07/30/01
AMOSTRA DE 100

DADOS DAS MEDICOES DOS PONTOS DE CHEGEM
FRONT D SENSOR 1
NSP 401858 ATE 402121 26/JUL/01 14:53 ATE 30/JUL/01 10:22

MEDICOES (100)

MEDICOES (100)

NSP	X	Y	Z	NSP	X	Y	Z
402090	2.19	-0.32	0.35	402090	2.01	-0.41	-0.68
402089	2.24	-0.09	-0.55	402089	1.63	-0.22	-0.57
402087	2.22	-0.18	-0.04	402118	1.96	-0.15	-0.55
402086	1.87	-0.09	-0.35	402116	1.55	-0.41	-0.53
402084	2.07	-0.34	-0.46	402115	1.69	-0.42	-0.40
402083	1.59	-0.38	-0.40	402113	1.98	-0.41	-0.37
402081	2.01	-0.18	-0.27	402112	2.16	-0.33	0.49
402080	1.43	-0.64	-0.63	402110	2.22	0.25	-0.64
402079	1.35	-0.28	-0.44	402109	1.79	-0.09	-0.34
402077	1.53	-0.18	-0.58	402107	1.73	0.00	-0.42
402075	1.32	-0.12	-0.53	402106	1.95	-0.37	-0.96
401952	0.91	-0.78	-0.13	402104	1.62	-0.79	-0.25
401950	1.19	-0.62	-0.26	402103	2.29	-0.30	-0.65
401949	0.75	-0.87	-0.09	402101	2.32	-0.29	-0.34
401948	0.85	-0.65	-0.37	402100	??8??	??8??	??8??
401946	0.86	-0.02	-0.34	402098	??8??	??8??	??8??
401845	0.81	-0.34	-0.34	402096	??8??	??8??	??8??
401943	0.98	-0.40	-0.24	402095	??0??	??8??	??8??
401942	1.12	-0.39	-0.23	402093	1.79	-0.33	-0.54
401941	1.40	-0.43	-0.14	402092	2.05	-0.41	-0.38

UNIDAOE: MM
NFO CRITICO
TURNOS = QUALQUER
QUALIDADES = QUALQUER



Figura 4.9. Relatório Dados das Medições dos Pontos de Checagem - Parte I

PERCEPTRON DO BRASIL
11:23:33 07/30/01
AMOSTRA DE 100

DADOS DAS MEDICOES DOS PONTOS DE CHECAGEM
NB FRONT D SENSOR 1
NSP 401858 ATE 402121 26/JUL/01 14:53 ATE 30/JUL/01 10:22

MEDICOES (MM)

NSP	X	Y	Z	NSP	X	Y	Z
401939	0.76	-0.54	-0.25	401912	1.27	-0.85	-0.01
401938	0.73	-0.52	-0.26	401910	1.23	-0.58	-0.31
401937	0.91	-0.34	-0.13	401909	0.72	-0.50	-0.10
401936	0.90	-0.53	-0.36	401907	0.94	-1.00	-0.27
401934	1.49	-0.43	-0.13	401906	1.03	-0.60	-0.22
401932	1.38	-0.31	-0.02	401905	0.95	-0.96	-0.32
401931	1.02	-0.47	-0.25	401903	1.36	-0.47	-0.22
401930	1.08	-0.84	-0.14	401902	1.40	-0.34	-0.39
401928	1.29	-0.23	-0.32	401901	1.21	-0.32	-0.19
401927	1.13	-0.89	-0.19	401900	1.19	-0.85	-0.22
401925	1.58	-0.62	-0.25	401898	1.27	-0.31	-0.32
401924	1.13	-0.39	-0.13	401896	1.65	-0.51	-0.30
401923	1.50	-0.28	-0.21	401895	1.17	-0.15	-0.28
401921	1.18	-0.52	-0.13	401894	1.28	-0.36	-0.42
401920	1.13	-0.34	-0.02	401892	1.33	-0.49	-0.59
401919	1.35	-0.12	-0.19	401891	1.24	-0.48	-0.28
401918	1.45	-0.54	0.01	401889	0.82	-0.49	-0.25
401916	0.97	-0.24	-0.15	401888	1.30	-0.38	-0.26
401914	0.98	-0.73	-0.13	401887	1.22	-0.31	-0.20
401913	1.18	-0.33	-0.20	401885	1.11	-0.65	-0.38

UNIDADE: MM
NAO CRITICO
TURNOS = QUALQUER
QUALIDADES = QUALQUER

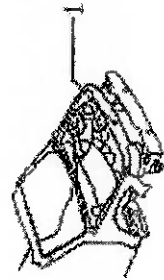


Figura 4.10. Relatório Dados das Medições dos Pontos de Checagem - Parte II

PERCEPTRON DO BRASIL
11:23:33 07/30/01
AMOSTRA DE 100

DADOS DAS MEDICOES DOS PONTOS DE CHECAGEM
NB FRONT D SENSOR 1 26/JUL/01 14:53 ATE 30/JUL/01 10:22
NSP 401858 ATE 402121

MEDICOES (MM)		MEDICOES (MM)					
NSP	-/+ X	-/+ Y	+/- Z	NSP	-/+ X	-/+ Y	+/- Z
401884	1.34	-0.45	-0.30				
401888	1.02	-0.58	-0.47				
401882	0.84	-0.41	-0.39				
401880	1.28	-0.74	-0.36				
401878	0.92	-0.67	-0.53				
401877	1.03	-0.67	-0.45				
401876	1.28	-0.56	-0.61				
401874	1.55	-0.16	-0.42				
401873	1.19	-0.58	-0.36				
401871	1.22	-0.39	-0.44				
401870	1.15	-0.26	-0.27				
401869	1.17	-0.45	-0.29				
401867	1.04	-0.44	-0.32				
401866	1.35	-0.55	-0.45				
401865	0.89	-1.19	0.11				
401864	1.73	-0.42	-0.28				
401862	1.41	-0.49	-0.28				
401860	1.50	-0.33	-0.44				
401859	1.53	-0.55	-0.38				
401858	1.38	-0.85	-0.38				

UNIDADE: MM
NAO CRITICO
TURNOS = QUALQUER
QUALIDADES = QUALQUER



Figura 4.11. Relatório Dados das Medições dos Pontos de Checagem – Parte III

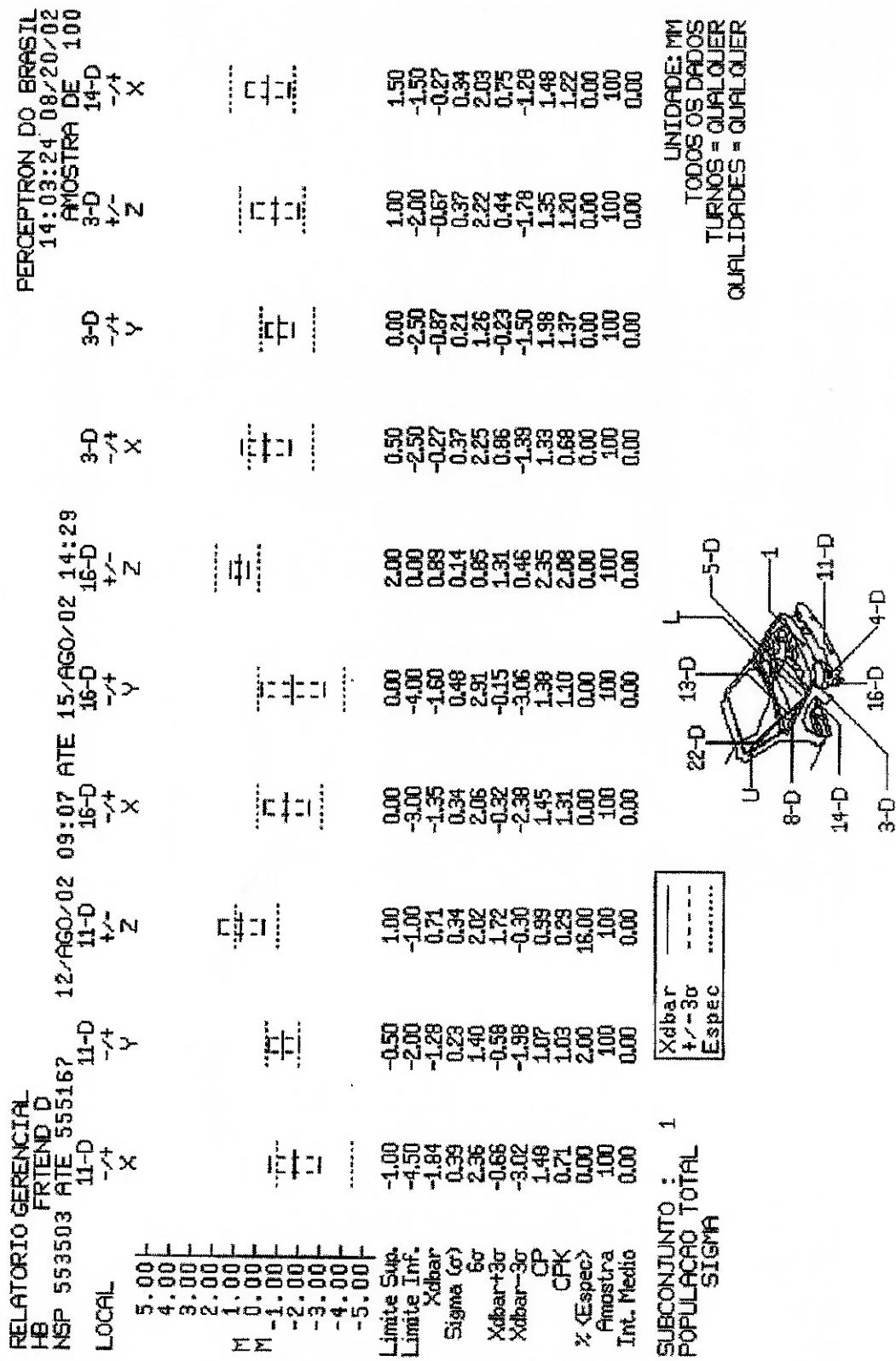
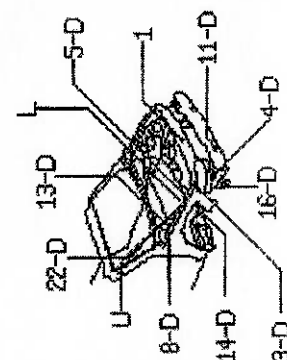


Figura 4.12. Relatório Gerencial

PERCEPTRON DO BRASIL
14:09:23 08/20/02
AMOSTRA DE 100

ESTATISTICA DA ZONA (MM)
HB FRIEND D
NSP 553503 ATE 555167 12/AGO/02 09:07 ATE 15/AGO/02 14:29

CHECKAGEM	-/+ X		-/+ Y		+/- Z		DIA MEDIÁ 6 SIGMA	CHECKAGEM	-/+ X		-/+ Y		+/- Z		DIA MEDIÁ 6 SIGMA
	MEDIÁ 6 SIGMA	MEDIÁ 6 SIGMA	MEDIÁ 6 SIGMA	MEDIÁ 6 SIGMA	MEDIÁ 6 SIGMA	MEDIÁ 6 SIGMA			MEDIÁ 6 SIGMA	MEDIÁ 6 SIGMA	MEDIÁ 6 SIGMA	MEDIÁ 6 SIGMA	MEDIÁ 6 SIGMA	MEDIÁ 6 SIGMA	
11-D	-1.84	2.36	-1.28	1.40	0.71	2.02		8-D	1.65	-1.33	-1.08				
16-D	-1.35	2.06	-1.60	2.91	0.89	0.85			2.08	2.91	2.70				
3-D	-0.27	2.25	-0.87	1.26	-0.67	2.22									
14-D	-0.27	2.03	0.45	3.05	-1.09	1.13									
U	2.23	3.72	-2.97	2.41	1.02	3.57									
4-D			-1.27	2.39	1.21	5.09									
L	1.71	2.27	-1.07	2.00	-2.08	0.89									
1	1.38	1.43	-0.53	1.40	-0.37	2.72									
5-D	2.42	2.10	-1.35	2.05	2.71	2.56									
13-D	1.72	2.24	-1.79	3.01	-2.93	2.36									



UNIDADE: MM
TODOS OS DADOS
TURNOS = QUALQUER
QUALIDADES = QUALQUER

Figura 4.13. Relatório Média e Dispersão

PERCEPTRON DO BRASIL
14:09:07 08/20/02
AMOSTRA DE 100

ESTADÍSTICA DA ZONA (MM)
HB
FRITEND O
NSP 553503 ATE 555167 12/AGO/02 09:07 ATE 15/AGO/02 14:29

CHECKAGEM	-/+ X		-/+ Y		+/- Z		DIA	-/+ X		-/+ Y		+/- Z		DIA
	CP	CPK	CP	CPK	CP	CPK		CHECAGEM	CP	CPK	CP	CPK	CP	
11-D	1.48	0.71	1.07	1.03	0.99	0.29	8-D	1.44	0.82	1.03	0.92	1.11	0.68	
16-D	1.45	1.31	1.38	1.10	2.35	2.08								
3-D	1.33	0.68	1.98	1.37	1.35	1.20								
14-D	1.48	1.22	0.98	0.30	1.76	1.61								
U	1.08	0.95	1.45	1.27	0.98	0.85								
4-D			1.88	1.45	0.59	0.51								
L	1.54	1.14	1.25	1.07	1.68	0.94								
1	1.75	0.86	1.43	1.39	0.92	0.83								
5-D	1.43	1.03	1.22	0.83	1.37	0.95								
13-D	1.34	1.14	1.00	0.81	1.69	0.91								

UNIDADE: MM
TODOS OS DADOS
TURNOS = QUALQUER
QUALIDADES = QUALQUER

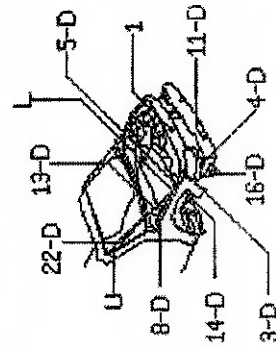


Figura 4.14. Relatório CP e CPK

5. DISCUSSÃO

5.1. Considerações Iniciais

Nos diversos relatórios emitidos pelo sistema de medição, podem ser observadas referências ao “ 6σ ” (seis sigma). Nestes relatórios, seu significado é apenas o valor da dispersão de uma unidade de desvio padrão (σ) multiplicado por seis, e sua amplitude total é de $\pm 3\sigma$. Não deve ser confundido com a Estratégia Seis Sigma ou a aplicação de confiabilidade no campo de dispersão $\pm 6\sigma$ como meta, pois isto requer uma filosofia estratégica que justifique sua aplicação e requer alinhamento com a estratégia organizacional.

5.2. Propostas para Avaliação dos Resultados da Medição

5.2.1. Histograma e Confiabilidade

A análise dos histogramas do Perceptron®, conforme podem ser vistos no Capítulo 4, mostra-nos que em alguns casos o controle 6σ está além dos limites de especificação das coordenadas dos pontos. Isto significa que a confiabilidade de 99,73% do intervalo de 6σ não é atingida. A confiabilidade dimensional pode ser medida como a porcentagem da curva de distribuição que está dentro dos valores de tolerância. Baseando-se na Figura 5.1, a confiabilidade é de 68,26% se os limites de tolerância coincidem com as linhas de $\pm 1\sigma$. Se coincidem com as linhas de $\pm 2\sigma$, então a confiabilidade dimensional é de 95,46%. Se coincidir com os limites de $\pm 3\sigma$, mencionado nos relatórios como intervalo 6σ , a confiabilidade dimensional é 99,73%.

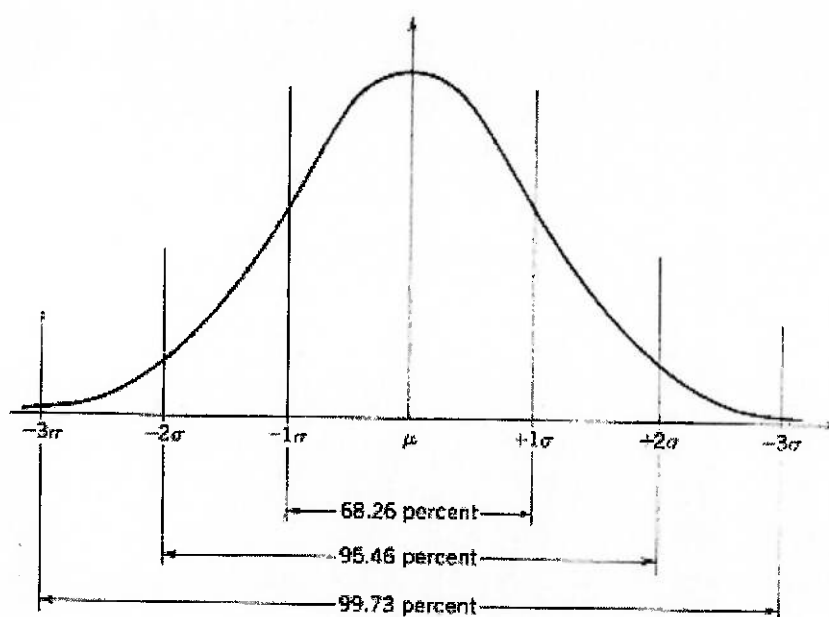


Figura 5.1. Confiabilidade na Distribuição Normal

Seria mais representativo apresentar o histograma indicando o valor da confiabilidade dimensional atingida no processo. Além disso, a tolerância deve ser traçada a partir do erro da média nulo, ou seja, em torno da coordenada nominal. Dois aspectos podem ser concluídos: a tolerância de desenho está desnecessariamente estreita ou o processo de fabricação não atende 6σ .

Um histograma razoável que reflete a distribuição das medidas e que deveria ser gerado pelo sistema de medição como o analisado é apresentado na Figura 5.2. A porcentagem da área distribuída sob a curva que se encontra dentro da faixa aceitável de tolerância é o valor da confiabilidade dimensional atingida.

HISTOGRAMA

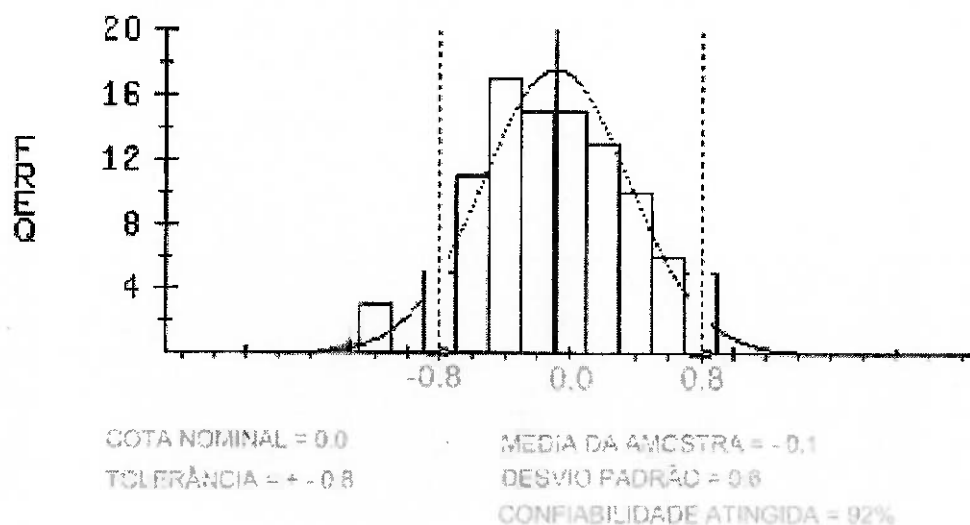


Figura 5.2. Exemplo de Histograma

Um relatório dimensional ideal, além dos histogramas para cada ponto similares ao exemplo acima da Figura 5.2, deve apresentar uma tabela mostrando, para cada ponto, a tolerância aceitável por desenho, o erro da média com relação à cota nominal, o desvio padrão, a confiabilidade atingida e o intervalo em que se encaixa esta confiabilidade (6σ acima de 99,73% , 4σ acima de 95,46%, 2σ acima de 68,26%). A Tabela 5.1 exemplifica esta descrição.

Tabela 5.1. Exemplo de Relatório Dimensional

PONTO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	TOLERÂNCIA	CONFIABILIDADE DIMENSIONAL
P1	0.0	0.5	±1.0	95.4%
P2	0.5	0.5	±0.8	72.1%
P3	-1.2	0.6	±3.0	99.9%
P4	0.2	1.0	±1.5	85.8%

O valor da confiabilidade dimensional atingida deve ser calculado da seguinte forma:

Tomemos o Ponto P2 como exemplo. A tolerância de desenho é traçada no gráfico de sua função densidade de probabilidade, conforme a Figura 5.3. A área da função densidade de probabilidade que está dentro dos limites de tolerância corresponde à probabilidade de o Ponto P2 de cada carroceria estar dentro desta faixa de tolerância. A isto se chama confiabilidade dimensional. Como a média da amostra não coincide com a cota nominal (sua diferença é de 0.5), a probabilidade da metade esquerda é diferente da probabilidade da metade direita. A confiabilidade dimensional total para este Ponto P2 é calculada pela soma das probabilidades das duas metades do gráfico, ou seja, 49.53% mais 22.57% totalizando 72.10%.

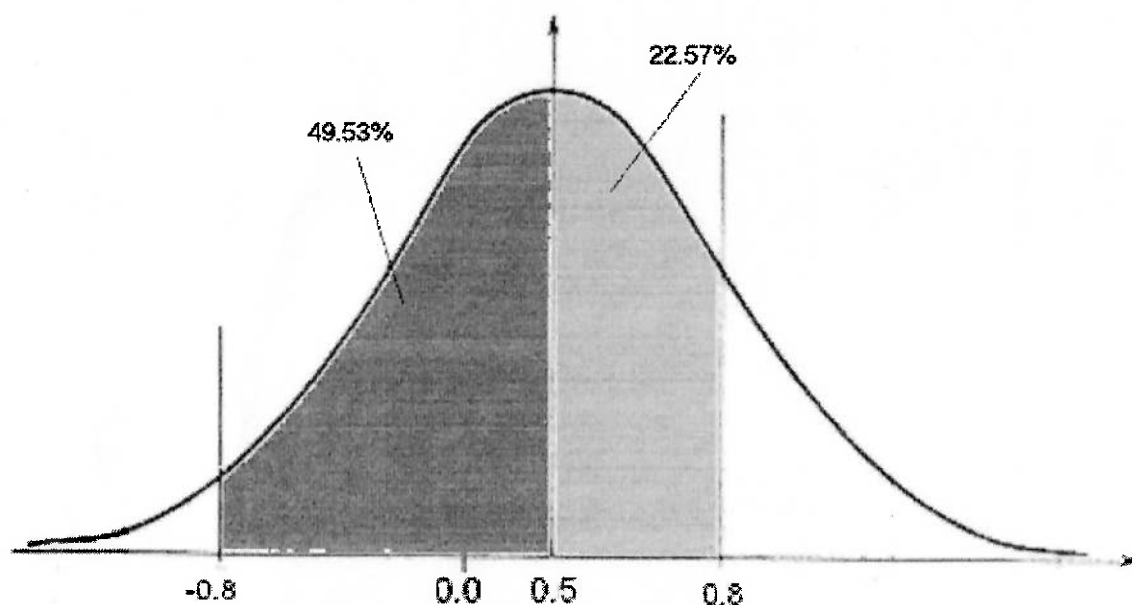


Figura 5.3. Confiabilidade do Ponto P2

Os valores das probabilidades de uma distribuição normal podem ser verificados conforme a tabela do Anexo.

Nota-se, observado a Tabela 5.1, a importância da visualização do valor da confiabilidade. Comparando-se os pontos P2, P3 e P4, apesar de P2 e P4 apresentarem erros de média bem mais baixos que P3 (0.2 e 0.5 contra -1.2), suas confiabilidades são mais baixas e é em P2 e P4 que a engenharia de manufatura deve priorizar os esforços para melhorar o processo produtivo.

5.2.2. Diagramas de Pareto

Para uma boa interpretação do Relatório de Diagrama de Pareto de CP, a capacidade do processo produtivo deve ser avaliada segundo o critério da Tabela 5.2. O CP mede a capacidade do processo com relação à sua dispersão. O conceito incapaz indica a incapacidade de processo em atender à meta de confiabilidade estipulada.

Tabela 5.2. Critério de Avaliação de CP, Juran; Gryna (1988)

CP > 1	Processo incapaz
0,75 < CP < 1	Processo capaz, observar com atenção
CP < 0,75	Processo perfeitamente capaz

Este critério de avaliação é válido para qualquer meta de confiabilidade (em quantidades de σ), não somente para 6σ , desde que o cálculo de CP considere esta meta conforme a Equação 5.1.

$$CP = (\text{META DE CONFIAB.}) / (\text{LIM. SUP.} - \text{LIM. INF.}) \quad (5.1)$$

No relatório da Figura 4.2 observa-se no Diagrama de Pareto que o limite de aceitação está especificado em valor igual a 3,0. Este limite deve ser ajustado pela Engenharia de Produção da fábrica seguindo a Tabela 5.2, diminuindo-o para o valor 1,0 se quiser identificar quando o processo é incapaz e para o valor 0,75 se quiser identificar um processo sob estado de atenção.

A recomendação para a especificação técnica de novos sistemas de medição similares a este é que o valor da meta de confiabilidade desejada possa ser inserido no sistema e que o cálculo de CP seja feito de acordo com a Equação 5.1.

O relatório da Figura 4.3, indicando a capacidade do processo como o inverso do CP, não se caracteriza, embora seja assim intitulado, como um Diagrama de Pareto, segundo sua definição em Shiba; Graham; Walden (1997) como um gráfico de barras que mostra o maior problema à esquerda seguido pelos problemas de importância menor. O uso deste tipo de relatório não é recomendado e pode ser desprezado, uma vez que as mesmas informações podem ser observadas no relatório de CP de forma mais bem organizada.

O relatório de porcentagem de capacidade da Figura 4.4 não agrega valor de informação, é apenas um relatório de CP com seus valores multiplicados por cem. Seu uso também não é recomendado e pode ser desprezado.

A indicação de CPK no relatório da Figura 4.5 foge à definição de um Diagrama de Pareto. Já que o maior problema deve ficar mais evidente e localizado à esquerda no gráfico, convém criar um índice que seja o inverso do CPK, mostrando-o no gráfico. A informação de CPK é importante para o controle do processo produtivo, pois indica o quão perto os valores das medições estão dos limites de especificação. A análise deste relatório deve guiar a Engenharia de Produção na ação de interferir no processo produtivo para deslocar o valor da média dos pontos mais críticos.

O Diagrama de Pareto de 6σ , ilustrado na Figura 4.6, mostra os valores de 6σ cada ponto, ordenando-os da maior dispersão para a

menor. Entretanto, a menos que todas as tolerâncias geométricas sejam iguais, a maior dispersão não significa necessariamente o maior problema. Se a dispersão for grande e a tolerância também for grande, o primeiro ponto do gráfico, apesar de apresentar a maior dispersão, poderá estar atingindo a meta de confiabilidade e não será um problema. Da maneira como está, este relatório pode induzir a interpretações equivocadas sobre o estado do sistema produtivo, seu uso deve ser feito com cautela. A recomendação de um novo relatório que o substitua, que deve ser exigido no momento da especificação técnica de futuras aquisições de sistemas de medição semelhantes, sugere um Diagrama de Pareto de *Erro da Meta de Confiabilidade* para cada ponto, calculado a partir de uma Meta de Confiabilidade que possa ser inserida no sistema, não necessariamente 6σ (99,73%), e da confiabilidade atingida de cada ponto da carroceria segundo a recomendação que consta na seção 5.2.1. O cálculo é mostrado a seguir na Equação 5.2.

$$\text{Erro da Meta de Confiab.} = \frac{\text{Meta de Confiab.} - \text{Confiab. Atingida}}{\text{Meta de Confiab.}} \quad (5.2)$$

Este cálculo é expresso em porcentagem e evidencia o quanto a confiabilidade dimensional atingida por determinado ponto da carroceria está fora da sua meta. Tomando os pontos da Tabela 5.1 como exemplo, e supondo que a meta de confiabilidade designada seja de 98%, os pontos P1, P2, P3 e P4 tem seus Erros da Meta de Confiabilidade resultando em 2,7%, 26,4%, -1,9% e 12,4% respectivamente, conforme ilustrado na Figura 5.4. O valor negativo de porcentagem indica que a meta foi ultrapassada.

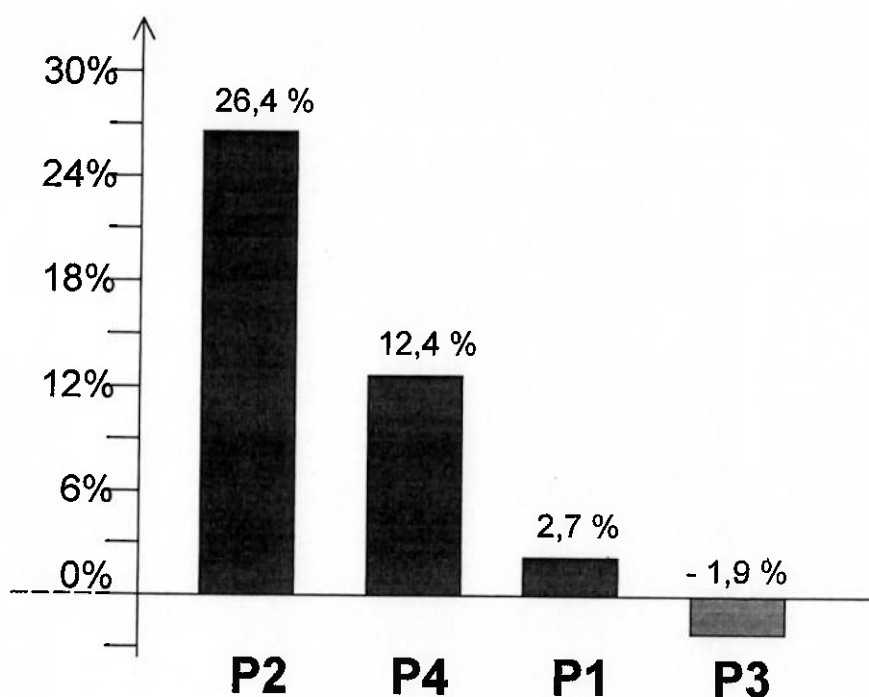


Figura 5.4. Diagrama de Pareto do Erro da Meta de Confiabilidade

O relatório de Pareto da Média, mostrado na Figura 4.7 também é outro caso em que deve haver cuidado na interpretação dos dados. A maior diferença para o valor zero não significa necessariamente que seja um problema. Durante a validação da carroceria e do processo produtivo ocorrem ajustes de montagem que acabam deslocando o valor dimensional ideal para um valor diferente do valor calibrado pelo equipamento de medição. Como a instalação do sistema de medição segue um cronograma de atividades e deve estar pronta antes da fase de validação do processo produtivo, a alternativa para contornar as diferenças de ajustes é deslocar os valores de tolerâncias dimensionais de um determinado ponto, conforme a necessidade, o que desloca automaticamente o valor equidistante entre eles que é a média. A recomendação de um novo relatório que o substitua, que deve ser exigido no momento da especificação técnica de futuras aquisições de sistemas de medição semelhantes, sugere um Diagrama de Pareto de *Erro da Média* para cada ponto, representado em termos percentuais e calculado segundo a Fórmula 5.3.

$$\text{Erro da Média} = \frac{|(\text{Lim. Sup.} - \text{Lim. Inf.}) - \text{Média Atingida}|}{\text{Lim. Sup.} - \text{Lim. Inf.}} \quad (5.3)$$

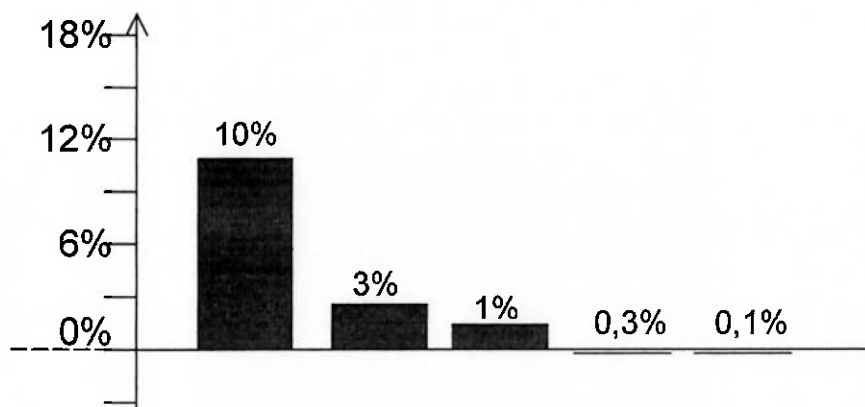


Figura 5.5. Diagrama de Pareto do Erro da Média

Este relatório estaria apresentando, então, o maior problema à esquerda, seguindo o conceito de Diagrama de Pareto. O valor percentual indicado na barra de medição de cada ponto estaria informando o quanto cada ponto estaria fora do valor de referência após a validação da carroceria e do processo produtivo. A Figura 5.5 ilustra um exemplo do Diagrama de Pareto do Erro da Média contido neste relatório.

5.2.3. Tendência do Valor Médio

Na carta de controle do relatório da Figura 4.8 observa-se que existe uma tendência de média para as primeiras setenta e três unidades da amostra que é diferente da tendência da média do restante da amostra. Numa coleta de amostra, esta situação pode ocorrer e é importante a avaliação cuidadosa do engenheiro de produção com relação à interpretação da informação.

Essa diferença de tendência do valor médio das dimensões medidas significa que houve um deslocamento do valor médio, e pode ser verificado no *Relatório Gerencial* como um deslocamento vertical da barra do ponto observado. Na prática, este deslocamento do valor médio dimensional pode ser causado por diversos fatores, entre eles a troca ou quebra de algum componente dos dispositivos de montagem, a operação de montagem fora do processo padrão, impurezas concentradas nos dispositivos de montagem, o retrabalho do dispositivo de montagem para alteração proposital do valor médio dimensional e mais uma gama de causas possíveis.

O engenheiro de produção deve ser cauteloso na separação das informações antes de iniciar as ações corretivas. Nesta amostra mencionada de noventa e seis unidades, o cálculo da média e do campo de dispersão 6σ resultou em 1,37 mm e 2,45 mm respectivamente. Os dados das medições das carrocerias na consideração dos cálculos desta seção são mostrados nos relatórios das Figuras 4.9 a 4.11. Estes valores podem induzir a erros, pois não refletem a realidade do processo produtivo com relação à sua confiabilidade e seus valores verdadeiros não são estes. Tomando-se as setenta e três primeiras unidades, a média é igual a 1,18 mm e o campo de dispersão 6σ é igual a 1,44 mm. Para as últimas vinte e três unidades da amostra, a média é igual a 1,95 mm e o campo de dispersão 6σ é igual a 1,45 mm. Percebe-se claramente que a dispersão se manteve constante, em valor menor do que a avaliação com cem unidades, e a média sofreu um deslocamento.

Na ocorrência desses casos, todos os demais relatórios com essas mesmas unidades de amostra vão apresentar resultados que não refletem a realidade daquele ponto observado. Por isso, o *Relatório de Carta de Controle* é fundamental na pré-análise dos demais relatórios que o sistema emite, identificando os pontos que podem trazer a

informação interpretada erroneamente pelo algoritmo do sistema de medição. Nesses casos, o engenheiro de produção deve redefinir a amostra de maneira de sejam analisadas separadamente as partes.

5.3. Considerações Gerais no Tratamento dos Dados

5.3.1. Confiabilidade Dimensional Total

A confiabilidade do sistema produtivo é medida nas variações dimensionais de cada ponto da carroceria, e cada um deles pode ter a confiabilidade dimensional calculada conforme mencionado na seção 5.2.1. A confiabilidade total é o produto das confiabilidades dos n pontos medidos, entendido como probabilidade de sucesso, que depende do sucesso de cada ponto. Assim, a consideração da confiabilidade dimensional (ou probabilidade de sucesso P) do sistema produtivo pode ser escrita segundo a Equação 5.4

$$P = P_1.P_2.P_3...P_n \quad (5.4)$$

Juran; Gryna (1988) mencionam que esta equação assume que a confiabilidade de uma parte é independente da confiabilidade de outra. Este princípio é discutido em maior profundidade por Evans apud Juran; Gryna (1988). Este modelo de representação pode não estar 100% correto, mas representa uma boa aproximação no cálculo da confiabilidade do sistema produtivo em questão. Recomenda-se, na aquisição de novos sistemas de medição, que o requerimento de cálculo total de confiabilidade da carroceria seja incluso como forma de relatório e calculado como mencionado acima.

5.3.2. Dispersão de Leitura dos Sensores

Em um sistema de medição, por melhores que sejam a repetibilidade e reprodutibilidade de leitura das medidas dos pontos, sempre existe um desvio de leitura, por menor que seja. A calibração dos sensores é essencial para o bom funcionamento do sistema de medição, e é garantida pela empresa que fornece este sistema. Nesta calibração, recomenda-se o uso de métodos apropriados de avaliação deste sistema utilizando uma mesma carroceria diversas vezes e coletando dados estatísticos que possam gerar um valor de *Desvio-Padrão da Medição* (σ_{MED}) que represente a variação observada.

Este valor de σ_{MED} deve ser considerado pelo algoritmo do sistema de medição no cálculo do Desvio-Padrão do Ponto (σ_{PONTO}) que irá fazer parte dos cálculos de confiabilidade do sistema produtivo e dos relatórios. Desta forma, o *Desvio-Padrão Observado* (σ_{OBS}) terá ambos σ_{MED} e σ_{OBS} como partes do seu valor conforme a Equação 5.5.

$$\begin{aligned}\sigma^2_{\text{OBS}} &= \sigma^2_{\text{PONTO}} + \sigma^2_{\text{MED}} \\ \sigma^2_{\text{PONTO}} &= \sigma^2_{\text{OBS}} - \sigma^2_{\text{MED}}\end{aligned}\tag{5.5}$$

Esta consideração dos desvios-padrão relacionados na Equação 5.5 deve ser exigida pela Engenharia de Processos nas novas aquisições de sistemas de medição para carrocerias.

5.4. Avaliação Econômica da Confiabilidade

Uma regra geral pode ser percebida: quanto mais dinheiro é alocado no processo de garantia da qualidade, maior é o grau de

confiabilidade do sistema produtivo. Por outro lado, quanto menor é o grau de confiabilidade, maiores são os possíveis custos com reparos, falhas, substituição de componentes, e reprojeção do sistema produtivo e com reparos, *recall*, serviços pós-vendas e garantia do produto, além da imagem e impactos na vendas.

É claro que deve existir um certo balanço entre um e outro, um ponto ótimo ou região ótima onde a soma dos custos com a garantia da qualidade na fábrica e com a garantia do produto no pós-vendas seja mínima.

Diversas variáveis influenciam esta estimativa de custo. A determinação deste ponto ótimo ou região ótima não é foco deste trabalho. Seu conteúdo é suficiente para gerar um trabalho específico, empregando-se técnicas financeiras e de engenharia de produção. Recomenda-se a leitura e uso de Taguchi (1989) desenvolvendo uma Função de Perda para este caso de estruturação de carrocerias de veículos.

6. CONCLUSÕES E CONTINUIDADE DO ASSUNTO

6.1. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo a análise de confiabilidade da estruturação de carrocerias de veículos, visando a determinação da qualidade da produção. Para tanto optou-se pela análise dos resultados das avaliações dimensionais da carroceria ao longo de seu processo de montagem, as quais são executadas com o emprego de um sistema de medição automatizado.

Ao longo da análise verificou-se que a metodologia empregada na avaliação dos resultados apresentados pelo sistema de medição Perceptron®, com a finalidade de determinar a confiabilidade e conseqüentemente a qualidade do sistema de produção, poderia induzir a erros de análise da qualidade deste processo.

Tendo em vista a melhoria do processo de avaliação dimensional das carrocerias, neste trabalho foram propostas modificações no procedimento atualmente utilizado pela General Motors, sendo alguns destes ressaltados nestas conclusões.

O sistema deve permitir a inserção do campo de dispersão admissível. Não deve ser imposta a dispersão fixa em 6σ ($\pm 3\sigma$). Pode ser aplicado aqui o conceito da Estratégia Seis Sigma. O Seis Sigma como estratégia, é, segundo Pande; Neuman; Cavanagh (2001), um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial, singularmente impulsionado por uma estreita

compreensão das necessidades dos clientes, pelo uso disciplinado de fatos, dados e análise estatística e a atenção diligente à gestão, melhoria e reinvenção dos processos de negócios. Neste contexto, a quantificação da confiabilidade do processo de produção de carrocerias gera informações importantes para a redução de custos, a melhoria da produtividade, a redução de defeitos e a melhoria da qualidade. Também orienta o tratamento que deve ser dado aos conjuntos metálicos e carrocerias produzidas quando estes se apresentarem fora da faixa de especificação do desenho de produto, determinando e padronizando a ação a ser tomada, baseada em um estudo de menor custo associado, por exemplo, através do cálculo da Função de Perda de Taguchi (1989). Deve-se ter conhecimento até onde vale o custo em empregar esforços para aumentar a confiabilidade.

A utilização dos Diagramas de Pareto é importante para o conhecimento dos problemas. Porém, mais importante do que isto é chegar às causas desses problemas. O uso de ferramentas de qualidade é fortemente recomendado nessa investigação das causas, permitindo à Engenharia de Produção e à Manutenção manter o fluxo de produção nos níveis projetados. Seu uso também contribui à Engenharia de Processos com o aumento da disponibilidade do sistema produtivo, permitindo que o planejamento das células e linhas de produção seja menos superestimado. Disponibilidade, segundo a ASQ, é a habilidade de apresentar-se em condições de realizar sua função projetada sob condições determinadas no momento em que é requerido. Recomenda-se o uso de Diagramas de Causa-e-Efeito (também conhecidos como Diagramas de Ishikawa ou Diagramas Espinha-de-peixe) a partir dos Diagramas de Pareto gerados pelos relatórios do equipamento de medição, conforme se observa nas Figuras 6.1 e 6.2. O Diagrama de Causa-e-Efeito, segundo Shiba; Graham; Walden (1997), reflete a profundidade com que a equipe de análise considerou as possíveis

causas básicas do problema, pois uma consideração superficial geraria um diagrama com apenas um ou dois níveis de ramificações. Após listar muitas causas possíveis no diagrama, eliminam-se as causas improváveis e pode-se dar foco às mais influentes.

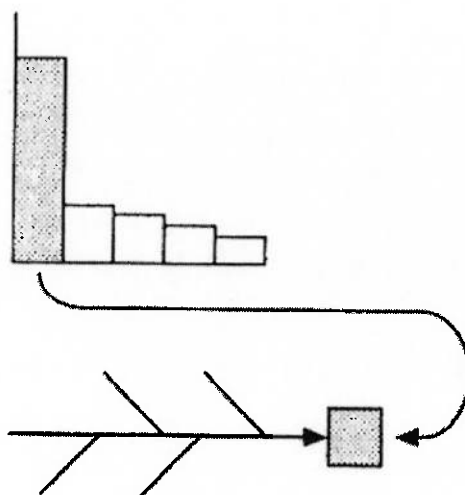


Figura 6.1. Do Diagrama de Pareto ao Diagrama de Causa-e-Efeito, Shiba; Graham; Walden (1997)

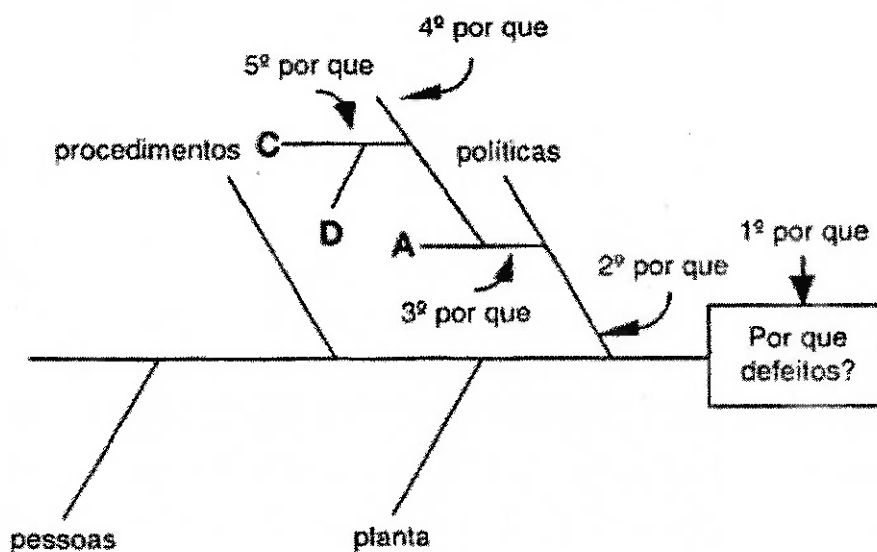


Figura 6.2. Diagrama de Causa-e-Efeito, Shiba; Graham; Walden (1997)

Outra ferramenta útil é a Análise da Árvore de Falhas, conhecida como FTA, do inglês *Fault Tree Analysis*, onde se podem identificar as possíveis causas primárias das falhas e elaborar uma relação lógica entre falhas primárias e a falha final. Esta ferramenta, exemplificada na Figura 6.3, é recomendada para o uso da Manutenção, contribuindo para minimizar o tempo médio de recuperação após falhas (TMRAF). A redução do TMRAF contribui para o aumento da disponibilidade do sistema produtivo, pois, considerando-se o tempo médio entre falhas (TMEF), tem-se que:

$$\text{DISPONIBILIDADE} = \text{TMEF} / (\text{TMEF} + \text{TMRAF}) \quad (6.1)$$

A ação da manutenção é importante na obtenção de um menor tempo de recuperação após falhas possível, contribuindo para o aumento da disponibilidade do sistema produtivo através da ação corretiva. Não menos importante é a ação preventiva da manutenção, que deve contribuir para manter a taxa de falhas estável no patamar mínimo possível.

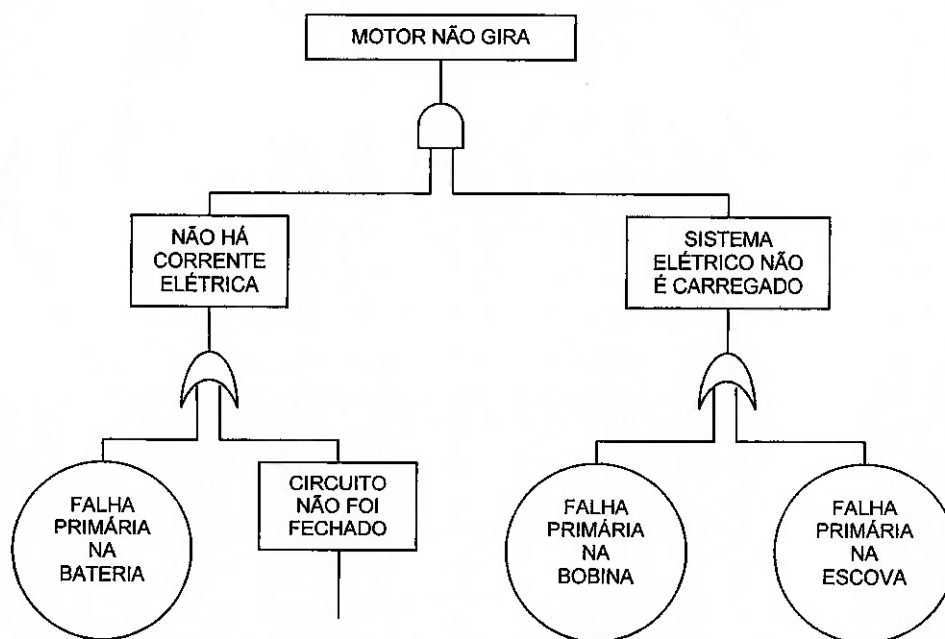


Figura 6.3. Exemplo de FTA

A análise das possíveis causas do problema é parte importante do diagnóstico gerencial da melhoria reativa, fazendo parte de uma das sete etapas do controle de qualidade mencionado por Shiba; Graham; Walden (1997), que são:

1. *Selecionar o tema*
2. *Coletar e analisar os dados*
3. *Analisar a causa*
4. *Planejar e implementar a solução*
5. *Avaliar os efeitos*
6. *Padronizar a solução*
7. *Refletir sobre o processo de resolução e o problema seguinte*

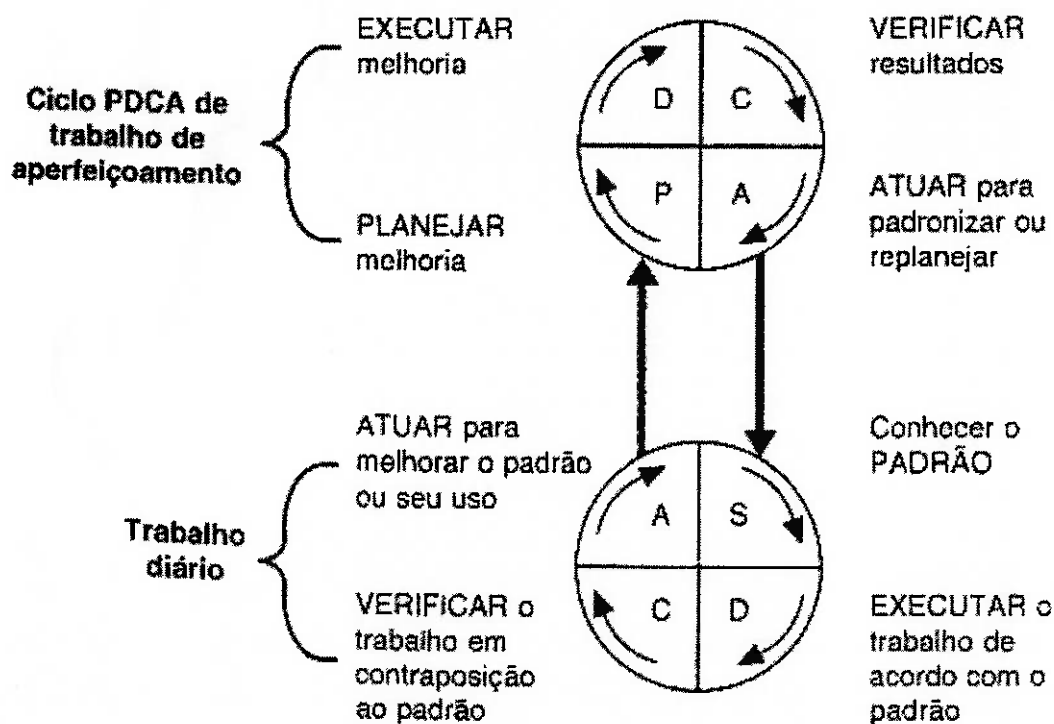


Figura 6.4. O Ciclo de Aperfeiçoamento SDCA/PDCA, Shiba; Graham; Walden (1997)

Estas etapas integram o ciclo PDCA de um processo de melhoria, integrando-o com o ciclo SDCA, ilustrado na Figura 6.4. Os ciclos de interligação entre SDCA e PDCA fornecem um sistema de aperfeiçoamento progressivo e contínuo do trabalho diário, e depende da gerência assegurar o sucesso das atividades dando suporte e recursos para sua realização.

Deve-se tomar o cuidado de não querer resolver todos os pontos fracos, identificados na análise de causas, de uma só vez. É importante que se avalie o resultado de cada modificação e o impacto de cada possível causa seguindo os ciclos mencionados acima.

Na avaliação macro do desempenho do sistema produtivo, o uso do *Relatório Gerencial* emitido pelo sistema de medição é fortemente recomendado. Ele permite visualizar, para cada ponto de medição, a média e o campo de dispersão $\pm 3\sigma$ com relação aos limites de tolerância especificados, direcionando as ações corretivas sobre o sistema de produção se devem ser no deslocamento da média ou no estreitamento da dispersão. Neste contexto, uma vez que a média e a dispersão estejam dentro dos limites de especificação, o ponto atende aos requisitos de qualidade, que a ASQ define como habilidade em satisfazer necessidades determinadas, e é inútil o esforço para um estreitamento maior da sua dispersão se ele já é capaz.

6.2. Recomendações para Futuros Trabalhos

Apresentam-se aqui as recomendações para trabalhos futuros que tenham relação com a indústria automotiva e o assunto exposto neste trabalho:

- Gerenciamento Direcionado no controle da confiabilidade de produção; pesquisa e descrição dos erros controláveis por gerenciamento na indústria.
- Comparativo de custo econômico entre a garantia da qualidade no sistema de produção e gastos com falhas, reparos, reprojeto e garantia do produto. Utilizar a Função de Perda de Taguchi (1989) para orientar a decisão de rejeitar, retrabalhar ou aceitar uma carroceria que tenha um ou mais pontos fora da tolerância especificada, estimando os limites de valores de variação que correspondam às decisões acima citadas. A ASQ define esta Função de Perda (em inglês é chamada de *Quality Loss Function*) como uma curva de aproximação parabólica da perda da qualidade que ocorre quando uma característica de qualidade desvia do seu valor esperado, aumentando o custo com o quadrado da variação do valor de qualidade esperado. É expressa em valores monetários.
- Estudo e determinação de melhor modelo de manutenção para dispositivos de montagem de carrocerias de forma a garantir a confiabilidade dimensional dentro de valores pré-estabelecidos considerando o comportamento da taxa de falha nos períodos estáveis e nos períodos de aumento da taxa devido a desgaste acentuado e deterioração. Manter relação com os resultados obtidos nas medições das carrocerias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY (ASQ), **Glossary**. Disponível em: <<http://www.asq.org/info/glossary/r.html>>. Acesso em: 09 de jul. 2002.
2. CORRÊA, H.L.; GIANESI, I.G.N. **Just in Time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico**. São Paulo: Atlas, 1993.
3. COUTO, H.A. **Ergonomia Aplicada ao Trabalho: o manual técnico da máquina humana**. v2. Belo Horizonte: Ergo Editora, 1996.
4. FREITAS, M.A.; COLOSIMO, E.A. **Confiabilidade: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1997.
5. GENERAL MOTORS CORP. Body Engineering Center. **Automotive Welding Handbook**. s.l. 1996. (Documento interno da Corporação).
6. _____. Truck Group. **Dimensional Engineering Seminar Workbook: Geometric Dimensioning and Tolerancing / Variation Simulation Modeling**. 2ed. s.l. 1999. (Documento interno da Corporação).
7. JURAN, J.M. (Ed.); GRZYNA, Frank M. (Ed.) **Juran's Quality Control Handbook**. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 1988.
8. KAMINSKI, P.C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
9. NÚCLEO DE MANUFATURA AVANÇADA (NUMA), **Projeto Robusto**. 1999. Responsáveis: Toledo, J.C.; Azeka, F.; Amaral, D.C. Disponível em: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/Projeto_robustov5.html>. Acesso em: 09 de jul. 2002.
10. PANDE, P.S.; NEUMAN, R.P.; CAVANAGH, R.R. **Estratégia Seis Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

11. SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. **TQM: Quatro Revoluções na Gestão da Qualidade**. Porto Alegre: Bookman, 1997.
12. TAGUCHI, G. **Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes**. Trad. Asian Productivity Organization. 6.ed. Hong Kong: Nordica International Limited, 1989.
13. TAYLOR, J.R. **An Introduction to Error Analysis**. 2.ed. Sausalito: University Science Books, 1997.
14. TICHÝ, M. **Applied Methods of Structural Reliability**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993.

APÊNDICE I – Simbologia de GD&T

The Language of Geometric Dimensioning & Tolerancing








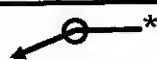
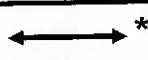
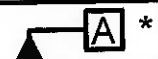
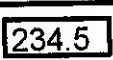

Geometric Characteristic Symbols

FEATURES	TYPE OF TOLERANCE	CHARACTERISTIC	SYMBOL
For Individual Features	Form	Straightness	—
		Flatness	
		Circularity (roundness)	○
		Cylindricity	
For Individual or Related Features	Profile	Profile of a Line	
		Profile of a Surface	
For Related Features	Orientation	Angularity	
		Perpendicularity	
		Parallelism	
	Location	Position	
		Concentricity	
		Symmetry	
	Runout	Circular Runout	
		Total Runout	

* Runout symbols may be filled or not filled

The Language of Geometric Dimensioning & Tolerancing

Additional Symbols and Modifiers

TERM	SYMBOL
Maximum Material Condition	
Least Material Condition	
Regardless of Feature Size **	
Free State Datum Modifier	
Projected Tolerance Zone	
Tangent Plane Modifier	
Diameter Symbol	
All Around Symbol	
Between Symbol	
Radius	R
Controlled Radius	CR
Datum Feature Symbol	
Basic Dimension (or Angle)	
Statistical Tolerance Symbol	

* Symbols may be filled or not filled

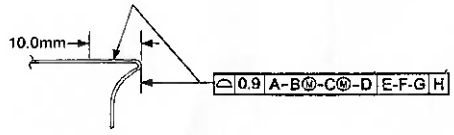
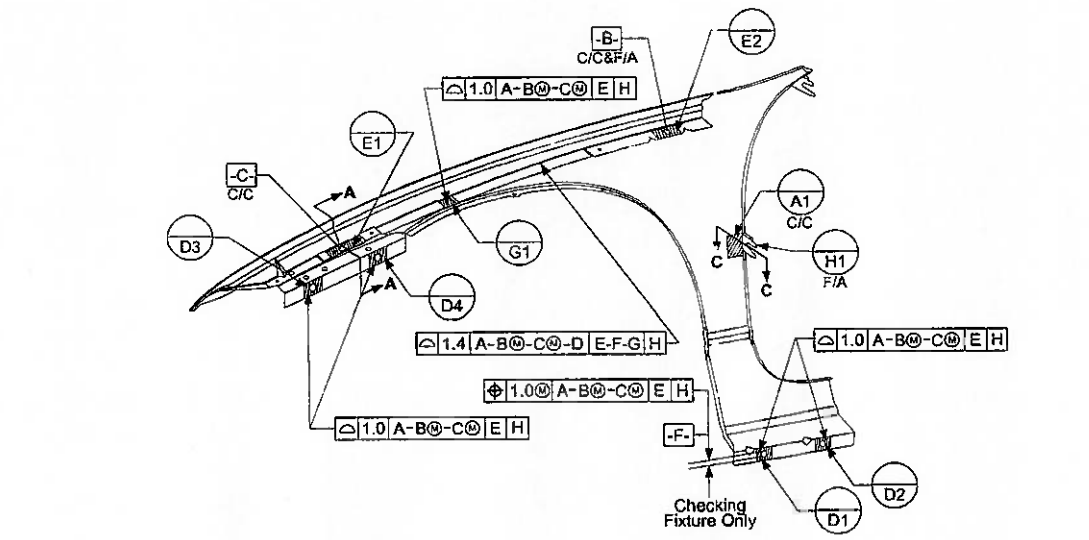
** The RFS symbol is no longer used per ASME Y14.5M-1994. It is applicable only on drawings using earlier standards.

**GM Bill of Process
Common Datum Locating Strategy
GD&T Critical Features**

Document Number

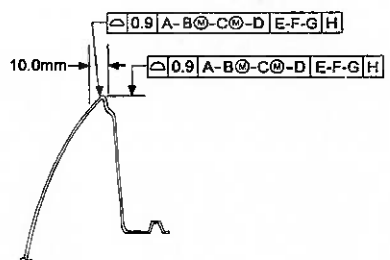
Date: 12JA00
Revision: Draft

Fender

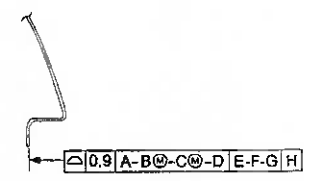


Section C-C

Datum	Priority	Description
A1	P	Cross/Car Surface
B	P	Fore/Aft and Cross/Car Gage Hole
C	P	Cross/Car Gage Slot
D1-D4	A	Cross/Car Surface
E1-E2	P	Up/Down Surface
F	A	Up/Down Hole
G1	A	Up/Down Surface
H1	P	Fore/Aft Surface



Section A-A



Section B-B

Note: Maximum 1.5mm OSM non-hemmed panel fit radii.

APÊNDICE II – Fabricantes de Equipamentos

A tabela abaixo lista os endereços eletrônicos de alguns fabricantes de equipamentos utilizados na montagem de carrocerias de veículos. Acesso em 18 de agosto de 2002.

Nome	Endereço Eletrônico	Atuação
Leica Geosystems	http://www.leica-geosystems.com/ims	Sistemas de medição
Fronius	http://www.fronius.com	Equipamentos de solda
British Federal	http://www.britishfederal.com	Equipamentos de solda
Thermadyne	http://www.thermadyne.com	Equipamentos de solda
Medar	http://www.medar.com	Controladores de solda
Perceptron	http://www.perceptron.com	Sistemas de medição
Tecna	http://www.tecna.net	Equipamentos de solda
Dengensha	http://www.dengensha.com	Equipamentos de solda
Sicamet	http://www.sicamet.com	Equipamentos de solda
Bosch Rexroth	http://www.boschrexroth.com/BoschRexroth/country_units/america/united_states/en/products/brc/products_catalogs/resistance_welding/index.jsp	Controladores de solda
Eckold AG	http://www.eckold.com	Equipamentos de montagem
Comau	http://www.comau.com	Sistemas de Manufatura
Hiramatsu Brasil	http://www.hiramatsu.com.br	Sistemas de Manufatura
Kuka	http://www.kuka.com	Robôs
ABB	http://www.abb.com	Robôs
Aro	http://www.aronet.com	Equipamentos de solda
Fase	http://www.fasesaldatura.it	Equipamentos de solda
Serra	http://www.serrasold.com	Equipamentos de solda
Nadex	http://www.nadex.co.jp/e/index.htm	Equipamentos de solda
Obara	http://www.obara.co.jp/English/index.html	Equipamentos de solda
Fanuc	http://www.fanuc.co.jp/eindex.htm	Robôs
Lincoln Electric	http://www.lincolnelectric.com	Equipamentos de solda
Miller	http://www.millerwelds.com	Equipamentos de solda
Tucker	http://www.tucker.com	Controladores de solda