

FLÁVIO MASAMI SAITO

OTIMIZAÇÃO DO PISTÃO PARA  
REDUÇÃO DE CONSUMO DE ÓLEO

Trabalho de formatura apresentado  
à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para  
obtenção da graduação em  
Engenharia Mecânica com ênfase  
em Projeto e Fabricação

8,5 (oitos pontos)  
L. C. M.

São Paulo  
2000

**DEDALUS - Acervo - EPMN**



31600005983

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PMC 581  
PROJETO MECÂNICO II

*Otimização do Pistão para Redução de  
Consumo de Óleo*

Aluno: Flávio Masami Saito

Prof. Coordenador: Edson Gomes

Prof. Orientador: Francisco E. B. Nigro

# Sumário

<b>1</b>	<b>RESUMO DO PROJETO .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>FATORES QUE INFLUENCIAM NO CONSUMO DE ÓLEO LUBRIFICANTE.....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>NOÇÕES BÁSICAS .....</b>	<b>7</b>
4.1	PISTÃO .....	7
4.1.1	<i>Nomenclatura do pistão .....</i>	<i>8</i>
4.1.2	<i>Temperaturas.....</i>	<i>12</i>
4.1.3	<i>Ovalização e Perfil (Abaulamento).....</i>	<i>12</i>
4.1.4	<i>Consumo de óleo .....</i>	<i>14</i>
4.2	ANEL.....	15
4.2.1	<i>Consumo de óleo .....</i>	<i>16</i>
<b>5</b>	<b>ESTUDO DO PISTÃO “BASELINE” .....</b>	<b>20</b>
5.1	CONCEPÇÃO INICIAL .....	20
5.2	ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS.....	23
5.2.1	<i>Objetivos.....</i>	<i>23</i>
5.2.2	<i>Simulação do ciclo do motor.....</i>	<i>25</i>
5.2.3	<i>Análise térmica através do MEF.....</i>	<i>29</i>
5.2.4	<i>Simulação do movimento secundário do pistão .....</i>	<i>32</i>
5.2.5	<i>Análise estrutural através do MEF .....</i>	<i>35</i>
5.2.6	<i>Fator de segurança.....</i>	<i>38</i>
5.2.7	<i>Conclusão.....</i>	<i>41</i>
<b>6</b>	<b>OTIMIZAÇÃO DO PISTÃO .....</b>	<b>43</b>
6.1	TECNOLOGIAS APLICÁVEIS PARA PISTÃO E ANEL .....	43
6.2	SIMULAÇÃO NUMÉRICA.....	45
6.3	TESTES EM MOTOR.....	50
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>54</b>

## 1 Resumo do Projeto

Para atingir os objetivos deste trabalho, o projeto foi dividido em duas partes. A primeira parte, realizada no primeiro semestre, continha o estudo detalhado do pistão e do anel, sempre tendo em vista quais parâmetros das peças poderiam ser modificados a fim de proporcionar uma redução no consumo de óleo lubrificante. No segundo semestre o projeto esteve mais focalizado no desenvolvimento do pistão para um motor 1.8L, ou seja, foram realizadas simulações numéricas e testes em dinamômetros para que no final a alternativa mais adequada pudesse ser adotada.

Deve-se salientar que a primeira concepção do pistão para este motor já foi elaborada, produzida e testada. Pelo fato dos resultados não terem sido satisfatórios com relação ao consumo de óleo, o projeto foi modificado parcialmente para que apresentasse melhor desempenho, sempre com o cuidado de não prejudicar outras características como potência, desgaste e blow-by. É exatamente neste ponto que está inserido este trabalho de otimização.

A primeira versão do pistão, aquela que apresentou altas taxas de consumo de óleo, foi baseada em um outro pistão já homologado. Portanto muitas variáveis como ovalização, perfil lateral, diâmetros, altura dos lands, alturas das canaletas e pacote de anéis não partiram do zero, ou seja, de um cálculo detalhado de acordo com as normas. Vale ressaltar que esta é uma prática comum que reduz o tempo e os custos envolvidos no projeto, fatores extremamente importantes nos dias atuais. Por motivos didáticos, fez-se uma checagem nos principais parâmetros do pistão, seguindo uma norma adequada. Assim, houve a oportunidade de conhecer todas as etapas deste projeto, desde a primeira concepção até a versão final que foi otimizada de acordo com os resultados das simulações e testes em motor.

## **2 Introdução**

Como parede móvel de transmissão de forças, o pistão, juntamente com os anéis de pistão, tem a função de vedar a câmara de combustão contra a passagem de gás e do fluxo do óleo de lubrificação em todas as condições de carga.

A redução do consumo de óleo lubrificante tem sido uma das principais metas dos fabricantes de motores, devido a crescente rigidez das normas ambientais. Atualmente, cerca de 40% dos poluentes particulados tóxicos lançados à atmosfera por estes motores provém da queima do óleo lubrificante.

Dentro deste contexto, este projeto de otimização do pistão para redução de consumo de óleo é de vital importância para a indústria automobilística. O projeto tem como objetivos principais: estudar os mecanismos de consumo através do pistão e do anel, analisar as alternativas existentes e combiná-las de modo a obter o melhor desempenho, desenvolver um projeto novo para um caso real de um motor 1.8L, realizar simulações numéricas para minimizar a quantidade de testes em dinamômetros, e por fim atingir a melhor alternativa.

### **3 Fatores que influenciam no consumo de óleo lubrificante**

Existem diversos fatores que influenciam a maneira pela qual o óleo se desloca do cárter para a câmara de combustão. Os principais aspectos podem ser divididos em quatro grupos:

- Concepção do Motor: rotação, pressão média efetiva, pressão de alimentação, pressão negativa no sistema de admissão e na câmara de combustão, folgas nas bronzinas.
- Óleo lubrificante: viscosidade, temperatura do óleo, tendência à evaporação do óleo, envelhecimento do óleo, pressão do óleo.
- Pistão: Folga da saia do pistão, folga da cabeça do pistão, folga na região acima do anel de óleo, erro de perpendicularidade dos lados dos canaletes, drenagem do óleo.
- Cilindro: distorção do cilindro, rugosidade da superfície de trabalho, riscos e danos na superfície de trabalho, qualidade do brunimento.

## 4 Noções Básicas

### 4.1 Pistão

A principal função do pistão consiste em receber a força da pressão de combustão da mistura do combustível com o ar e transmiti-la através do pino do pistão e da biela para o virabrequim.

Como parede móvel de transmissão de forças, o pistão e os anéis devem vedar a câmara de combustão contra a passagem de gás e do fluxo do óleo de lubrificação em todas as condições de carga. O constante aumento de potência dos motores de combustão interna faz com que as exigências em relação ao desempenho dos pistões sejam cada vez maiores.

Apenas para exemplificar, na rotação de 6000 rpm de um motor Otto, com pressão de pico do cilindro de 75 bar e diâmetro de 90 mm, o pistão é carregado com aproximadamente 5 toneladas, 50 vezes por segundo.

As exigências em relação ao projeto e materiais do pistão muitas vezes são antagônicas. Isto porque o pistão deve ser capaz de se adaptar a diferentes condições operacionais, trabalhar com segurança para não ocorrer engripamento e ao mesmo tempo proporcionar um funcionamento macio, deve ser leve e possuir alta estabilidade, ter baixo consumo de óleo e baixos valores de emissões nocivas. Todos os parâmetros do pistão devem ser balanceados cuidadosamente para cada tipo de motor. A solução mais adequada, cuja forma definitiva normalmente é encontrada através de testes, pode ter resultados bastante variados.

4.1.1 Nomenclatura do pistão

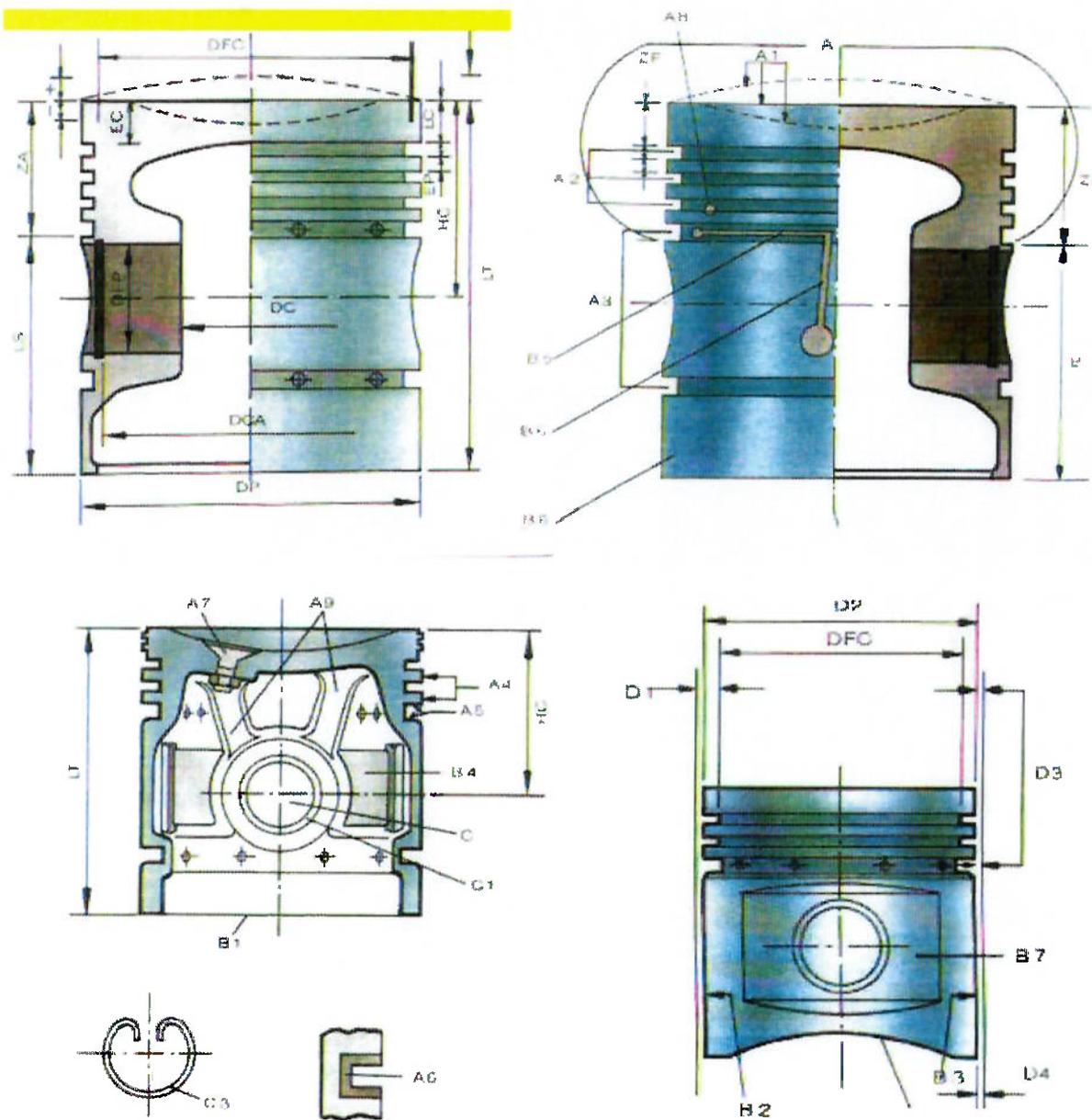


Figura 1: Nomenclatura do pistão

DP = diâmetro nominal do pistão

HC = altura de compressão

+ Saliência (ressalto)

- Depressão (rebaixo)

LT = comprimento total do pistão

EC = espessura da cabeça

ZF = zona de fogo

ZA = zona de anéis

LS = comprimento da saia

DC = distância entre os cubos

DCA = distância entre canaletas para argolas

DFP = diâmetro do furo para pino

EP = espessura da parede entre canaletas

LC = largura da canaleta

DFC = diâmetro do fundo da canaleta

A – CABEÇA – Parte superior do pistão, situada acima da saia, onde estão localizadas todas ou quase todas as canaletas para anéis.

A1 – TOPO – Superfície superior da cabeça contra a qual os gases de combustão exercem pressão. Pode ser plana, côncava, convexa, possuir rebaixos para válvulas, câmaras de combustão, etc.

ZA – ZONA DE ANÉIS – Parte da cabeça, onde estão localizadas as canaletas para os anéis.

ZF – ZONA DE FOGO – Parte da zona dos anéis compreendida entre o topo e a primeira canaleta. Nesta zona poderão existir ressaltos ou ranhuras para redução do atrito com a parede do cilindro e atuar como barreira térmica.

A2 – CANALETAS PARA ANÉIS DE COMPRESSÃO – Canaletas situadas ao longo da circunferência do pistão, na parte superior da zona dos anéis.

A3 – CANALETAS PARA ANÉIS DE ÓLEO – Canaletas ao longo da circunferência do pistão, na parte mais baixa da zona dos anéis e em alguns casos também na saia do pistão. São geralmente mais largas do que as para anéis de compressão e tem orifícios ou fendas no fundo para o retorno do óleo lubrificante.

A4 – PAREDES ENTRE CANALETAS – As partes da zona dos anéis que separam duas canaletas entre si. Também chamado de “lands”

A5 – FUNDO DAS CANALETAS – Profundidade das canaletas que limita o movimento radial dos anéis.

A6 – PORTA ANEL – Uma ou mais inserções de aço ou de ferro fundido, num pistão de liga de alumínio, ligada metalúrgica ou mecanicamente, durante o processo de fundição nas quais são usinadas canaletas para anéis de compressão.

A7 – PLUGUE – Peça de aço, inserida no topo do pistão de motores Diesel, com a finalidade de proteger a zona de injeção.

A8 – PINOS DE SEGURANÇA – Pinos inseridos nas canaletas com a finalidade de evitar a rotação dos anéis, geralmente usados nos motores de dois tempos.

A9 – NERVURAS – Reforços nas paredes internas do pistão.

B – SAIA – Parte do pistão compreendida entre a cabeça e a boca. A saia forma uma superfície de deslizamento e guia do pistão dentro do cilindro.

B1 – BOCA – A extremidade inferior aberta do pistão.

B2 – SUPERFÍCIE DE CONTATO DE MAIOR PRESSÃO – Parte da saia do pistão que suporta o maior esforço lateral.

B3 – SUPERFÍCIE DE CONTATO DE MENOR PRESSÃO – Parte da saia do pistão diametralmente oposta à superfície de contato de maior pressão.

B4 – CHAPAS AUTOTÉRMICAS – Chapas de aço inseridas na parte interna do pistão, na região dos cubos, durante o processo de fundição.

B5 – FENDAS TRANSVERSAIS – Cortes no fundo da canaleta de óleo, ou logo abaixo da mesma, com a finalidade de permitir passagem de óleo, e servir como barreira térmica e dar maior flexibilidade à saia.

B6 – FENDAS LONGITUDINAIS – Corte na saia, com a finalidade de permitir maior elasticidade da mesma e de controlar a sua expansão térmica.

B7 – ESPELHOS – Rebaixos existentes na saia, na região do furo para pino, geralmente não usinados.

B8 – EXCÊNTRICOS – Rebaixos usinados na saia, na região do furo para pino. Distinguem-se dos espelhos por serem de pequena profundidade e concordarem com a ovalização do pistão.

B9 – ANEL AUTO-TÉRMICO – Anel de aço engastado no pistão durante o processo de fundição. Tem a finalidade de controlar a dilatação térmica.

C – FURO PARA PINO DO PISTÃO – Furo situado na saia para alojamento do pino do pistão. Nas extremidades da superfície interna do furo para pino, pode haver canaletas para alojamento de travas do pino. O furo para pino pode ser centrado ou deslocado lateralmente em relação à linha de centro do pistão.

C1 – BUCHA DO FURO PARA PINO DO PISTÃO – Bucha de metal colocada no furo para o pino do pistão, usada geralmente em pistões de ferro fundido.

C2 – PINO DO PISTÃO – Peça de aço, tratada termicamente, que serve de articulação entre o pistão e a biela.

C3 – TRAVAS – Peças de aço, geralmente em forma de argola, destinadas a limitar o movimento longitudinal do pino.

C4 – PROTETORES DO CILINDRO – Peças de alumínio montadas nas extremidades do pino, a fim de evitar o contato do mesmo com as paredes do cilindro.

C5 – CUBOS – Partes internas do pistão, onde se localiza o furo para pino.

D1 – PROFUNDIDADE DAS CANALETAS – Metade da diferença entre o diâmetro do cilindro e o diâmetro do fundo das canaletas.

D2 – DIÂMETRO DA ZONA DOS ANÉIS – Diâmetro do pistão na zona de fogo e nas paredes entre as canaletas. Em certos pistões todos esses diâmetros são iguais. Em outros, os diâmetros são crescentes a partir do topo do pistão.

D3 – FOLGAS NA ZONA DOS ANÉIS – Diferenças entre os diâmetros da zona dos anéis e o diâmetro dos cilindros (D3 indica metade da folga).

D4 – FOLGA NA SAIA – Diferenças entre o maior diâmetro da saia do pistão e o diâmetro do cilindro (D4 indica metade da folga).

D5 – FOLGA CUBOS-BIELA – Diferença entre a largura da biela e a distância entre cubos (D5 representa a metade da folga).

CONICIDADE DA SAIA DO PISTÃO – Diferença entre o maior diâmetro da parte inferior e o diâmetro da parte superior da saia, sendo os diâmetros medidos nas superfícies de contato.

OVALIDADE DO PISTÃO – Forma circunferencial do pistão para proporcionar contato e folga adequada com o cilindro sob todas as condições normais de temperatura e carga.

#### 4.1.2 Temperaturas

A figura abaixo mostra uma distribuição de temperaturas típica de um pistão, na cabeça e ao longo da saia para um motor ciclo Diesel e para um motor ciclo Otto, em condições de plena carga.

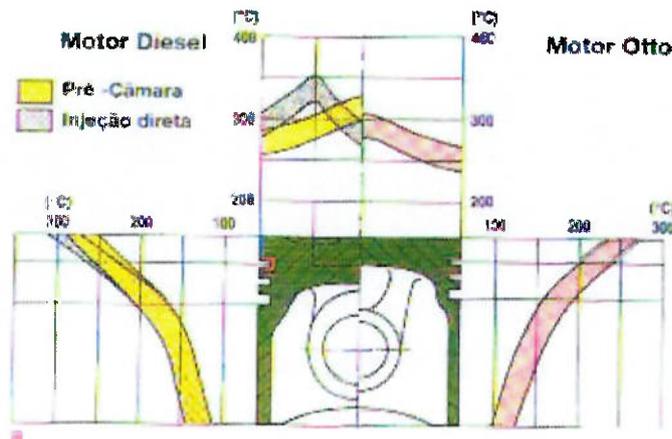


Figura 2: Temperaturas típicas em um pistão

As maiores temperaturas atingidas se concentram no centro da cabeça do pistão. Estes picos são influenciados pela forma da cabeça do pistão, pelo processo de combustão e de outro detalhes do projeto do motor. A temperatura máxima também pode ocorrer na borda da câmara de combustão ou no ponto de encontro do jato da chama da ante câmara na cabeça do pistão.

Além das temperaturas máximas que ocorrem, é de grande importância a variação da temperatura do pistão em função das condições de operação, isto é, de acordo com a rotação do motor, da quantidade de combustível injetado, do ponto de ignição e da temperatura do meio de refrigeração.

#### 4.1.3 Ovalização e Perfil (Abaulamento)

A figura 3 é uma síntese das tensões mecânicas e campo térmico a que ficam submetidos os pistões em trabalho. Estas tensões e temperaturas tendem a modificar a forma axial e radial do pistão. A solução para este problema é

usinar os pistões com perfil específico de maneira que somente sob carga e sob variações da temperatura de trabalho, ele adquira a forma do cilindro do motor.

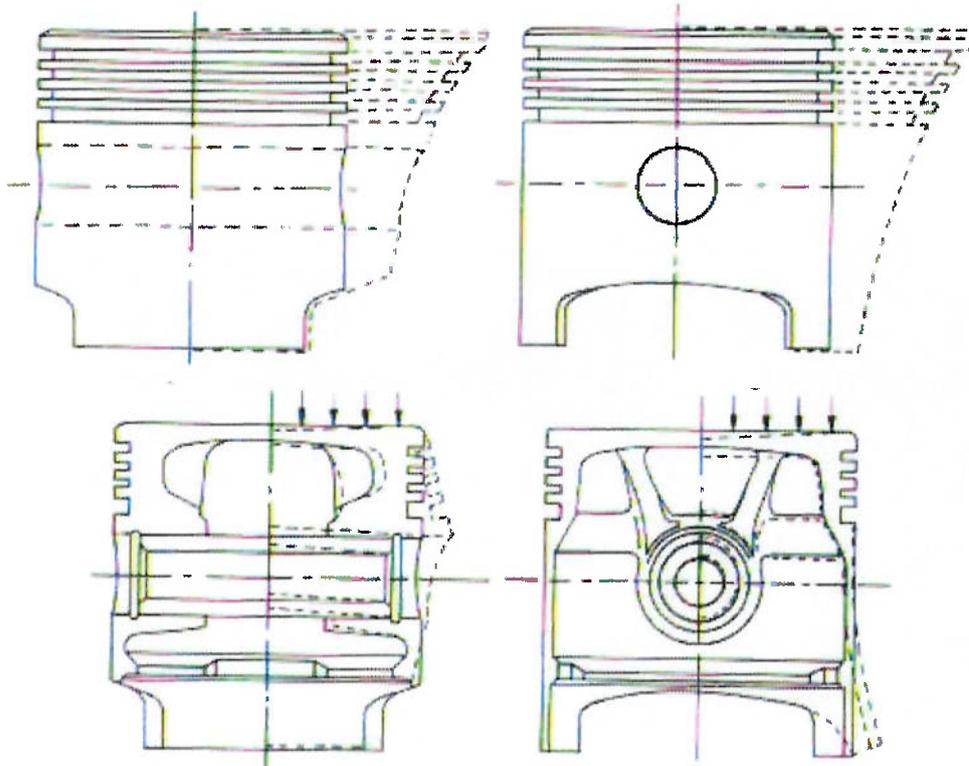


Figura 3: Deformações no pistão em funcionamento

A forma resultante é extremamente complexa, variando o raio ao longo do eixo e do qual resulta, por exemplo, a forma de barril. Como as seções resultantes também não são circulares, deve-se incorporar na usinagem a ovalização como se observa na figura 4. As tolerâncias de fabricação do pistão são da ordem de centésimo de milímetro, chegando no furo para pino a alguns milésimos de milímetro. Essas tolerâncias exigem que a inspeção dimensional dos pistões seja efetuada em salas com a temperatura ambiente controlada, porque a própria dilatação do material com a variação da temperatura ambiente tem influência na precisão da usinagem.

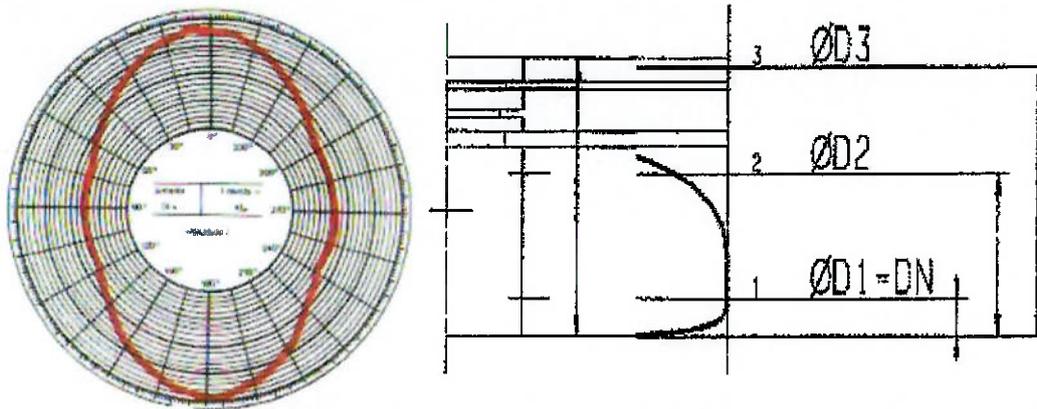


Figura 4: Ovalização e Perfil da Saia

#### 4.1.4 Consumo de óleo

Embora a maior influência com relação ao consumo de óleo de um motor seja relacionada aos anéis, principalmente os anéis da terceira canaleta, existem algumas variáveis que podem ser melhoradas em um pistão para um projeto de otimização. As principais características serão apresentadas a seguir.

##### Furo de retorno de óleo

Na região da terceira canaleta, onde estão os anéis raspadores, é possível adicionar furos de retorno de óleo. O excesso de óleo que é acumulado nesta região durante o funcionamento pode assim “escapar” pelo furo, evitando que este excesso suba e seja queimado pela combustão.

##### “Lágrima”

A lágrima é um rasgo na região acima do espelho, ou seja, na região do pistão onde não há saia. Assim como o furo, funciona como um dreno de óleo. Pode ser simples, localizada na direção do furo para pino, ou dupla, localizada nas regiões próximas à saia. A vantagem deste recurso com relação ao furo de óleo é a economia de uma operação de usinagem no pistão, ou seja, a lágrima já vem preparada no pistão bruto. O único problema é que dependendo do design, a lágrima pode impedir o movimento de rotação dos anéis dentro da canaleta, prejudicando o desempenho geral.

### Altura da terceira canaleta

Uma redução desta altura diminui a folga existente entre o anel e as paredes inferior e superior da canaleta. Assim, o volume de óleo que eventualmente fica acumulado nesta região é menor.

### Folga entre anel e pistão

Da mesma forma que o volume de óleo acumulado é reduzido pela diminuição da altura, pode-se também aumentar o diâmetro da canaleta a fim de reduzir a folga entre o anel e o pistão. Com uma folga menor, menos óleo fica alojado na parte interna da canaleta.

### Terceiro Land

Uma redução de altura do terceiro land auxilia no assentamento do segundo anel em sua canaleta. Isto faz com que este anel trabalhe melhor, reduzindo blow-by e consumo de óleo.

### Chanfro no início da saia

Tem a função de facilitar o fluxo de óleo na região da terceira canaleta. Quanto melhor o fluxo, menor a quantidade de óleo que pode ser queimada.

### Ovalidade e perfil da saia

Um ajuste na ovalidade ou no perfil pode otimizar o desempenho do pistão não apenas na distribuição de tensões, mas também no blow-by e consumo de óleo.

## **4.2 Anel**

Os requisitos básicos dos anéis de pistão não mudaram com o passar do tempo. Basicamente são 3 os requisitos:

- Promover uma vedação efetiva dos gases de combustão (controle de “blow-by”)

- Impedir que uma quantidade excessiva de óleo lubrificante atinja a câmara de combustão (controle de óleo)
- Funcionar como elemento de transmissão de calor do pistão para a camisa de água de refrigeração do cilindro.

A primeira e a terceira função são totalmente resultantes dos anéis de compressão, mas a segunda é um esforço conjunto dos anéis de compressão e de óleo.

A partir da primeira crise de energia em 1973, o conseqüente acréscimo nos custos do combustível e lubrificante gerou novas necessidades de uma maior durabilidade e potência, o que colocou o projeto dos anéis de pistão diante de novas exigências: melhor vedação, redução de consumo de óleo, maior resistência ao desgaste, maior resistência ao "scuffing", redução do tempo de assentamento e projeto com baixo atrito.

Mais recentemente, com as legislações sobre emissão de poluentes, surgiram novos desafios com relação à performance e durabilidade dos anéis. Estes desafios estão sendo superados com o aprimoramento tecnológico dos processos de fabricação e o desenvolvimento de novas alternativas de material base, coberturas e perfis de anéis.

#### 4.2.1 Consumo de óleo

##### **1° Canaleta**

Ainda que o anel da primeira canaleta seja basicamente considerado como um elemento de vedação entre a câmara de combustão e o cárter, o anel pode influenciar consideravelmente no consumo de óleo.

##### Pressão de contato

A pressão de contato é definida como o quociente entre a força radial e a área da superfície de deslizamento. Seu valor afeta a espessura do filme de óleo entre o anel e a superfície de trabalho do cilindro. Entretanto a sua variação é limitada porque o engripamento e o desgaste excessivo devem ser evitados no ponto morto superior e inferior.

#### Superfície de contato abaulada

O anel com face abaulada apresenta melhores características de amaciamento e bom controle de óleo e de blow-by.

#### Chanfro interno, rebaixo interno

Devido a um rebaixo ou chanfro interno quando o anel é comprimido em sua condição de montagem, sua seção transversal sofre uma torção. Assim, em situações de baixa pressão, a linha de contato da superfície de deslizamento do anel se desloca para baixo, melhorando o consumo de óleo.

#### Folga Lateral

Em condições operacionais um aumento na folga lateral resulta em um aumento no consumo de óleo. Existe uma relação conhecida através de experiências: se o aumento na folga lateral excede 0,05 mm em motores ciclo Otto e 0,1 mm em motores ciclo Diesel, pode-se esperar que o consumo de óleo dobre de valor.

#### Construção dos chanfros periféricos

O consumo de óleo aumenta junto com o tamanho dos chanfros e com o tamanho do raio da transição entre a superfície periférica e os chanfros.

## **2° Canaleta**

Em sua função de raspador de óleo, o anel da segunda canaleta pode ser mais bem otimizado, já que nesta região a pressão dos gases é menor. As

características individuais do primeiro anel também são válidas para o segundo anel. Além dessas, as seguintes variações são possíveis:

#### Anel Napier

Uma redução no consumo de óleo resulta na troca de um anel de face cônica na segunda canaleta por um anel Napier. Este anel possui uma seção transversal na forma de um gancho, ajudando na raspagem de óleo.

#### Anel com torção negativa

Estes anéis podem reduzir o consumo de óleo quando ocorrem frequentemente situações de uso do motor em marcha lenta ou como freio.

### **3° Canaleta**

O anel de óleo tem uma influência muito forte no controle do consumo de óleo. A exigência para consumo de óleo cada vez menor somada a tendência de se construir motores mais leves, torna necessário em muitos casos o uso de anéis de óleo com mola helicoidal.

#### Pressão de Contato

A mais importante característica dos anéis de óleo é a pressão de contato. Com base em trabalhos publicados previamente, a dependência de consumo de óleo em relação à pressão de contato pode ser expressa em um gráfico razoavelmente linear.

#### Altura do Anel

Pela experiência, sabe-se que o consumo de óleo é reduzido à medida que a altura do anel diminui. Uma redução na altura de 1 mm faz com que o consumo caia 20%. Face ao desvio radial das faces de contato, devido às técnicas de produção e também a inclinação do pistão, às vezes apenas uma das faces do anel de óleo tem contato com o cilindro. Se o anel possui altura menor, também a distância da face deslocada até o cilindro será menor.

#### Forma do Canto Periférico

Diferentes formas dos cantos periféricos resultam em diferentes valores de consumo de óleo.

#### Folga Lateral

Uma redução na folga lateral resulta, na maioria dos casos, em redução do consumo de óleo.

#### Deslocamento da Face de Contato

Deslocamento da face de contato é a diferença entre as distâncias das faces de contato em relação à superfície do cilindro, ocasionada durante a produção. No período de amaciamento, o deslocamento da face de contato tem um efeito negativo no consumo de óleo se a face superior não está em contato com o cilindro. Se as duas faces estão em contato, não há qualquer influência efetiva.

## 5 Estudo do pistão “baseline”

A versão do pistão baseline, aquela que apresentou altas taxas de consumo de óleo, foi baseada em um outro pistão já homologado. Portanto muitas variáveis como ovalização, perfil lateral, diâmetros, altura dos lands, alturas das canaletas e pacote de anéis não partiram do zero, ou seja, de um cálculo detalhado de acordo com as normas. Vale ressaltar que esta é uma prática comum que reduz o tempo e os custos envolvidos no projeto, fatores extremamente importantes nos dias atuais.

### 5.1 *Concepção inicial*

Devido à complexidade da peça e o tempo restrito, não se analisará neste trabalho todas as dimensões de um pistão, mas apenas as principais dimensões. Através desta análise pretende-se verificar a funcionalidade do componente, ou seja, se ele é capaz de suportar mecanicamente e termicamente as cargas provenientes da combustão.

São necessários portanto alguns dados do motor em que o pistão será colocado em funcionamento, assim como: ciclo Otto ou ciclo diesel, diâmetro do cilindro, número de cilindros, curso do pistão, potência, torque, rotação e outros dados.

Os dados do motor geram inicialmente dois parâmetros essenciais para o pistão: o diâmetro externo e diâmetro do furo para pino. É através do diâmetro externo da saia do pistão que serão calculados o perfil e a ovalização do pistão. Sabe-se que estas serão as características responsáveis pelo correto alinhamento dos componentes móveis pistão e cilindro. Com relação ao furo para pino, a responsabilidade também é elevada já que será o contato do furo com o pino que realizará a transmissão de forças geradas na câmara de combustão para a biela e posteriormente para o virabrequim do motor. A

importância destes dois parâmetros reafirma-se no controle que é realizado para as peças em produção. Isto significa dizer que para o diâmetro externo e o diâmetro do furo pra pino 100% das peças são controladas.

Assim, para a aplicação em questão neste trabalho, utilizou-se um programa desenvolvido pela empresa que origina e compara algumas características do pistão em função dos dados de entrada do motor. Os parâmetros de entrada utilizados pelo programa são:

- Ciclo Otto ou ciclo diesel
- Diâmetro do cilindro
- Curso do pistão
- Máxima pressão de pico
- Potência total máxima
- Máxima rotação
- Número de cilindros
- Tipo de admissão (aspirado ou turbinado)
- Altura de compressão
- Tipo de anel utilizado

Os resultado finais indicam as seguintes características do pistão:

- Tipo de pistão
- Processo de fabricação do bruto (fundido ou forjado)
- Altura dos lands
- Diâmetro externo do pino
- Comprimento do pino
- Tipo e altura das canaletas
- Espessura de parede
- Distância entre cubos

Além destes valores, obtém-se também dados de tensão aproximados para avaliar a pressão que estará atuando no pino, nos cubos do pistão e na biela. Como critério de avaliação utilizam-se valores empíricos determinados por classe de pistão. Estes parâmetros são:

- Pressão nos cubos [N/mm<sup>2</sup>]
- Pressão na biela [N/mm<sup>2</sup>]
- Tensão total no pino [N/mm<sup>2</sup>]
- Flexão do pino [μm]
- Ovalização do pino [μm]

Com os dados gerais do pistão, pode-se partir para uma análise mais aprofundada sobre outros parâmetros dimensionais. Utilizando-se de uma norma adequada, é construído o desenho de produção da peça. Neste momento portanto são considerados fatores importantes: tecnologia de processos, ferramental de produção, concepção da peça bruta, custos, tratamentos térmicos, tratamentos superficiais e todas as normas de qualidade envolvidas.

## **5.2 Análise por elementos finitos**

### 5.2.1 Objetivos

Para que a confiabilidade da peça seja maior, o pistão é analisado através do método de elementos finitos com o programa ANSYS. Este processo de análise é extremamente complexo e demorado, porém os resultados indicam possíveis melhorias na concepção do pistão e uma estimativa de como a peça responderá às cargas quando o motor estiver em funcionamento. A simulação numérica reduz a quantidade de testes necessária para a aprovação do pistão. Sabe-se que o tipo de teste em dinamômetro encarece o produto, e portanto, deve ser reduzido ao máximo.

Assim, o objetivo da simulação numérica consiste em calcular:

- distribuição da temperatura em regime de potência máxima;
- movimento secundário do pistão na condição de potência máxima e torque máximo, considerando-se folga mínima;
- distribuição de tensões devido à carga térmica em potência máxima;
- distribuição de tensões devido a combinação de cargas térmicas (potência máxima) e mecânicas (torque máximo)
- fatores de segurança do pistão

OBS.: os valores numéricos obtidos com o MEF foram ocultados neste trabalho por normas da empresa.

O diagrama de blocos ilustra o procedimento para a simulação.

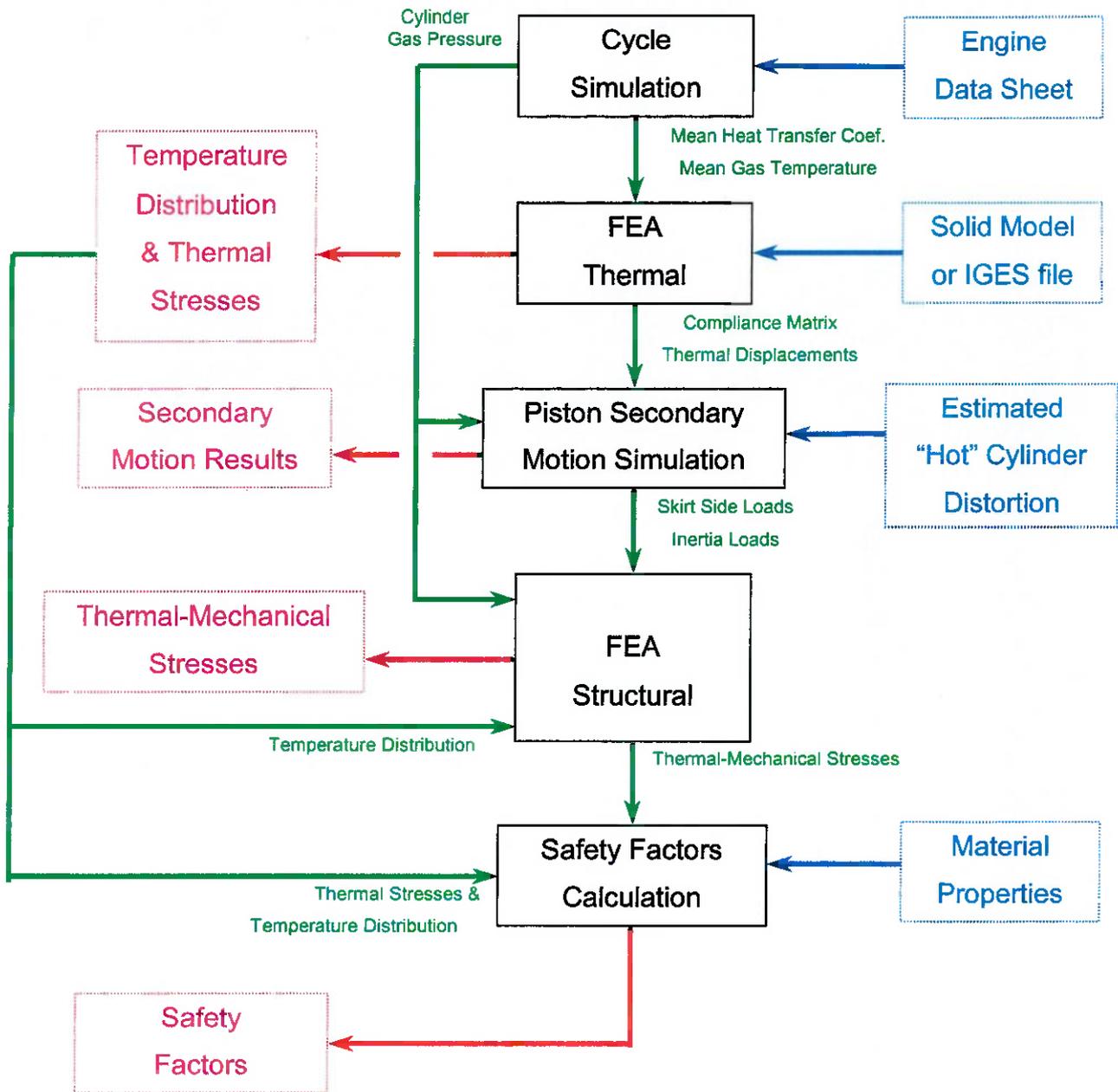


Figura 5: Etapas da simulação

Os quadros azuis à direita indicam as entradas requeridas para a simulação. Os quadros pretos no centro indicam os passos da simulação e suas relações. Por fim, os quadros vermelhos à esquerda indicam os resultados finais de interesse.

## 5.2.2 Simulação do ciclo do motor

A tabela indica os dados do motor para as duas condições de funcionamento.

Tabela 1: engine data sheet

Parameter	Peak Torque	Rated Power	Unit
1 Intake Valve Opening	≅ 9° BTDC		degrees
2 Intake valve Closing	≅ 45° ABDC		degrees
3 Exhaust Valve Opening	≅ 37° BBDC		degrees
4 Exhaust Valve Closing	≅ 17° ATDC		degrees
5 Intake Valve Diameter	≅ 31		mm
6 Maximum Intake Valve Lift	≅ 8		mm
7 Exhaust Valve Diameter	≅ 27		mm
8 Maximum exhaust valve lift	≅ 8		mm
9 Connecting Rod Mass	≅ 0.43		kg
10 Intake Manifold Pressure	≅ 1.1	≅ 1.0	bar
11 Intake Manifold Temperature	≅ 25	≅ 28	°C
12 Engine Speed	≅ 3600	≅ 5800	rpm
13 Spark Time	≅ 25°	≅ 26°	degrees
14 Fuel/Air Equivalence Ratio ( $\phi = \lambda^{-1}$ )	≅ 1.06	≅ 1.08	-
15 Recirculated Gas Fraction	-	-	-
16 Temperature of Recirculated Gas	-	-	°C
17 Exhaust Manifold Pressure	≅ 1.1	1.2	bar
18 Coolant Temperature ( $T_{cool}$ )	≅ 91	≅ 91	°C
19 Lubricant Oil Temperature ( $T_{oil}$ )	≅ 100	≅ 112	°C
20 Peak Cylinder Pressure	NA	≅ 68	bar
21 Rated Power	≅ 64	≅ 92	kW

Os resultados obtidos para a condição de potência máxima e torque máximo estão apresentados abaixo.

## RESULTS TABLE (PEAK TORQUE)

ROTATIONAL SPEED	(RPM) ----->	3600.0
TSPARK	(CA) ----->	335.0
INLET MANIFOLD PRESSURE	(bar abs) -->	1.110
EXHAUST MANIFOLD PRESSURE	(bar abs) -->	1.180
EQUIVALENCE RATIO	( ) ----->	1.060
FUEL CONSUMPTION	(g/cycle) -->	.0412
WATER VAPOUR CONSUMPTION	(g/cycle) -->	.0050
DRY AIR CONSUMPTION	(g/cycle) -->	.4997
RESIDUAL GAS FRACTION	( ) ----->	.039
MEAN EXHAUST TEMPERATURE	(°C) ----->	961.8
FLAME DEVELOPMENT ANGLE (0-10%)	(CA) ----->	20.3
BURNING ANGLE (10-90%)	(CA) ----->	17.5
INITIAL FLAME RADIUS	(mm) ----->	.81
GROSS INDICATED MEP	(bar) ----->	13.73
PUMPING MEP	(bar) ----->	-.32
NET INDICATED MEP	(bar) ----->	13.42
FRICITION MEP	(bar) ----->	-1.28
BRAKE MEP	(bar) ----->	12.13
PEAK COMBUSTION PRESSURE	(bar) ----->	75.79
PCP ANGLE	(CA) ----->	374.0
GROSS INDICATED POWER	(kW) ----->	74.0
PUMPING POWER	(kW) ----->	-1.7
NET INDICATED POWER	(kW) ----->	72.3
FRICITON POWER	(kW) ----->	-6.9
BRAKE POWER	(kW) ----->	65.4
TORQUE	(Nm) ----->	173.4
BRAKE SPECIFIC FUEL CONSUMPTION	(g/kW.h) --->	272.1
BRAKE THERMAL EFFICIENCY	(%) ----->	33.2
AVERAGE TEMPERATURE	(°C) ----->	1006.2
AVERAGE HEAT COEFFICIENT	(W/m2.°C) -->	564.07

## RESULTS TABLE (RATED POWER)

ROTATIONAL SPEED	(RPM)----->	5700.0
TSPARK	(CA)----->	334.0
INLET MANIFOLD PRESSURE	(bar abs)-->	1.070
EXHAUST MANIFOLD PRESSURE	(bar abs)-->	1.200
EQUIVALENCE RATIO	( )----->	1.080
FUEL CONSUMPTION	(g/cycle)-->	.0397
WATER VAPOUR CONSUMPTION	(g/cycle)-->	.0047
DRY AIR CONSUMPTION	(g/cycle)-->	.4736
RESIDUAL GAS FRACTION	( )----->	.040
MEAN EXHAUST TEMPERATURE	(°C)----->	990.8
FLAME DEVELOPMENT ANGLE (0-10%)	(CA)----->	21.8
BURNING ANGLE (10-90%)	(CA)----->	18.0
INITIAL FLAME RADIUS	(mm)----->	.81
GROSS INDICATED MEP	(bar)----->	13.20
PUMPING MEP	(bar)----->	-.75
NET INDICATED MEP	(bar)----->	12.45
FRICITION MEP	(bar)----->	-1.63
BRAKE MEP	(bar)----->	10.82
PEAK COMBUSTION PRESSURE	(bar)----->	70.74
PCP ANGLE	(CA)----->	375.0
GROSS INDICATED POWER	(kW)----->	112.6
PUMPING POWER	(kW)----->	-6.4
NET INDICATED POWER	(kW)----->	106.2
FRICITION POWER	(kW)----->	-13.9
BRAKE POWER	(kW)----->	92.3
TORQUE	(Nm)----->	154.6
BRAKE SPECIFIC FUEL CONSUMPTION	(g/kW.h)--->	294.7
BRAKE THERMAL EFFICIENCY	(%)----->	30.6
AVERAGE TEMPERATURE	(°C)----->	1018.1
AVERAGE HEAT COEFFICIENT	(W/m2.°C)-->	764.76

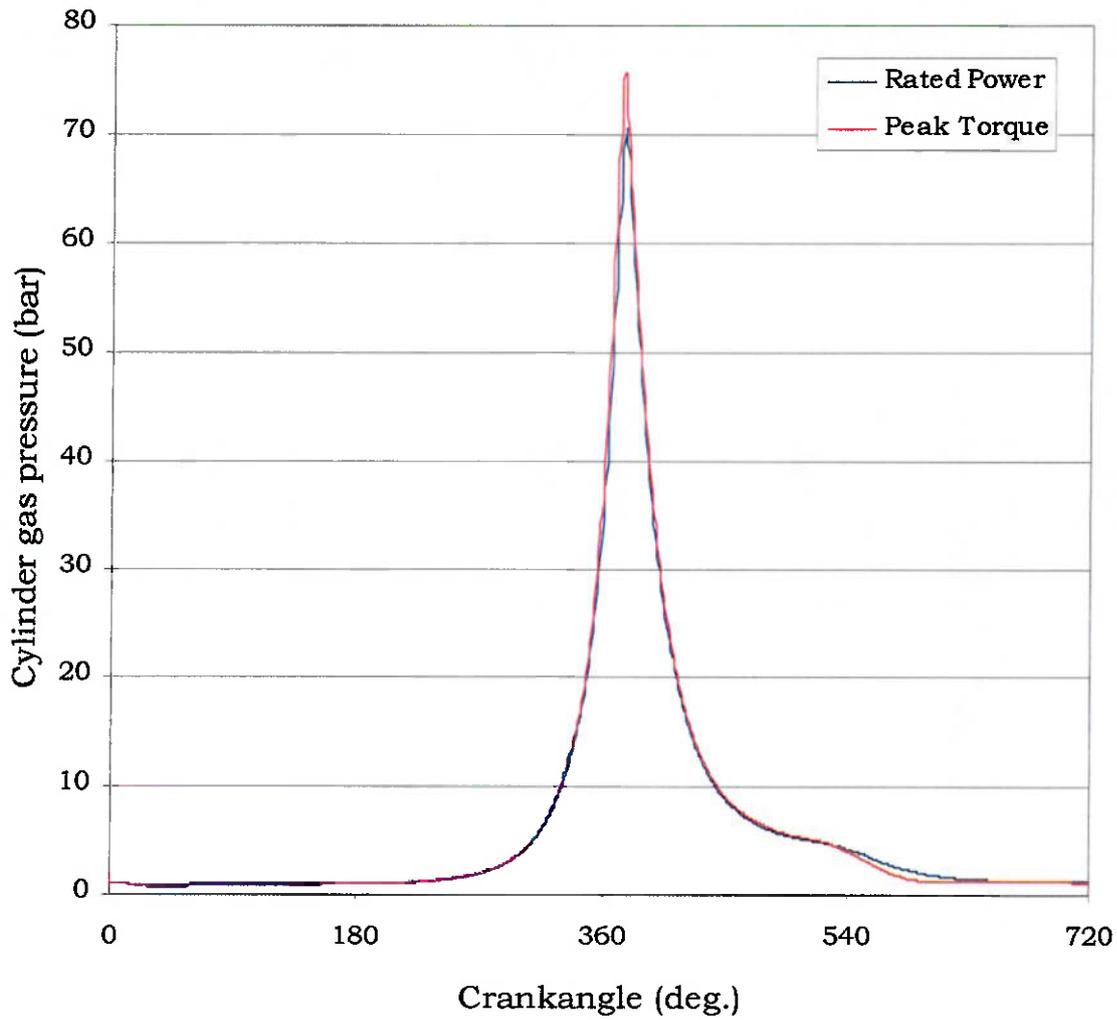


Figura 6: Pressão do gás no cilindro

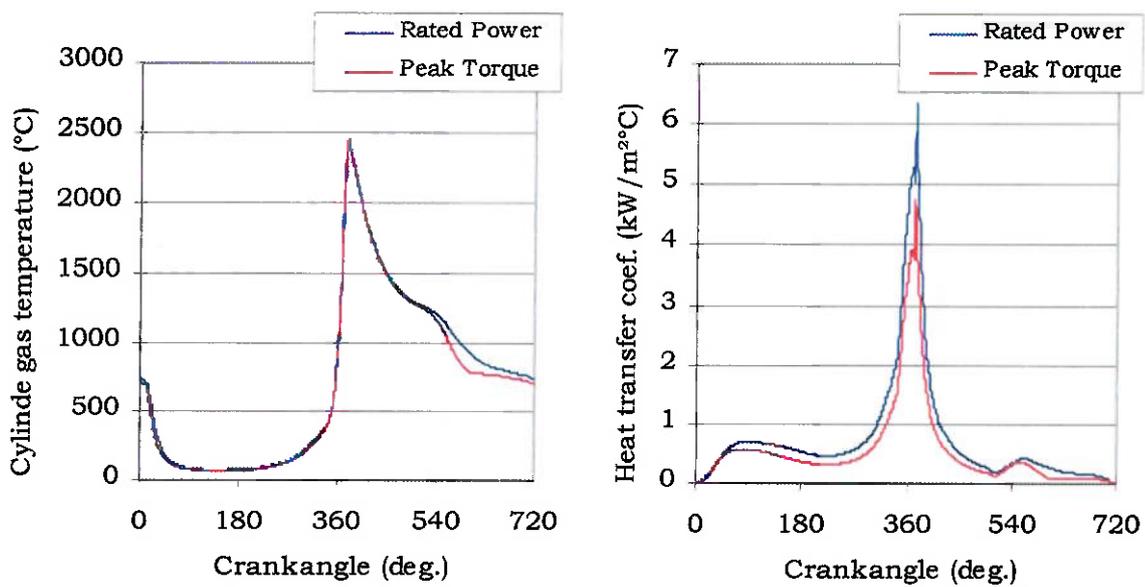


Figura 7: Temperatura do gás e coeficiente de transferência de calor

### 5.2.3 Análise térmica através do MEF

Os valores de coeficiente de transferência de calor e temperatura média do gás calculado através da simulação do ciclo do motor, são utilizados nas condições de contorno do modelo de distribuição de temperatura do pistão.

A figura 8 mostra a distribuição de temperatura e as figuras 9 a 11 mostram as tensões principais devido à carga térmica.

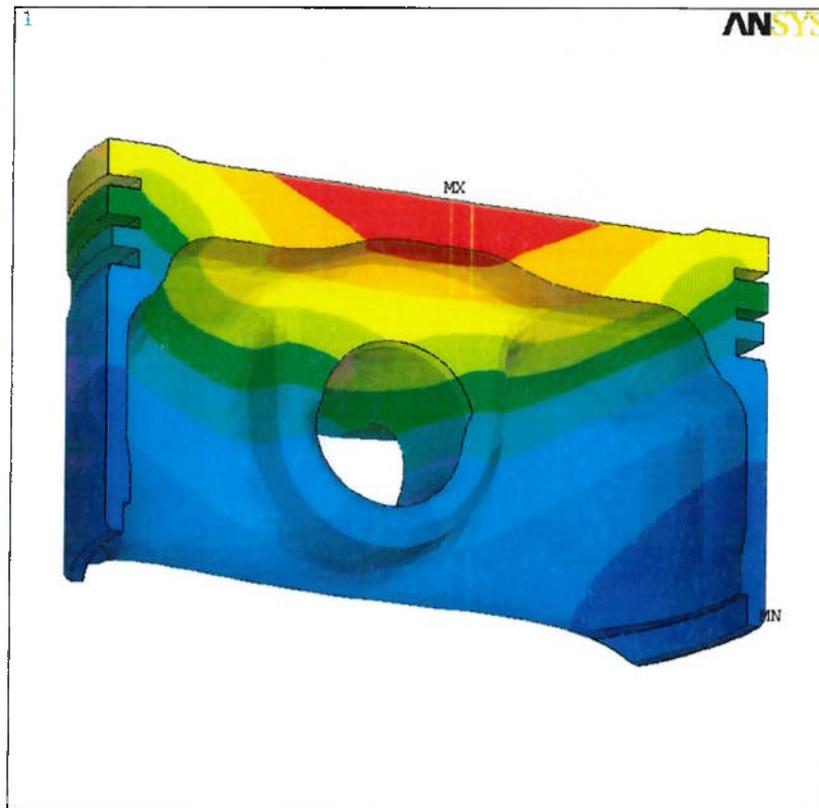


Figura 8: distribuição de temperatura no pistão

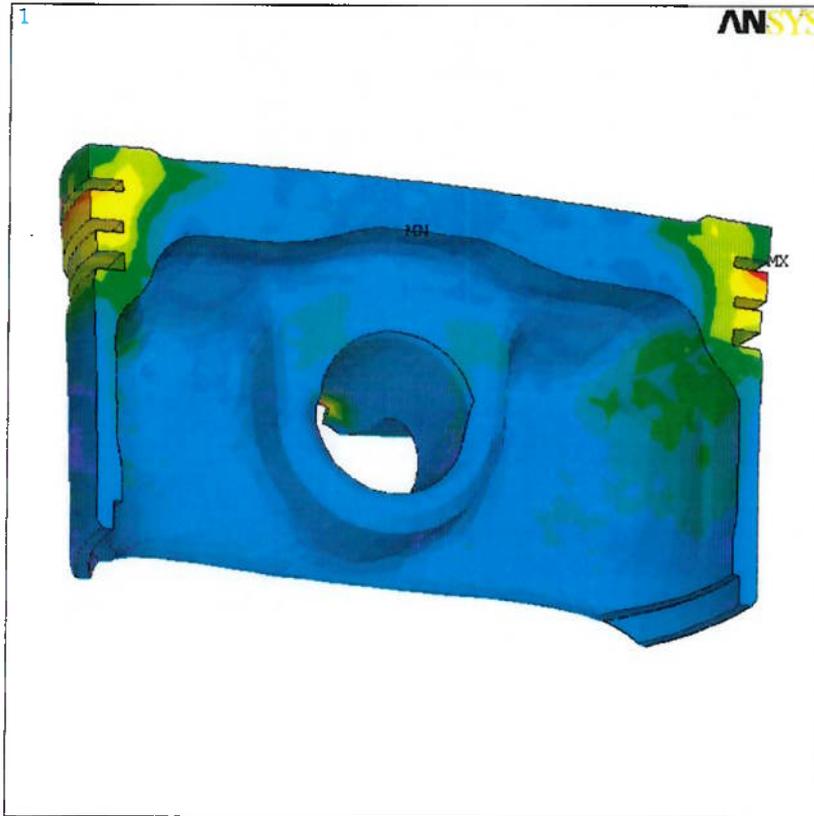


Figura 9: Tensões principais  $\sigma_1$  devido às cargas térmicas

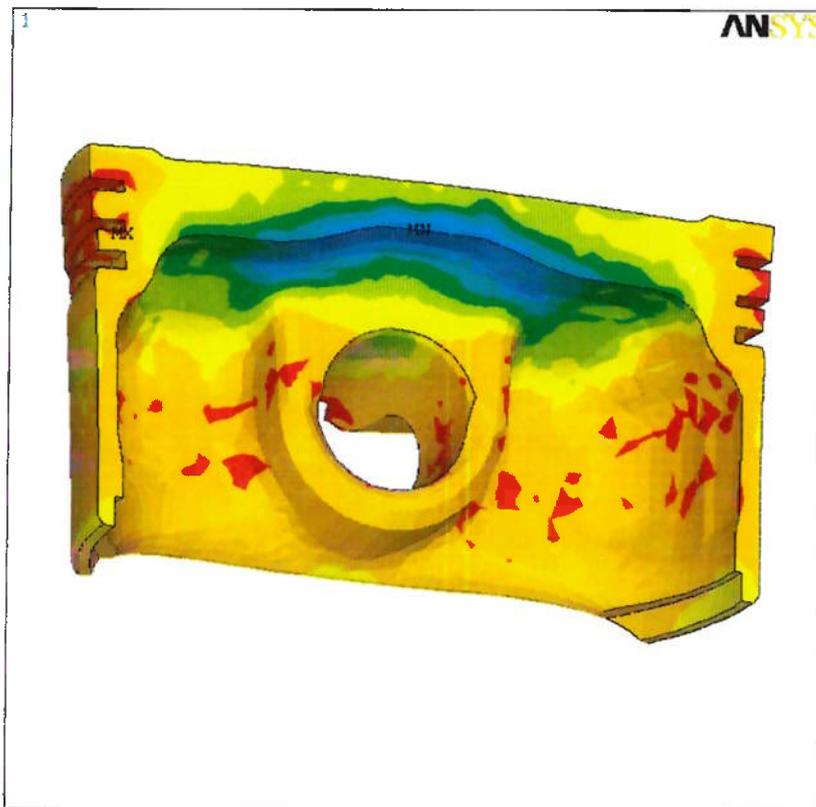


Figura 10: Tensões principais  $\sigma_3$  devido às cargas térmicas



Figura 11: Tensão equivalente de Von Misses  $\sigma_{eq}$  devido às cargas térmicas

A figura 12 mostra a dilatação do perfil do pistão causado pelo aquecimento do material. Como citado anteriormente, o pistão é projetado para que na condição de funcionamento ocorra a melhor interação possível entre as partes móveis da célula de carga (pistão/cilindro/anel/biela). Folgas muito acentuadas geram altos níveis de blow-by e consumo de óleo, assim como folgas pequenas geram riscos de engripamento do motor.

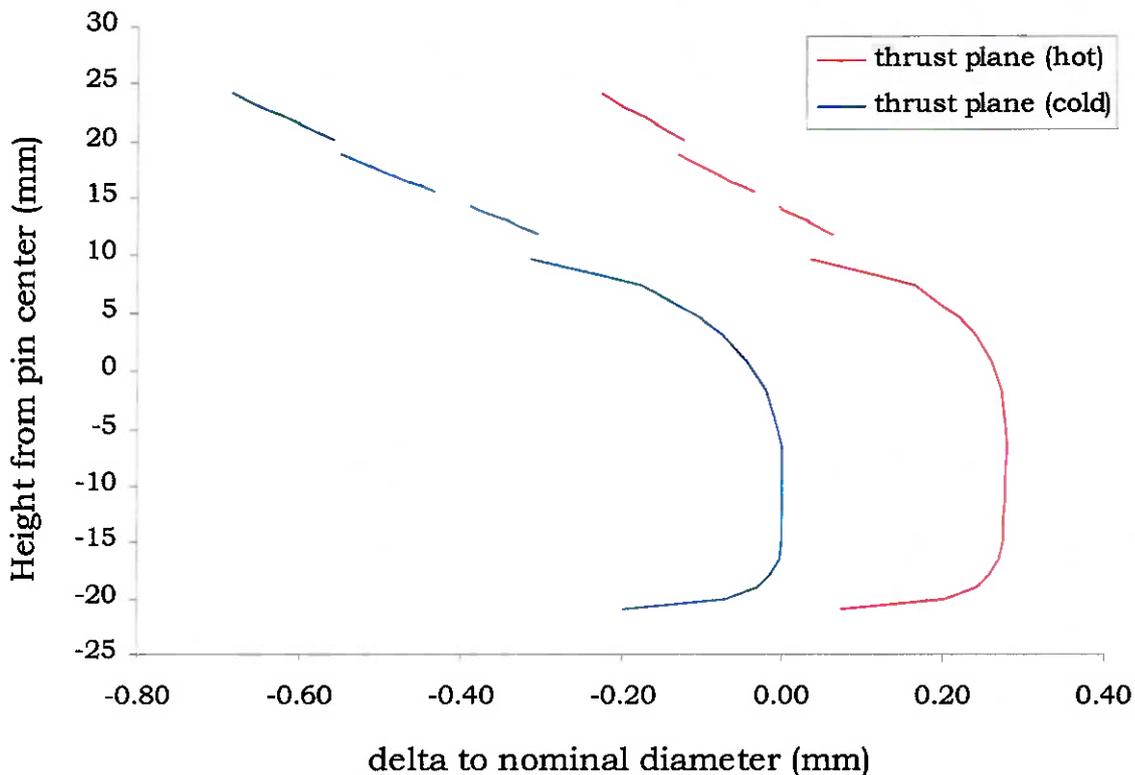


Figura 12: Dilatação do perfil do pistão

#### 5.2.4 Simulação do movimento secundário do pistão

Para simulação do movimento secundário utiliza-se o programa PISDYN, desenvolvido pela Ricardo North America. Dois casos foram simulados: o regime de potência máxima e o regime de torque máximo, ambos com folga entre pistão e cilindro de 0,020mm.

As figuras 13 e 14 ilustram a distribuição de contato hidrodinâmico na saia do pistão para os dois regimes, durante a fase em que há maior pressão na saia.

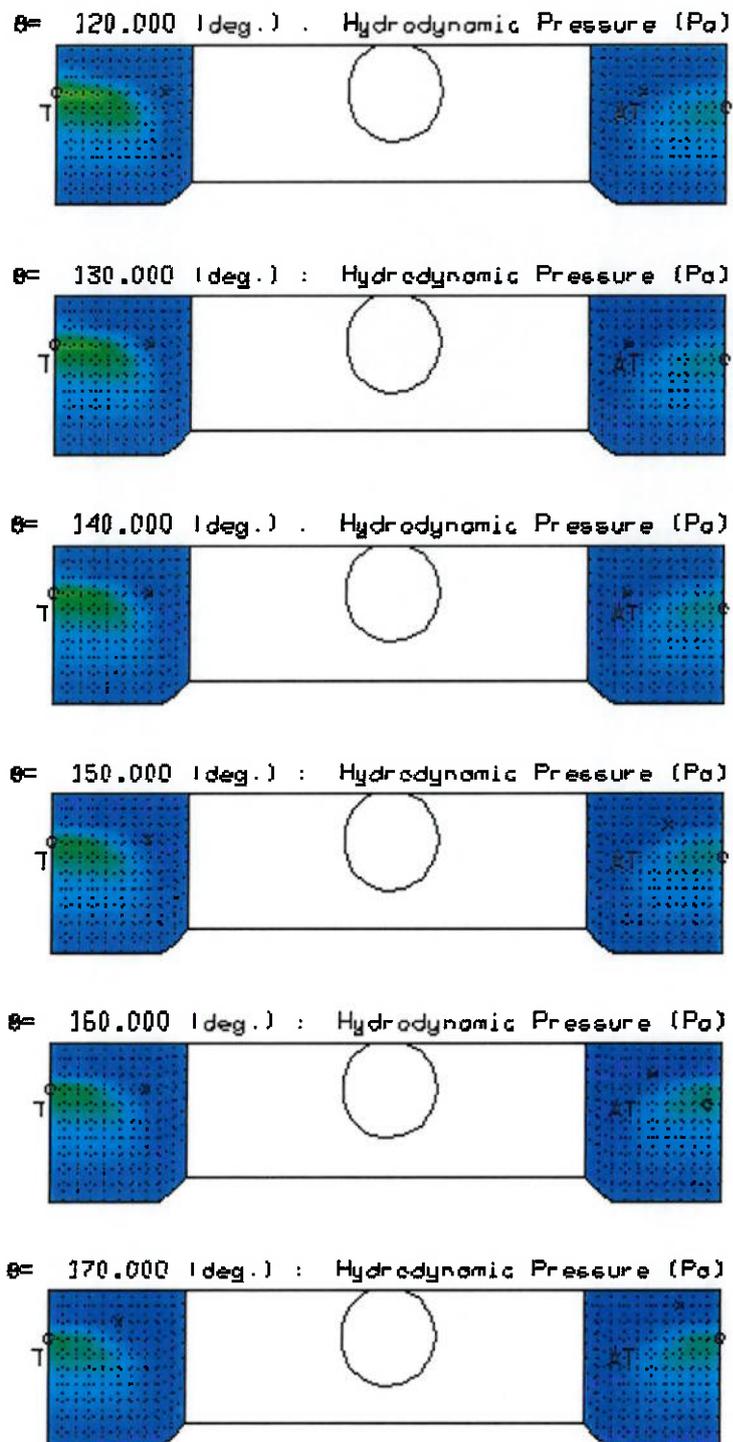


Figura 13: Pressão hidrodinâmica (120 to 170° CA) – torque máximo

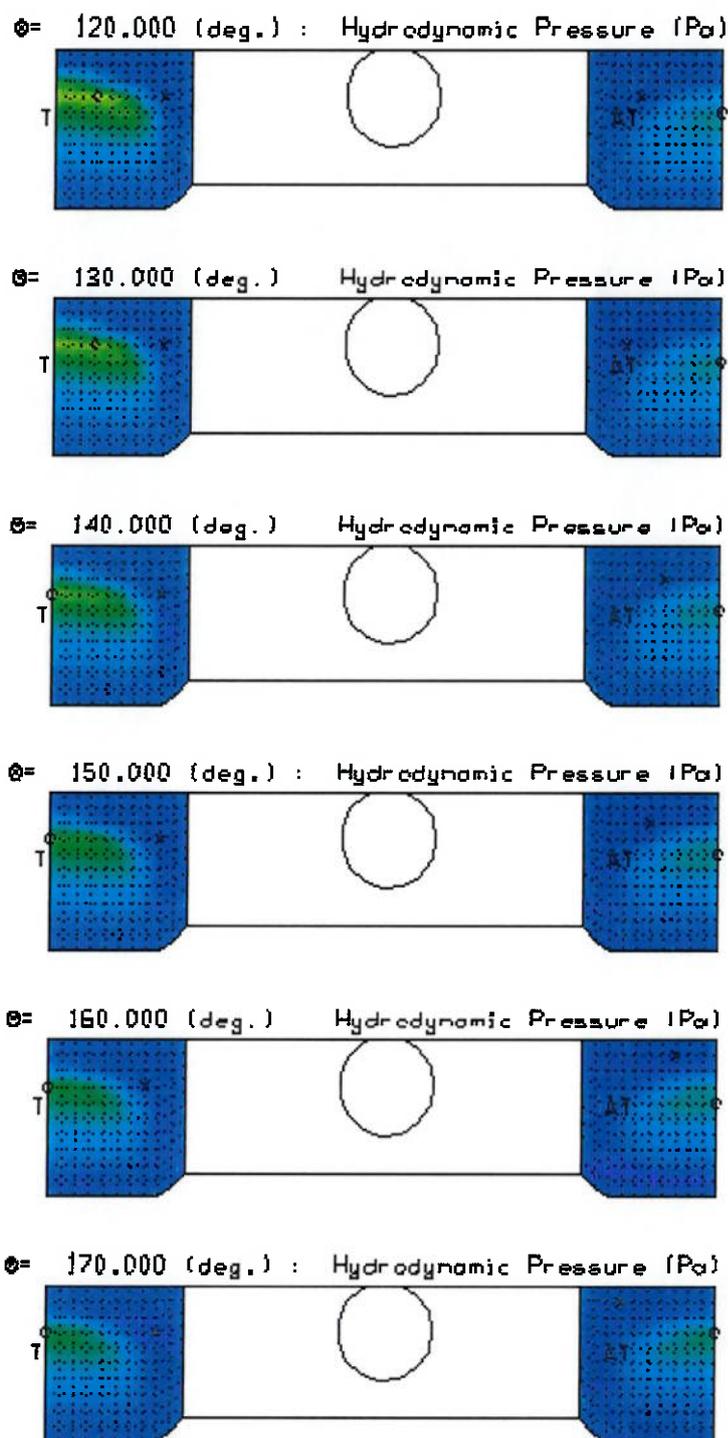


Figura 14: Pressão hidrodinâmica (120 to 170° CA) – potência máxima

### 5.2.5 Análise estrutural através do MEF

O modelo estrutural de elementos finitos considera a região superior da biela, o pino e o pistão. Todas as forças calculadas pelo PISDYN, somadas as cargas térmicas são aplicadas neste modelo. Apenas a força entre o pino e os cubos não são considerados, já que estas forças são reações aos esforços.

A figura 15 mostra o modelo com a malha de elementos finitos.

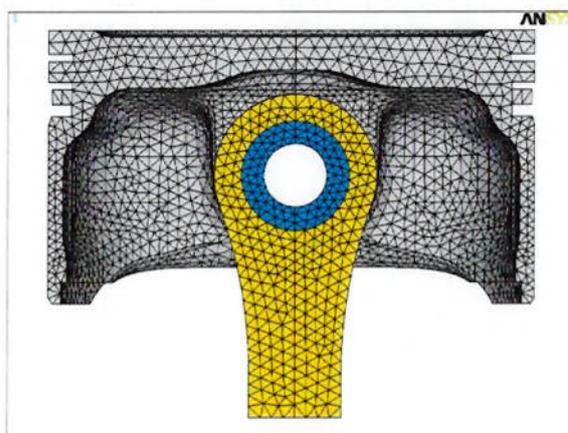


Figura 15: Malha de elementos finitos

Os resultados obtidos para carga lateral máxima e mínima estão ilustrados nas figuras abaixo.

a) Carga máxima

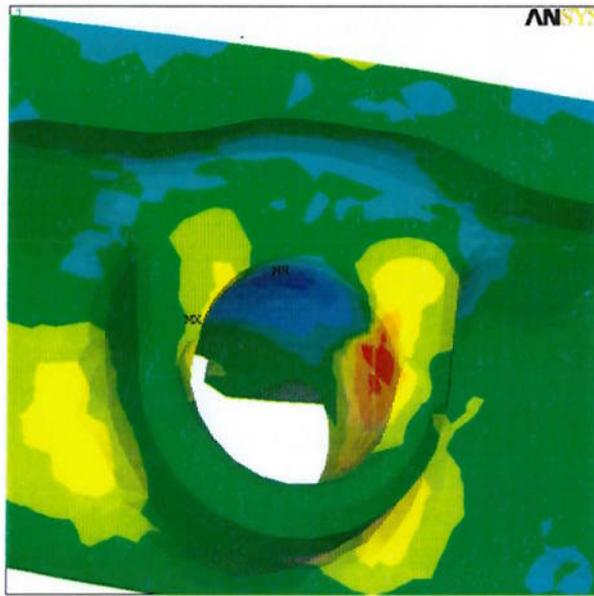


Figura 16: Tensão principal  $\sigma_1$  devido às cargas térmicas-mecânicas

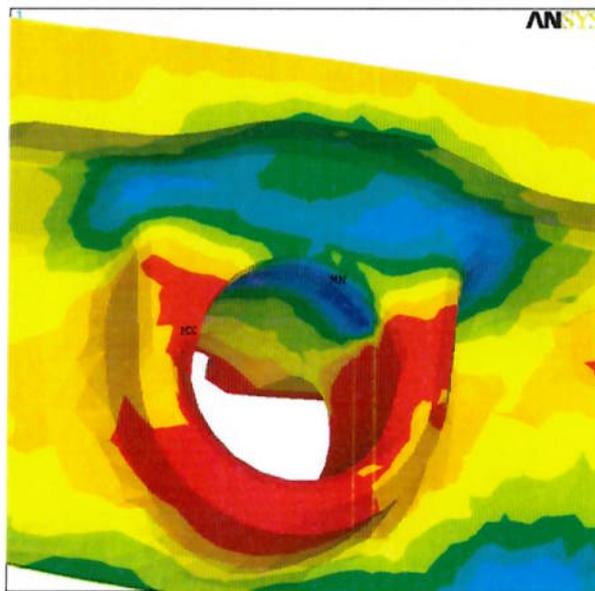


Figura 17: Tensão principal  $\sigma_3$  devido às cargas térmicas-mecânicas

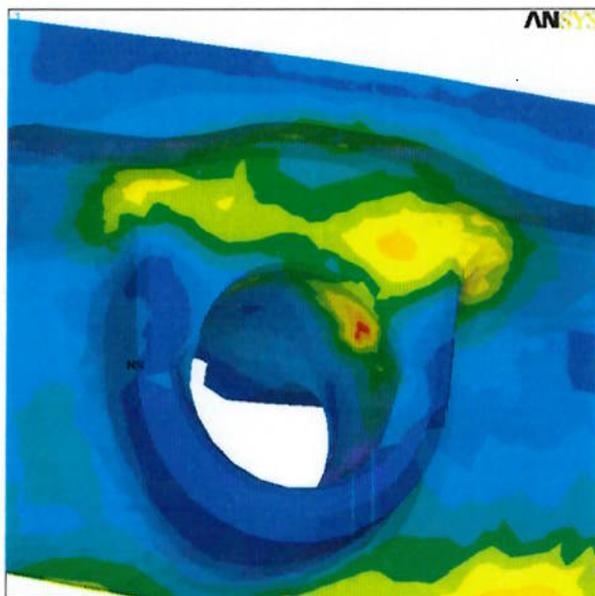


Figura 18: Tensão de Von Mises  $\sigma_{eq}$  devido às cargas térmicas-mecânicas

b) Carga mínima



Figura 19: Tensão principal  $\sigma_1$  devido às cargas térmicas-mecânicas

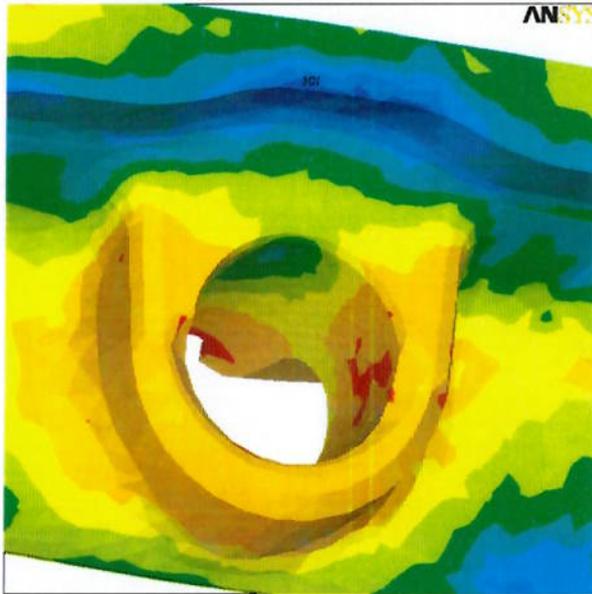


Figura 20: Tensão principal  $\sigma_3$  devido às cargas térmicas-mecânicas

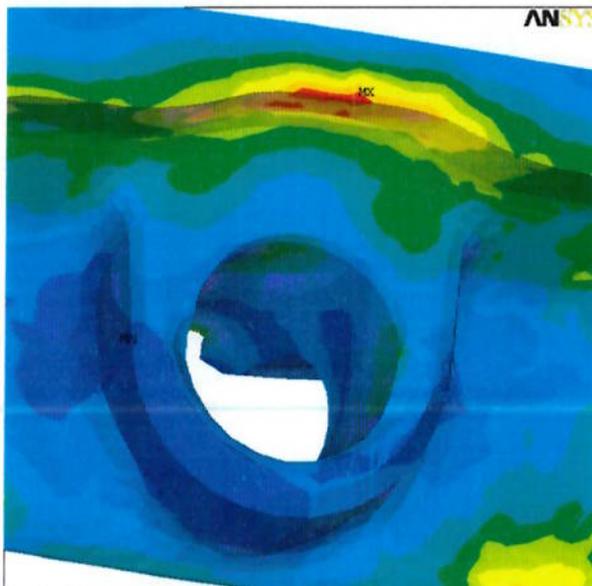


Figura 21: Tensão de Von Mises  $\sigma_{eq}$  devido às cargas térmicas-mecânicas

### 5.2.6 Fator de segurança

O cálculo do fator de segurança utiliza o critério de Goodman e considera a carga máxima e mínima no furo para pino.

A tensão principal e a alternada são determinadas por:

$$[\sigma_m] = \frac{[\sigma_{max}] + [\sigma_{min}]}{2}$$

$$[\sigma_a] = \frac{[\sigma_{max}] - [\sigma_{min}]}{2}$$

A figura 22 mostra os coeficientes de segurança obtidos nesta simulação.

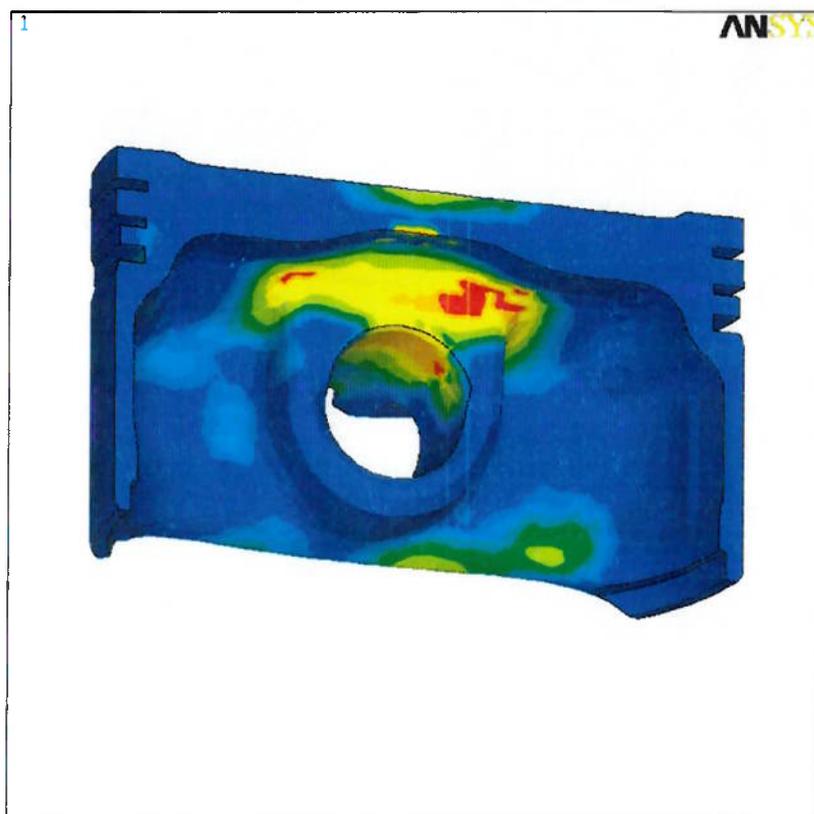


Figura 22: coeficiente de segurança

As figuras abaixo indicam os pontos em que foram aplicados o critério de Goodman e os respectivos resultados.

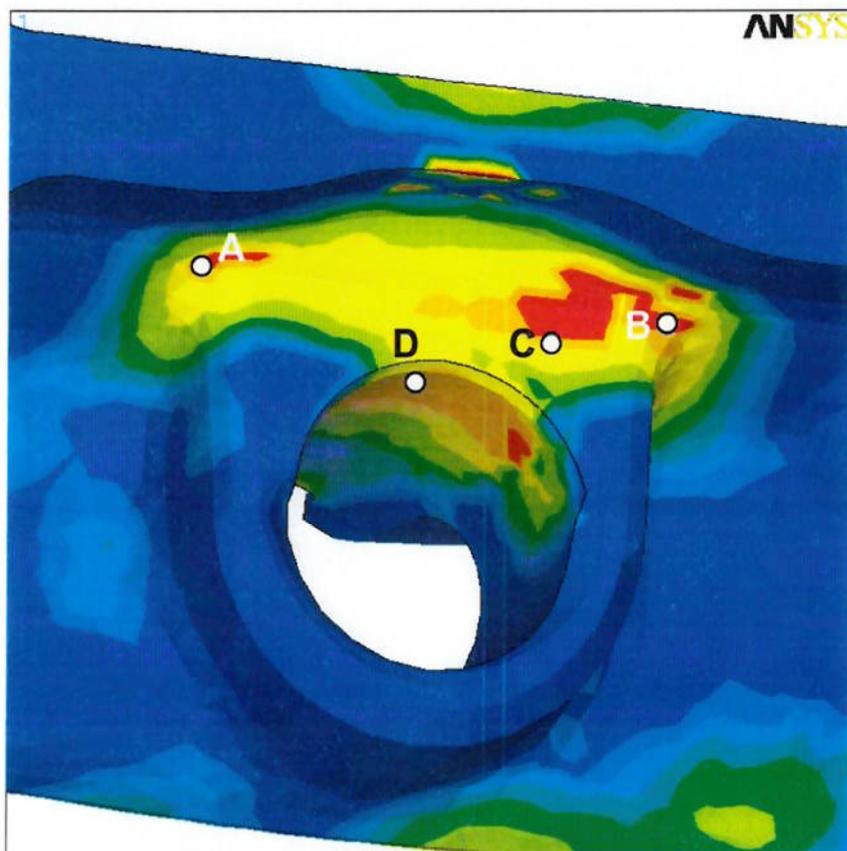


Figura 23: fator de segurança no furo para pino

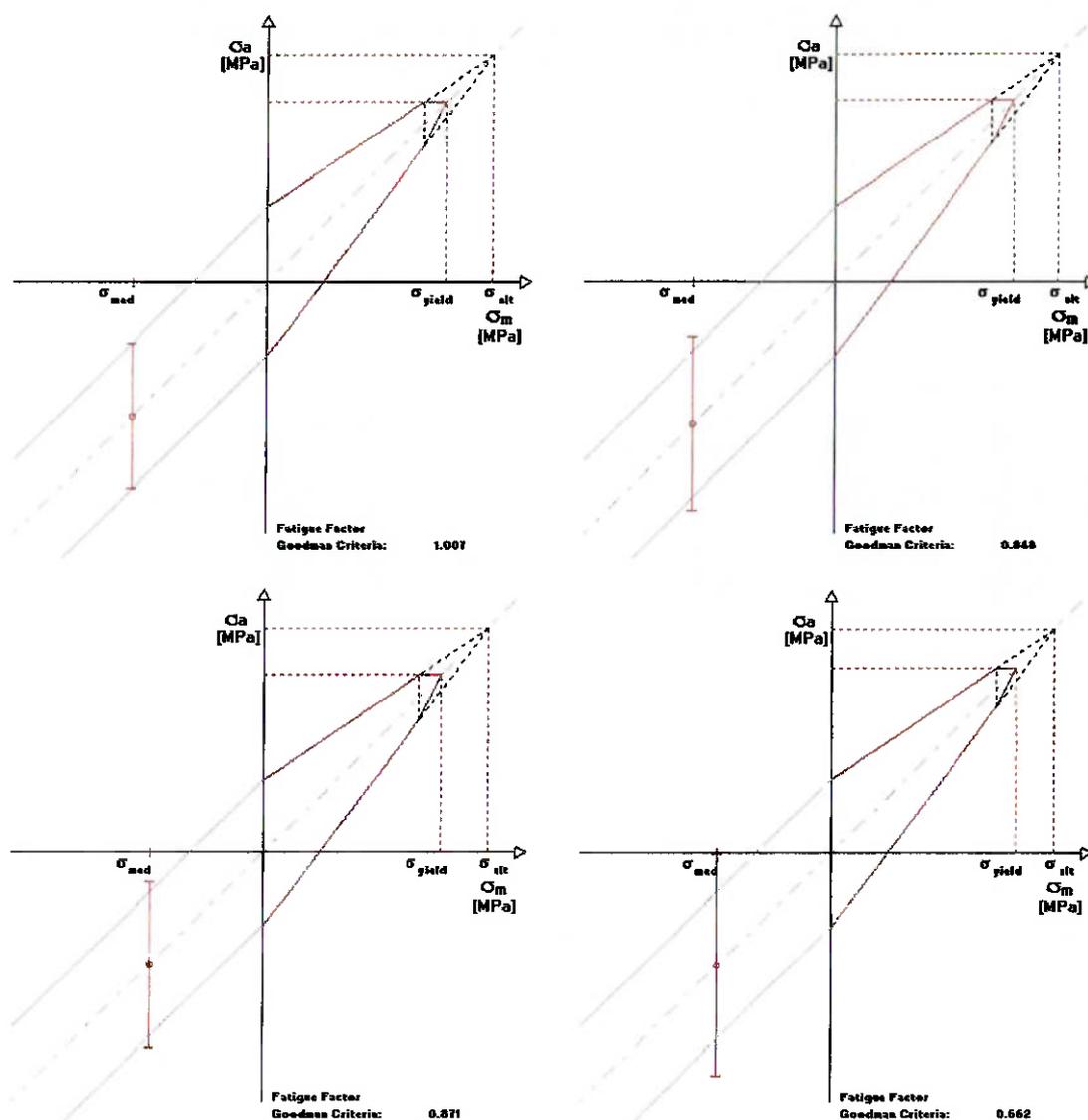


figura 24: critério de Goodman para os pontos A, B, C e D

### 5.2.7 Conclusão

A análise através do MEF verificou que os valores de temperatura para este tipo de pistão são considerados altos. Por este motivo, é recomendado medições de temperatura em motor para calibrar o modelo e verificar a necessidade de uma alteração no pistão.

As tensões máximas calculadas para as cargas térmicas e mecânicas estão dentro do limite aceitável. Com estas tensões, determinaram-se os fatores de segurança, que ajudaram a otimizar regiões em que a tensão era elevada. Um exemplo disso é a modificação adotada no ângulo de inclinação do furo para pino.

Os resultados do movimento secundário do pistão indicam que não há riscos de engripamento do conjunto.

## **6 Otimização do Pistão**

Conforme mencionado anteriormente, a primeira concepção do pistão para este motor já foi elaborada, produzida e testada. Pelo fato dos resultados apresentados com relação ao consumo de óleo estarem acima do limite das normas internacionais, o projeto foi modificado parcialmente para que o conjunto apresentasse melhor desempenho. É importante salientar que é necessário impor restrições nas modificações de modo que outros parâmetros extremamente relevantes no desempenho geral do motor não sejam prejudicados. Entre estes parâmetros estão: potência efetiva, desgaste de componentes, torque e níveis de blow-by.

### ***6.1 Tecnologias aplicáveis para pistão e anel***

Nesta fase do projeto, é essencial que o estudo das alternativas existentes leve em consideração outros fatores como: custos de produção, disposição do cliente em aceitar determinadas tecnologias, suporte técnico e outros fatores.

Dentro deste enfoque, serão simuladas as modificações abaixo ilustradas.

Anéis

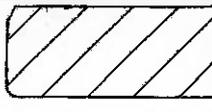
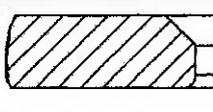
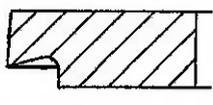
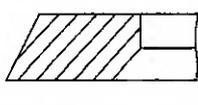
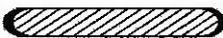
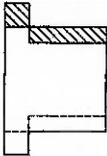
1ª. canaleta			
	Retangular	Torção positiva	
2ª. canaleta			
	Taper	Napier	Torção negativa
3ª. canaleta			
	Segmento	Espaçador	

Figura 25: Alternativas de anéis simuladas

Pistões

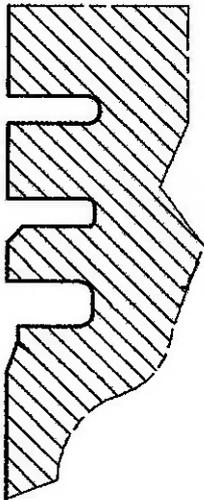
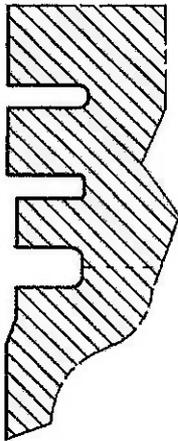
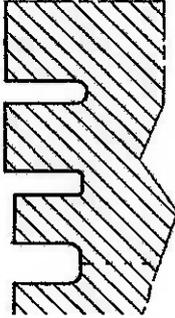
		
- menor folga no 3º. land - chanfro no início da saia (1)	- 3º. land (baseline) - chanfro no início da saia (2)	- diâmetros internos maiores ou menores - altura da 3ª. canaleta maior

Figura 26: Alternativas de pistões simuladas

Outras alternativas para o projeto do pistão também serão aplicadas em testes de motor porém não estão incluídas no modelo da simulação. Um exemplo é o furo de retorno de óleo.

## 6.2 Simulação numérica

A fim de que a simulação numérica apresente resultados que auxiliem no projeto, deve-se primeiro calibrar os parâmetros do programa de simulação da dinâmica do pistão e do anel. Neste programa, os mecanismos mandatórios para o estudo de consumo de óleo são denominados *throw-off* e *blow-back*.

Assim, planejou-se o seguinte programa de testes e simulações:

Tabela 2: Versões para ajuste da simulação

Versão	Pistão	1° Anel	2° Anel	3° Anel
baseline	069	263	858	264
V1	069	263	193	264
V2	Sp2	263	193	264
V3	Sp4	263	193	264

Descrição das modificações:

- Pistão: Sp2 = chanfro no início da saia + menor folga do 3° land (com chanfro no land)  
Sp4 = chanfro no início da saia
- 2° Anel: 858 = anel Taper  
193 = anel Napier

Os resultados obtidos permitiram o ajuste dos parâmetros da simulação conforme indicado nos gráficos abaixo:

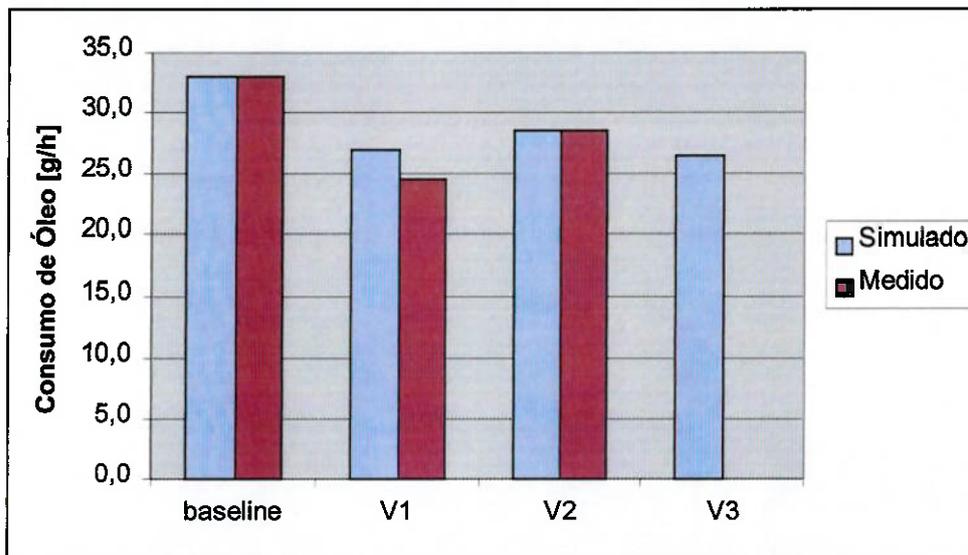


Figura 27: Resultado da calibração

OBS.: Os valores medidos de consumo de óleo consideraram a média de consumo entre 15 e 150 horas de teste.

Com o programa calibrado, simulou-se 14 versões do conjunto pistão + anel que auxiliaram o projeto de otimização de consumo de óleo. A finalidade destas versões denominadas V1 a V14 é avaliar os parâmetros dos componentes. O resultado da simulação somado a experiência dos projetistas levaram a 2 diferentes propostas (P1 e P2) que serão encaminhadas para a realização de testes de homologação do pistão. Estas versões, diferentemente das versões "V", são preparadas para a produção de amostras com as dimensões finais já definidas.

A versão P1 é baseada na versão V3 com algumas pequenas mudanças:

- O anel Napier possui um ângulo de inclinação maior. Isto proporciona um melhor desempenho com relação à funcionalidade do anel, pois mesmo com um desgaste da superfície o ângulo permanece.
- O chanfro do início da saia é ligeiramente maior, permitindo um melhor fluxo de óleo.
- A altura da terceira canaleta é maior. Quanto maior a altura, menor a chance de haver carvão acumulado nesta canaleta, e portanto, menor a probabilidade do anel de óleo perder sua funcionalidade.

A versão P2 é baseada na versão V11, com algumas ressalvas:

- O chanfro no início da saia é maior assim como na versão P1.
- A altura da terceira canaleta também é maior.

As versões simuladas estão na tabela a seguir.

Tabela 3: Propostas simuladas

Características	baseline	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	P1	P
069 (baseline)	x																
1ª canaleta - diâmetro interno maior									x								
2ª canaleta - diâmetro interno maior													x				
2ª canaleta - diâmetro interno menor														x			
3ª canaleta - diâmetro interno menor															x		
3ª canaleta - altura maior											x					x	x
3º land - folga menor			x														
Saia - chanfro (1)			x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Saia - chanfro (2)						x										x	x
263 / 858 / 264 (baseline)	x																
1º anel com torção positiva							x					x					x
2º anel Napier (1)		x	x	x			x		x	x	x		x	x	x		
2º anel Napier (2)					x	x										x	
2º anel com torção negativa								x				x					x
3º anel com 20º "twist"										x							

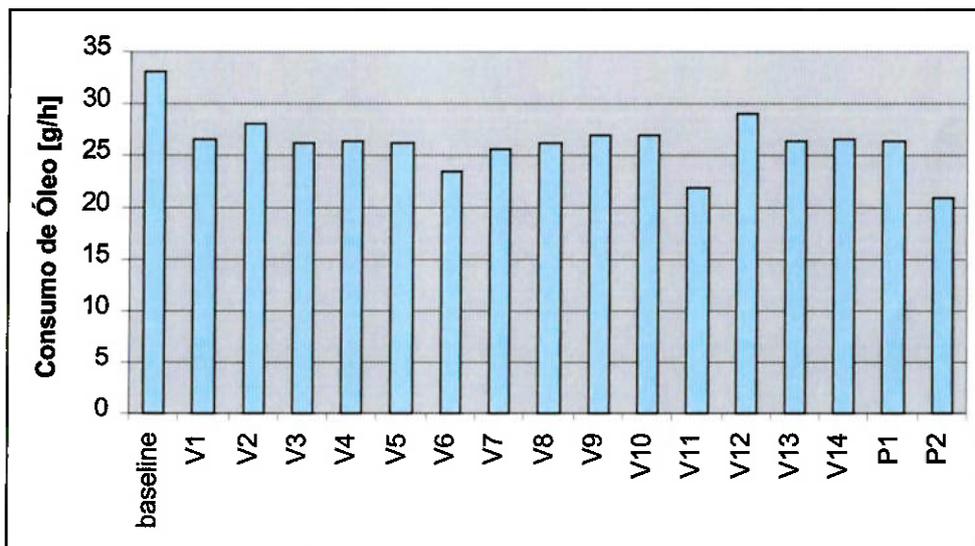


Figura 28: Resultado da simulação

Estes resultados nos permitem concluir:

- As propostas P1 e P2 apresentam valores abaixo do limite (aproximadamente 30 g/h).
- Os valores de blow-by para todas as versões oscilam em torno de 15 L/min.
- Embora a versão P1 apresente níveis de consumo de óleo semelhantes à versão V1, uma melhor performance é esperada devido ao fato de P1 possuir drenos de óleo na terceira canaleta, característica não considerada na simulação.
- A combinação da torção positiva no primeiro anel com a torção negativa no segundo anel é considerada na versão P2, em que se espera uma redução de 20% no consumo de óleo lubrificante. A desvantagem deste recurso é o surgimento de um desgaste maior da canaleta do pistão, fato este só determinado através de testes reais em motor.

### 6.3 Testes em motor

A versão Baseline apresentava altos valores de consumo de óleo como pode ser observado no gráfico abaixo.

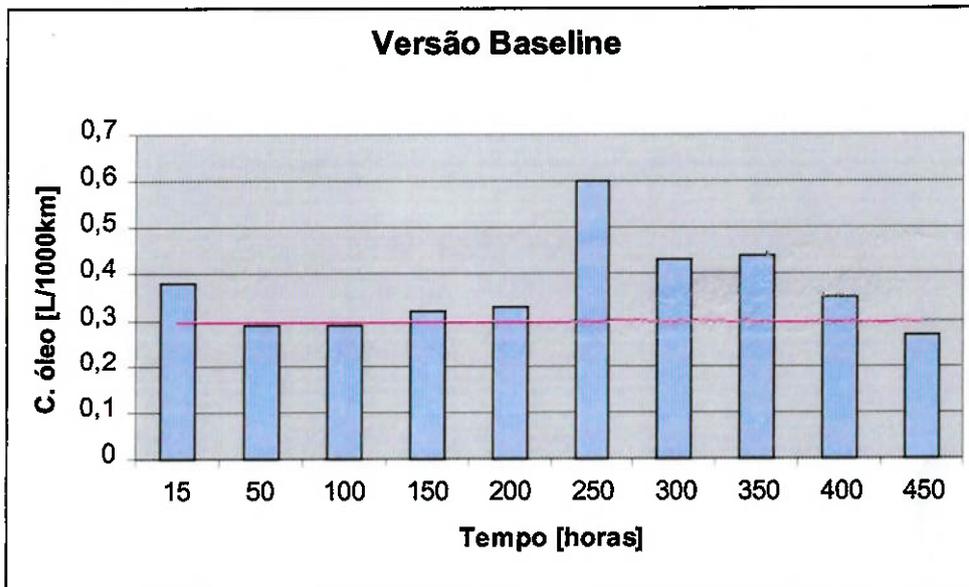


Figura 29: versão baseline

Para calibração do modelo de simulação numérica, testou-se a versão V1 e V2. A versão V1 foi abortada no meio do teste por ter apresentado altos níveis de ruído.

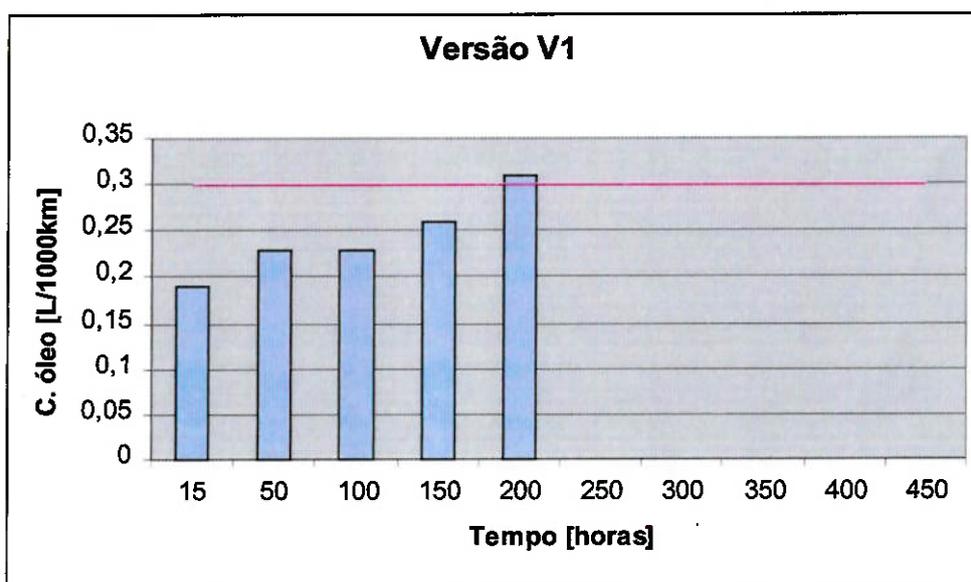


Figura 30: versão V1

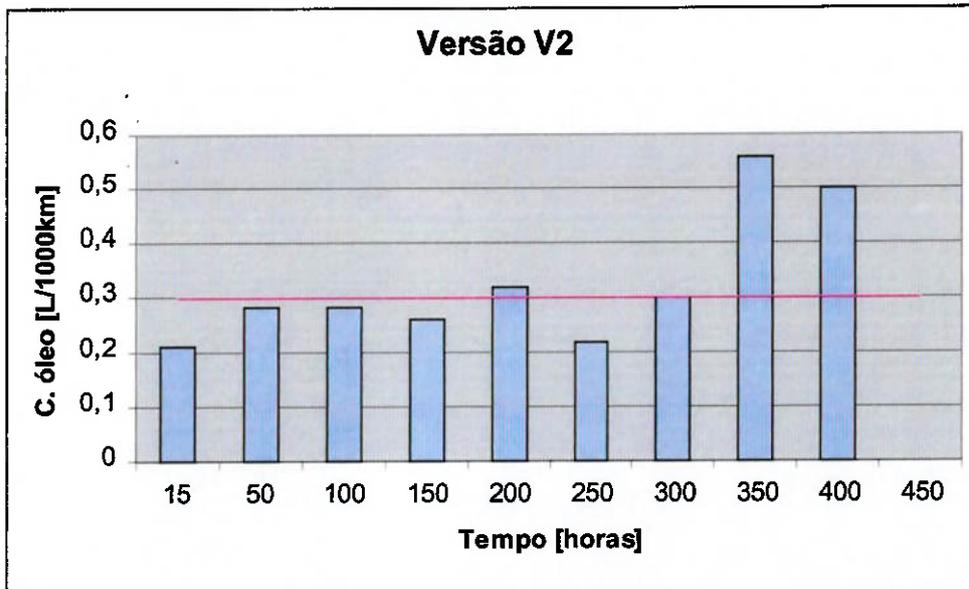


Figura 31: versão V2

A primeira tentativa de rodar o pistão P1 teve de ser abandonada por problemas de blow-by. Descobriu-se posteriormente que havia problemas de fabricação no lote que foi encaminhado para os testes. O gráfico abaixo demonstra a interrupção.

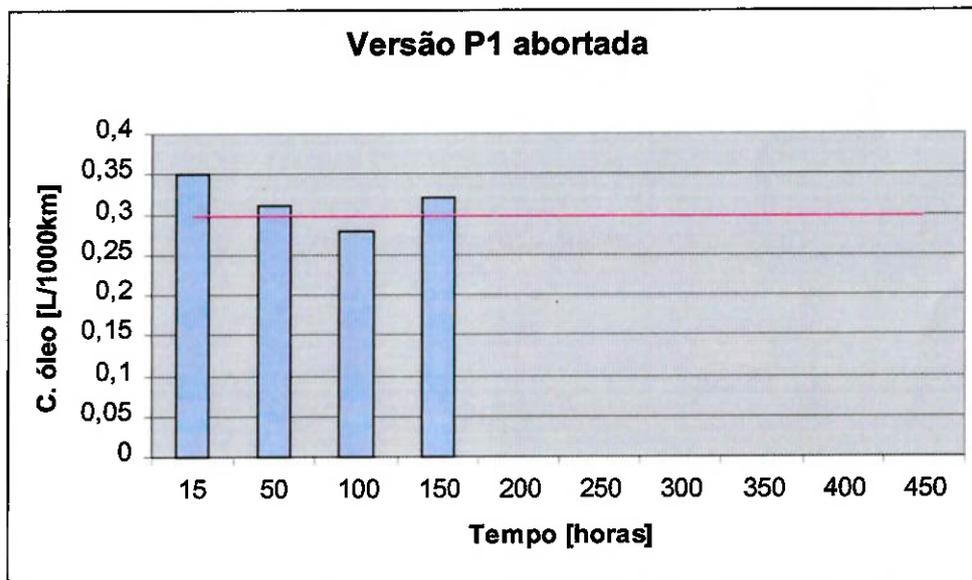


Figura 32: versão P1 abortada

Finalmente avaliou-se um novo jogo de pistão e o resultado obtido pode ser observado no gráfico abaixo.

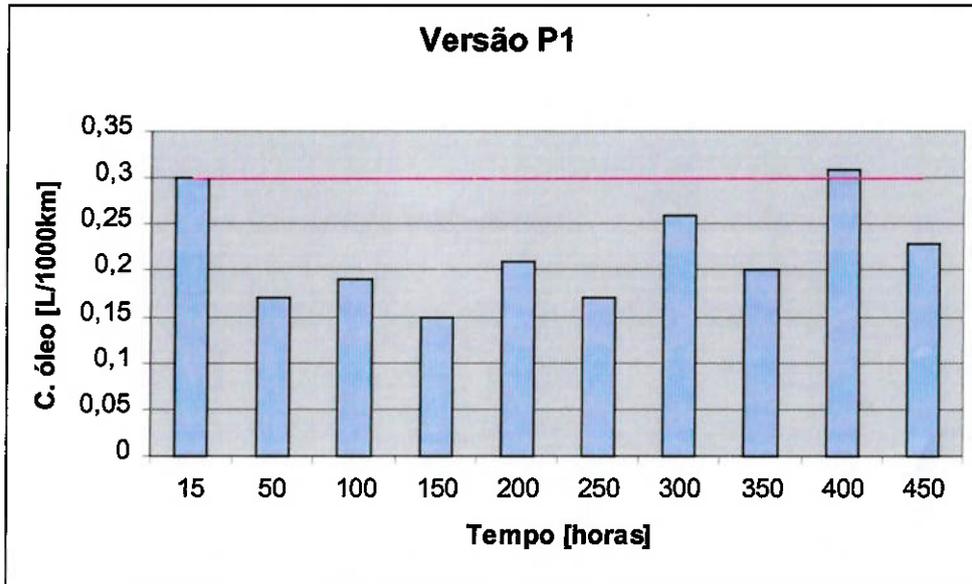


Figura 33: versão P1 final

## **7 Conclusão**

Pode-se dizer que todos os objetivos propostos foram cumpridos neste trabalho: o estudo inicial sobre consumo de óleo, o estudo dos componentes pistão e anel, a avaliação da primeira versão do produto e sua posterior otimização.

A proposta inicial de otimização do pistão para redução de consumo de óleo culminou na escolha da versão P1 para a aplicação do motor 1,8l em questão. É importante dizer que não necessariamente esta versão será a melhor em qualquer projeto de pistão. Deve-se levar em consideração os primeiros resultados dos testes em motor, que acabam por indicar qual a direção a ser seguida em um projeto: quer seja para reduzir o consumo de óleo, diminuir a potência dissipada com o atrito, aumentar a potência total, reduzir o nível de blow-by ou o nível de emissões.

Através deste trabalho, foi possível compreender todas as etapas de um projeto de engenharia. Desde a concepção inicial até as versões finais do produto, otimizadas de acordo com as exigências do cliente final.

A possibilidade de realizar um projeto em uma empresa da área faz com que todo o estudo seja aplicado de forma prática e racional, consolidando todos os conhecimentos adquiridos.

## 8 Bibliografia

- *Timoshenko, S., "Resistência dos materiais", 1983.*
- *Padial, M. e Clemente, M., "Influence of 1<sup>st</sup> Ring Tangencial Force in Oil Consumption and Blow-By".*
- *Miyachika, M., Hirota, T. e Kashiya, K., "A Consideration on Piston Second Land Pressure and Oil Consumption of Internal Combustion Engine" – SAE paper 840099.*
- *Tejada, A. J. e Padial, M., "Aplicação de um Pacote de Anéis de Pistão de Alta Tecnologia para Redução de Consumo de Óleo e Blow-By em Motores Otto" – SAE paper 952237.*
- *Leites, J. M. M., "Design Parameters and their Influence on Lubrication Oil Consumption".*
- *Jr, U. M. e Miziara, W., "Contribuições Técnicas e Metodologia Aplicada para Reduzir o Consumo de Óleo do Motor" – SAE 942406.*
- *Coquetto, J. R. e Demarchi, V., "The Influence of the Lower Peripheral Edge Chamfer of Top Rings on Blow-By and Oil Consumption".*
- *Windlin, F. L., "Estudo e Isolamento de Causas de Consumo de Óleo Lubrificante no Motor de Combustão Interna".*
- *Brombolich, L. J., "Effect of Cylinder Distortions and Piston Ring Design on Oil Consumption and Friction Losses in Automobile Engines".*
- *Wentrorth, J. T., "Effect of Top Compression Ring Profile on Oil Consumption and Blow-By with the Sealed Ring-Orifice Design" – SAE paper 820089.*
- *Nigro, R. B. e Zottin W., "Simulação de Dinâmica de Pistão e Dinâmica de Anéis para o Motor 1,0 l Gasolina".*
- *Villar, C. A. e Demarchi, V., "Influência da Conicidade da Face de Contato de Segmentos no Consumo de Óleo".*
- *Mihara, K. e Inoue, H., "Effect of Piston Top Ring Design on Oil Consumption" – SAE paper 950937.*

- **Tejada, A. e Padial, M., "Piston Ring Technology for Oil Consumption and Blow-By Reduction in Otto Engines". SAE paper 952237.**
- **Escola Politécnica, "Diretrizes para apresentação de dissertações e teses".**

Sys 1996446

**Controle Estatístico Aplicado à Indústria  
Automobilística: Um Exemplo**

16 jul 03

10,0  
dez

entregue

23 fev 2001

2001

10

40

2

para

40  
2

para transcrever

Orlando Vieira Sampaio Júnior  
Prof. Dr. Edson Gomes

São Paulo - 2000

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVO.....</b>	<b>4</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
3.1. Definição do Controle Estatístico do Processo (C.E.P.).....	5
3.2 Metas de Implantação do C.E.P.....	5
3.3 Estatística Aplicada.....	6
3.3.1 Características Básicas da Distribuição Normal.....	6
3.4 Gráficos de Controle.....	9
3.4.1 Tipos de Gráfico de Controle.....	10
3.4.2 Limites de Especificação e Controle.....	10
3.4.3 Gráfico de Controle de Variáveis.....	11
3.4.3.1 Gráfico ( $\bar{X}$ - R ).....	11
3.4.4 Índices de Capacidade.....	13
3.5 Concientização Organizacional.....	15
<b>4. DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>16</b>
4.1 Planejamento Operacional.....	16

4.1.1 Revisão e Avaliação Inicial do Processo.....	16
4.1.1.2 Seleção das Características.....	17
4.1.1.3 Metodologia de Controle.....	18
4.1.1.4 Análise do Desempenho da Ferramenta de Montagem.....	22
4.1.1.5 Avaliação do Sistema e Meio de Medição.....	23
4.1.1.6 Cálculo dos Limites de Controle.....	26
4.1.1.7 Transporte dos Limites de Controle para a Carta.....	26
4.1.1.8 Acompanhamento e Análise de Capacidade.....	26
<b>5. RESULTADOS FINAIS DO TRABALHO.....</b>	<b>29</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>32</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As empresas de todo o mundo, e especialmente no Brasil, estão vivendo uma nova revolução industrial, talvez mais importante que a ocorrida na Inglaterra no século XIX.

Esta revolução está sendo provocada pelo próprio mercado consumidor que procura produtos e serviços de qualidade e preço baixo. Até pouco tempo, a indústria para oferecer um produto com qualidade comprometia a sua produtividade, e conseqüentemente o preço subia em função do repasse dos custos de inspeção, retrabalho, sucata, maior tempo de manufatura, assistência técnica na garantia, dentre outros.

Hoje a relação é diferente. Para obter um preço final competitivo para produtos e serviços, a única opção é a qualidade. Destas maneiras as empresas que aparentemente seriam consideradas inatingíveis, são forçadas a modificar a sua cultura, garantindo assim a sua sobrevivência no mercado.

A equipe gerencial portanto, deve trabalhar em busca de uma nova visão, na Organização do Futuro, abordagem importante face a Nova Concorrência. Para que a mudança seja eficaz, a empresa precisará aperfeiçoar seu desempenho, reduzindo custos, melhorando a produtividade e a qualidade através de métodos, conceitos, ferramentas e técnicas conhecidas.

O controle Estatístico do Processo (C.E.P.) é uma técnica bastante antiga, desenvolvida pelo Dr. Walter A. Shewhart em 1924 nos laboratórios Bell (USA), hoje AT&T.

Com o desenvolvimento da produção em larga escala, principalmente no Japão, após 1944, o C.E.P. firmou-se como uma ferramenta importante para o eficiente, seguro e rápido controle e aperfeiçoamento dos processos produtivos. Eficientes por trabalhar com base na matemática aplicada; seguro pela sua aplicação no dia-a-dia das atividades industriais e rápido por trabalhar com pequenas amostras da população.

Um dos colaboradores para este movimento foi o Dr. Deming, professor universitário e consultor do governo americano, que após a Segunda Guerra Mundial foi convidado a participar do censo de 51 no Japão e dirigir cursos de treinamento estatísticos para gerentes japoneses.

As idéias de Deming tiveram um sucesso absoluto no Japão, em muito contribuindo para o crescimento daquele país. Em homenagem ao professor, foi criado no Japão, o prêmio Deming da Qualidade, que é a maior láurea que uma empresa pode receber sobre a qualidade, porém, na década de 70 as idéias de Deming, ironicamente, chegaram aos Estados Unidos, difundindo o uso de Controle Estatístico em todas as áreas industriais.

O sucesso de muitas empresas na obtenção de vantagens competitivas, principalmente as japonesas, deve-se em grande parte a extensa utilização desta ferramenta.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar o planejamento e a implantação do Controle Estatístico do processo na montagem final do veículo (MCM - Montagem de Caminhões) da Mercedes-Benz do Brasil S.A., sediada em São Bernardo do Campo - SP. A implantação é de responsabilidade de todas as áreas diretamente ligadas à produção, englobando desde o treinamento ministrados por empresas de consultoria e treinamento, até a gerência administrativa.

Além de analisar as atividades típicas do planejamento da implantação, procuramos acompanhar a melhoria de processos, como também tecer algumas considerações sobre os benefícios e dificuldades enfrentadas para dar continuidade à realização das mesmas.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Definição do Controle Estatístico do Processo (C.E.P.)**

De acordo com a referência (CEP - 1987)<sup>1</sup>, a estatística é a parte da Matemática aplicada que se ocupa em obter conclusões a partir de uma série de dados e números observados. Através dessas observações, pode-se chegar à diversas conclusões sobre o conjunto todo.

Controle é a forma de se manter algo dentro dos limites pré-definidos (padrões), ou fazer com que se comporte de forma adequada, para que não se desvie das normas preestabelecidas.

Assim, Controle Estatístico pode ser definido à partir da junção dos significados de cada uma das palavras. É o método utilizado, para fazer com que os resultados se mantenham conforme previsto pelos padrões com a ajuda de dados e números.

Processo é a combinação necessária entre homem, materiais, máquinas, equipamentos e meio ambiente, para fabricar um produto qualquer. Um processo é qualquer conjunto de condições ou conjunto de causas (sistemas de causas) que trabalha simultaneamente para produzir um determinado resultado.

Controle Estatístico do Processo é um método preventivo de se comparar, continuamente, os resultados de um processo com os padrões, identificando, à partir de dados estatísticos, as tendências para variações significativas, a fim de eliminar/controlar essas variações, com o objetivo de reduzi-las cada vez mais.

Devido às suas características o uso da Estatística se torna muito eficiente para se prever cientificamente e racionalmente que medidas adotar, à fim de melhorar os resultados futuros de um sistema.

Com o C.E.P. é possível aproveitar melhor os equipamentos e máquinas, a mão de obra e os demais recursos, através da competente ação gerencial para melhoria da qualidade e da produtividade.

#### **3.2 Metas de Implantação do C.E.P.**

Para realmente melhorar os processos na montagem final de caminhões é necessário um esforço dirigido e ordenado de todos os seus integrantes. ) C.E.P. evidencia os problemas, porém a solução requer outras decisões gerenciais. Para a completa implantação é necessário procedimentos específicos e o comprometimento da alta gerência, treinamento de todos os envolvidos no processo, desejo real do aprimoramento das mesmas, ênfase à prevenção dos problemas e não correção, análise constante dos gráficos de controle e o desenvolvimento do C.E.P. pela produção.

#### **3.3 Estatística Aplicada**

A estatística nos permite analisar o comportamento de uma população através do estudo de uma amostra. Quando coletamos devemos representá-los de forma clara e

precisa. Isto pode ser conseguido pela forma gráfica, que é a maneira mais simples de comunicação.

Para efeito de estudo de um processo qualquer, o método estatístico se prende ao estudo de variações aleatórias. Estas variações são inerentes ao processo e podem ser diminuídas, procurando minimizá-las.

Segundo a literatura (Buzziol & Rodrigues \_ 1996)<sup>2</sup>, podemos dividir as variações existentes em 2 grupos:

- **Variações comuns:** São aquelas provenientes de causas naturais que ocorrem ao acaso e estão sempre presentes quando um processo está em operação. Elas são responsáveis pela variabilidade do produto, algo previsível e característico do processo (por exemplo a queda da pressão de ar comprimido, queda da energia elétrica, etc.).
- **Variações especiais:** São aquelas imprevisíveis, decorrentes de alguma causa identificável, ou seja, são consequência da interferência de algum elemento estranho às variações naturais do processo e causam instabilidades que afetam as características sob acompanhamento, e por consequência, a qualidade do produto (por exemplo a montagem irregular, erro de leitura do operador, máquina desregulada, etc.).

Estas variações inerentes são específicas em processo estáveis, com características diferentes para cada processo. Na maioria das aplicações industriais, encontramos, para análise estatística, um tipo de distribuição que representa, matematicamente, essas variações, e cujo nome é **Distribuição Normal**, também denominado Curva de Gauss.

### 3.3.1 Características Básicas da Distribuição Normal

O aspecto gráfico da distribuição Normal é de um sino, varia de menos infinito à mais infinito, simétrica em relação à média. Para sua construção, são necessários dois parâmetros: a média ( $\mu$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ). Matematicamente a função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Onde:

- x - variável aleatória
- f(x) - probabilidade de ocorrência de x
- $\mu$  - medida de tendência central (média da população)
- $\sigma$  - desvio padrão da população

e - número de Euler

A fórmula matemática está associada ao histograma, também conhecido por gráfico de colunas. Trata-se de um arranjo tabular que representa uma distribuição de freqüências, conforme ilustrado na figura 1.

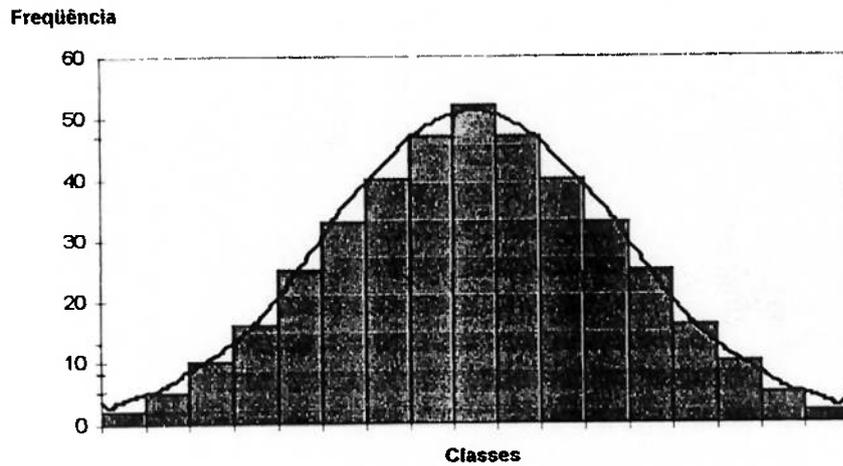


FIG. 1 - Comparação do histograma com a curva Normal

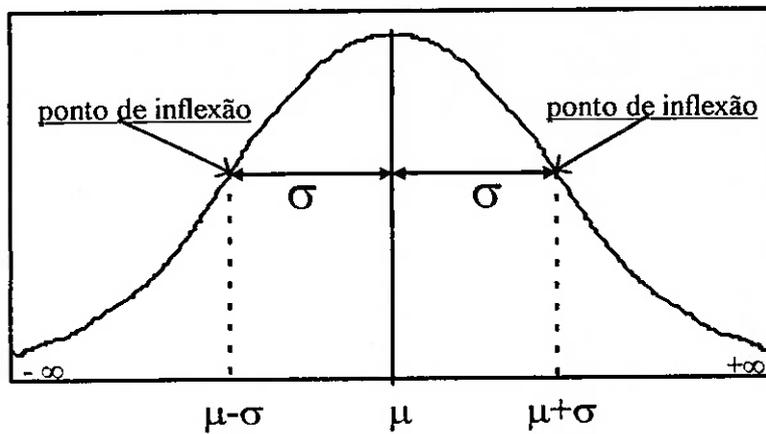


FIG. 2 - Gráfico da distribuição Normal

**Média** é a avaliação de todos os valores individuais obtidos de uma amostra; a qual indica o centro de uma curva de distribuição Normal e reflete a direção do processo.

**Desvio padrão** é a medida de dispersão de uma curva de distribuição Normal e reflete a variabilidade do processo.

Conforme a apostila (CEP - 1987)<sup>1</sup>, uma curva normal teórica, de média  $\mu = 0$  e o desvio padrão  $\sigma = 1$ , pode ser utilizada para representar a função densidade de probabilidade da população, qualquer que seja a sua média e o seu desvio padrão. Assim podemos sempre utilizar os valores da curva normal padronizada (normal reduzida) onde:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

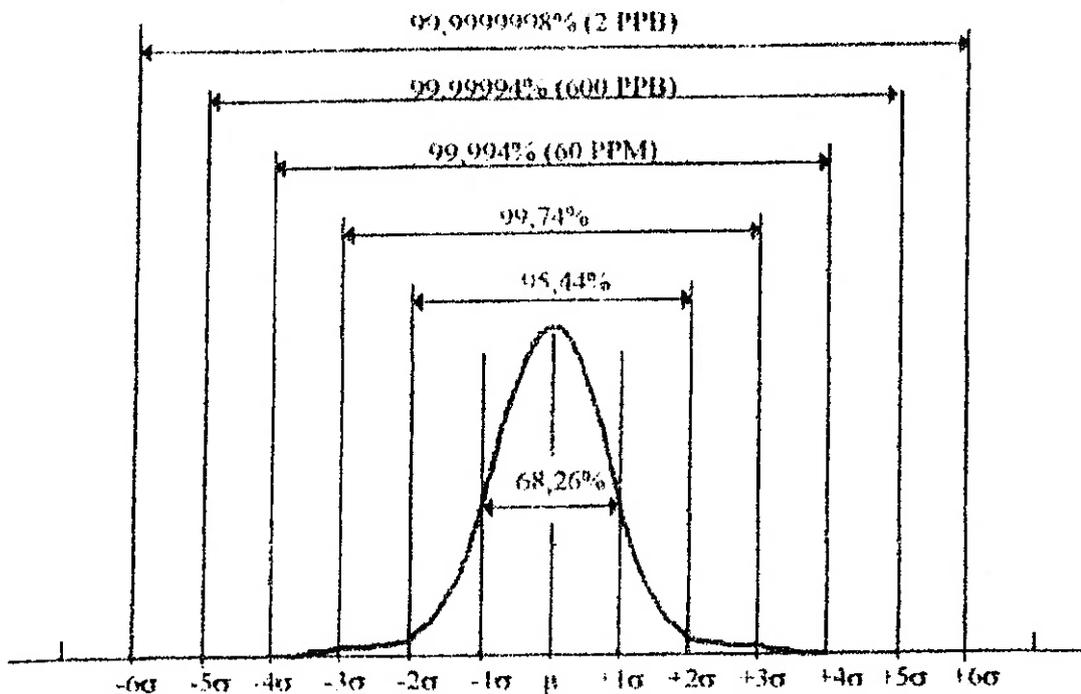
$$f(z) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$$

$z$  - Fator normal, indica o número de desvios obtidos entre  $x$  e  $\mu$ .

Portanto, se quisermos calcular qualquer probabilidade  $f(z)$  em função de  $x$ , calculamos  $z$  e procuramos  $f(z)$  pela tabela distribuição normal padronizada.

Dentro de um processo com distribuição Normal, com média  $\mu$  e o desvio padrão  $\sigma$ , a relação genérica da fig. 3, pode ser sempre estabelecida.

**GRÁFICO PAG. 17**



De acordo com a revista da Sociedade Alemã para a Qualidade n.º 11-04 [apud, (CEP - 1996)<sup>3</sup>], o gráfico de controle ou carta de controle é definido como “formulário para a representação gráfica de valores obtidos em uma série contínua de amostras ao acaso os quais, após registrados, são comparados com os limites de controle com a finalidade de conduzir a qualidade.”

A carta de controle foi desenvolvida por Walter Shewhart em 1924 [apud,(FUSCO - 1995)<sup>4</sup>], com a finalidade de tornar possível o acompanhamento do processo se o mesmo está ou não controlado, ou se apresenta variações do tipo causal. Pela carta de controle podemos saber se o processo está sofrendo a influência de causas especiais ou não, permitindo a investigação do processo no momento em que elas estão ocorrendo e adoção de atitudes com o objetivo de eliminá-las.

Quando corretamente usado, o gráfico de controle pode trazer alguns benefícios como:

- Dar suporte para um controle continuado do processo pelos operadores;
- Auxiliar o processo a desempenhar níveis de qualidade e de custos consistentes e previsíveis;
- Garantir menos variações na saída e aumento da eficácia;
- Proporcionar uma linguagem comum para discussões do desempenho do processo;
- Distinguir os distúrbios comuns dos especiais, permitindo ações locais ou gerenciais.

### 3.4.1. Tipos de Gráficos de Controle

O princípio do gráfico de controle está baseado no fato de que um processo sob controle, caracteriza-se por uma distribuição Normal. Basicamente pode-se diferenciar em dois tipos: carta de controle por variáveis (característica mensurável) e por atributo (característica não mensurável). As cartas de controle usuais e suas denominações, estão apresentadas na figura 4.

#### Cartas de Controle por Variáveis

$\bar{X}$  - R Carta de amplitude dos valores médios.

$\bar{X}$  - S Carta do desvio padrão dos valores médios.

~

$\bar{X}$  - R Carta de amplitude das medianas.

### Cartas de Controle por Atributos

- p **Carta da quantidade de lotes com defeitos (lotes defeituosos)**
- i **Carta da quantidade de peças com defeitos (defeitos por lote)**

**Fig.4** - Tipos e denominações de cartas de controle

O critério de seleção para o tipo de gráfico de controle deve ser feita de acordo com as características específicas do processo. Adicionalmente deve ser levado em consideração a capacidade do pessoal existente e a verba disponível.

Os gráficos para variáveis são melhores, pois os dados fornecem mais informações sobre a característica em estudo que os dados por atributos, além de trabalhar com amostras de tamanho muito menor e trabalhar com a prevenção de problemas.

Com relação aos tipos de cartas de controle, encontram-se na literatura inúmeras referências sobre o seu modo de funcionamento, montagem e cálculo de grandezas características. Conforme apresentado na apostila (CEP - 1996)<sup>3</sup>, alguns esclarecimentos gerais para os diversos tipos de carta podem ser encontrados por exemplo, na brochura da Qualidade Assegurada Central “Regulagem de Processo Estatístico com Valores de Medição”.

#### **3.4.2 Limites de Especificação e Controle**

Os limites de controle não devem ser confundidos com limites de especificação. De acordo com a apostila (DONELLA - 1988)<sup>5</sup> os **limites de especificação** são os limites que constam no desenho do produto, estipulados pela Engenharia de produto, normas técnicas, leis, etc; servem para informar se o processo está produzindo dentro dos padrões exigidos por norma, ou seja, dentro do especificado. Estes limites representam o padrão desejado para o processo.

Os **limites de controle** são os limites obtidos à partir dos dados coletados no processo e indicam se o mesmo está sob controle estatístico (se apresenta variações do tipo aleatórias), ou seja, representam o padrão natural de comportamento do processo.

#### **3.4.3 Gráfico de Controle de Variáveis**

Gráfico de Controle de Variáveis é o gráfico utilizado para controle de variações do processo, nos casos onde a característica sob investigação é uma quantidade mensurável; porém, apresenta-se na apostila (CEP - 1996)<sup>2</sup>, que para controlar variáveis é preciso que se trabalhe com 2 gráficos, um para a centralização (média e mediana) e outro para o espalhamento (amplitude e desvio padrão) da distribuição do processo. Qualquer um dos gráficos que se apresente fora de controle implicará que o processo saiu do seu padrão natural.

Utilizando a média como medida de centralização, a distribuição associada ao seu gráfico tenderá sempre para a Normal, conforme provado por uma lei estatística chamada Teorema do Limite Central. Além de que, a média tende a reagir mais rapidamente que a mediana à uma alteração do processo. Já o gráfico da amplitude é mais fácil de se calcular.

Por estas razões, o gráfico da média juntamente com o da amplitude, conhecido como:

Gráfico  $\bar{X}$  - R, são os mais comumente usados para controle por variáveis, sendo adotado pela Mercedes Benz do Brasil.

### 3.4.3.1 Gráfico ( $\bar{X}$ - R)

#### a) Definições

As definições aqui citadas, com relação ao gráfico  $\bar{X}$  - R foram extraídas da literatura (DONELLA - 1988)<sup>5</sup>. A vantagem da utilização deste gráfico é que ele não requer cálculos aritméticos complicados. Para sua construção deve ser utilizada uma planilha (carta de controle), que possui áreas específicas para indicações gerais sobre o processo, para o desenho dos gráficos (centramento e espalhamento), e para anotação dos dados coletados, incluindo valores utilizados para centramento e espalhamento.

As cartas  $\bar{X}$  e R são usadas em par e construídas à partir das medições de uma característica particular sob investigação. A carta da amplitude é analisada primeiro, porque quando a amplitude está sob controle estatístico, a variabilidade do processo é aceita como sendo estável. A carta da média é analisada em seguida para determinar se existe variações no processo com o correr do tempo. Se as médias não estão sob controle, há probabilidade da existência de distúrbios especiais, que tornam o processo instável. Alterações no processo, em tais circunstâncias, representam apenas perda de tempo e podem, inclusive, aumentar a quantidade de refugo produzido.

Situação fora de controle mostra a presença de distúrbios especiais. É identificada através da presença de pontos fora dos limites de controle e também pela presença de pontos dentro dos limites, quando sete ou mais pontos consecutivos se apresentarem em uma seqüência crescente ou decrescente, ou numa seqüência estática em um dos lados da média.

#### b) Construção do Gráfico ( $\bar{X}$ - R)

Inicialmente os dados são coletados com um plano predeterminado (plano de reunião de dados), usados para calcular os limites de controle, que são a base para a avaliação. Quando o processo atinge o estado de controle estatístico, os dados podem ser interpretados para determinar a capacidade do processo e usados como suporte para ações de aperfeiçoamento. Esse ciclo se repete novamente buscando acompanhar esses aperfeiçoamentos.

De acordo com a literatura (CEP - 1996)<sup>2</sup>, o procedimento adotado para a construção do gráfico segue abaixo:

**ETAPA 1:** Coletar os dados de acordo com o plano amostral definido (tamanho da amostra, frequência, forma de amostragem).

**ETAPA 2:** Calcular a média  $\bar{X}$  e a amplitude (R) para cada amostra.

**ETAPA 3:** Calcular a média geral ou média das médias ( $\bar{\bar{X}}$ ) e a média das amplitudes das médias ( $\bar{R}$ ), considerando todas as amostras coletadas.

**ETAPA 4:** calcular os limites de controle para os gráficos.

Os limites determinam uma faixa de mais ou menos 3 desvios padrão ao redor da média da característica que estamos controlando. Usando a média como medida de centramento, temos que a média do gráfico das médias é:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \dots + \bar{X}_N}{N} \quad \text{onde } N \text{ é a quantidade de amostras coletadas.}$$

O desvio padrão das médias é calculado pela amplitude média, através da seguinte relação:

$$\bar{S}_x = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} \quad \text{onde: } \bar{S}_x \text{ é o desvio padrão das médias e } S_x \text{ é o desvio padrão das amostras individuais.}$$

Portanto,  $3 \bar{S}_x = \frac{3 \bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$  e para simplificar podemos definir  $A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$ ,

o qual está tabelado em função do tamanho de amostra (n) (Anexo2).

Resumindo, o limite inferior de controle (LIC) e o limite superior de controle (LSC)

para o gráfico  $\bar{X}$  são dados por:

$\text{LIC} = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R}$	$\text{LSC} = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}$
--	--

Para o

gráfico das amplitudes, os limites são dados por:

$$LM = \bar{R}$$

$$LIC = D_3 \cdot \bar{R} \qquad LSD = D_4 \cdot \bar{R}$$

onde LM é o limite médio, e  $D_3$   $D_4$  são índices que estão tabelados no Anexo 2.

**ETAPA 5:** Definir a escala do gráfico de forma que os limites de controle possam ser desenhados e ainda reste algum espaço acima e abaixo destes, facilitando assim, a visualização do gráfico pelo operador.

Plotar os valores da média e amplitude para cada amostra nos respectivos gráficos, ligá-los por uma linha e traçar a linha média de controle calculados no passo anterior. É comum traçarmos a linha média com linha cheia e os limites de controle com linha tracejada.

**ETAPA 6:** Analisar os gráficos de controle começando pelo gráfico da amplitude (R), pois

como os limites do gráfico das médias ( $\bar{X}$ ) dependem do valor de R, se o gráfico da amplitude não estiver sob controle a análise do gráfico das médias não será válida.

Quando os gráficos mostrarem que o processo está sob controle, os limites devem ser utilizados para a manutenção do estado de controle ao longo do tempo, normalmente realizado pelo operador junto à operação. Nessa situação, o operador já recebe o gráfico com os limites traçados e deve seguir o plano de amostragem, marcando o resultado de cada amostra imediatamente após a sua coleta e analisando o gráfico.

#### 3.4.4. Índices de Capacidade

Para quantificar a capacidade, criaram-se índices que comparam a variação natural do processo com a variação permitida pela especificação. Os dois índices mais utilizados são chamados de  $C_p$  e  $C_{pk}$ .

O  $C_p$  é definido da seguinte forma:  $C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \sigma_x}$

Conhecido por Índice de Capacidade Potencial do Processo, apenas informa se a curva de Gauss está dentro dos limites de especificação. Note que o cálculo que compara a variação natural do processo ( $6 \sigma_x$ ) com a variação permitida pela especificação (LSE - LIE), conforme ilustrado pela fig. 5

## GRÁFICO PAG. 27

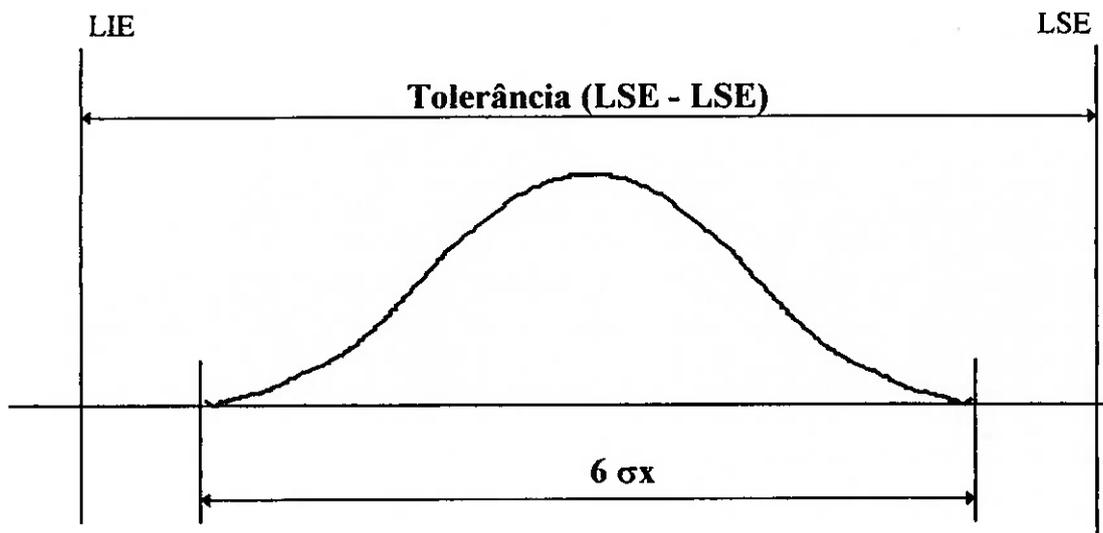


FIG. 5 - Definição de Cp.

Para representar a verdadeira capacidade do processo usa-se o índice Cpk, também chamado de Índice de Capacidade Real do Processo, que é definido da seguinte forma:

Cpk = menor valor entre Cps e Cpi (Capacidade superior e inferior do processo), onde:

$$Cps = \frac{LSE - \bar{X}}{3 \sigma x}$$

$$Cpi = \frac{\bar{X} - LIE}{3 \sigma x}$$

De acordo com (CEP - 1996), o índice Cpk considera a descentralização de um processo, que não é uma situação difícil de ocorrer, e não é considerado pelo índice Cp. Note que o Cp e o Cpk serão iguais se o processo estiver centrado em relação à especificação.

Assim, para uma análise completa da capacidade de um processo devemos usar os índices Cp e Cpk conjuntamente, de forma que se forem diferentes, o processo não estará centrado em relação à especificação, e quanto maior o valor do Cpk, melhor a capacidade do processo em atender às especificações.

A Mercedes Benz do Brasil definiu os valores 1,0 e 1,33 (Cp e Cpk respectivamente) como o mínimo valor aceitável para que o processo seja considerado capaz.

### 3.5. Concientização Organizacional

Para que a implantação do programa de C.E.P. seja eficaz, é necessário estabelecer critérios gerais e objetivos à serem alcançados através de um plano estrutural. Definição dos grupos e suas tarefas básicas são necessários para a completa concientização da necessidade da sua implementação (fig. 6,7,8,9).

#### ALTA ADMINISTRAÇÃO

- Elaboração de plano estrutural geral de implantação.
- Dar suporte e apoio à equipe gerencial.
- Orientar sobre política da qualidade e política estratégica.
- Implementar filosofia de trabalho em equipe.
- Programar treinamentos para a equipe gerencial.

**Fig.6 - Tarefas**

básicas da Alta Administração

#### EQUIPE GERENCIAL

- Encaminhar política de implementação.
- Dar suporte e apoio às equipes setoriais.
- Estabelecer áreas piloto.
- Acompanhar e avaliar a evolução dos trabalhos.
- Programar treinamentos.
- Estabelecer procedimentos de implantação.
- Relatar a evolução à alta administração.

**Fig.7 - Tarefas básicas da Equipe Gerencial**

#### FACILITADOR

- Interface entre equipe gerencial e equipes setoriais.
- Dar suporte técnico e administrativo às equipes setoriais.
- Auditar resultados da implantação.
- Orientar a equipe gerencial sobre necessidade de treinamentos.

**Fig.8 - Tarefas básicas do Facilitador.**

### EQUIPES SETORIAIS

- Avaliar processos.
- Encaminhar ações corretivas.
- Desenvolver recursos de apoio.
- Manter documentos sobre implantação.
- Encaminhamento de etapas operacionais.
- Relatar evolução à equipe gerencial.
- Treinamento dos operadores.

**Fig.9** - Tarefas básicas das Equipes Setoriais.

Porém, para o completo envolvimento dos grupos, devem ser desenvolvidos trabalhos em equipe visando facilitar qualquer mudança, que por ventura seja necessário executar, em geral de ordem cultural, em todos os níveis da companhia.

O trabalho em equipe propiciará uma agilização nas análises e soluções de problemas, além de minimizar os efeitos de eventuais resistências à implementação.

## **4. DESENVOLVIMENTO**

### **4.1 Planejamento Operacional**

#### **4.1.1 Revisão e Avaliação Inicial do Processo**

A avaliação inicial do processo é um pré-requisito para a implantação do C.E.P. Sua realização está diretamente ligada aos técnicos da qualidade.

A revisão abrange diversos tópicos como Matéria Prima, manutenção Preventiva, procedimentos de Operação e as Especificações, conforme descrito abaixo:

- Matéria Prima: Requisitar ao Laboratório de Materiais, para que se verifique os parâmetros críticos de cada um; Inspecionar a montagem buscando verificar se os materiais utilizados estão de acordo com o Plano de Produção; Solicitar ao AQF (Asseguramento da Qualidade dos Fornecedores) para desenvolver um programa de qualificação de fornecedores, no caso que for comprovado a presença de uma não conformidade resultante do processo de fabricação do mesmo.
- Manutenção Preventiva: Verificar as atividades, frequência e registro das informações recentes às manutenções, se estão sendo executadas. Eliminar adaptações provisórias e realizar ações corretivas básicas no equipamento, em função de problemas conhecidos.
- Procedimentos de Operação: verificar se os procedimentos realizados pelos operadores estão de acordo com o procedimento de operação. Caso não estejam, rever os procedimentos ou retrainar os operadores.

- Especificações: Verificar se as especificações de processo e produto estão sendo atualizadas, caso não estejam, atualizá-las.

A revisão não deve ser profunda, mas somente utilizada com o objetivo de identificar as distorções mais visíveis do processo à serem estudadas no C.E.P.

A avaliação inicial tem como fundamento:

- Auxiliar o entendimento de um processo atual (O que o processo está produzindo?).  
Ex.: número de peças defeituosas;
- Verificar se o processo está produzindo de acordo com o esperado, dentro do especificado por norma ou pela Engenharia;
- Verificar se o ajuste da máquina ou regulagem alterou o processo;
- Baseado na situação atual, prever o que poderá acontecer no futuro

#### 4.1.1.2 Seleção das Características

<u>Critério de Avaliação do veículo</u>	
(Nota Audit - Meta 2,4)	
1 ↔ 2	<b>muito bom</b>
2 ↔ 3	<b>bom</b>
3 ↔ 4	<b>satisfatório</b>
4 ↔ 5	<b>menos satisfatório</b>
5 ↔ 6	<b>ruim</b>
6 < ...	<b>muito ruim</b>

**Fig.10** - Critério adotado

pela Mercedes Benz do Brasil para Avaliação do Veículo.

Toda não conformidade detectada na avaliação apresenta peso diferente de acordo com o grau de criticidade. Deste modo, as não conformidades relacionadas à montagem de caminhões consideradas itens de segurança, foram estipulados pesos relativamente maiores que as demais.

Em função desse grau de importância, e sabendo que através da eliminação destas não conformidades reduziria a nota do veículo, melhorando a avaliação do mesmo, foi elaborado pelo departamento do MCM uma IT (Instrução de Trabalho) requisitando inspeções para a fixação dos itens de segurança. (anexo 5)

O torque nominal e a sua tolerância foram definidas de acordo com a Engenharia, visando estabelecer um método padronizado de recontrole de junções por parafuso, feita manual ou mecanicamente para a fabricação seriada.

No caso de junções críticas e especiais, através da utilização de parafusos, os torques de aperto bem como admissíveis, com suas tolerâncias, foram especificados em desenhos pela área de desenvolvimento.

Para as demais junções por parafusos que não constavam nos desenhos, os torques foram especificados através da utilização de normas como valores orientativos (Norma DIN.33034) (anexo 6).

Assim, procurando atender a Instrução de Trabalho elaborado pelo departamento do MCM, a necessidade de controlar as fixações dos itens de segurança buscando reduzir a nota de avaliação dos veículos e capacitar os processos que envolvem estes itens de segurança, definiu-se os 42 postos pilotos de implantação. (anexo 3)

#### **4.1.1.3 Metodologia de Controle**

A metodologia de controle foi elaborada pela área do MCM (Montagem de Caminhões) em conjunto com o AQP (Asseguramento da Qualidade na Produção), procurando formalizar procedimentos para serem utilizados no C.E.P. pela produção.

##### **1º Passo - Forma de Inspeção**

Definido o torque de aperto como sendo a característica mais importante para análise, entre diversos parâmetros relacionados ao item fixação de segurança, deu-se início ao desenvolvimento da forma de inspeção.

Existem basicamente dois métodos de medição do torque de aperto: medição dinâmica e a medição estática.

A medição dinâmica é realizada com a utilização de um transdutor de torque, diretamente acoplado na parafusadeira, para registrar o torque máximo aplicado pela máquina no conjunto porca-parafuso, no instante do aperto.

É importante salientar que o torque máximo citado é registrado pelo transdutor no instante que a resistência apresentada pela junção ultrapassar a regulagem da máquina, suficiente para acionar a válvula "shut-off" ou redirecionar o fluxo de ar, impedindo que a máquina continue a exercer mais o aperto.

Realizado o torque de aperto pela parafusadeira, as juntas sofrem deformações (característica em função do aperto) e acomodamento (característica da própria junta), resultando na queda do torque aplicado até que o conjunto porca-parafuso permaneça em condição de equilíbrio. Neste instante, é executada a medição estática, que mede o torque "real" através da utilização do torquímetro de relógio. A medição estática registra o torque máximo necessário para tirar o conjunto porca-parafuso da condição de equilíbrio.

Solicitações de torquímetros digitais foram feitas procurando eliminar a sensibilidade do inspetor na leitura, que eram constantes nos casos dos torquímetros de relógio.

O critério de inspeção adotado baseou-se no critério utilizado pela Auditoria da Qualidade do Produto, através do controle da medição estática, procurando obter o torque "real" aplicado para comparar com o especificado pela Engenharia.

Alguns cuidados também foram estipulados: sempre que ocorrer a medição através do uso do torquímetro, a capação das medidas de torque devem ser executadas na porca fixando-se o parafuso. Também, antes de iniciar qualquer captação, o inspetor deve ter o cuidado em verificar a aferição do instrumento.

## **2º Passo - Tipos de Controle**

O tipo de controle foi analisado em função da técnica estatística. A escolha baseou-se no fato de utilizar uma técnica apropriada ao processo, que reduzisse a necessidade de um controle 100% do mesmo. No caso foram analisados a técnica por atributos e a técnica por variável.

Optou-se pela técnica estatística por variável, porque trabalhando com características mensuráveis, consegue-se informações mais específicas sobre o processo ao mesmo tempo que se trabalha com a correção e a busca da prevenção de problemas.

As desvantagens perante a técnica por atributo, é que trata-se de uma técnica mais trabalhosa porque dispense muito tempo para sua implantação desde treinamento dos inspetores, coletas de dados (medições), análise da carta, e a utilização de diversos cálculos baseados em estatística; além de repercutir em alto investimento, pois necessita que seja feito um controle mais rígido, influenciando diretamente na quantidade de inspetores necessários para executar a medição.

A vantagem está na redução da frequência de captação de dados com o decorrer da melhoria de desempenho do processo, abrindo a possibilidade da utilização de outros métodos que não necessitem de controle através de cálculos (por exemplo o diagrama de farol); na tendência de uma nova filosofia de trabalho buscando o direto comprometimento do operador com o desempenho; na apresentação estatística que melhor se aproxima da realidade do processo.

## **3º Passo - Responsável Pela Coleta**

Para trabalhar com a coleta foram selecionados 10 operadores da linha de montagem (5 de cada turno de trabalho), que após um treinamento específico de 20 horas, passaram a ser inspetores da produção, com o objetivo de exercer somente esta atividade. Porém, foi solicitado pela área da Qualidade, que os operadores que fossem escolhidos da linha de montagem, tivessem no mínimo o ginásio e já trabalhassem com o processo, devido ao nível de treinamento oferecido.

## **4º Passo - Planilha De Trabalho (Carta de Controle)**

A planilha, também conhecida por carta de controle, foi desenvolvida pela área da Qualidade, com o propósito de facilitar ao inspetor da produção, na identificação de presenças de distúrbios especiais ao processo, para que ações corretivas sejam tomadas de imediato, buscando prevenir a presença de defeitos. A planilha também é utilizada para o acompanhamento da evolução da eficiência do processo, pela própria área da Qualidade. (Anexo 7)

A carta de controle é formada basicamente por:

- Área para a identificação do processo em que se está sendo aplicado o C.E.P.
- Tabela para registro das medições
- 2 gráficos de controle (média e amplitude)
- Diário de bordo.

A área de identificação é onde se encontra todas as informações que identificam o processo. Por exemplo: o centro de custo que á pertence; o inspetor responsável pelo manuseio; a identificação da máquina que está exercendo o aperto; a frequência estipulada para o controle; etc.

A tabela de registro das medições é o espaço reservado para anotar os valores encontrados nas medições individuais de cada amostra; a data e a hora da coleta; e o valor da média e da amplitude da amostra calculado pelo inspetor.

O gráfico de controle é o principal item da carta. A sua escolha baseou-se na técnica

estatística utilizada. Decidiu-se adotar o gráfico  $\bar{X} - R$  (Gráfico da carta de amplitude dos valores médios), por ser um gráfico de controle de variáveis, com a vantagem da facilidade de manuseio, sem a exigência de cálculos complexos e por apresentar um satisfatório resultado estatístico.

No gráfico são plotados os pontos relacionados às médias das amostras, bem como as amplitudes das amostras calculadas pelo inspetor. Sua finalidade é mostrar os pontos que estão fora de controle, para que sejam tomadas ações corretivas.

O diário de bordo está situado no verso da folha. Deve estar localizado em um local de fácil acesso, junto ao posto de trabalho. Trata-se de um espaço reservado para o registro de todas alterações referentes ao processo, bem como as ações corretivas adotadas pelos inspetores. Em conjunto com os gráficos, servem para futuras análises do desempenho do processo, bem como da eficiência das ações corretivas adotadas em casos de pontos plotados fora dos limites de controle. (Anexo 8)

### **5º Passo - Tamanho, Frequência e Forma de Amostragem**

Escolhido o tipo de planilha, os técnicos da qualidade e da produção precisaram determinar o tamanho da amostra, a frequência de controle e a forma de amostragem, para uqe os inspetores da produção pudessem dar início ao controle.

O tamanho da amostra foi especificado com base nas literaturas sobre estatística, que recomendam o número mínimo como sendo 3 amostras e o ideal em 5 amostras. A definição foi individual para cada posto de implantação do C.E.P., em função do número de porca-parafusos disponíveis para a medição em cada fixação (3 a 5).

A frequência foi determinada através do cálculo do "TAKT-TIME" (intervalo de tempo

da liberação de um veículo da linha até a liberação de outro). No início, a frequência ficou estipulada em uma hora, considerando que, se durante este intervalo de tempo o inspetor fizesse a captação em 5 diferentes tipos de veículos, ao reiniciar a sequência de captação não haveria possibilidade de repeti-la novamente em um dos veículos. Iniciado a coleta, verificou-se que não era possível cumprir o prazo estipulado para a captação.

Sendo 42 o número de postos pilotos, 5 o número de inspetores da produção disponível para a captação em cada turno de trabalho, e 3 à 5 o tamanho da amostra; a quantidade de medições exigidas nas captções pelos inspetores eram muito grandes, impossibilitando que os mesmos fizessem as medições em todos os postos no prazo estipulado, resultando na perda de informações necessárias para o devido controle.

Feito um novo estudo determinou-se que a frequência de medição necessária para a coleta de todos os dados fosse executada em 2 horas. A forma de amostragem deve ocorrer sempre na mesma sequência, de acordo com o plano de produção (montagem).

#### **6º Passo - Treinamento**

O treinamento foi elaborado e executado pelos técnicos da qualidade. Trata-se de um curso de 20 horas, dividido em 5 aulas de 4 horas, com o propósito de levar ao montador o objetivo do trabalho e conhecimentos básicos para execução da captação. O curso envolve também aulas práticas com o acompanhamento do técnico responsável, para verificação de possíveis dificuldades e dúvidas, que os montadores venham a apresentar durante todo o procedimento de captação.

Devido aos grandes problemas no Centro de Custo114 gerados no chassi (peças invertidas e aos altos custos de retrabalho), definiu-se este centro de custo, como sendo a área piloto no treinamento dos montadores.

#### **Conteúdo do Curso:**

- Matemática básica aplicada aos gráficos de controle;
- Plotar pontos no gráfico;
- Interpretação dos gráficos;
- Roteiro de ação para situações de falta de controle;
- Coleta de dados;
- Instrumentos de medição.

Uma lista contendo exemplos de possíveis causas, que resultam no toque fora do especificado, é fornecido para os inspetores durante o treinamento, à fim de que os mesmos utilizem nas soluções de problemas e também, como base para o registro no diário de bordo.

(Anexo 9)

#### **4.1.1.4 Análise do Desempenho da Ferramenta de Montagem.**

A análise do desempenho da ferramenta de Montagem, tem o objetivo de verificar se a mesma se encontra dentro das especificações, evitando que esta gere alguma falha de processo. Portanto, para que o processo esteja sob controle, todos os meios que envolvem o processo devem estar sob controle, como é o caso da Ferramenta de Montagem.

O método de avaliação é simples e deve ser utilizado em casos onde se tem a presença do C.E.P. na operação.

O estudo é feito verificando peça por peça, consecutivas, sem correção do processo, para alcançar uma certeza estatística suficiente dos parâmetros de distribuição. O número de amostras é especificada de acordo com o grau de dificuldade da avaliação e de sua necessidade, onde o mínimo adotado é de 30 amostras.

Um dos estudos utilizados para avaliação da Ferramenta de Montagem é o estudo de Capabilidade de Máquina.

#### a) Estudo de Capabilidade de Máquina

Estudo de capabilidade é o estudo feito para determinar a dispersão da máquina, comparado com a tolerância exigida, isolando-a de outras fontes de variações. Por exemplo: influência de junta, mão de obra, ar comprimido, etc. O estudo é exigido quando a capabilidade do processo está sofrendo variações.

Segundo os controladores, se o processo é capaz, significa que todas as características do processo estão dentro das especificações, anulando a necessidade de se fazer uma análise da capabilidade da máquina.

No caso da ferramenta de montagem ser levada para a manutenção, no seu retorno não é feito capabilidade de máquina; ou seja, é feito somente à título de análise, quando o processo se apresentar fora de controle. Porém, existe uma norma na Mercedes-Benz, que exige para toda máquina adquirida pela empresa, que seja feita o teste de capabilidade.

Equipamentos utilizados para o teste de capabilidade da máquina:

- 2 Transdutores de Torque. Para avaliação dinâmica e estática;
- Torquímetro de relógio;
- Chave de boca;
- Soquete;
- Chapa de aço 1060 ou 1045, para simulação de uma junta totalmente rígida. O mais recomendado é o aço 1060, pois evita que o mesmo sofra deformações durante a análise.

#### b) Procedimento Adotado para o Teste de Capabilidade

- Transportar a ferramenta de montagem para uma bancada contendo uma barra rígida (chapa de aço 1060 ou 1045), que neste caso será a parafusadeira, onde é feita a simulação de uma junta totalmente rígida. Caso não seja possível, a capabilidade deve ser executada no próprio local de trabalho.
- Determinar o número de amostras à serem analisadas, de acordo com a facilidade de medição. O número mínimo estipulado é de 30 amostras.

- Verificar a pressão da linha de ar comprimido na máquina.
- Regular a máquina no torque nominal já especificado.
- Aplicar o torque de aperto sobre a junta rígida, e fazer as leituras dinâmicas e estáticas. A coleta deve ser feita em sequência, sem nenhuma interferência. No caso, deve ser feita nova regulagem na máquina, a coleta de dados deverá ser reiniciada.
- Transferir os dados coletados para o software estatístico, onde se obtém o diagrama de dispersão e são calculados os valores de Cp e Cpk. (anexo 10)
- Documentar no registro de capacidade.

Feito o teste de capacidade, as máquinas que apresentaram  $C_p > 1,0$  são consideradas aceitáveis, enquanto que as demais são enviadas para a manutenção.

#### **4.1.1.5 Avaliação do Sistema e Meio de Medição**

Definindo a metodologia de controle e as características de análise do processo, a próxima etapa foi avaliar o sistema de medição, bem como o meio de medição coordenada pelos técnicos da qualidade com apoio dos inspetores da qualidade.

Na empresa existe uma área, cuja sigla é TAF (Área Técnica e Afiação de Ferramentas), responsável pela calibração e aferição dos instrumentos. Para cada instrumento de medição é determinado um prazo máximo para a aferição e calibração do mesmo, devendo a área responsável encarregar-se de levar o equipamento a ser calibrado até a data estipulada. No caso dos torquímetros de relógio, o prazo máximo é de 30 dias após a última calibração e aferição. Salvo situações em que ocorra queda ou qualquer acidente com o equipamento. Todo instrumento de medição possui uma identificação referente à qual área pertence e as datas de calibração, podendo ser consultada no sistema de informações integrado da empresa.

Foram recolhidos os torquímetros de relógio utilizados pelos inspetores da produção na Montagem de Caminhões (Centro de Custo 120.4), e verificados pelo sistema de informações integrado da empresa (Terminal), se estes estavam devidamente calibrados e aferidos. Constatou-se que um dos torquímetros estava com o prazo de calibração encerrado, reprovado para uso.

Recorreu-se ao inspetor responsável e solicitou-se que o instrumento fosse enviado ao departamento do TAF (Área Técnica e Aferição do Instrumento) para ser calibrado, instruindo o mesmo para acompanhar a validade de calibração. Em sequência foram executados estudos de repetibilidade, de acordo com o fluxograma de avaliação do meio de medição. (Fig. 12)

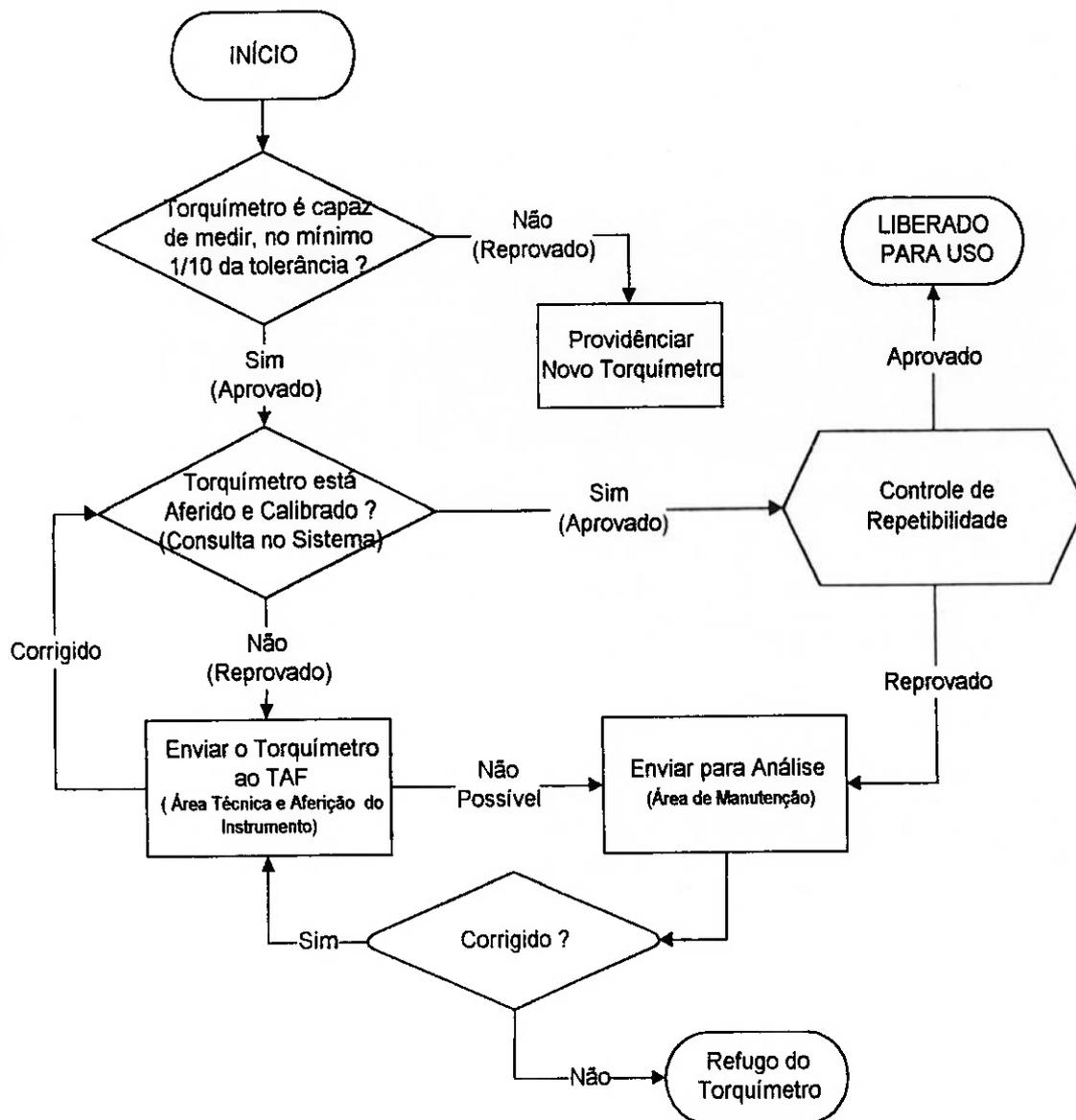


FIG.12 - Fluxograma para Avaliação do Meio de Medição

#### a) Estudo de Repetibilidade

No presente trabalho, como o controle estatístico está sendo realizado em fixações por meio de parafusos, cujas características analisadas são os Torques de Aperto, o instrumento de medição utilizado é o torquímetro.

Para a análise do instrumento de medição podem ser feitos os estudos de repetibilidade e reprodutibilidade. A repetibilidade é a variação obtida quando um mesmo operador usa o mesmo instrumento para medir a mesma característica da mesma peça, enquanto que a reprodutibilidade é a variação na média da medição feita por diferentes operadores, usando o mesmo instrumento para medir a mesma característica da mesma peça.

Neste caso, é inviável fazer estudo de reprodutibilidade, porque quando utiliza o torquímetro na medição, ocorre um pequeno reaperto na fixação impossibilitando que a leitura feita pelo primeiro inspetor seja semelhante à leitura feita pelo segundo inspetor.

A técnica mais apropriada para o estudo de repetibilidade dos torquímetros é o estudo de R&R (Repetibilidade e Reprodutibilidade), que determina erros de controle de repetibilidade e reprodutibilidade separadamente. O estudo deve ser sempre desenvolvido de acordo com o meio de medição a ser avaliado.

A avaliação de repetibilidade foi realizada com a utilização de uma balança de precisão para aferição de torquímetros. De acordo com a escala do torquímetro, 10 medidas de torques foram determinadas aleatoriamente, para serem utilizadas como amostras das referentes leituras. Especificou-se como 2 o número de inspetores e 20 como o número de leituras a serem realizadas por cada inspetor (2 repetições nas medições de uma amostra de 10 valores de torque).

Fixou-se o torquímetro de relógio a ser avaliado na balança e com a utilização do fuso do equipamento aplicou-se o torque especificado, procurando eliminar a imprecisão ocasionada na manipulação do equipamento pelo operador. Solicitou-se aos inspetores que fizessem a leitura e registrassem o resultado. Após completado as leituras das 10 amostras, repetiu-se as leituras, mas em ordem diferente da anterior e desconhecida pelo inspetor.

Terminado as leituras, os resultados foram transferidos para uma planilha que calcula automaticamente a R&R (repetibilidade e reprodutibilidade), com a finalidade de apresentar a condição de instrumento, bem como o erro de leitura entre os inspetores. (anexo 11)

O critério de avaliação da repetibilidade do instrumento adotado foi classificado em 4 níveis: Excelente, Adequado para uso, Aprovado de acordo com a importância da aplicação e Inadequado para aplicação. No caso do instrumento reprovado, é enviado a Área de manutenção para ser feito a correção do mesmo.

#### 4.1.1.6 Cálculo dos Limites de Controle

Os limites de controle são baseados nos dados obtidos do processo. O software possui arquivo de dados que armazenam as informações coletadas no processo. Com estas informações pode-se plotar a carta de controle, o histograma e analisar a

normalidade da distribuição. Os limites de controle são calculados automaticamente conforme as fórmulas de cálculo da teoria de CEP.

Para determinar os limites de controle, o processo precisa já estar estabilizado. Neste instante, o técnico da qualidade determina a quantidade de dados necessários para o cálculo dos limites. O critério adotado varia com o tamanho da amostra adotada. A amostragem foi especificada em 20 amostras. O número mínimo de dados estipulados pelos técnicos da qualidade foi de 60 medidas e o máximo em 100 medidas. Assim, o tamanho da amostra poderia variar de 3 à 5 medidas.

A finalidade do limite de controle é estabelecer um padrão, para que se verifique o comportamento da média de amostra.

#### **4.1.1.7 Transporte dos limites de controle para a carta**

Após terminada a coleta de dados, o inspetor repassa as informações ao técnico da qualidade. Este por sua vez, entra com as informações no arquivo de dados do software, que automaticamente calcula os limites de controle e mostra a situação em que o processo se encontra.

No caso do processo não ser estável, novamente é reavaliado o processo como um todo, procurando eliminar as possíveis causas que tenham interferido no processo. Porém, os limites de controle já calculados passam a acompanhar a carta de controle, de modo que o inspetor acompanhe a situação do processo e elimine variações que venham a ocorrer, através de ações corretivas.

Estando o processo estável e a linha da amplitude do gráfico das amplitudes abaixo da linha média de controle, os limites de controle são novamente recalculados.

#### **4.1.1.8 Acompanhamento e Análise de Capacidade**

Até agora foi apresentada informações sobre o controle do processo. O próximo passo é apresentar o método de avaliar a capacidade que o processo apresenta de produzir ou gerar peças, resultados dentro das especificações. Para que seja possível, é feita uma comparação do resultado do processo com as especificações.

Enquanto que nos gráficos de controle o comportamento da média das amostras é avaliado em relação aos limites de controle  $\bar{X} \pm 3 \sigma_x$ , agora, na análise da capacidade avaliamos o comportamento do processo, ou seja, como varia a distribuição da população dos elementos produzidos por esse processo.

Segundo a apostila (CEP - 1981)<sup>1</sup>, é considerada por "capacidade do processo" a faixa da população na qual se situam 99,73 % das peças produzidas pelo processo. Esses são os "limites naturais do processo".

Para a empresa, o processo é considerado "capaz" quando o seu desvio padrão " $\sigma_x$ " for igual ou menor que um oitavo da tolerância especificada, ou em outras palavras, a tolerância abranger oito ou mais desvios padrões da população.

Esse critério permite uma folga operacional mínima de dois desvios padrões entre a capacidade do processo ( $6 \sigma_x$ ) e a especificação ( $8 \sigma_x$  mínimo), possibilitando, assim,

alguma flexibilidade de ajuste quando ocorrerem desvios, antes que sejam produzidas peças rejeitadas.

Portanto, um processo é dito capaz na medida em que sua variação natural ( $6\sigma$ ) esteja dentro dos limites de especificação. A capacidade do processo só pode ser determinado quando o processo estiver estabilizado, ou seja, sujeito apenas às variações aleatórias. A análise da capacidade do processo é executada em dois métodos: Análise Curta e a Análise Longa.

#### a) Análise Curta

A análise curta procura em um breve intervalo de tempo, fazer uma avaliação rápida da capacidade específica do processo. Trata-se de um método de avaliação parcial do processo, buscando pré-avaliar as condições que o mesmo se encontra. Porém, em função do curto intervalo de tempo, esta análise não serve para verificar a estabilidade do mesmo.

Nesta etapa, estão contidos elementos do processo (por exemplo, pressão da rede de ar, regulagem de máquina, etc.), de modo que esta parte do exame das características é denominado como análise curta, não devendo ser confundido com a capacidade da máquina. Portanto, esta análise fixa primariamente um modelo de distribuição e dá uma avaliação do comportamento por período breve.

O estudo é verificado de peça em peça. Para a coleta foi determinada uma amostra de 30 medições consecutivas. Entretanto, para alcançar uma certeza estatística suficiente dos parâmetros de distribuição, nenhuma alteração pode ser executada no processo durante a coleta.

Após feita a coleta de dados, o técnico responsável calcula os valores de  $C_p$  e  $C_{pk}$ , através da utilização do "software". Caso o  $C_p$  e o  $C_{pk}$  não atendam as exigências de 1,33 e 1,0; são tomadas ações corretivas procurando detectar e eliminar o distúrbio responsável por estes resultados, dando continuidade ao procedimento de avaliação do processo através da execução da análise longa.

#### b) Análise Longa

Esta análise serve para o julgamento de todo o processo, tanto para a estabilidade como para a capacidade. A captação é executada com uma amostragem de 20 amostras formada por (3 a 5) elementos, podendo variar de 60 a 100 valores de medições.

Realizada a coleta, o técnico calcula novamente o  $C_p$  e o  $C_{pk}$  através do "software" e verifica se os mesmos estão dentro dos padrões adotados pela empresa. Em caso negativo, o departamento do AQP faz uma análise no processo e propõe ao departamento do MCM a implantação de ações corretivas.

Executadas as ações, são refeitas as medições e recalculados os valores de  $C_p$  e  $C_{pk}$ . O processo estando capaz, passa-se a implantação do C.E.P. com o gerenciamento contínuo.

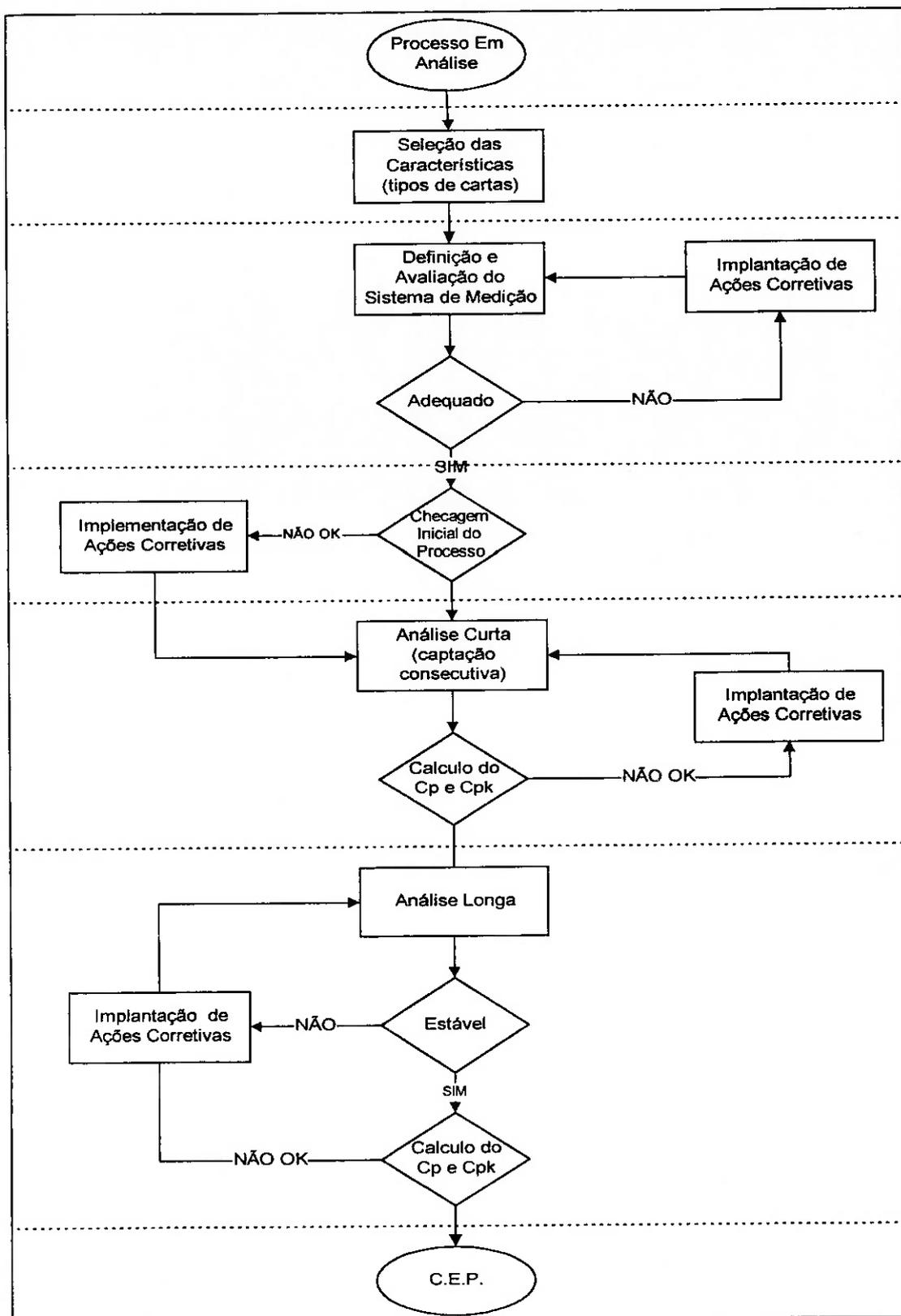


FIG.12 - Fluxograma de Aplicação do C.E.P.

## **5. RESULTADOS FINAIS DO TRABALHO**

Apresentar resultados não implica necessariamente avaliar a eficácia do trabalho em desenvolvimento, mas procura tornar clara para as pessoas diretamente envolvidas o atual estágio da implantação e o nível de sua evolução, com o propósito de se levantar medidas para que os esforços e recursos sejam concentrados na melhoria da eficiência na execução do trabalho.

Para melhorar a eficiência no trabalho é preciso que os resultados sejam discutidos, sempre visando formular uma estratégia para tomada de ações, direcionada a resolver problemas que afetem o desempenho da capacidade dos processos e o procedimento de controle. Deste modo, a área da qualidade elaborou um relatório de implantação do C.E.P., para informar a situação em que os processos se encontravam, servindo como base para futuras avaliações de resultados.

Com o decorrer da implantação, os relatórios foram reavaliados e reformulados procurando não informar somente a atual situação do processo; mas com o objetivo

também de direcionar a alta administração à evolução dos processos, comentários de ações adotadas, levantamento de necessidades para assegurar cada vez mais a qualidade na montagem.

Para obter informações mais precisas quanto à evolução dos processos, levantou-se dados mensais referentes ao número de defeitos detectados pela Auditoria de Veículos relacionados aos processos sob controle estatístico. O objetivo é analisar o desempenho do processo comparado com as incidências de defeitos detectados pela "Audit" do produto.

O período inicial foi determinado com base nos arquivos disponíveis na área da Auditoria da Qualidade do Produto, e também na informação da produção de que neste período, os processos apresentavam um alto índice de defeitos contribuindo para a péssima nota dos veículos.

De posse destas informações, elaborou-se um gráfico para cada tipo de veículo, procurando avaliar a melhoria no desempenho do processo com a implantação do C.E.P., diante aos números de defeitos ocasionados pelos processos. Verificou-se que todos os veículos apresentaram uma queda brusca da quantidade de defeitos, cujos processos estavam sob o controle estatístico.

Houve situação que mesmo estando o processo capaz, ocorreram a presença de defeitos. Nestes casos, foram feitos diversos estudos e concluiu-se que estas anomalias não eram resultantes do processo, mas eram ocasionadas após montagem do veículo.

## 6. CONCLUSÃO

Verificou-se que com o decorrer do procedimento de implantação, os indivíduos envolvidos desenvolveram uma auto necessidade em aprofundar seus conhecimentos perante os processos. Em virtude disso, estes indivíduos tornaram-se mais ágeis na prevenção de defeitos, detectando as causas responsáveis e eliminando-as antes do procedimento de execução da montagem.

Como o trabalho foi executado em equipe, através de reuniões periódicas, houve uma maior integração entre os departamentos MCM (Montagem de Caminhões) e o AQP (Asseguramento da Qualidade no Processo), facilitando a troca sobre os processos.

O C.E.P. também tornou a maioria dos processos em análise, capazes de atender continuamente as especificações do produto, eliminando necessidades de retrabalhos, bem como os riscos de vida que o cliente-usuário possa sofrer no caso das características não estarem dentro dos padrões exigidos por Engenharia (tratando-se de itens de

segurança). Outro benefício, foi a redução do controle destes itens antes realizados 100 %, para uma frequência de medição de 2 horas através do controle estatístico.

Existem processos que não se tornaram capazes, mostrando um alto grau de complexidade. Neste caso, quando verificado que os mesmos não apresentam evoluções e nenhuma expectativa de melhoria, deve-se rever o processo (por exemplo: rever a tolerância exigida pela engenharia) e passar a controlar essas características 100 %, evitando que as mesmas sejam detectadas no produto final.

Com o decorrer da aplicação do C.E.P., este trabalho possibilitou a elaboração de uma sistemática de implantação, como proposta de padronização para ser aplicado em todas as áreas envolvidas com o C.E.P., conforme representada no fluxograma ilustrado pela fig. 12.

É importante ressaltar que o resultado da implantação do C.E.P. é obtido a longo prazo, a partir do instante que se consiga comparar parâmetros coletados antes e depois, e se possível avaliar o montante de investimento. Para realmente alcançar o sucesso da implantação, deve ser dada continuidade à melhoria contínua dos processos, mesmo que estas sejam estáveis e capazes de produzir dentro dos padrões especificados.

Deve-se salientar que a partir deste ponto a equipe pode se dedicar à novos desafios, ou seja, fazer novo levantamento da área, traçar novas prioridades e diretrizes, e reiniciar o ciclo, de modo que a filosofia da melhoria contínua fique definitivamente incorporada a todos os grupos, coordenados pela equipe gerencial.

Para finalizar, com o C.E.P. podemos analisar cientificamente, dados e informações sobre o andamento dos processos e utilizar os resultados da análise para identificar e eliminar as causas-raízes dos problemas, resolvendo-os de forma completa e definitiva. O mesmo apresenta-se ainda como uma grande área de aplicação, podendo ser aplicado em tudo que possa ser expresso através de números e cujos resultados finais impliquem alguma expectativa de semelhança ou repetibilidade ao longo do tempo.

GRÁFICO PÁG. 68

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- CEP: Controle Estatístico do Processo. São Paulo: SENAI. 1987. 240 p.
- 2- BUZZIOL, M.A e RODRIGUES, R.B. Controle Estatístico do Processo. Campinas: Fator Qualidade - Consultoria e Treinamento. 1996. 132p.
- 3- CEP: Controle Estatístico do Processo. São Paulo: Mercedes Benz do Brasil S.<sup>a</sup> 1996. 69p.
- 4- FUSCO, J.P.A. Controle da Qualidade. Bauru: UNESP - Faculdade de Engenharia e Tecnologia - Departamento de Engenharia de Produção. 1995. 89 p.
- 5- DONELLA, N. Implantação do Controle Estatístico do Processo. São Bernardo do Campo: Fundação Autolatina. 1988. 111 p.

# RELATÓRIO DA SITUAÇÃO DO C.E.P. NO MCM

Representação das cores:

- |             |   |    |                    |                    |                                  |  |
|-------------|---|----|--------------------|--------------------|----------------------------------|--|
| 1. Verde    | Processo apresenta $C_p \geq 1,33$        | e  | $C_{pk} \geq 1,00$ | (Capaz)            | <input checked="" type="radio"/> | Processo altamente confiável   |
| 2. Amarelo  | Processo apresenta $1,00 \leq C_p < 1,33$ | e  | $C_{pk} \geq 1,00$ | (Baixa Capacidade) | <input type="radio"/>            | Processo relativamente confiável necessita controle contínuo das operações |
| 3. Vermelho | Processo apresenta $C_p < 1,00$           | ou | $C_{pk} < 1,00$    | (Não Capaz)        | <input checked="" type="radio"/> | O processo não tem condições de manter as especificações ou padrões.       |

Obs.: Quando os valores do  $C_p$  e  $C_{pk}$  estiverem na cor vermelha, indicam que o processo apresentou uma piora em relação a análise anterior.

Nos postos onde já estão implantadas as cartas de controle, consta a data do início, abaixo dos círculos com a situação do processo.

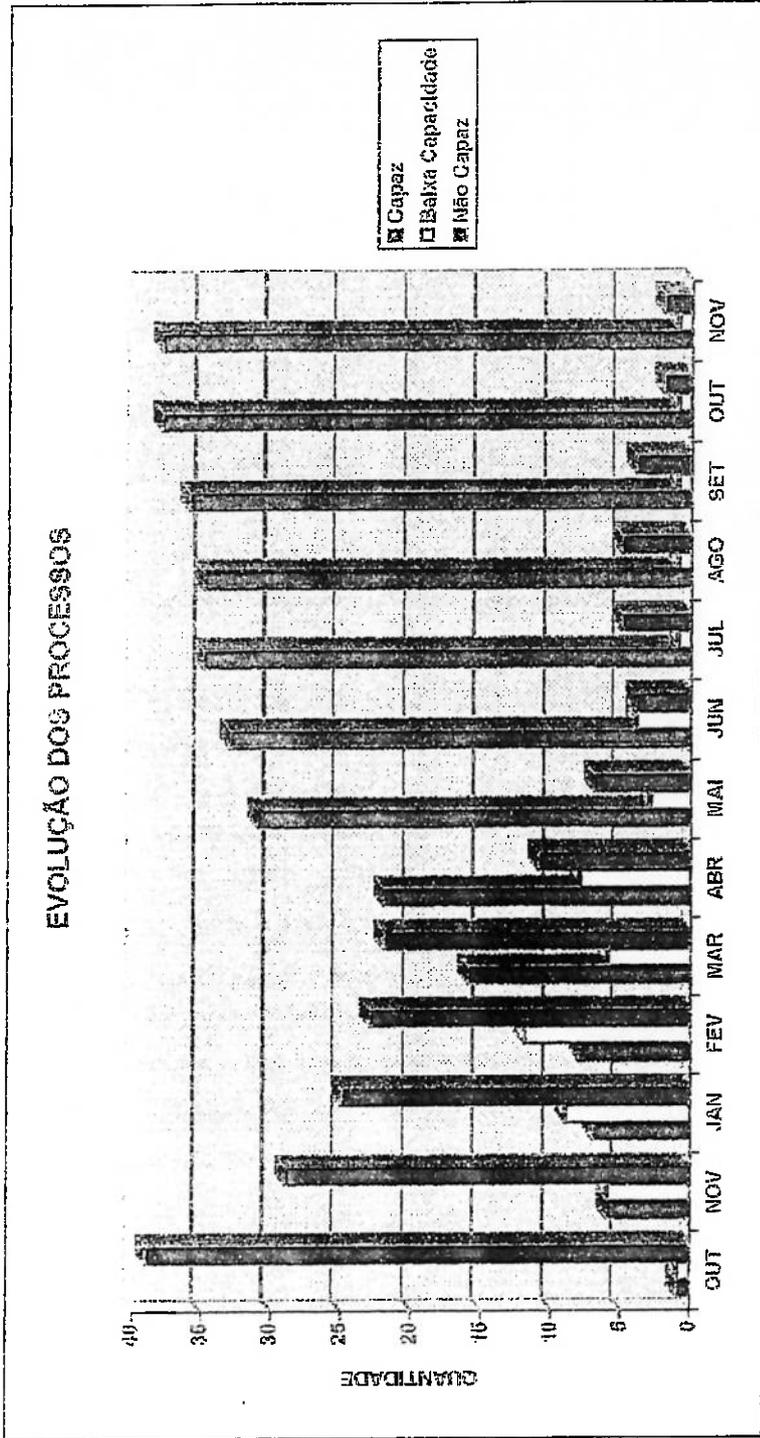
## RESUMO

### PROCESSOS

Capaz .....	38
Baixa Capacidade .....	01
Não Capaz .....	02

### CARTAS ESTADÍSTICAS

Implantadas .....	41
Faltam Implantar .....	00



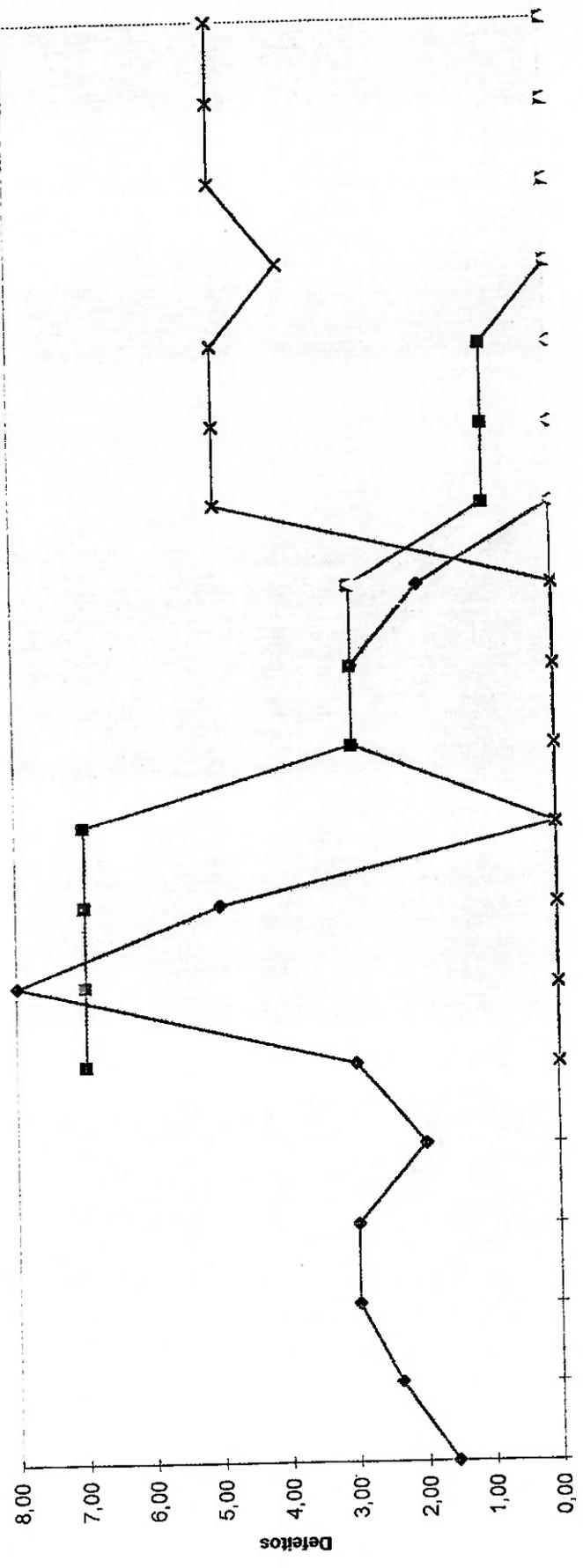
### COMENTÁRIOS

- Durante o período de outubro a novembro, foram capacitados 92 % dos processos propostos, sendo que os 8% restantes estão com ações de melhoramento do processo encaminhadas.
- Após a implantação dos processos, o número de ocorrências na auditoria de veículos caiu a zero, conforme gráfico anexo.

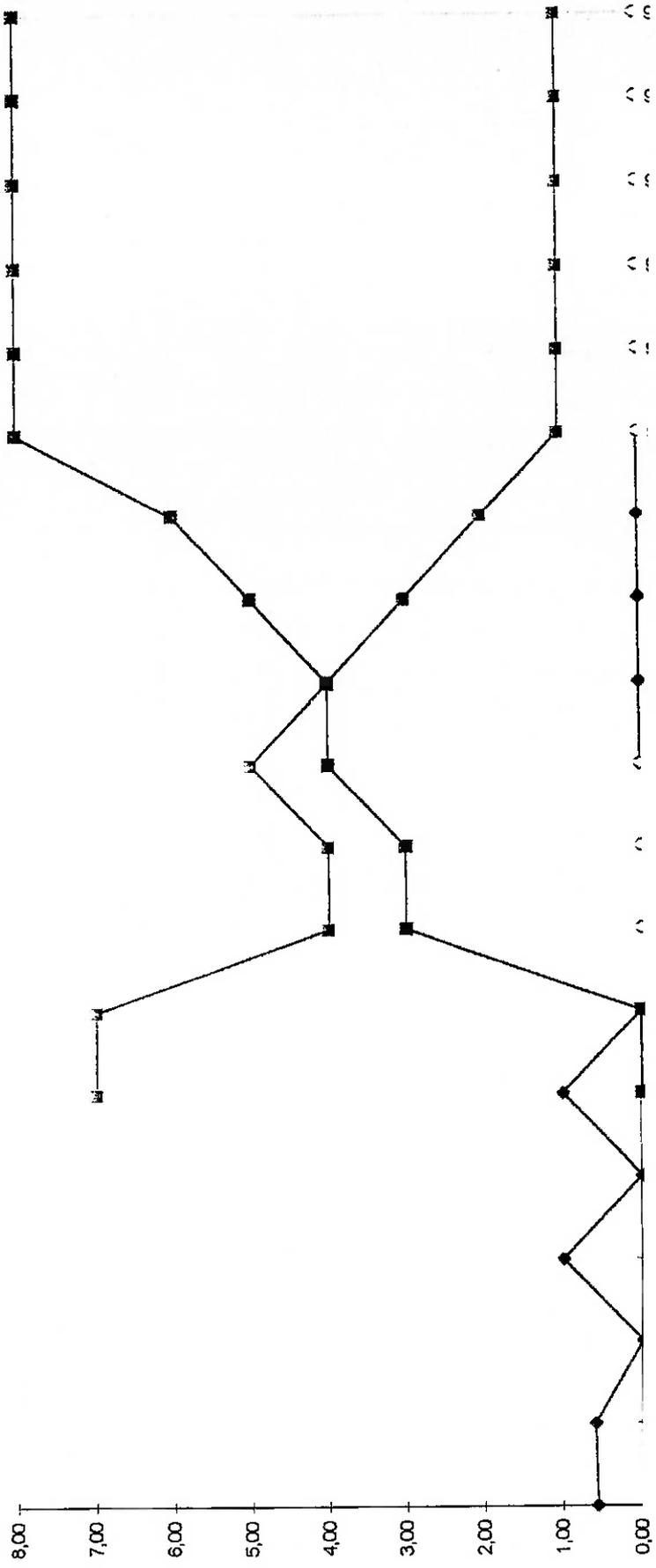
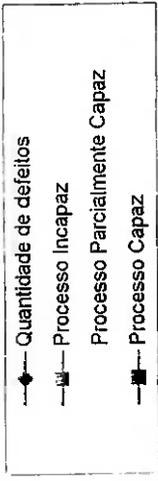


### IMPLANTAÇÃO DO C.E.P. (Todos Tipos)

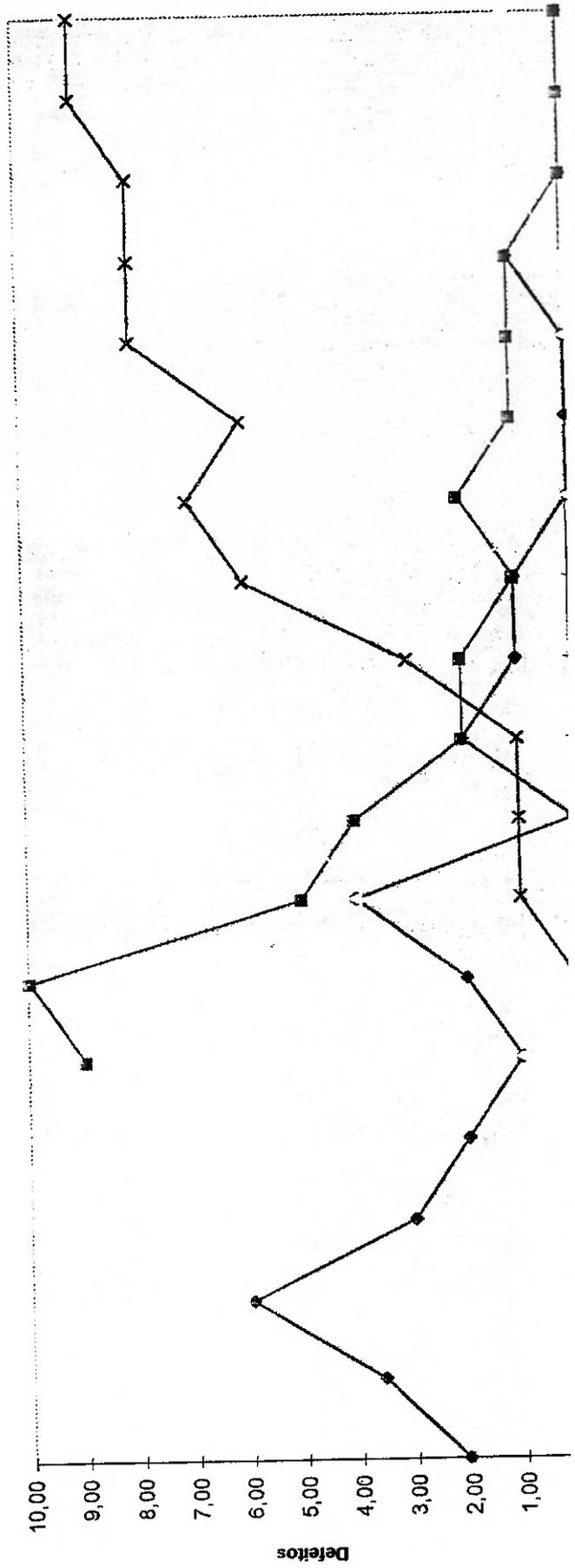
- Quantidade de defeitos
- Processo Incafaz
- Processo Parcialmente Capaz
- × Processo Capaz



# IMPLANTAÇÃO DO CEP (VEÍCULO LN)

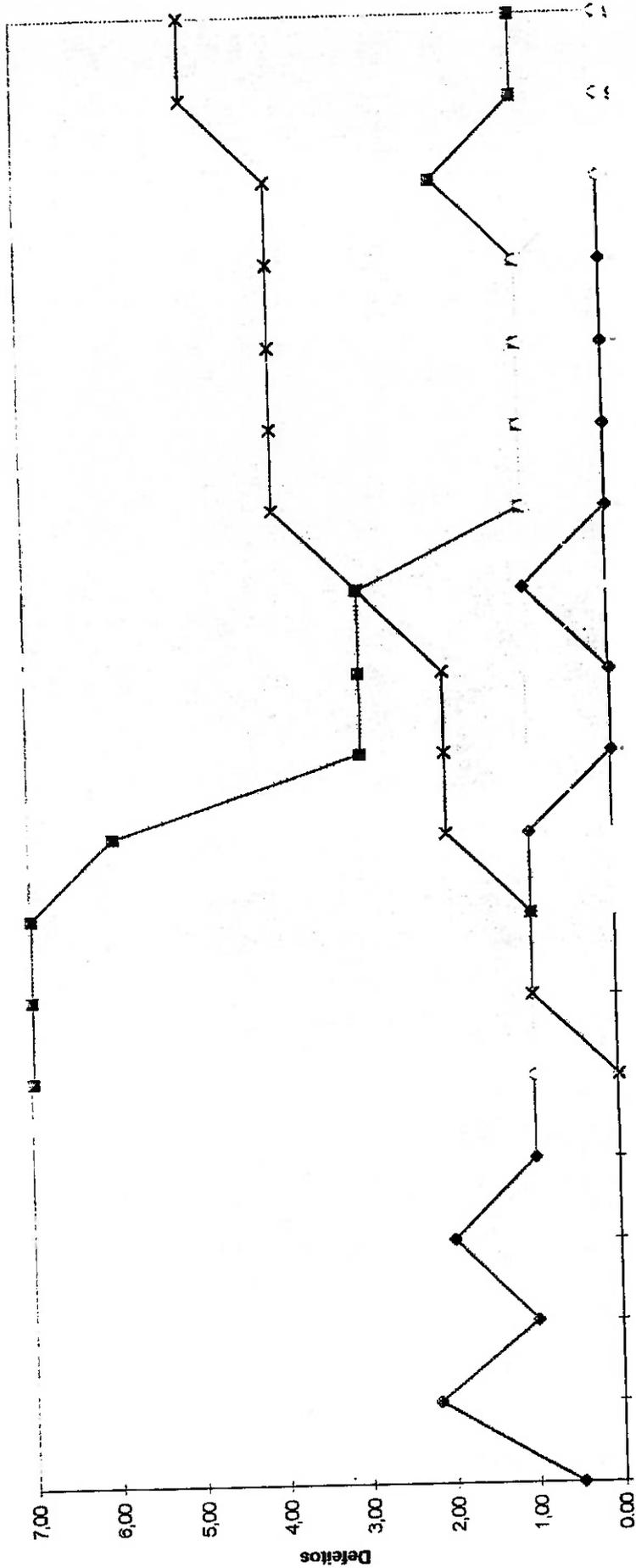
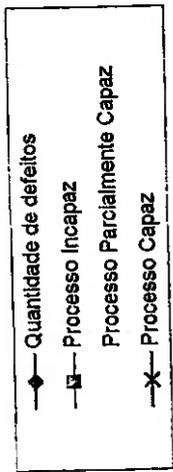


# IMPLANTAÇÃO DO C.E.P. (VEÍCULO MKL)

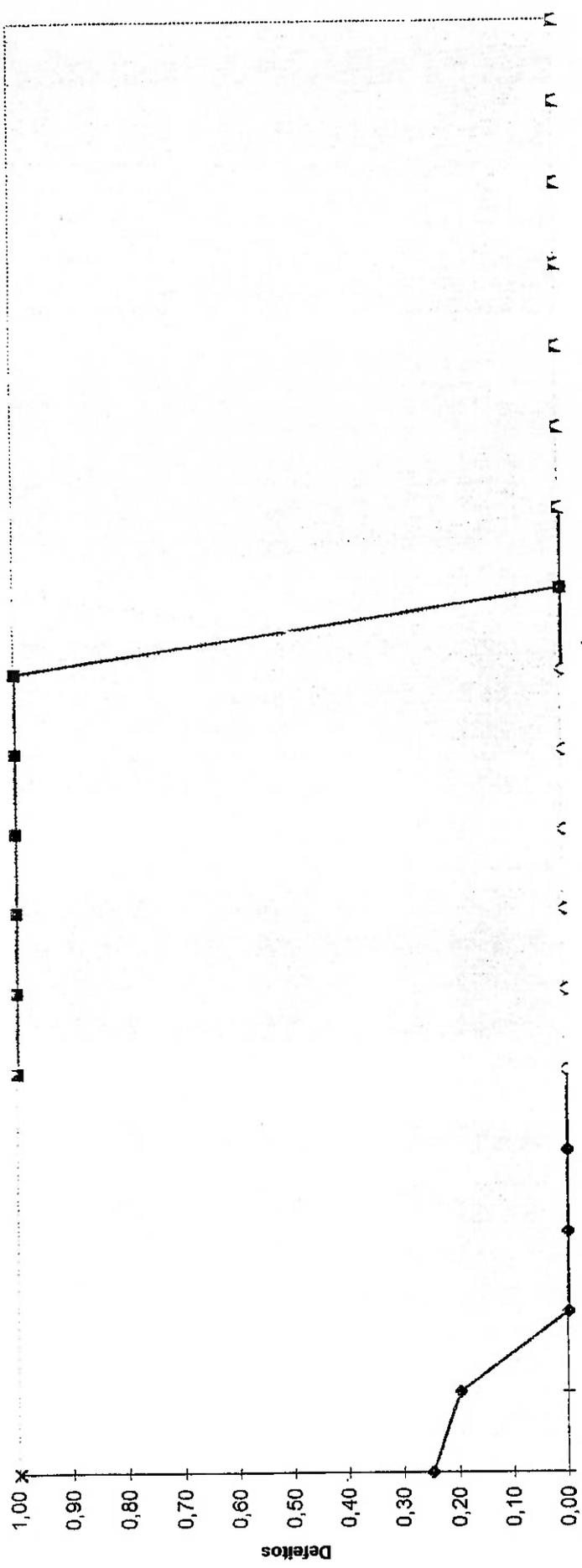
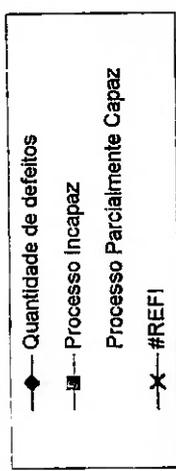




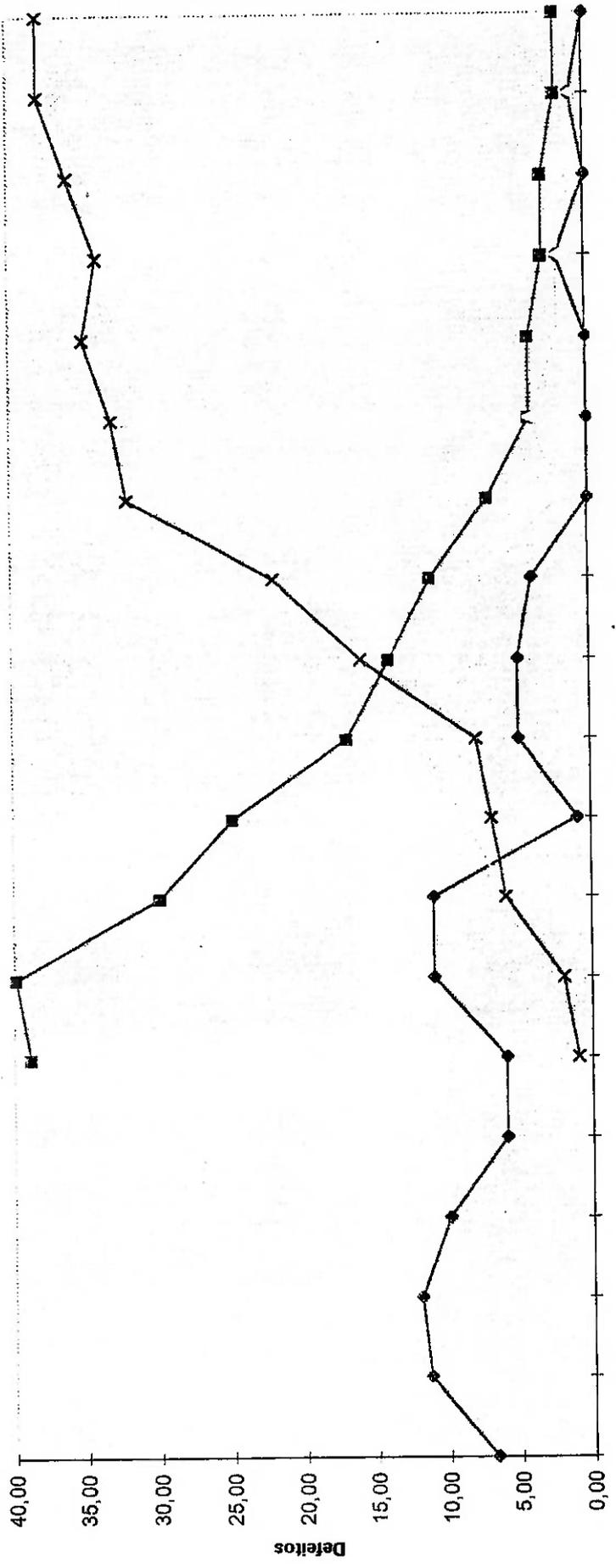
# IMPLANTAÇÃO DO C.E.P. (VEÍCULOS OF/0H)



# IMPLANTAÇÃO DO C.E.P. (VEÍCULO FPN)



# IMPLANTAÇÃO DO C.E.P



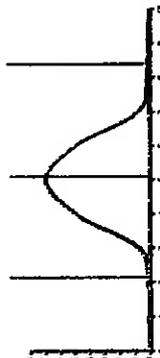
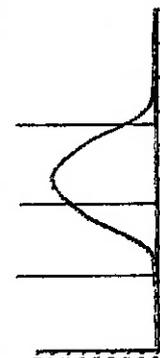
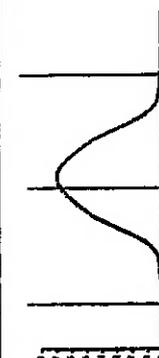
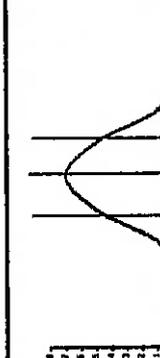
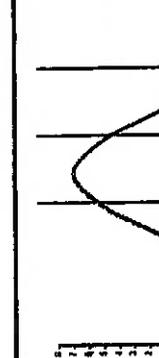
● Quantidade de defeitos  
 ■ Processo Incafaz  
 ◆ Processo Parcialmente Capaz  
 ✕ Processo Capaz

ITEM	PROCESSO		DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA	SITUAÇÃO		COMENTÁRIOS
	CP	CPK		IMPLANTAÇÃO		
		Atual				
SUPORTE DA CAIXA DE DIREÇÃO NA LONGARINA OF 1318 DPC-95030	0,34	0,04			- Mesma máquina que fixa o LN (Junta diferente). - Última avaliação de processo em 11/07/	
	Anterior					
	Atual					
SUPORTE DA CAIXA DE DIREÇÃO NA LONGARINA OF 1620 DPC-95029	0,63	0,15			- Máquina desregulada. - Última avaliação de processo em 11/07/	
	Anterior					
	Atual					
SUPORTE DA CAIXA DE DIREÇÃO NA LONGARINA FPN DPC-95028	0,44	0,27			- Máquina desregulada. - Última avaliação de processo em 11/07/	
	Anterior					
	Atual					
SUPORTE DA CAIXA DE DIREÇÃO NA LONGARINA LN DPC-95037	0,71	0,15			- Mesma máquina que fixa o OF 1318 (Junta diferente), dificultando regulação adequada. - Última avaliação de processo em 19/07/	
	Anterior					
	Atual					
AMORTECEDOR TRAS./DIANT. NO EIXO SKL DPC-95038	0,76	0,70		19/07/	- Este item não aparece nos últimos relatórios do audit (AQQ). - Última avaliação de processo em 30/08/	
	Anterior					
	Atual					

ITEM	PROCESSO		DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA	SITUAÇÃO	COMENTÁRIOS
	CP	CPik			
MANCAL BARRA ESTABILIZADORA L.E. TORQUE NOM.: 169 Nm MAX.: 143 MIN.: 195	Atual			●	
	1,61	1,23			
	Anterior				
	1,33	1,29			
MANCAL BARRA ESTABILIZADORA L.D. TORQUE NOM.: 169Nm MAX.: 143 MIN.: 195	Atual			●	
	1,38	1,17			
	Anterior				
	1,42	1,37			
SUPORTE TANQUE DE COMBUSTIVEL NA LONGARINA TORQUE NOM.: 169 Nm MAX.: 144 MIN.: 194	Atual			●	
	1,34	1,28			
	Anterior				
	1,33	1,24			
SUPORTE TANQUE DE AR NA LONGARINA TORQUE NOM.: 169Nm MAX.: 144 MIN.: 194	Atual			●	
	1,34	1,32			
	Anterior				
	1,59	1,44			
MANCAL DO CARDAN NA TRAVESSA HPN/OF TORQUE NOM.: 104 Nm MAX.: 119 MIN.: 89	Atual			●	- Máquina nova implantada com sistema de arpa, esta sendo feita captação.
	0,54	0,39			
	Anterior				
	0,53	0,17			

# RELATÓRIO DA SITUAÇÃO DO C.E.P. NO MCM

## AQP

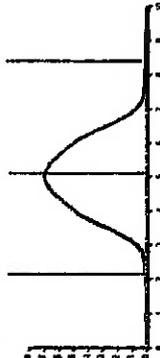
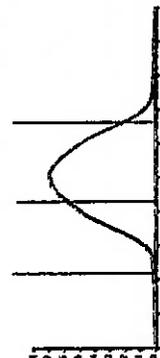
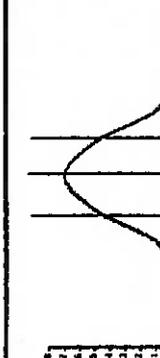
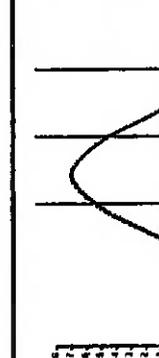
ITEM	PROCESSO		DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA	SITUAÇÃO		COMENTÁRIOS
	CP	CPk		IMPLANTAÇÃO		
CAIXA DE DIREÇÃO NO SUPORTE OF 1318  DPC-95045	Atual			●	11/09/	- Torquímetro foi aferido abaixo da medida nominal para evitar torques acima do especificado. - Última avaliação de processo em 19/09/
	1,30	1,19				
	Anterior					
	0,80	0,41				
CAIXA DE DIREÇÃO NO SUPORTE OF 1620  DPC-95043	Atual			●	11/09/	- Máquina desrequejada - Última avaliação de processo em 24/07/
	1,12	0,76				
	Anterior					
CAIXA DE DIREÇÃO NO SUPORTE FPN  DPC-95035	Atual			●	11/09/	- Este item não aparece nos últimos relatórios do audit (AQQ). - Última avaliação de processo em 24/07/
	1,43	1,29				
	Anterior					
CAIXA DE DIREÇÃO NO SUPORTE LN  DPC-95036	Atual			●	11/09/	- Falta sistema de inspeção - Última avaliação de processo em 24/07/
	0,68	0,65				
	Anterior					
CAIXA DE DIREÇÃO NO SUPORTE MKL  DPC-95017	Atual			●	11/09/	- Máquina desrequejada - Última avaliação de processo em 19/06/
	0,68	0,43				
	Anterior					

# RELATÓRIO DA SITUAÇÃO DO C.E.P. NO MCM

**AQP**

ITEM	PROCESSO		DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA	SITUAÇÃO		COMENTÁRIOS
	CP	CPK		IMPLANTAÇÃO		
CAIXA DE DIREÇÃO NO SUPORTE SKL DPC-95044	Atual			●		- Torquímetro de estalo não permite torque entre a medida nominal e a mínima especificada - Última avaliação de processo em 24/07/
	1,01	0,37				
	Anterior					
FLANGE DO CARDAN YOKE DPC-95013	Atual			●		- Operador utiliza máquina de impacto. - Última avaliação de processo em 14/06/
	0,30	0,23				
	Anterior					
FLANGE DO CARDAN REDONDA (M10) DPC-95046	Atual			●		- Operador utiliza máquina de impacto - Última avaliação de processo em 27/07/
	0,38	0,27				
	Anterior					
FLANGE DO CARDAN REDONDA (M12) DPC-95047	Atual			●		- Operador utiliza máquina de impacto - Última avaliação de processo em 27/07/
	0,53	0,31				
	Anterior					
FLANGE DO CARDAN REDONDA (M14) DPC-95048	Atual					- Operador utiliza máquina de impacto - Última avaliação de processo em 27/07/
	0,84	0,15				
	Anterior					

ITEM	PROCESSO		DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA	SITUAÇÃO	COMENTÁRIOS
	CP	CPk			
SUPORTE DA CX. DE DIREÇÃO NA LONGARINA OF 1318 TORQUE NOM.: 110 Nm MAX.: 127 MIN.: 93	Atual			●	
	1,33	1,27			
	Anterior				
	1,37	1,34			
SUPORTE DA CX. DE DIREÇÃO NA LONGARINA OF 1620 TORQUE NOM.: 180 Nm MAX.: 207 MIN.: 153	Atual			●	
	1,55	1,52			
	Anterior				
	1,50	1,46			
SUPORTE DA CAIXA DE DIREÇÃO NA LONGARINA FPN TORQUE NOM.: 180 Nm MAX.: 207 MIN.: 153	Atual			●	
	1,40	1,29			
	Anterior				
	1,50	1,34			
SUPORTE DA CAIXA DE DIREÇÃO NA LONGARINA LN TORQUE NOM.: 110Nm MAX.: 127 MIN.: 93	Atual			●	
	1,37	1,11			
	Anterior				
	1,44	1,29			
AMORTECEDOR TRAS./DIANT. INF. NO EIXO SKL TORQUE NOM.: 200 Nm MAX.: 230 MIN.: 170	Atual			●	
	1,42	1,35			
	Anterior				
	1,37	1,17			

ITEM	PROCESSO		DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA	SITUAÇÃO		COMENTÁRIOS
	CP	CPK		IMPLANTAÇÃO		
CAIXA DE DIREÇÃO NO SUPORTE OF 1318 DPC-95045	Atual			●	11/09/	- Torquimetro foi aferido abaixo da medida nominal para evitar torques acima do especificado. - Ultima avaliação de processo em 19/09/
	1,30	1,19				
	Anterior					
	0,80	0,41				
CAIXA DE DIREÇÃO NO SUPORTE OF 1620 DPC-95043	Atual			●	11/09/	- Máquina desregulada - Ultima avaliação de processo em 24/07/
	1,12	0,76				
	Anterior					
CAIXA DE DIREÇÃO NO SUPORTE FPN DPC-95035	Atual			●	11/09/	- Este item não aparece nos últimos relatórios do audit (AQQ). - Ultima avaliação de processo em 24/07/
	1,43	1,29				
	Anterior					
CAIXA DE DIREÇÃO NO SUPORTE LN DPC-95036	Atual			●	11/09/	- Falta sistema de inspeção - Ultima avaliação de processo em 24/07/
	0,68	0,65				
	Anterior					
CAIXA DE DIREÇÃO NO SUPORTE MKL DPC-95017	Atual			●	11/09/	- Máquina desregulada - Ultima avaliação de processo em 19/06/
	0,68	0,43				
	Anterior					

**Controle Estatístico Aplicado à Indústria  
Automobilística: Um Exemplo**

Orlando Vieira Sampaio Júnior  
Prof. Dr. Edson Gomes

São Paulo - 2000