

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

AUTOMATIZAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE
DIMENSIONAL NOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO MECÂNICA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM ENGENHARIA

JUAN CARLOS SOTUYO

FLORIANÓPOLIS - AGOSTO DE 1987.

AUTOMATIZAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE
DIMENSIONAL NOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO MECÂNICA

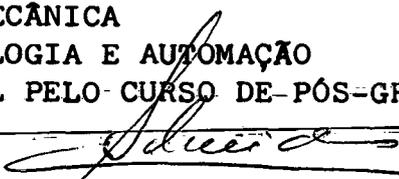
JUAN CARLOS SOTUYO

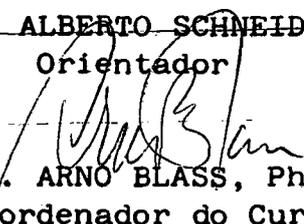
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A

OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

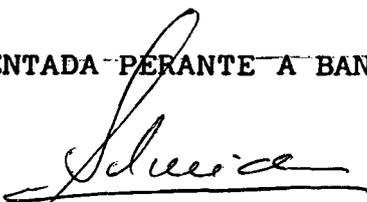
"MESTRE EM ENGENHARIA"

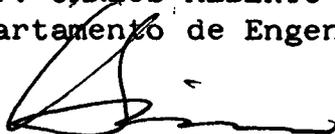
ESPECIALIDADE - ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO - METROLOGIA E AUTOMAÇÃO
E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO


~~PROF. CARLOS ALBERTO SCHNEIDER, Dr. Ing.~~
Orientador


PROF. ARNO BLASS, Ph. D.
Coordenador do Curso

APRESENTADA PERANTE A BANCA EXAMINADORA COMPOSTA POR:


PROF. CARLOS ALBERTO SCHNEIDER, Dr. Ing.
Departamento de Engenharia Mecânica - UFSC


ENG. ARNALDO PEREIRA RIBEIRO
Gerente da Engenharia de Processos
Avançados da Metal Leve S.A.


PROF. HERMANN ADOLF HARRY LUCKE, Dr. Ing.
Depto. Ciências Estatísticas e da
Computação - UFSC


PROF. CARLOS ALBERTO FLESCHE, Msc. Eng.
Departamento de Engenharia Mecânica - UFSC

Aos meus pais

Aos meus irmãos

A Yussy

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Metrologia e Automatização (LABMETRO) da Universidade Federal de Santa Catarina e ao Centro Regional de Tecnologia em Informática de Santa Catarina (CERTI) por ter oferecido condições para a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Carlos Alberto Schneider pela orientação e encorajamento em levar a bom termo este trabalho.

Ao acadêmico Ivan Wruck, estudante do Curso de Engenharia de Produção e Sistemas, pela dedicação e colaboração durante a realização deste trabalho.

Ao pessoal da Gerência de Engenharia de Processos Avançados (GEPA) da Metal Leve S/A, pelo apoio recebido durante a elaboração deste trabalho.

Ao pessoal do Setor de Artes Gráficas do CERTI, pela datilografia, confecção de figuras e montagem deste trabalho.

Aos colegas do CERTI/LABMETRO, que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO	1
ABSTRACT	11
GLOSSÁRIO	iii
INTRODUÇÃO.....	01
1.1 HISTÓRICO	01
1.2 SITUAÇÃO BRASILEIRA	02
1.3 PROPOSTA DE TRABALHO	05
2. GARANTIA DA QUALIDADE	07
2.1 PLANEJAMENTO DA QUALIDADE	08
2.2 ADMINISTRAÇÃO DA QUALIDADE	10
2.3 CONTROLE DA QUALIDADE	11
2.3.1 Controle Sobre Produtos/Peças	14
2.3.2 Controle Sobre Processos	15
2.3.3 Controle Sobre os Meios de Qualificação	16
2.3.4 Meios/Ferramentas do Controle de Qualidade....	18
3. CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO	22
3.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	22
3.2 FONTES DE ERROS NA FABRICAÇÃO POR PROCESSO DE USINAGEM	24
3.2.1 Peça em Fabricação	24
3.2.2 Planejamento da Fabricação	25
3.2.3 Unidade de Fabricação	25
3.2.4 Operação da Máquina Ferramenta	27
3.2.5 Processo de Medição	28
3.3 CARTAS DE CONTROLE	29
3.3.1 Tipos de Cartas de Controle	31
3.3.2 Propósitos das Cartas de Controle	33
3.4 FLUXO DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO	34
3.4.1 Conhecimento do Processo	34
3.4.2 Acompanhamento do Processo	38

3.4.3 Pré-Controle	39
3.5 FERRAMENTAS PARA ANÁLISE E DETECÇÃO DE CAUSAS DE VARIÇÃO	40
3.5.1 Diagramas de Pareto	40
3.5.2 Diagramas de Causa e Efeito	41
4. A AUTOMATIZAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO	44
4.1 PROBLEMÁTICA DA IMPLANTAÇÃO MANUAL DO CEP	44
4.1.1 Coleta de Dados	44
4.1.2 Processamento da Informação	46
4.1.3 Ações Corretivas	47
4.2 VANTAGENS DA AUTOMAÇÃO	48
4.2.1 Automação da Coleta de Dados	49
4.2.2 Automação do Processamento da Informação	50
4.2.3 Automação das Ações Corretivas	51
4.3 REQUISITOS DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO	53
5. ANÁLISE DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS IMPLANTADOS	55
5.1 SISTEMA AUTOMATIZADO PARA O CONTROLE DA QUALIDADE DE PISTÕES	55
5.1.1 Requisitos do Sistema	55
5.1.2 Configuração do Sistema	56
5.1.3 Módulos do Software	58
5.1.4 Análise Crítica	60
5.2 SISTEMA PARA ESTUDO DE CAPABILIDADE DE MÁQUINAS	62
5.2.1 Requisitos do Sistema	62
5.2.2 Configuração do Sistema	62
5.2.3 Módulos de Software	63
5.2.4 Análise Crítica	66
5.3 SISTEMA AUTOMATIZADO PARA O CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO NA LINHA DE PRODUÇÃO DE PISTÕES	67
5.3.1 Requisitos do Sistema	68
5.3.2 Configuração do Sistema	68
5.3.3 Operação do Sistema	71

5.3.4 Análise Crítica	72
6. PROPOSTA DE UM SISTEMA OTIMIZADO DE AUTOMATIZAÇÃO PARA O CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO	74
6.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	74
6.2 REQUISITOS DO SISTEMA	75
6.2.1 Requisitos Específicos	75
6.2.2 Requisitos Gerais	76
6.3 ESTRUTURA LÓGICA DO SISTEMA	78
6.3.1 Fluxo de Informações junto à Unidade de Fabricação	78
6.3.2 Fluxo da Centralização de Informações	81
6.4 ESTRUTURA FÍSICA DO SISTEMA	82
6.4.1 Estação de Medição e Controle	83
6.4.2 Integração da Estação de Medição e Controle ..	86
6.4.3 Central de Processamento e Controle	87
6.4.4 Alternativas de Comunicação	89
6.5 Aspectos Complementares	91
7. CONCLUSÕES	96
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

RESUMO

A competitividade é uma característica natural da dinâmica do desenvolvimento industrial. Os mercados consumidores, cada vez mais exigentes com a qualidade dos bens produzidos, requerem a aplicação dos conceitos da Garantia da Qualidade, como uma necessidade indispensável de sobrevivência para as indústrias.

Mesmo assumindo-se adequados projeto do produto e planejamento dos meios e métodos de produção, fatores indesejáveis agirão durante a fabricação provocando diferenças entre a especificação nominal e o valor real de parâmetros do produto.

As técnicas estatísticas, em especial o controle estatístico do processo (CEP), têm se mostrado de fundamental importância no controle da qualidade, auxiliando eficientemente na análise da estabilidade do processo, na determinação da capacidade de atender às exigências de produção e na identificação das causas de problemas específicos.

São ações inerentes ao controle estatístico do processo de fabricação a coleta de informações, o processamento e a atuação corretiva sobre este processo. A execução manual de tais ações é limitada, uma vez que a atuação corretiva é retardada e sujeita a erros devido ao volume de informações envolvido. A automatização de tais ações, é pois de caráter imprescindível.

Com base nas experiências auferidas no desenvolvimento de sistemas automatizados para o controle da qualidade dimensional na área metal/mecânica, o trabalho analisa os requisitos de um sistema automatizado para o controle estatístico na fabricação mecânica, e apresenta uma proposta detalhando aspectos estruturais e operacionais do sistema.

ABSTRACT

Competition is an inherent characteristic of industrial development. Product quality has become a major requirement from customers. Thus, the implementation of Quality Assurance concepts represents a necessary step for companies toward survival and success on the market.

In spite of the suitability of proper product design, process and production planning, undesirable and unexpected factors occur along the manufacturing processes, causing differences between nominal and real values of some product parameters.

Statistical techniques, specifically Statistical Process Control (SPC), have become very important in quality control. They are very useful tools for analysing process stability, for determining the capability to meet production requirements and for identifying the causes of specific problems.

The basic actions in statistical process control are: data acquisition, data processing and recovering action on the process. The results obtained by taking these steps manually are very limited. The recovering action is delayed and subjected to many errors, due to the huge amount of information involved. Hence, the automation of these actions becomes very necessary.

The present work analyses the requirements of an automatic system for statistical control in the metal processing industry, based on the experience acquired in the development of automatic systems for dimensional quality control in the metal cutting area. A proposal detailing the structural and operational aspects of system is presented.

GLOSSÁRIO

- Amostra: Conjunto de peças extraídas do processo para medição de características dimensionais, ou inspeção de parâmetros específicos.
- Capacidade (Capabilidade) do Processo (CP): Reflete em porcentagem o quanto da tolerância está sendo ocupada pela dispersão das amostras. A capacidade ideal deve ser menor ou igual a 75% da tolerância total permitida para uma dada característica.
- Desempenho do Processo (DP): Reflete em porcentagem o quanto da tolerância esta sendo ocupada pela dispersão dos componentes das amostras. O desempenho é uma medida do efeito de todas as mudanças ocorridas no processo.
- Desvio Padrão Calculado (S): É uma medida da dispersão do processo, calculada considerando-se todas as medidas de uma particular grandeza representativa do mencionado processo.
- Desvio Padrão Estimado ($\hat{\sigma}$): É uma medida de dispersão do processo, calculada a partir das amplitudes amostrais de uma particular grandeza representativa do processo.
- Ensaio: Prova, experiência realizada sobre determinada peça, produto ou sistema de modo a estudar, com base nas informações coletadas, o comportamento relativo entre dois ou mais parâmetros. Ex.: comportamento ao longo do tempo, variação com ~~distintas condições do ensaio, correlação entre resultados.~~

- Evento: Ocorrência, durante o processo de fabricação, que é relevante para a análise do seu comportamento. Ex.: troca de ferramenta, quebra, parada de máquinas, número de peças fabricadas.
- Inspeção: Verificação de característica funcional, dimensional, forma, acabamento superficial, e outras, pela comparação com padrões e/ou especificações preestabelecidas.
- Lote viciado: Conjunto de peças/produtos com alta probabilidade de conter erros de fabricação.
- Processo: Conjunto máquinas ferramenta, ferramentas, dispositivos auxiliares, mão-de-obra, matérias-primas e metodologia aplicados na transformação das características físicas de um determinado material.
- Qualificação: Compreende a avaliação de resultados de teste/inspeção para ditamento de classificação dentro das especificações preestabelecidas.
- Produto: Resultado final do processo de produção. Composição, montagem de peças e/ou componentes.
- Série: Conjunto de peças, componentes ou produtos resultantes de uma ordem de fabricação.
- Sistema de fabricação: Conjunto de unidades de fabricação.
- Sistema de Medição: Conjunto de módulos. em geral, transdutores, unidades de tratamento de sinais, indicadores e dispositivos auxiliares, capaz de converter uma grandeza física em valor possível de leitura e/ou registro.

- Unidade de Fabricação (UF): definição de máquina ferramenta, dispositivos auxiliares, ferramentas.

1. INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRICO

Na era dos artesões, o conceito de qualidade estava associado à perícia dos mesmos. Na escolha das matérias-primas e do ferramental e no acabamento das peças, eram colocados, o engenho e arte de cada artesão. Estas "obras-primas" avalizavam o nome e a fama dos produtos. /1/

Com o advento da revolução industrial, a dinâmica da produção foi profundamente modificada. A divisão da produção em tarefas unitárias fez com que os artífices fossem afastando-se cada vez mais do produto final. Isto trouxe como consequência uma diminuição de qualidade dos produtos, devido a uma falta de motivação do artífice, pois nem sempre tomava conhecimento do produto acabado, além das diferenças de habilidades entre os vários executores que tomavam parte da fabricação.

A divisão do processo produtivo introduziu a necessidade da intercambiabilidade das partes componentes do produto, de modo a permitir a fabricação em série e a montagem sem problemas.

As questões da qualidade começaram a exigir uma série de providências sobre a produção, basicamente no referente a:

- especificações mínimas das matérias primas empregadas;
- análise das matérias primas;
- qualificação dos sistemas de medição (calibração, ajustagem, aferição);
- acompanhamento dos processos de fabricação;
- ensaios e testes durante e após a fabricação.

Na década de 20, na Bell Telephone Laboratories, através de Walter A. Shewhart, teve o início da utilização das técnicas estatísticas no controle da qualidade (CEQ) /2/. O denominado CEQ, baseado fundamentalmente na probabilidade dos eventos, foi sendo aperfeiçoado gradualmente, até atingir hoje em dia a posição de uma disciplina natural na sistemática do controle da qualidade.

Durante a segunda guerra mundial, estas técnicas foram amplamente utilizadas nas indústrias de suprimentos bélicos.

Na década de 50, o Japão aplicou maciçamente as técnicas estatísticas no controle da produção, com resultados provados pelo sucesso da sua indústria /1, 3/.

A competitividade é uma característica natural da dinâmica do desenvolvimento industrial. Os mercados consumidores, cada vez mais exigentes, fazem com que o conceito de qualidade se torne condição indispensável de sobrevivência para as indústrias.

As empresas que não acompanharem a evolução das técnicas do controle de qualidade, deixando de atender ao desafio da modernização contínua e acelerada da tecnologia, dificilmente sobreviverão. Isto se traduz numa necessidade contínua de melhorar meios de produção, que possibilitem a fabricação de produtos acorde com as exigências crescentes dos consumidores.

1.2 SITUAÇÃO BRASILEIRA

No Brasil, especialmente às indústrias ligadas a produção de autopeças, vem sendo imposto por parte das grandes montadoras, a aplicação de métodos estatísticos no controle da qualidade. De modo geral, as peças adquiridas de terceiros pelas montadoras é da ordem de 50% /4/, isto é, praticamente a metade dos componentes do veículo são produzidos por outros fabricantes.

A preocupação está em aplicar às peças fornecidas por terceiros, os mesmos critérios de qualidade que os aplicados às peças de fabricação própria, para se poder, assim, assegurar um nível de qualidade prefixado aos produtos finais.

Esta situação criou a necessidade da aplicação de uma sistemática de controle da qualidade que garanta o fornecimento de peças dentro das especificações preestabelecidas, sendo o controle estatístico do processo (CEP) uma ferramenta adequada para o problema.

O levantamento de informações necessárias ao controle estatístico do processo realizado com instrumentos convencionais, como por exemplo: paquímetros, micrômetros, relógios comparadores, sistemas pneumáticos entre outros, exigem do operador especial atenção na leitura, na comparação da medida com limites de tolerância de fabricação, na determinação de médias ou medianas e na transcrição de informações para as planilhas específicas. Além da morosidade das operações, várias fontes de erros estão presentes ao longo dos procedimentos.

O advento dos microprocessadores possibilitou a integração do instrumento de medição com a tecnologia de CQ, contando-se com sofisticadas máquinas de medir por coordenadas, sistemas de medição de peças dedicados, até simples paquímetros com saídas digitais de dados para serem acopladas a pequenos processadores estatísticos (fig. 1.1).

No exterior, uma série de fabricantes vem desenvolvendo estes instrumentos com um alto grau de integração e miniaturização. No Brasil, existem poucos fabricantes dedicados ao desenvolvimento de instrumentos computadorizados para o controle de qualidade. As empresas estrangeiras são impedidas de comercializar grande parte dos produtos que utilizam recursos de informática não nacionalizados, devido à vigência da Lei de Informática, abrindo uma interessante brecha para pesquisa e desenvolvimento da instrumentação computadorizada, buscando preencher um ponto estratégico da independência tecnológica que é o controle de qualidade auxiliado por computador (CAQ).

Especificamente na área de controle dimensional, as carências se encontram nos transdutores, nas unidades de tratamento de sinais e nos sistemas de aquisição, transmissão e processamento da informação. As soluções envolvem conhecimentos das áreas de: metrologia, micromecânica, desenho industrial, eletro-eletrônica e software, entre outras.

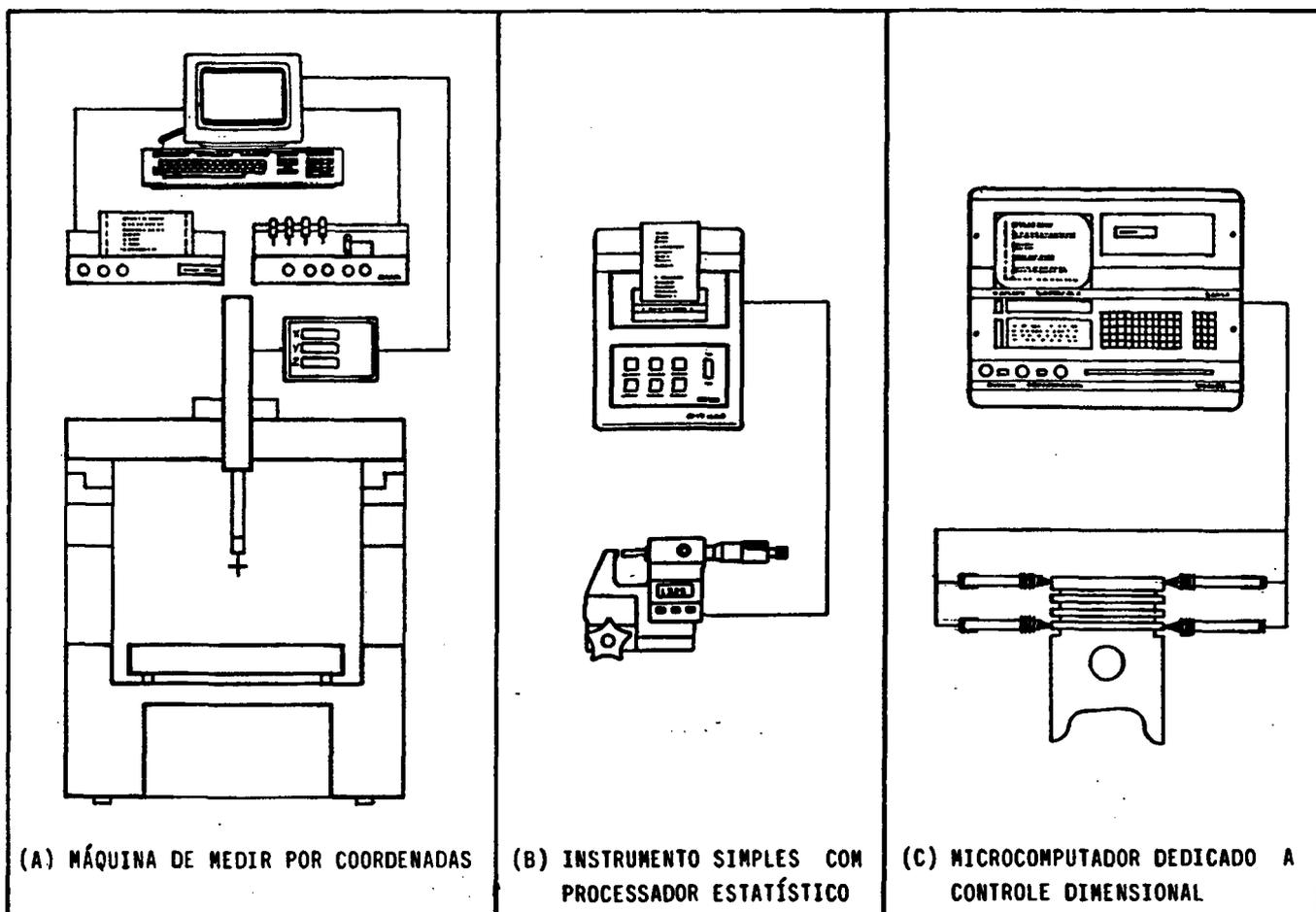


Fig. 1.1 — Medição e Processamento de Controle de Qualidade Automatizados com Microcomputadores

1.3 PROPOSTA DE TRABALHO

A utilização de técnicas estatísticas tem se mostrado de fundamental importância na avaliação lógica e sistemática de informações, ajudando eficientemente na identificação das instabilidades do processo, da capacidade de atender as exigências de produção e das causas de outros problemas específicos.

Permanecem questões tais como o tempo compreendido entre a coleta de dados para o processamento estatístico e a eventual atuação corretiva sobre o processo, além da própria manipulação dos dados que pode se tornar onerosa e sujeita a erros de medição, de processamento e de interpretação de resultados.

Com a automação do controle estatístico do processo de fabricação, envolvendo a aquisição automática de dados, o processamento computacional adequado e mecanismos de atuação corretiva sobre o processo, consegue-se estabelecer um laço de controle realimentado, que, de forma simultânea à fabricação, permite corrigir parâmetros que apresentem tendências de deterioração da qualidade e assim evitar o aparecimento de peças com erros, isto é fora das tolerâncias.

Objetiva-se neste trabalho abordar os aspectos estruturais e operacionais de um sistema automatizado para o controle estatístico do processo de fabricação mecânica, dotado de medição automática de parâmetros geométricos de peças e de um processador que permite a realimentação automática de parâmetros de ajuste do processo.

No trabalho serão abordados aspectos referentes à garantia da qualidade, caracterizando as várias etapas que a compõem e frizando em especial as questões relacionadas com o controle da qualidade.

Serão introduzidos os conceitos básicos do controle estatístico do processo (CEP) e uma análise dos erros nos processos de fabricação mecânica por meio da usinagem,

destacando as ferramentas que a técnica do CEP dispõe para a detecção das causas de variação.

Abordar-se-á a problemática da implantação manual do CEP, analisando os requisitos impostos a um sistema automatizado.

Serão analisados três sistemas desenvolvidos pelas equipes do Laboratório de Metrologia e Automatização da UFSC e do Centro Regional de Tecnologia em Informática, observando as características e realizando uma análise crítica dos mesmos.

Finalmente será apresentada a concepção de um sistema automatizado mostrando a configuração física e aspectos operacionais. Esta proposta está fundamentada nas experiências auferidas no desenvolvimento dos sistemas citados e no estudo sistemático resumido nesta dissertação.

2. GARANTIA DA QUALIDADE

A preocupação com a Garantia da Qualidade (GQ) no Brasil começou com o programa da energia nuclear, onde a confiabilidade e segurança com materiais e sistemas de modo geral deveriam obedecer critérios rigorosos devido ao alto risco envolvido no uso da tecnologia em questão /1/.

Idêntica preocupação existe nas áreas de tecnologia aeronáutica e petroquímica.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho verificou-se claramente a falta de uma normalização estendida a outras áreas industriais, onde são aplicados os mais diversos critérios para o "asseguramento da qualidade". Um exemplo marcante desta situação é encontrado nas indústrias de autopeças, onde mais de um método de aceitação é aplicado a uma particular peça, obedecendo a critérios específicos de cada montadora.

Na falta de literatura que defina claramente o âmbito da GQ, serão fixados neste capítulo alguns conceitos e observados os fluxos de informações relativos à qualidade, visando destacar a necessidade de automatização dos mesmos.

Segundo a "Deutsche Gesellschaft fuer Qualitaet - DGQ", "qualidade é a característica que torna um produto ou um serviço adequado para satisfazer exigências preestabelecidas, derivada, em geral, da finalidade de uso" /4/.

"A garantia da qualidade, compreende o conjunto das medidas, planejadas e sistematizadas, necessárias para assegurar que um sistema, um componente ou um serviço terá satisfatório desempenho, quando empregado" /1/.

A estrutura organizacional de um sistema de garantia da qualidade compreende em suma, três áreas /5/: Planejamento, Administração e Controle da Qualidade (fig. 2.1).

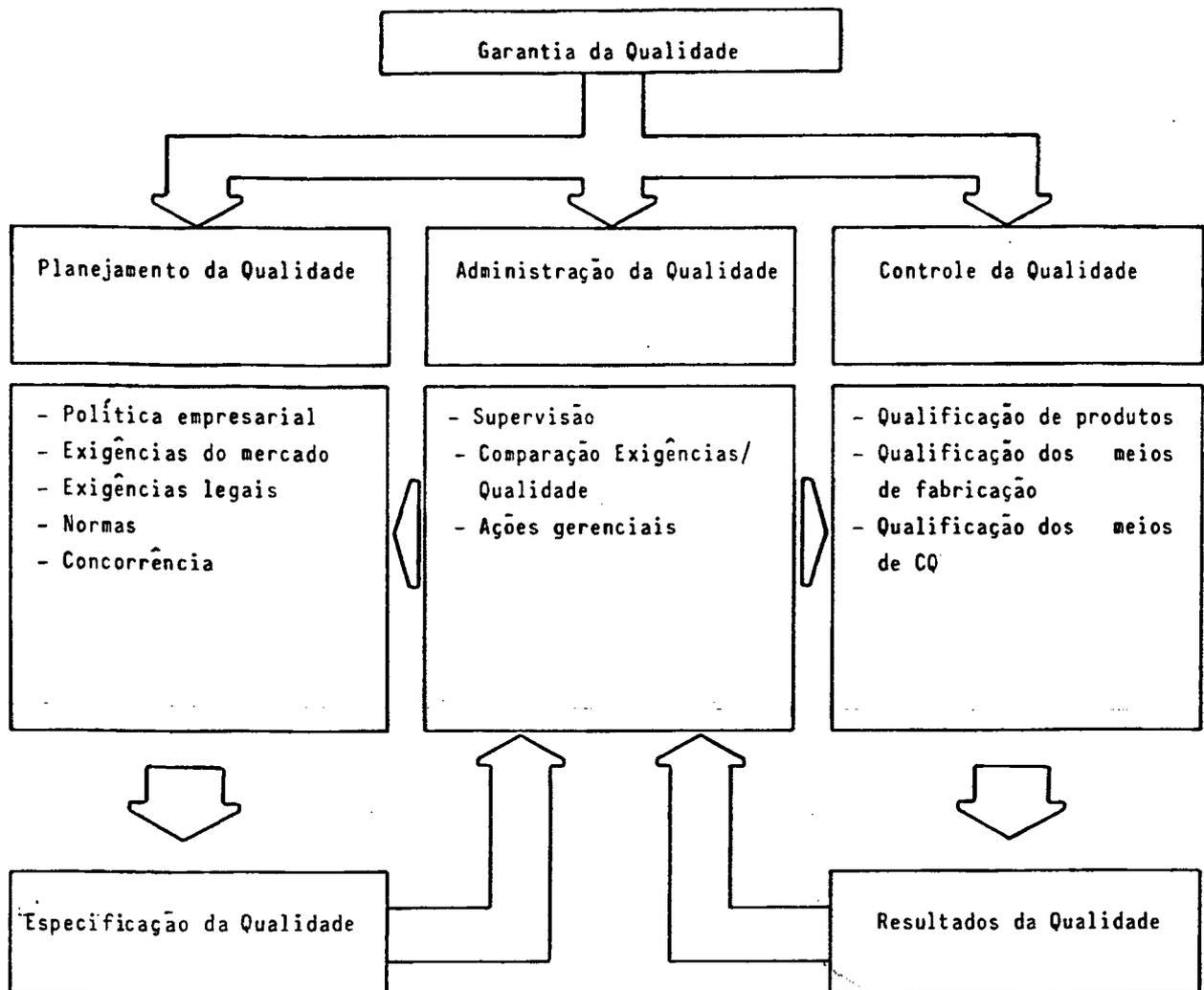


Fig. 2.1 - Interrelação entre as áreas de um sistema de garantia da qualidade

As suas funções caracterizam um sistema realimentado, isto é, garantem uma regulação contínua da qualidade através de um processo que permite avaliar métodos de trabalho, materiais, mão-de-obra, máquinas e ferramental, mediante a troca sistemática de informações. Na sequência cada uma destas áreas serão caracterizadas a um nível adequado a este trabalho.

2.1 PLANEJAMENTO DA QUALIDADE

Compete ao Planejamento da Qualidade (PQ) (fig 2.2), definir as características dos bens e/ou serviços a serem produzidos.

Estas características englobam as especificações técnicas e as exigências de qualidade.

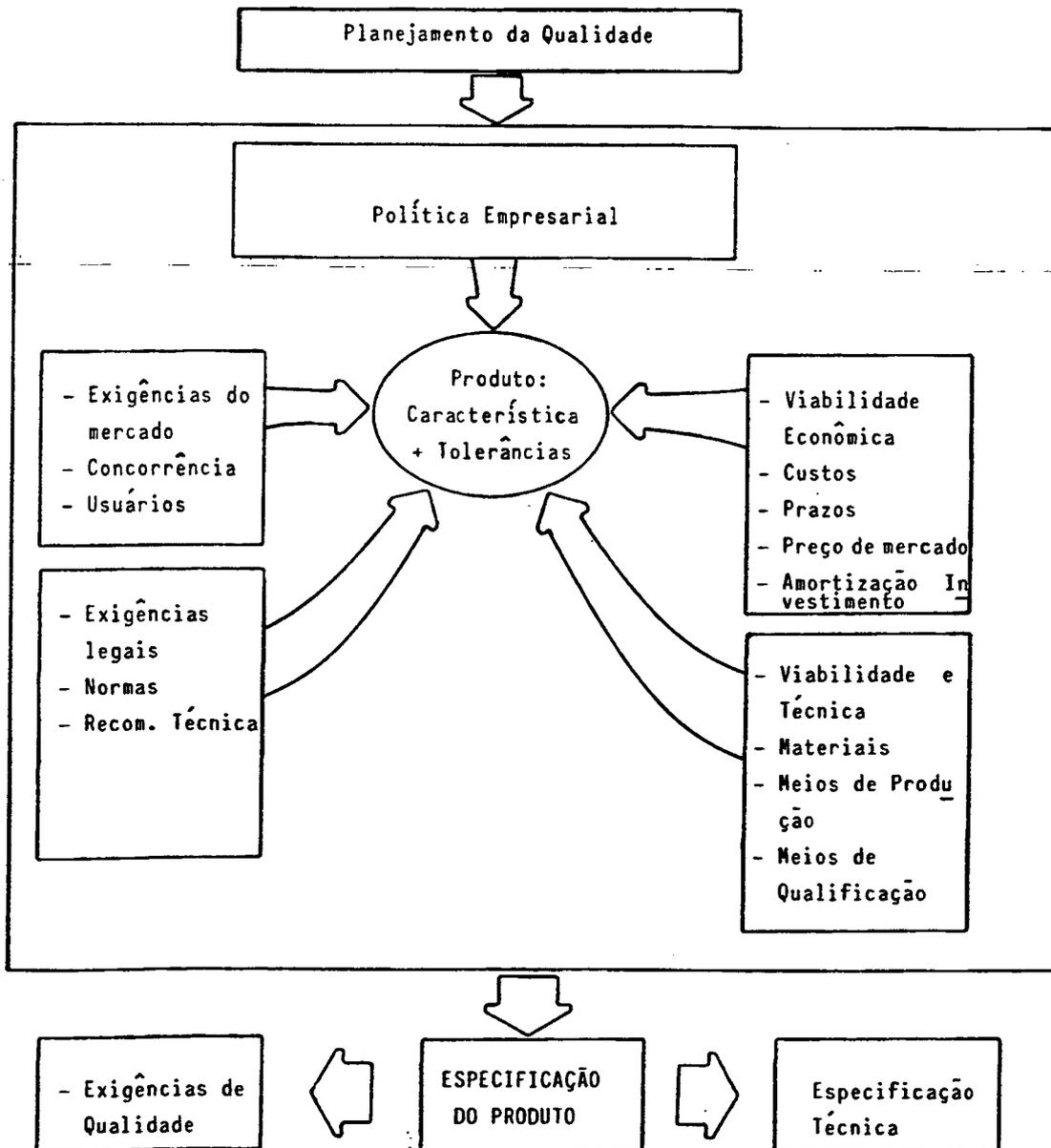


Fig. 2.2 - Atribuições do Planejamento da Qualidade

A exigência da qualidade corresponde ao detalhamento das características que o particular produto deve reunir para satisfazer as expectativas dos usuários.

A especificação técnica compreende a determinação dos valores nominais dos parâmetros e das respectivas tolerâncias de fabricação devido a que nada poderá ser gerado de forma perfeita.

Intervem como parâmetros de análise para a determinação das especificações do produto, as questões referentes à viabilidade econômica, (custos, prazos, amortização de capital) e à viabilidade técnica do produto, apoiada nas exigências legais, normas, na disponibilidade de materiais e tecnologia dos processos existentes na fabricação, bem como dos meios de verificação necessários para a sua validação.

2.2 ADMINISTRAÇÃO DA QUALIDADE

A Administração da Qualidade (AQ) (fig. 2.3), tem a atribuição de efetuar as ações reguladoras no sistema de produção, determinando o que deve ser feito para introduzir correções dentro da própria empresa e adequando os fornecedores de produtos.

Com base nas especificações fixadas pelo PQ, por um lado, e os resultados do CQ por outro lado, a AQ age a nível gerencial sobre a organização de modo a efetuar as mudanças necessárias em métodos e materiais para permitir que os padrões de qualidade prefixados sejam alcançados.

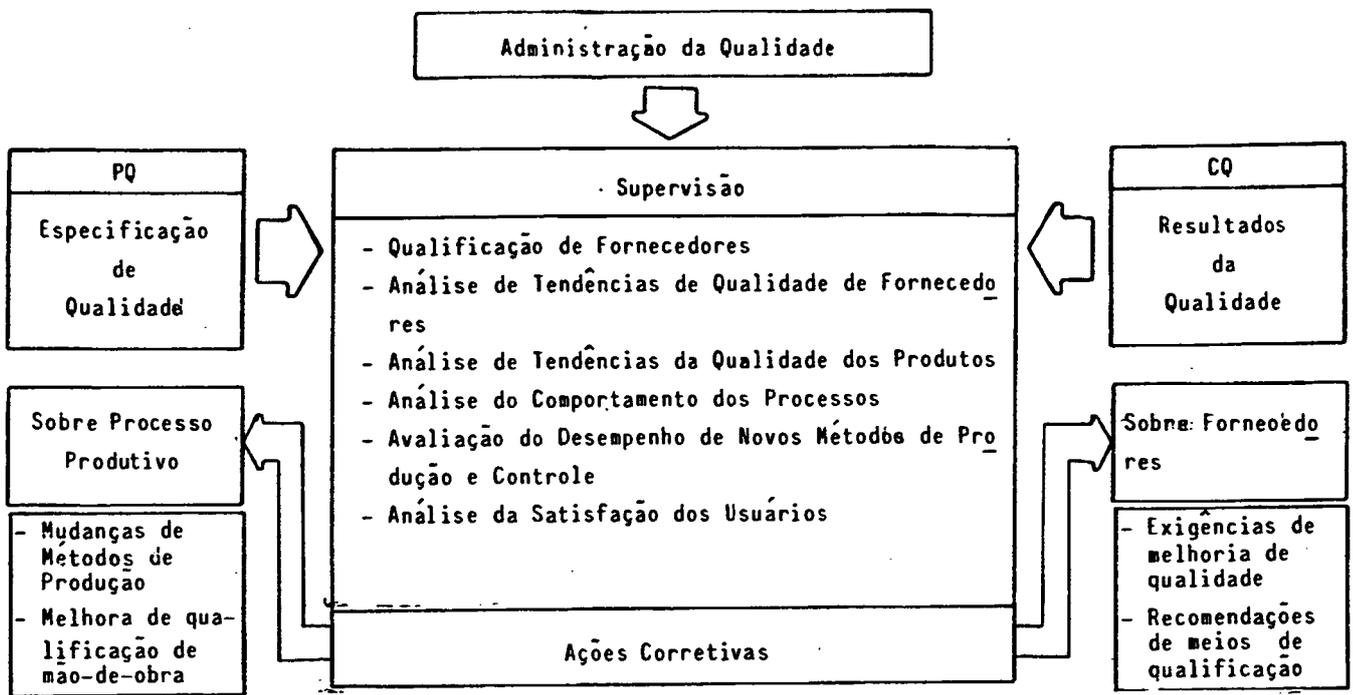


Fig. 2.3 - Atribuições da Administração da Qualidade

2.3 CONTROLE DA QUALIDADE.

O Controle da Qualidade (CQ) tem como função a contínua verificação das especificações preestabelecidas:

- nos produtos fabricados;
- nos meios de fabricação;
- nos meios utilizados para o controle da qualidade.

Os resultados obtidos do CQ, servem não somente para a certificação dos parâmetros de qualidade, como também constituem uma importante fonte de informações para o Planejamento e a Administração da Qualidade.

2.3.1 Evolução e Tendências do CQ

O CQ tem ampliado a sua presença dentro do processo de produção, como consequência da conscientização sobre qualidade.

Inicialmente se propagava que o CQ era quem fazia a qualidade, pois se encarregava de classificar o que era bom e o que era ruim, "garantindo" a expedição de produtos dentro das

especificações. Esta sistemática efetuada através de um controle final do produto, tornava-se um processo meramente contabilizador de refugos, retrabalháveis e aprovados (fig. 2.4.a), ocasionando problemas de "afunilamento" no escoamento da produção, custos elevados, etc.

A introdução do CQ sobre as peças produzidas, (fig. 2.4.b) através da inspeção 100% ou por amostragem, apresentaram basicamente os mesmos tipos de problemas, uma vez que este controle não garante ainda a produção de peças sem refugos.

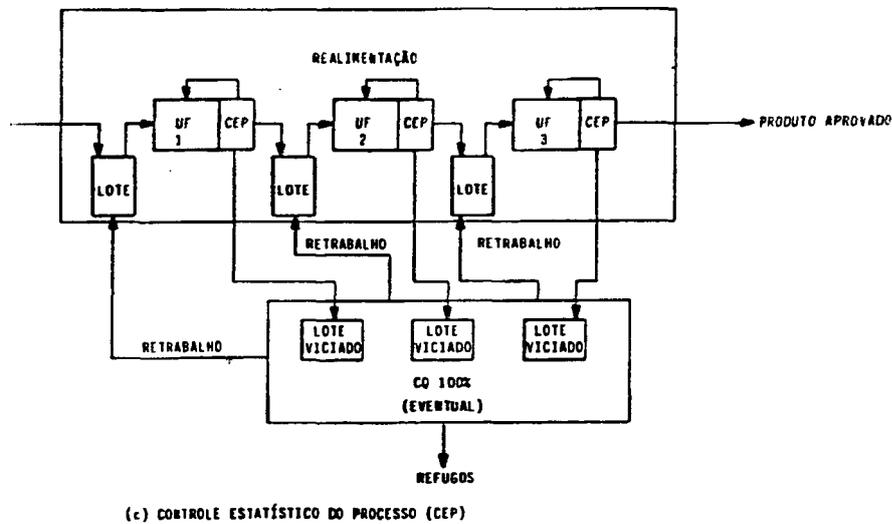
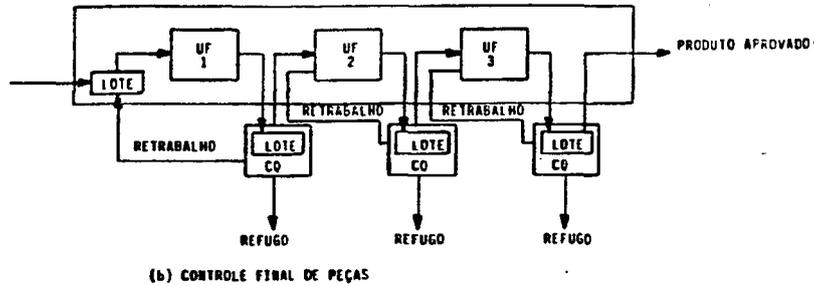
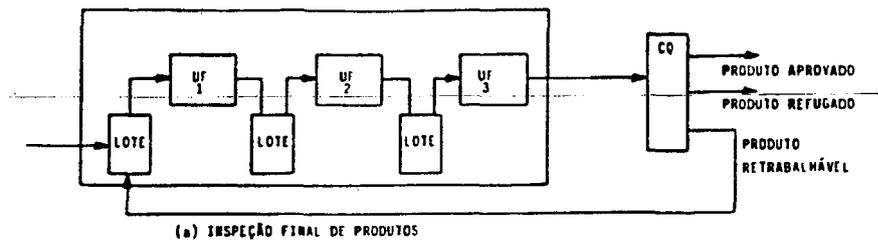


Fig. 2.4 - Tendências do CQ

A utilização das técnicas estatísticas como meio de auxílio ao controle da qualidade, passou a ser amplamente utilizado, como um meio racional de avaliação da estabilidade, capacidade e desempenho do processo, otimizando as ações de ajuste da unidade de fabricação. Fazendo como consequência um controle do processo que minimiza a produção de refugos (fig. 2.4.c).

Com a introdução do conceito de "fazer bem na primeira vez", o CQ passou a exercer uma atividade fim para ser uma atividade meio, da qual a produção teria contínuas realimentações que permitissem, em tempo hábil, efetuar as correções dos processos de fabricação /6,7/.

O controle de qualidade dimensional, por exemplo, tem demonstrado uma clara tendência de integração ao processo de fabricação, principalmente, com a finalidade de melhorar o desempenho geométrico dos meios de produção e minimizar seus custos /8/.

Esta tendência é caracterizada pela localização dos meios de controle dimensional cada vez mais próximos, ou até dentro da unidade de fabricação, através da medição intermitente ou simultânea de características dimensionais da peça /8/.

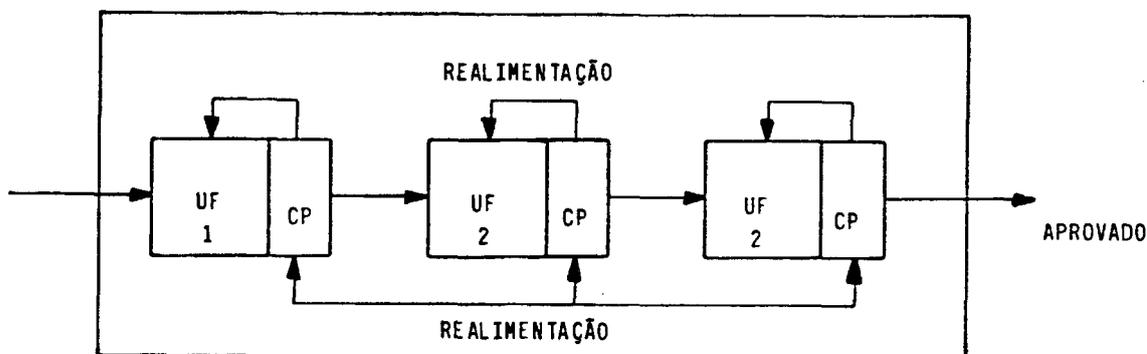


Fig. 2.5 - Controle de Processos nas Unidades de Fabricação

A situação ideal que garante a fabricação de produtos dentro das especificações (fig. 2.5), é aquela em que cada operação envolvida assegura-se plenamente o atendimento as tolerâncias, e que a operação subsequente tenha meios de auto adaptar-se de modo a compensar os desvios admissíveis da anterior. Por exemplo, num processo de estampagem, ao invés de controlar-se a peça estampada, seria controlado o posicionamento da chapa em relação à matriz, as condições de força da prensa, a própria matriz. Obviamente na etapa anterior ao estampado, por exemplo, o corte da chapa, deveria "garantir" as dimensões toleráveis através de controles específicos. A espessura da chapa e as características metalúrgicas deveriam ser garantidas nos processos correspondentes.

2.3.2 Controle sobre Produtos

O CQ verifica o cumprimento das especificações ao longo das várias fases do ciclo de vida de um produto: protótipo, fabricação, utilização.

Os resultados do CQ não só certificam a qualidade, como também permitem realimentar as especificações do produto quanto a suas próprias características, materiais e processo de fabricação.

a) Qualificação de protótipos:

Na construção de protótipos para análise de viabilidade de fabricação, o CQ realiza a verificação de parâmetros no próprio produto e nos processos envolvidos na sua produção, através de ensaios de avaliação que realimentam os setores de projeto e planejamento da produção.

b) Qualificação de produtos produzidos:

A intervenção do CQ se dá em cada fase de transformação do produto, mediante:

- qualificação através de ensaios e/ou testes sobre as matérias-primas e partes componentes provenientes de fornecedores ou de sistemas de fabricação da própria empresa;
- qualificação de peças junto às unidades de fabricação;
- qualificação nas operações de acabamento e/ou montagem do produto.

c) Qualificação do desempenho do produto:

O CQ realiza a qualificação de desempenho do produto através de ensaios sobre produtos acabados ou mediante verificação na aplicação a que se destinam, de maneira a mensurar a durabilidade e adequação ao meio. A realização de auditorias no mercado, ou as informações provenientes da assistência técnica (quando esta existir) permitem a obtenção dos parâmetros de qualidade do produto junto ao ambiente de aplicação.

Uma maneira eficiente de canalizar as informações sobre o desempenho do produto no mercado é a implementação de sistemas de coleta, armazenamento e recuperação de dados sobre reclamações do produto, de modo que a AQ exerça a ação corretiva necessária.

2.3.3 Controle sobre os processos

A verificação e o controle dos processos se caracteriza na ação mais objetiva do CQ, uma vez que, através deles é que se "faz a qualidade". Isto é realizado através de ações sobre:

a) Máquina:

No ajuste inicial da máquina ferramenta, o CQ realiza a qualificação, das primeira peças produzidas, junto à unidade de fabricação ou nos laboratórios, emitindo parecer de liberação de máquina.

A qualificação da máquina ferramenta através dos ensaios geométricos permitem determinar o comportamento dos erros para verificação da adequabilidade de produção, ou determinação de manutenções corretivas ou preventivas.

Ajustes periódicos da máquina ferramenta, são recomendados pelo CQ com base nas informações do CEP.

b) Métodos e mão-de-obra:

O CQ realiza freqüentes avaliações dos procedimentos empregados durante a fabricação observando em especial, aqueles que venham a causar "perturbações" à qualidade, como: manuseio das peças, modos de fixação nas unidades de fabricação, transporte e armazenamento, etc.

A monitoração de eventos na unidade de fabricação (troca de ferramentas, tempo de parada de máquina, falta de material, manutenções) auxiliam na análise da influência dos mesmos sobre a incerteza de fabricação.

A qualificação de mão-de-obra empregada na fabricação é supervisionada mediante a observação direta e/ou análise de comportamento do processo com as mudanças de operadores, registradas nas cartas de controle.

2.3.4 Controle sobre os meios de Qualificação

Com base nas especificações do produto/peça determinados pelo PQ, cabe ao CQ o planejamento dos métodos e sistemas de medição a serem utilizados para o ajuste de máquina, verificação

dimensional durante a produção e qualificação das peças e produtos fabricados. Esta dinâmica se caracteriza pelo contínuo aperfeiçoamento de métodos, sistemas e capacitação do pessoal envolvidos nos procedimentos de controle. Basicamente as ações do CQ sobre os meios de qualificação se concentram em:

a) Especificação de sistemas de medição:

A estratégia de medição deve definir: "o que" medir e "como" medir. Este é ponto de partida de uma qualificação bem sucedida, pois evita o excesso de controle, o que se traduz em diminuição de tempo e de custos envolvidos.

Sistemas computacionais podem ser utilizados no auxílio à determinação dos instrumentos necessários ao CQ, permitindo de modo interativo a escolha dos sistemas de medição com base, por exemplo, nas características dimensionais, valores nominais, tolerâncias, frequência de medição, tempo disponível para efetuar as medições, resposta dinâmica, métodos de teste, etc. A partir dessas informações o sistema fornece uma lista dos possíveis instrumentos disponíveis que atenderiam a particular aplicação /9/.

b) Qualificação dos sistemas de medição:

Os sistemas de medição utilizados no CQ de produtos/peças e processos, requerem uma verificação periódica de acordo com padrões e normas estabelecidas, de modo a garantir a confiabilidade dos resultados e o cumprimento das exigências legais correspondentes.

Esta sistemática compreende a calibração, aferição e ajuste dos sistemas de medição. O CQ deve estabelecer os procedimentos a serem seguidos, através da criação de um banco de informações contendo um cadastro de instrumentos e dispositivos auxiliares

associados, procedimentos de uso, cronogramas de qualificação e de manutenção /9/.

c) Métodos e treinamento de pessoal:

A aplicação de novos métodos de controle, a avaliação de seus resultados é uma tarefa do CQ. Somado a esses esforços se encontra a formação e aperfeiçoamento do pessoal envolvido, através de cursos e campanhas de conscientização sobre qualidade.

Um dos mais recentes conceitos de integração de pessoal em torno da qualidade, são os denominados círculos de controle da qualidade (CCQ), assim definidos /10/: "O círculo de controle da qualidade é um pequeno grupo de voluntários que desenvolvem atividades para controlar a qualidade no próprio local de trabalho a que pertence. Este grupo com a participação de todos os seus membros, exercem continuamente atividades, tanto de melhoria do sistema de trabalho, como do seu desenvolvimento pessoal".•

2.3.5 Meios/Ferramentas do CQ

De modo geral o controle da qualidade sobre peças e produtos qualifica materiais empregados, geometria, acabamentos e funcionalidade. Os meios através dos quais o CQ efetiva a qualificação podem ser divididas em:

- ensaios destrutivos;
- ensaios não destrutivos;

A seguir serão descritos genericamente as características e aplicações de cada meio de qualificação.

a) Ensaio destrutivos:

São utilizados para verificação das características de materiais, comportamento de peças sujeitas a condições

específicas e ensaios sobre produtos finais para avaliação de desempenho e/ou durabilidade.

Este tipo de ensaio, obviamente, como a definição o expressa, causa a inutilização posterior da peça ou produto em questão.

Na análise de características e propriedades dos materiais, exigem a retirada de amostras e confecção de corpos de provas, os quais são rompidos ou deformados nos ensaios de tração ou compressão, por exemplo.

Nos ensaios de comportamento de peças, as mesmas são expostas a extremas condições de uso para determinação de durabilidade e desempenho. Por exemplo nos bancos de ensaio de motores de combustão interna, as partes componentes, como pistões, anéis, bielas, bloco do motor, etc, são expostos a particulares regimes de funcionamento. A medição de parâmetros durante o funcionamento (rotação, torque, pressões, temperaturas, etc) e a análise posterior das peças, permitem avaliar o seu comportamento /11/.

Como ensaio onde são observados o comportamento global do produto destaca os testes de impacto em automóveis, onde veículos devidamente instrumentados são submetidos a choques sobre barreiras /4/.

b) Ensaios não destrutivos

Estes ensaios quando realizados sobre peças/produtos acabados ou semi-acabados, não prejudicam nem interferem nas características das mesmas, tendo como objetivo a detecção de imperfeições no material e/ou geometria /12/.

Existem diversos métodos aplicáveis na indústria, os quais são escolhidos a partir da análise da própria peça/produto ensaiado. Os mais comumente usados na são:

b.1) Visual:

É o ensaio mais elementar, executado às vezes com instrumentos auxiliares como lupas ou microscópios. Tem como objetivo a observação de formas, acabamentos, descontinuidades etc.

Uma das aplicações da denominada "visão artificial" é a substituição do homem nas tarefas de inspeção visual /13/.

b.2) Líquidos penetrantes:

Este método permite a observação de discontinuidades superficiais, através da aplicação de líquidos especiais que penetram nas fissuras possibilitando após alguns procedimentos complementares a detecção do problema /12/.

b.3) Raio X:

A utilização de radiografias permite a detecção de descontinuidades no interior dos corpos metálicos /12/.

b.4) Ultra-som:

Permite a detecção de falhas nos materiais, através da análise da variação de um sinal em relação a uma peça semelhante sem defeitos. Esta técnica permite a automatização da aquisição e interpretação dos sinais, possibilitando o uso de microcomputadores /12/.

b.5) Geométrico:

Por ensaio geométrico, subentende-se a verificação da micro e macrogeométrica de elementos geométricos, como superfícies, linhas, eixos e trajetórias /14/.

A verificação da rugosidade e asperezas, é um procedimento importante na qualificação do acabamento superficial de produtos, enquadrados nos ensaios de microgeometria.

Os ensaios de macrogeometria de peças/produtos corresponde à qualificação quanto a forma, dimensão e posição dos elementos geométricos que a compõem /15/.

A qualificação de forma /16/ é feita através de ensaios de:

- retilineidade;
- circularidade;
- planicidade;
- cilindricidade;
- esfericidade;

Quanto a qualificação de posição são determinado através de ensaios de:

- paralelismo;
- posicionamento;
- inclinamento;
- alinhamento;
- ortogonalidade;
- equidistância.

A qualificação dimensional corresponde a medição de: comprimentos e ângulos.

3. CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

3.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

O Controle Estatístico do Processo (CEP) utiliza as técnicas estatísticas para analisar o comportamento do processo de fabricação, de maneira a tomar decisões e efetuar ações corretivas que permitam manter o mesmo dentro das condições preestabelecidas /11/. Com finalidade de simplificação redacional na seqüência, processo de fabricação será designado simplesmente "processo".

O CEP apresenta uma série de vantagens sobre a inspeção final de produtos e/ou componentes /17/ em função de:

- reduzir os custos de produção evitando refugo e retrabalho, pois há um controle sobre o processo que garante fazer bem da primeira vez;
- reduzir os custos operacionais, otimizando a freqüência de ajuste e troca de ferramentas;
- maximizar a produtividade através da identificação e eliminação das causas de perturbação do processo;
- estabelecer um previsível e consistente nível de qualidade;
- eliminar, ou pelo menos reduzir, a necessidade da inspeção de recebimento dos produtos e/ou componentes obtidos de fornecedores.

A figura 3.1 apresenta um fluxo típico do controle de qualidade final. Nota-se claramente que ao realimentar o processo com as informações obtidas após a peça acabada ou semi-acabada a inspeção torna-se uma mera contabilizadora de peças refugadas, retrabalháveis e boas.

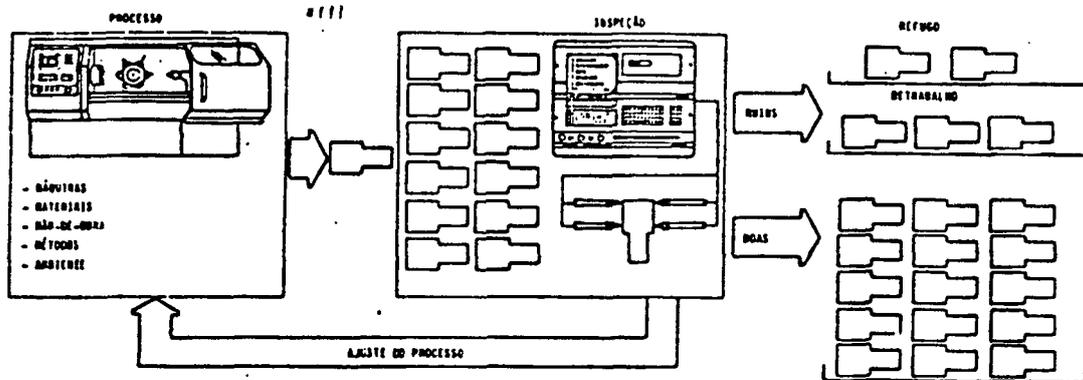


Fig. 3.1 - Realimentação do Processo Após a Inspeção Final do Produto

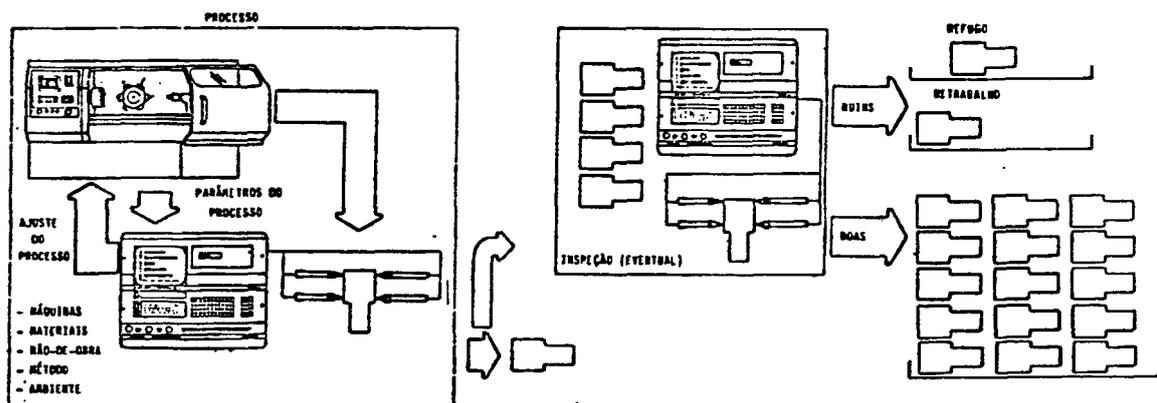


Fig. 3.2 - Realimentação do Processo Durante a Produção

Na figura 3.2 observa-se um fluxo com CEP a partir da medição seletiva de parâmetros na peça ou do próprio processo. Desta forma a malha de controle realimenta o processo em tempo hábil, de modo a garantir as saídas dentro das especificações. A inspeção final pode eventualmente ser mantida, caso desajustes incontrolláveis no processo tenha probabilidade de ocorrer, causando significativos erros no lote produzido (comumente denominado de lote viciado) /18/.

Na sequência serão abordadas as causas de variação no processo de fabricação e as ferramentas disponíveis para análise e detecção de erros.

3.2 FONTES DE ERROS NA FABRICAÇÃO POR USINAGEM

Todo processo apresenta instabilidades que provocam erros nas suas saídas em relação aos parâmetros prefixados de entrada.

A restrição da análise aos processos de usinagem se deve, em princípio, ao fato dos sistemas desenvolvidos e o proposto no trabalho se referirem ao controle dimensional de peças usinadas, além do mais é o processo onde o CQ é mais crítico e mais utilizado. Obviamente as questões dimensionais dos outros processos de conformação mecânica poderiam ser atendidos pelo sistema, requerendo análises detalhadas das suas especificidades.

As variações apresentadas nas dimensões de peças usinadas, revelam, em primeiro lugar, as dispersões de fabricação. A denominada incerteza de fabricação, expressa o máximo erro (sistemáticos e aleatórios) com que se usina uma peça, numa determinada máquina e condição de fabricação. Dentro da incerteza de fabricação são considerados os desvios inerentes à máquina ferramenta, (definidas como incerteza de trabalho da máquina ferramenta) e os demais, independentes da máquina /19/.

A figura 3.3 resume os principais fatores que contribuem ao aparecimento da incerteza de fabricação.

3.2.1 Peça em Fabricação

A peça poderá contribuir com uma parcela de erros dentro da incerteza de fabricação. A forma da peça poderá causar deformações durante a usinagem devido a efeitos de flexão por peso próprio ou de deformações múltiplas devido a pouca robustez durante determinadas operações, por exemplo.

O tipo de material empregado, em função de suas características de usinabilidade, poderá provocar vibrações, desgaste excessivo de ferramentas, perturbações térmicas entre outros /20/.

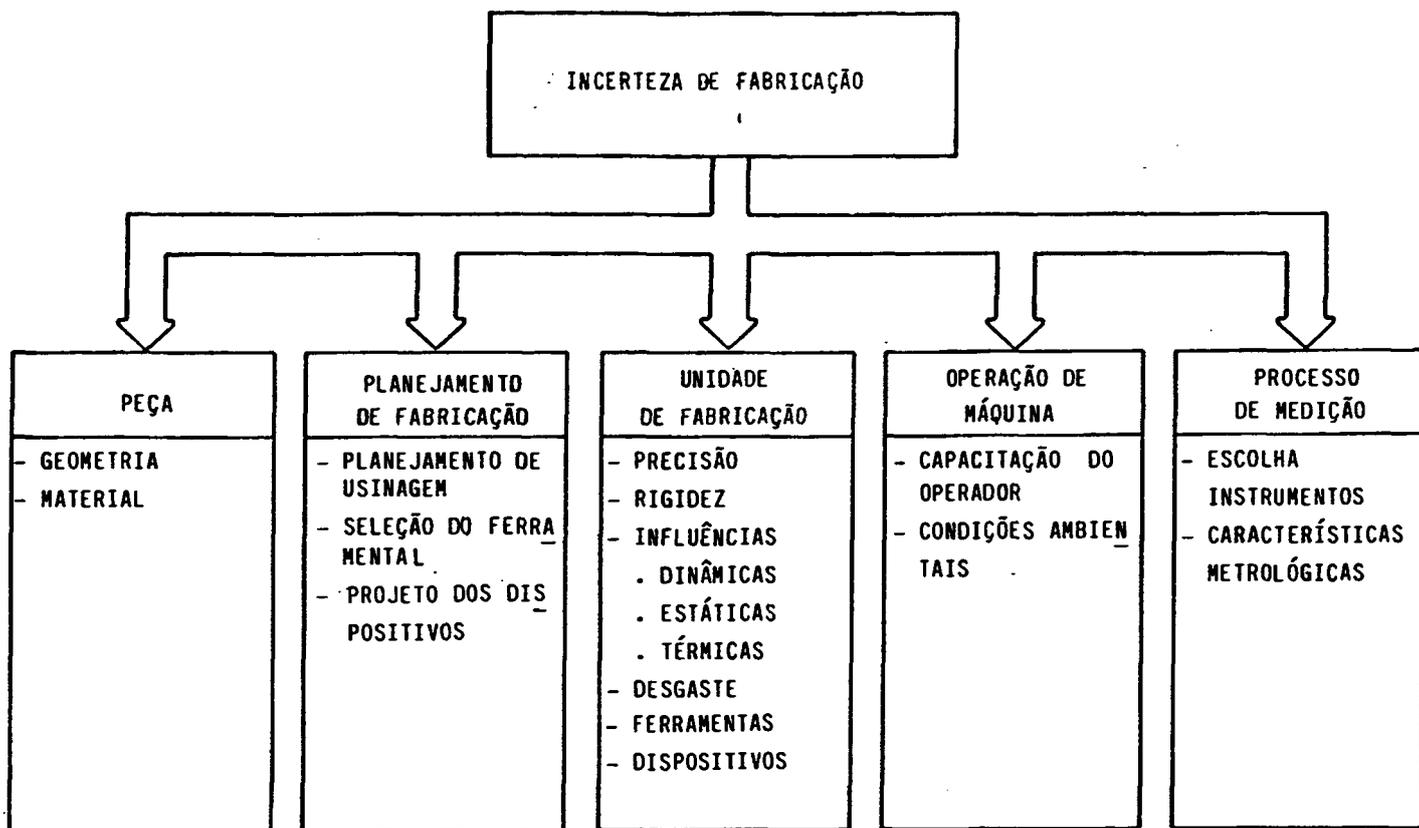


Fig. 3.3 - Fontes de Erros na Fabricação

3.2.2 Planejamento da Fabricação

O planejamento da fabricação da peça consiste na escolha apropriada do ferramental, das velocidades de avanço e de corte, da profundidade de corte, de refrigeração, da sequência de operações e dos dispositivos de fixação, de modo a garantir a minimização de erros de forma ou de dimensão durante o processo de usinagem.

3.2.3 Unidade de Fabricação

O processo de usinagem é caracterizado pelo movimento relativo entre peça e ferramenta de corte. Um ponto, aresta ou superfície de referência da ferramenta, percorre com intuito de dar forma à peça uma trajetória dentro do campo de trabalho da

máquina. Caso exista uma diferença entre a trajetória real e trajetória ideal, provoca-se sobre a peça um erro geométrico /21/.

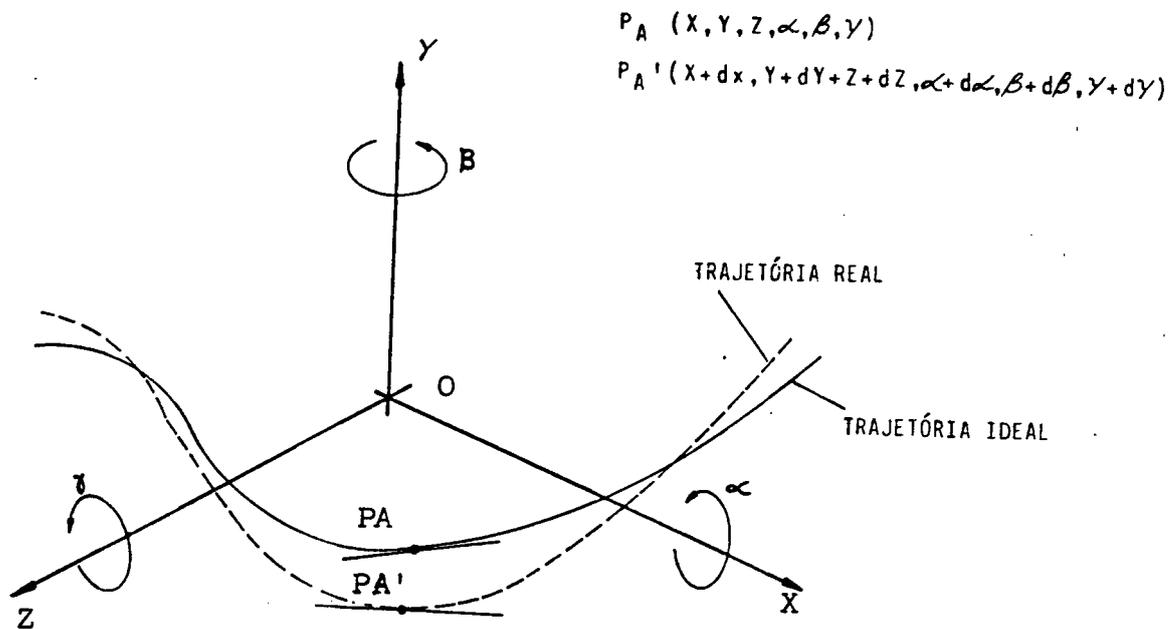


Fig. 3.4 - Componentes do Erro da Trajetória em um Ponto Qualquer no Espaço /16/

O elemento de deslocamento (peça ou ferramenta) numa máquina ferramenta pode apresentar erros de posicionamento na direção do movimento, além de outros componentes de erros nas distintas posições espaciais. A figura 3.4 ilustra os componentes de erro de trajetória em um ponto qualquer, caracterizados pelos desvios lineares dx , dy , dz e pelos desvios angulares $d\alpha$, $d\beta$, $d\gamma$ /20/.

A ferramenta de corte é uma das principais causadora de erros de forma e dimensão, devido ao desgaste da superfície de incidência, a quebra ou a deformações plásticas. Outro problema se apresenta na fixação da peça, que pode acarretar erros de forma ao liberar a mesma /22/.

A Figura 3.5 apresenta uma sinopse dos fatores que influenciam o comportamento geométrico de uma máquina ferramenta.

Todos os desvios dependentes da máquina que ocorrem durante a usinagem numa peça na máquina-ferramenta são reunidas sob a definição de incerteza de trabalho /19/.

Esta definição contém tanto os erros sistemáticos como os aleatórios.

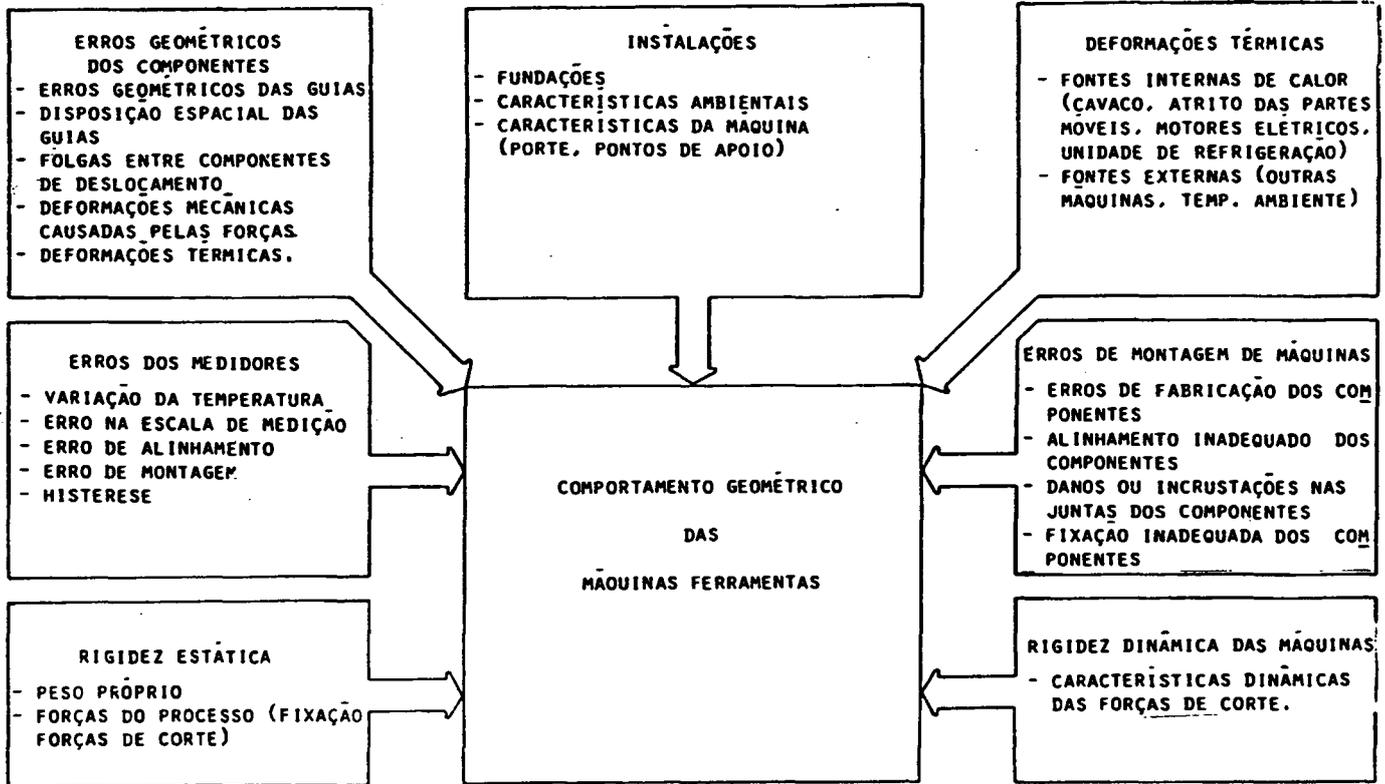


Fig. 3.5 - Fatores de Influência no Comportamento Geométrico de uma Máquina Ferramenta /20/

3.2.4 Operação da Máquina Ferramenta

Na operação da máquina ferramenta pelo uso impróprio da mesma, pode contribuir com uma parcela de erros, devido a problemas de capacitação do pessoal, uso indevido, falta de manutenção preventiva e/ou corretiva. Na figura 3.6 pode-se observar a provocação de uma conicidade devido à falta de paralelismo entre elementos de fixação da peça e trajetória da ferramenta. As condições ambientais como variações de

temperatura, vibrações, provocam transferências de erros à peça fabricada /22/.

Os aspectos fadiga e perturbações emocionais do operador constituem outra fonte de erros considerável /23/.

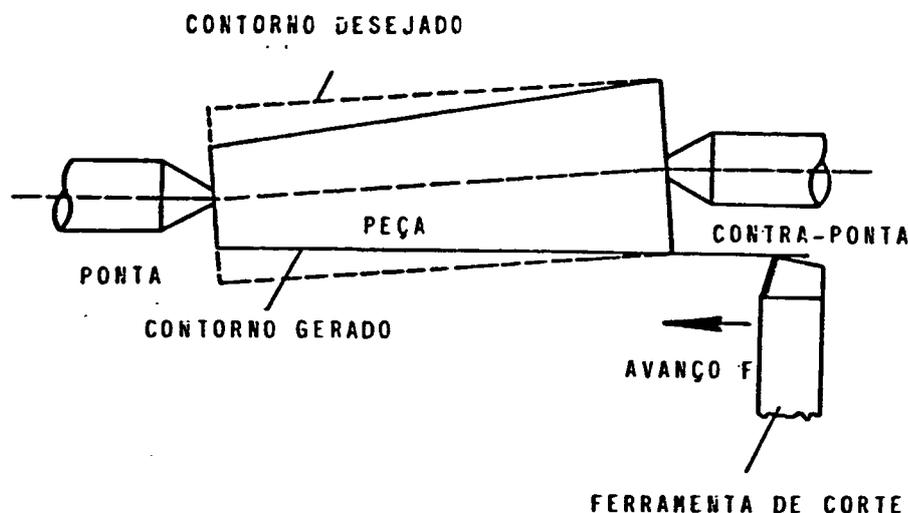


Fig. 3.6 - Erro de Forma entre Pontas Quando estas Apresentam Desalinhamento

3.2.5 Processo de Medição

A verificação dimensional da peça produzida ou a verificação de parâmetros na própria máquina que as produz, constituem os elementos de realimentação do processo de fabricação. A correta execução desta operação contribuirá com a qualidade do produto. Para isto deverão ser observados:

a) escolha correta do sistema de medição (SM):

Para a medição de uma particular grandeza a escolha do SM deve-se considerar: erro máximo admissível e/ou resolução, resposta dinâmica, faixa de operação, entres outros /24/.

b) uso adequado do sistema de medição:

O uso inadequado do SM, contribue nos denominados erros grosseiros de medição causados pela não obediência do princípio de Abbé, choques mecânicos, danos de instalação, desatenção na leitura, entre outros /24/.

c) sistemática periódica de qualificação do SM:

As operações de qualificação denominadas ajustagem e calibração do SM devem constituir-se em procedimentos periódicos de acordo com o tipo de SM, de modo a garantir atendimento ao erro máximo especificado /15/.

A figura 3.7 apresenta uma sinopse dos principais componentes de erros num sistema de medição.

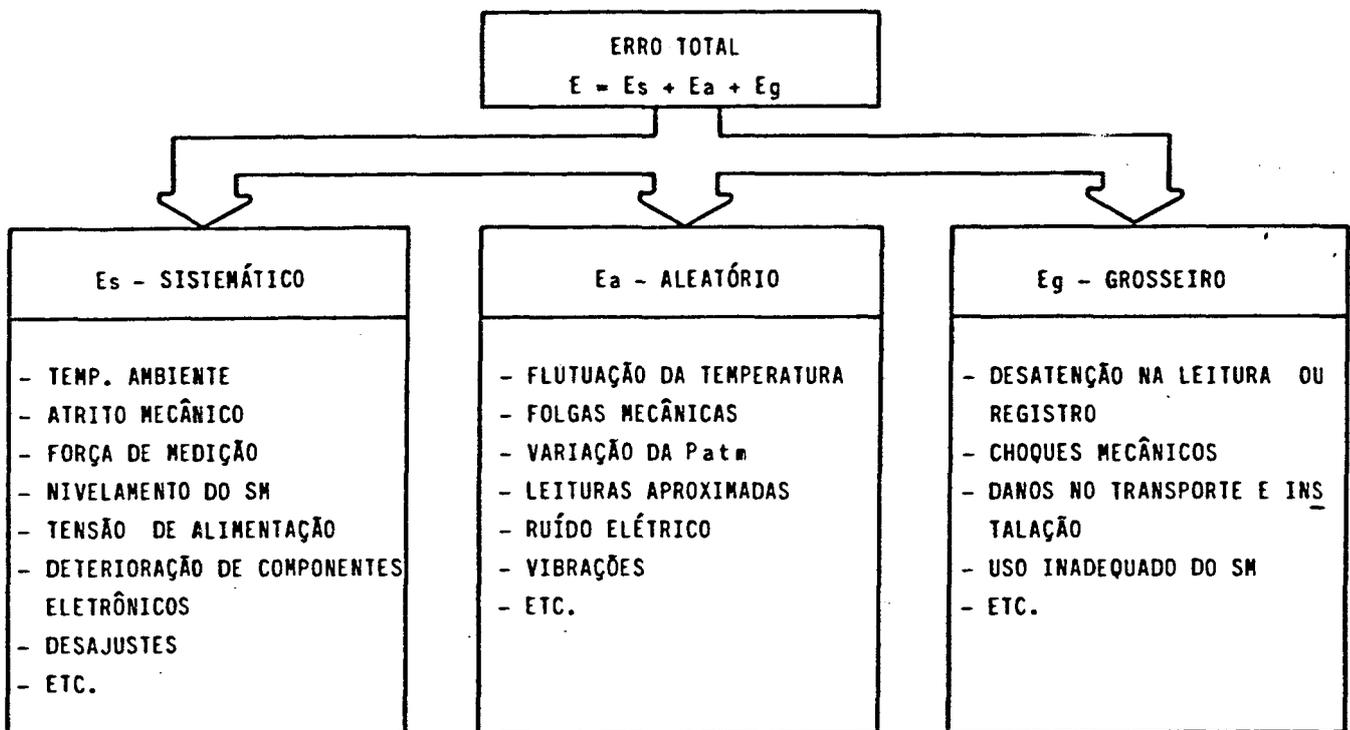


Fig. 3.7 - Componentes de Erros de Medição, Causas /24/

3.3 CARTAS DE CONTROLE

As cartas de controle tiveram sua origem na Bell Telephone Laboratories no ano de 1924 através de Walter A. Shewart, que a partir da observação das variações aleatórias de um particular processo, verificou que estas apresentavam um comportamento segundo uma distribuição de probabilidades. Verificou também que, de tempos em tempos apareciam variações de comportamento não aleatório. Assim, concluiu que seria possível e desejável colocar limites sobre a variação natural do processo,

de modo que as flutuações dentro desses limites obedeceriam a causas aleatórias, porém, qualquer variação fora dos limites significariam mudanças no processo que prontamente deveriam ser corrigidas /2/.

A especificação de projeto de uma peça contém o valor nominal e a respectiva tolerância de fabricação (IT), isto é, uma faixa permissível de dimensões sem que seja afetada prejudicialmente o desempenho da peça produzida. O intervalo de tolerância de fabricação (IT) é determinado pela diferença entre o limite superior tolerável (LST) e o limite inferior tolerável (LIT), os quais indicam qual o maior e o menor valor admissível para uma determinada característica geométrica da peça.

A incerteza de fabricação natural do processo é aquela coincidente com o intervalo $\bar{X} \pm 3S$. O comportamento do processo em relação às especificações do projeto é apresentado na figura 3.8.

Na figura 3.8a observa-se uma dispersão do processo coincidente com os limites de tolerância da especificação, isto caracteriza mais de 99% (teoricamente 99,7%) de probabilidade de produzirem-se peças dentro das tolerâncias.

A figura 3.8b, apresenta o caso de um processo com incerteza de fabricação menor que a especificada para a peça fabricada, isto causa a fabricação de praticamente 100% das peças dentro das especificações.

A figura 3.8c, apresenta um caso contrário ao anterior já que as tolerâncias do projeto são demasiado exigentes em relação ao processo de fabricação. As situações a, b, e c mostradas na figura 3.8 consideram uma centralização do processo, devido ao fato de coincidir a média como o valor nominal especificado.

Na figura 3.8, em d, e, f, são apresentados casos em que a média do processo se apresenta deslocada em relação ao valor nominal /2/.

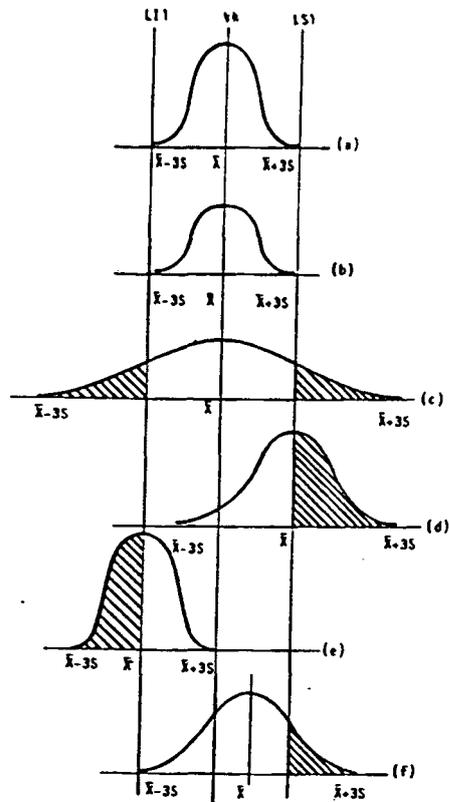


Fig. 3.8 - Comportamento do Processo em Relação às Especificações

3.3.1 Tipos de Cartas de Controle

As cartas de controle são aplicáveis tanto a características mensuráveis (variáveis) como a atributos, onde a classificação da peça se dá pela presença ou ausência de defeitos, sem quantificação do grau da imperfeição /25/.

Dentro das cartas para variáveis estão enquadradas:

- a) Cartas \bar{X} e R (média e amplitude)
- b) Cartas \bar{X} e S (média e desvio padrão)
- c) Cartas \bar{X} (medianas)
- d) Cartas de individuais.

Para o controle de atributos existem quatro tipo de cartas:

- a) Carta da fração defeituosa p;

- b) Carta do número de defeitos np;
- c) Carta do número de defeitos por unidade u;
- d) Carta do número de defeitos.

A figura 3.9 apresenta uma carta de controle tipo \bar{x} . Cada ponto registrado no gráfico corresponde à média de uma amostra. No exemplo foram coletadas doze amostras, de cinco peças cada.

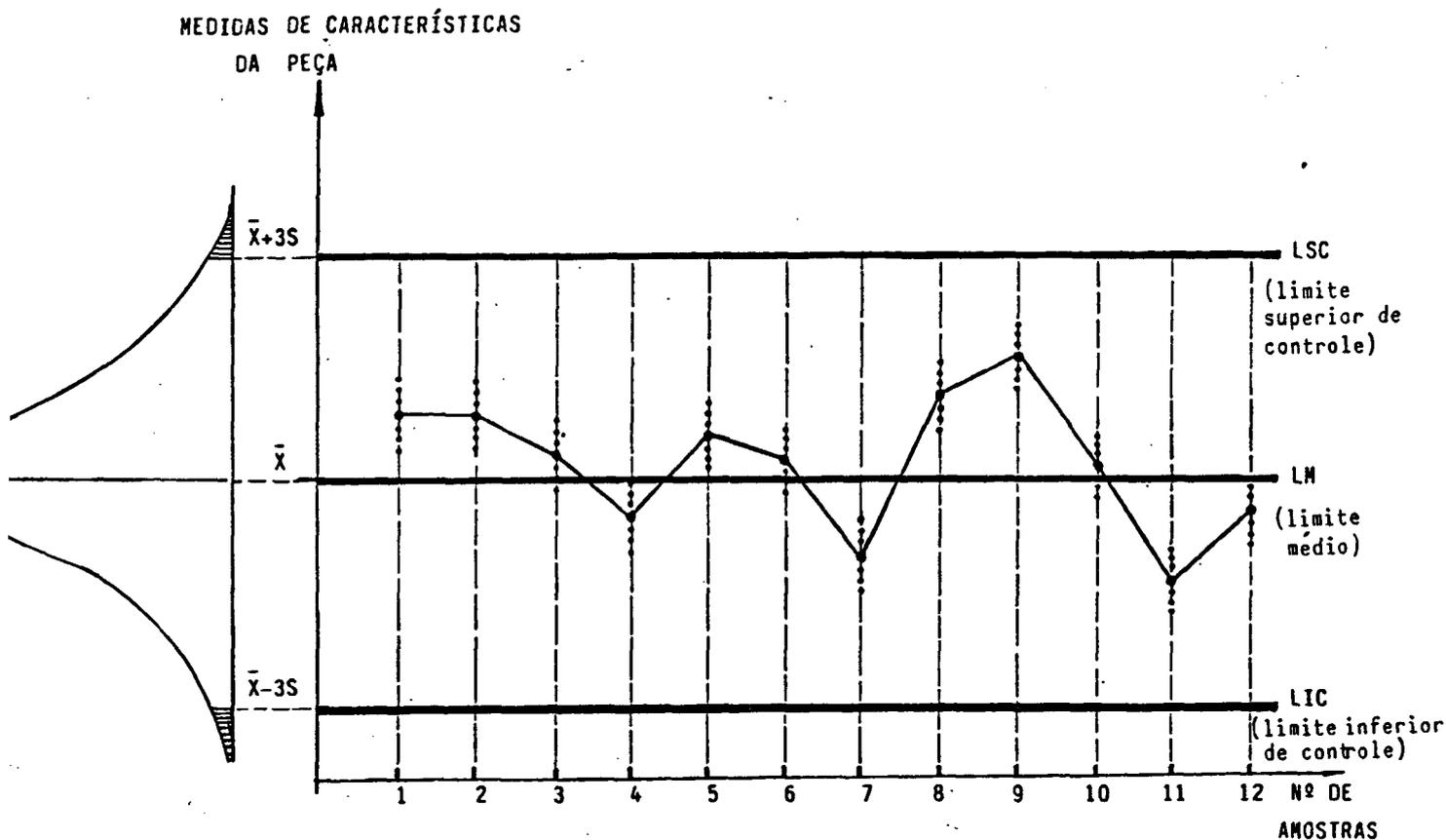


Fig. 3.9 - Carta de Controle das Médias

Dependendo do estágio da sua utilização, isto é, na verificação inicial do comportamento do processo, ou durante o acompanhamento do processo, as cartas podem ser traçadas:

- Calculando os limites de controle (LIC, LM, LSC) e posteriormente registrando as amostras. Isto é feito para determinar o comportamento do processo, quando do estudo inicial do mesmo;

- Registrando cada amostra durante a sua coleta, com limites de controle preestabelecidos. Isto é feito para o acompanhamento do processo, quando já é conhecido o comportamento do processo.

Quando conhecidos a média \bar{x} e o desvio padrão S do processo, o cálculo dos limites é feito como:

$$LSC = \bar{x} + \frac{3S}{\sqrt{n}}$$

onde n é o número de peças de cada amostra.

$$LIC = \bar{x} - \frac{3S}{\sqrt{n}}$$

$$LM = \bar{x}$$

Quando os parâmetros \bar{x} e S do processo são desconhecidos, caso muito comum na fase inicial de controle, é necessário calcular estimativas da média e do desvio padrão a partir das próprias amostras coletadas /2,25/.

3.3.2 Propósitos das Cartas de Controle

A cartas de controle permitem basicamente determinar se o processo está operando sob controle, isto é, atuando sobre ele somente erros aleatórios. Quando da presença de erros sistemáticos, a distribuição da curva apresenta por exemplo comportamentos como os mostrados na figura 3.10 /26/.

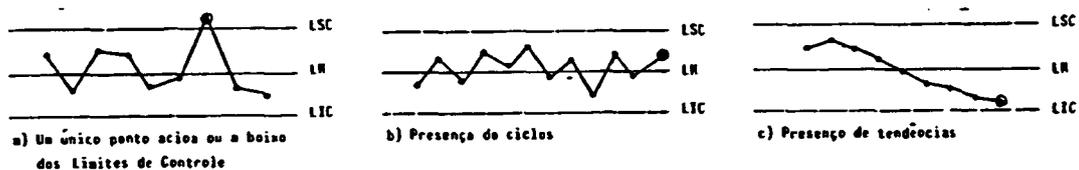


Fig. 3.10 - Exemplo de Indicação de Causas Especiais na Carta de Controle

3.4 FLUXO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

A finalidade de um processo de usinagem é fabricar peças com dimensões conforme as especificações de projeto. Uma vez que o planejamento da produção com o auxílio do CQ tenham conseguido ajustar o processo para ser capaz de produzir dentro das tolerâncias, compete ao CQ supervisionar os níveis de desempenho atingidos.

O CEP auxilia no ajuste do processo, através da indicação dos parâmetros de posição e dispersão, e dos tipos de erros (aleatórios ou sistemáticos). Uma vez ajustado, permite um acompanhamento contínuo e uma indicação, em tempo hábil, das distorções apresentadas no processo.

As informações coletadas durante as várias etapas, enumeradas a seguir, constituem uma fonte importante de realimentação entre as áreas da Garantia da Qualidade.

A figura 3.11 apresenta um fluxo característico de CEP.

Pode-se reconhecer etapas/sistemáticas que passam a ser descritas.

3.4.1 Conhecimento do Processo

Uma vez definido o processo a ser controlado, a primeira etapa consiste em "conhecer" o processo. Para isto é feita uma coleta de dados relativo a uma particular característica dimensional da peça fabricada que caracterize o processo, durante um curto período de tempo. Estas peças são agrupadas em conjuntos denominados de amostras. O intervalo de amostragem, o número de amostras e o tamanho das amostras é função do número de peças fabricadas por unidade de tempo, requerendo cada processo uma análise particular /17/.

Calculando a média e o desvio padrão de cada amostra, determina-se a média e o desvio padrão estimado de todas as

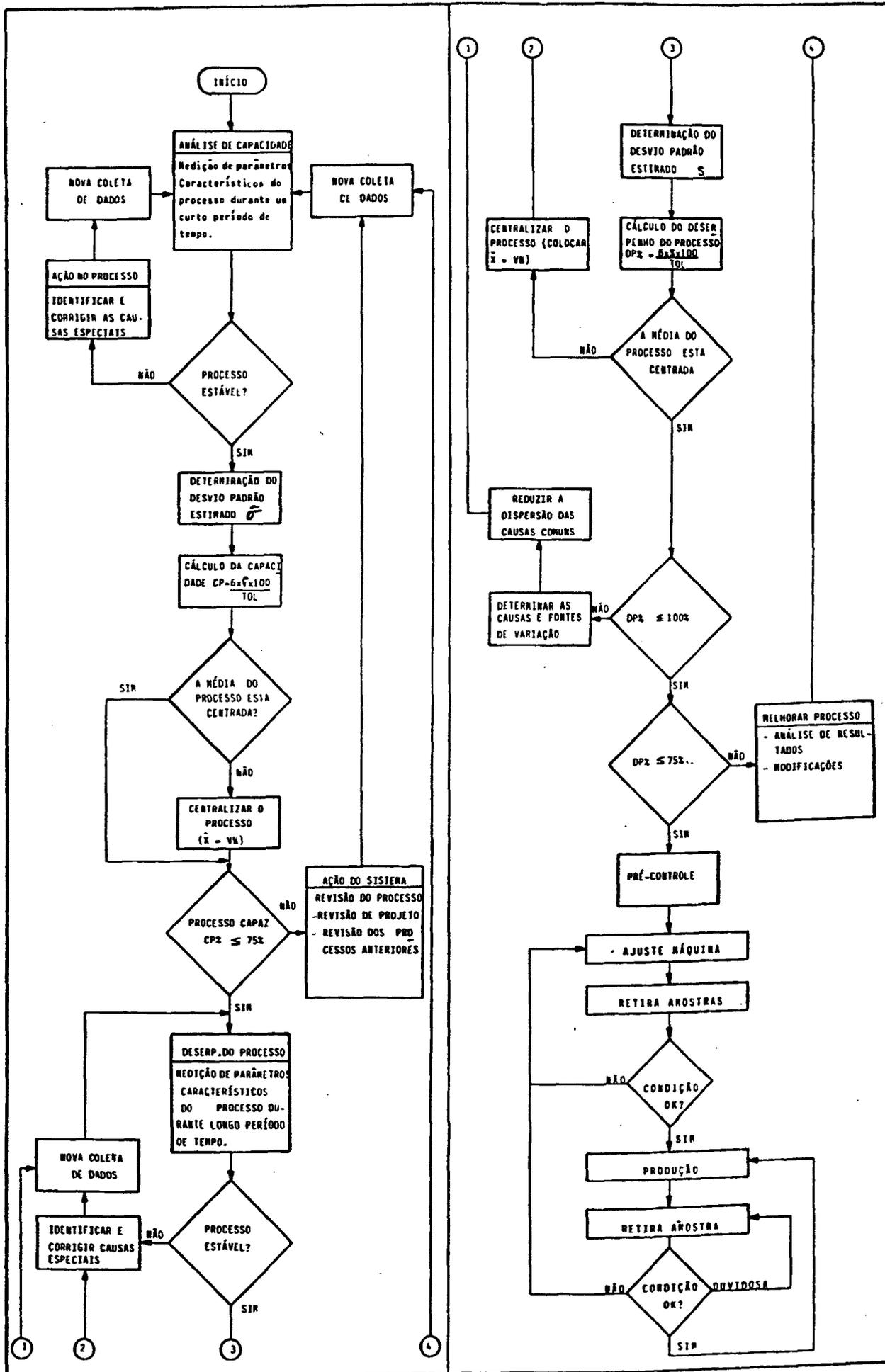


Fig. 3.11 - Fluxo Típico do CEP

amostras. Com estes dados são traçadas as cartas de controle da média e do desvio padrão.

Um processo é denominado estável ou sob controle estatístico se as amostras periódicas de uma particular característica dimensional, que caracterize o comportamento do processo, apresentarem variações com distribuição normal. Além disso supõe também que essa distribuição permaneça com os parâmetros de média e de desvio padrão aproximadamente constantes. Resumindo, um processo é estável quando somente atuam sobre ele as denominadas causas comuns (erros aleatórios) /27/.

A figura 3.12 apresenta a indicação da estabilidade ou não do processo, através da observação do comportamento das cartas de controle.

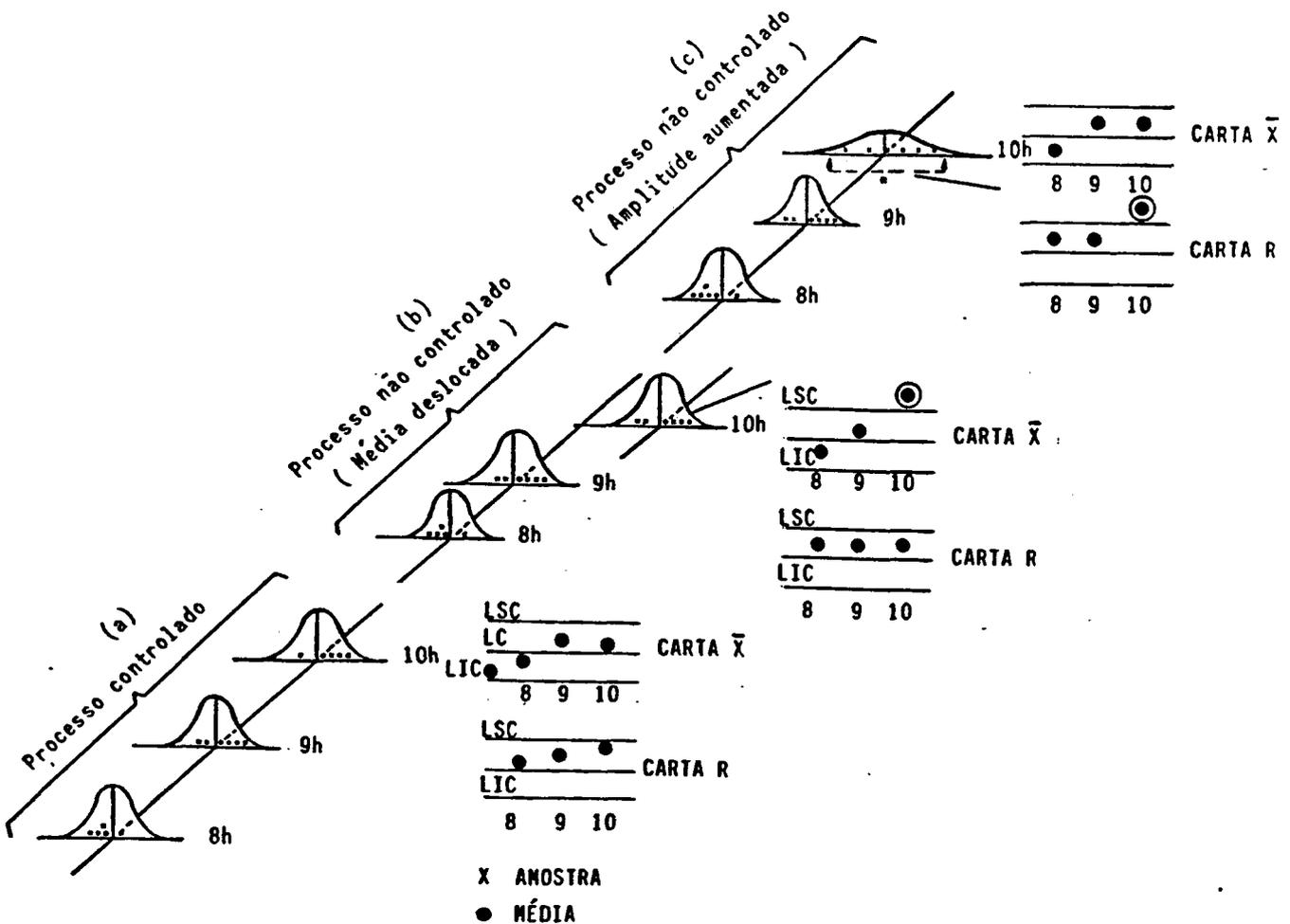


Fig. 3.12 - Determinação da Estabilidade do Processo Através das Cartas da Média (\bar{x}) e Amplitude (R)

Se o processo não é estável, deverão identificar-se e eliminar-se as denominadas causas especiais de variação e reiniciar nova coleta de dados.

Se o processo for estável calcula-se a capacidade do processo (CP), definida por:

$$CP = \frac{6 \cdot \hat{\sigma}}{TOL}$$

Onde: $\hat{\sigma}$: desvio padrão estimado, medida da dispersão do processo obtida a partir das amplitudes amostrais, é estimado por $\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$ onde \bar{R} : média das amplitudes amostrais, d_2 : constante tabulada /28/.

TOL: tolerância de fabricação

A capacidade (CP) mostra se um processo é capaz ou não de produzir dentro das especificações, e não se ele está produzindo dentro das especificações /29/. A figura 3.13a mostra um processo com $CP=0,7$. Toda a produção está dentro das especificações. A figura 3.13b mostra um processo com $CP= 0,7$, entretanto o processo está produzindo peças fora das tolerâncias. Neste caso eliminando-se as causas especiais (erros sistemáticos), pode deslocar-se a média do processo de modo a atender os requisitos.

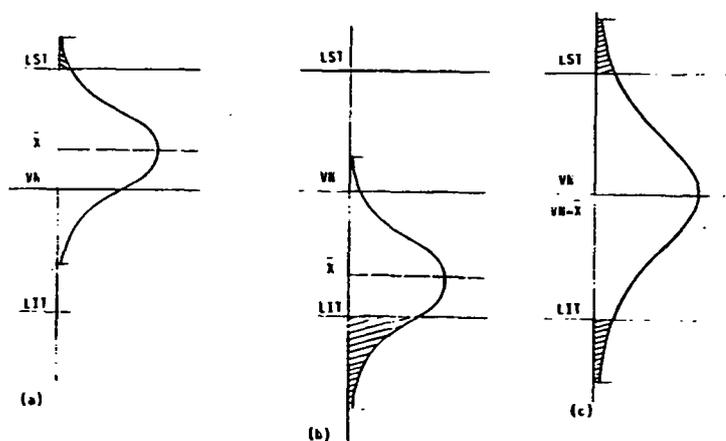


Fig. 3.13 - Relação da Capacidade do Processo com as Tolerâncias de Fabricação

A figura 3.13c apresenta um processo com CP=1.3, ou seja o processo não é capaz de produzir dentro das especificações.

3.4.2 Acompanhamento do Processo

Se o processo for capaz, passa-se a realizar um acompanhamento do processo a fim de determinar o desempenho do mesmo ao longo do tempo.

É realizada nova coleta de informações durante um longo período de tempo, (isto dependerá do número de peças produzidas por unidade de tempo). Traçam-se novas cartas de controle da média e desvio padrão. Verifica-se se o processo é estável conforme descrito no item 3.4.1. Se o processo for estável determina-se o desempenho do processo definido por:

$$DP = \frac{6 \cdot S}{TOL}$$

Onde: S: desvio padrão calculado. Médida de dispersão do processo, determinado considerando-se todas as peças coletadas.

$$S = \sqrt{\frac{\sum f_i x_i^2 - \frac{(\sum f_i x_i)^2}{n}}{n-1}}$$

Onde: f_i : frequência de x_i

n : número de peças coletadas.

O desempenho do processo mostra quanto da tolerância está sendo ocupada pela variação dentro e entre as amostras. Constitue-se numa medida do efeito de todas as mudanças ocorridas durante o processo. O desempenho deve ser menor que 1.

Se o desempenho do processo for maior que 0,75 e menor do que 1, deve realizar-se uma melhora no processo de modo a prevenir possíveis alterações que venham a produzir peças fora das tolerâncias /17, 29/.

3.4.3 Pré-Controle

Caso o DP seja menor do que 0,75, passa-se a aplicar a técnica denominada "Pré-Controle", a qual permite que o acompanhamento do processo seja realizado com uma coleta de dados com menor frequência, reduzindo as perdas de tempo do operador no levantamento das informações.

A técnica do Pré-Controle divide a faixa de tolerância de fabricação em três regiões, conforme mostrado na figura 3.14.

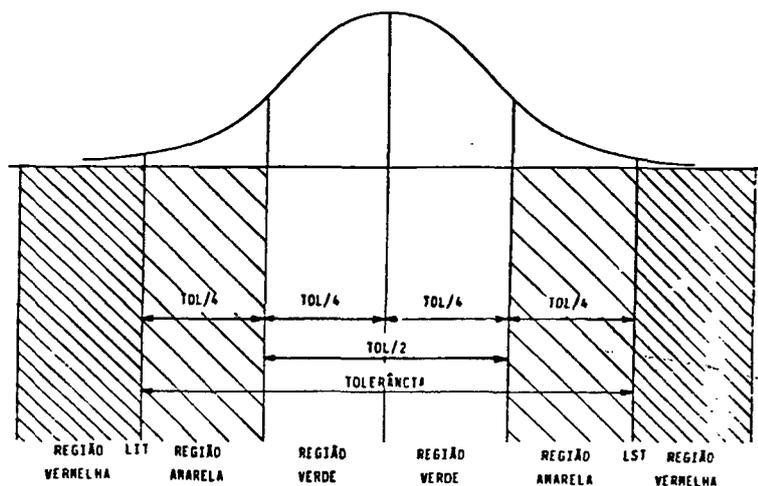


Fig. 3.14 - Subdivisão da Tolerância para Aplicação no Pré-controle.

A aplicação do pré-controle pode ser feita durante o ajuste da máquina ("pre-set") e durante a produção /11/.

- ajuste da máquina: o ajuste será aprovado quando um conjunto de 5 peças consecutivas estiverem dentro da denominada "região verde".
- produção: durante a produção deverá ser observada a seguinte regra:
 - a) verificam-se duas peças, se ambas estiverem na "região verde", continua a produção.
 - b) se uma ou duas peças estiverem na "região amarela", verificam-se mais três peças. Se das cinco verificadas:

- . três ou mais peças estiverem na "região verde", continua a produção;
 - . três ou mais peças estiverem na "região amarela", ação corretiva, reiniciar verificação a;
 - . qualquer peça estiver na "região vermelha", ação corretiva, reiniciar verificação a.
- c) se uma ou duas peças estiverem na "região vermelha", ação corretiva. Após ajuste, reiniciar verificação a.

3.5 FERRAMENTAS PARA ANÁLISE E DETECÇÃO DE CAUSAS DE VARIAÇÃO

Como foi observado no fluxo do controle estatístico do processo, as tarefas de análise e detecção das causas de variação devem ser constantemente realizadas de modo a garantir os níveis de qualidade preestabelecidos.

Serão descritas a seguir duas ferramentas importantes ao auxílio da análise e detecção das causas de variação.

3.5.1 Diagramas de Pareto

Uma das primeiras preocupações na análise de problemas nos processos de fabricação, reside na determinação dos fatores de maior influência na incerteza de fabricação. Uma das ferramentas que auxiliam nesta primeira etapa da análise são os denominados diagramas de Pareto.

Vilfredo Pareto, economista italiano (1848-1923), estudou a distribuição da riqueza e qualificou a extensão da desigualdade e não uniformidade da sua distribuição. Este estudo foi baseado no fenômeno denominado "poucos vitais e muitos triviais" /11/.

Joseph Juran identificou a aplicação universal do fenômeno utilizando-o na quantificação de defeitos no controle da qualidade, e passou a denominá-lo de Princípio de Pareto.

O método consiste na representação gráfica (fig. 3.15) ou tabular das frequências dos defeitos apresentados num particular processo por ordem de importância. Desta forma pode-se:

- determinar quais os "poucos vitais" responsáveis pela maior incidência de erros;
- destacar os resultados das melhoras;
- determinar o número de defeitos;
- determinar o custo dos defeitos.

Este princípio pode tanto ser aplicado a um processo específico como a um conjunto de processos para determinar quais apresentam maior contribuição a Incerteza de Fabricação do conjunto.

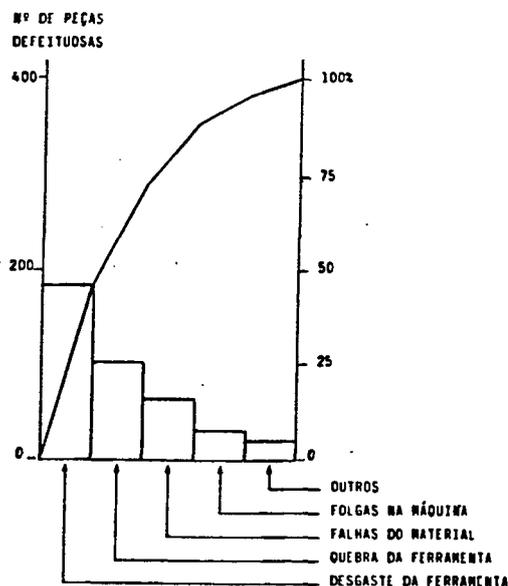


Fig. 3.15 - Exemplo de Diagrama de Pareto

3.5.2 Diagramas de Causa e Efeito

Os Diagramas de Causa e Efeito, (também chamados de Diagrama Espinha de Peixe, ou Diagrama de Ishikawa),

possibilitam a análise de um problema ou processo, através da construção de um gráfico que organiza as possíveis causas de defeitos e permite atacar a solução do problema de forma objetiva.

Há três tipos de Diagrama de Causa e Efeito:

- diagrama de enumeração de causas: esquematiza graficamente todas as possíveis causas de um problema (fig. 3.16);
- diagrama de análise de dispersão: usado para a análise das causas de variação em um processo (fig. 3.17);
- diagrama de análise de processo: um diagrama de fluxo do processo para estudo dos problemas que afetam a qualidade do produto (fig. 3.18).

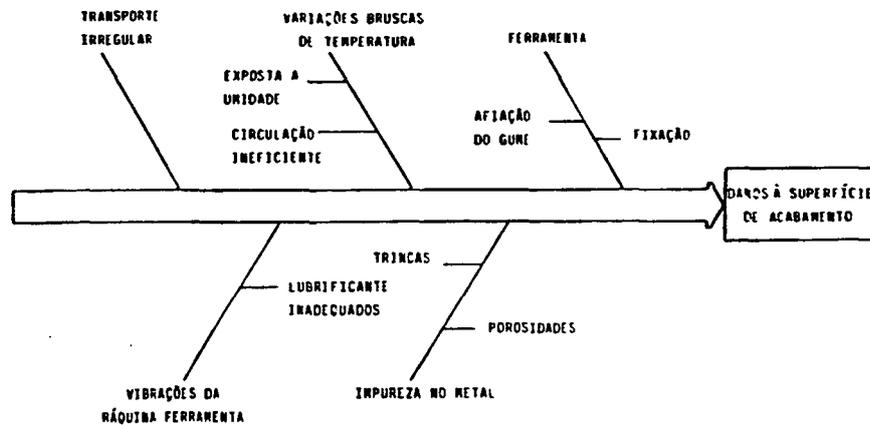


Fig. 3.16 - Diagrama de Enumeração de Causas.

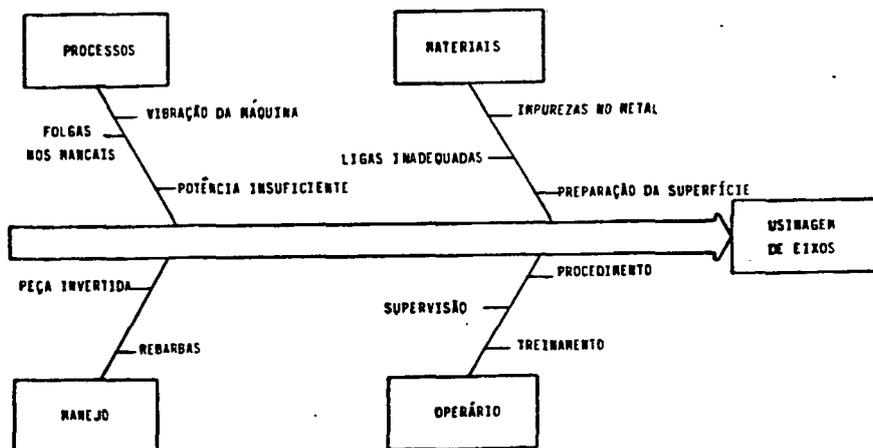


Fig. 3.17 - Diagrama de Análise de Dispersão.

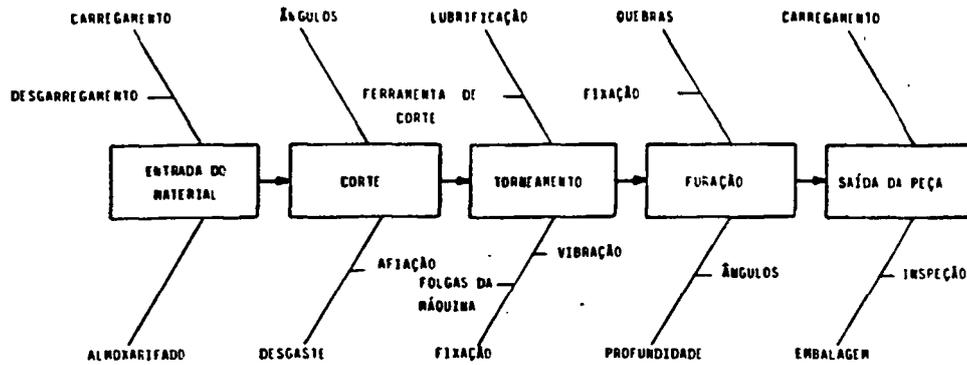


Fig. 3.18 - Diagrama de Análise de Processo

Estes diagramas ilustram graficamente todos os fatores causadores de um particular problema. O método de elaboração permite aprofundar-se gradativamente na análise de cada possível causa. Os benefícios da sua utilização são:

- todos os fatores podem ser conhecidos, não somente os óbvios;
- permite planejar o ataque do problema. Cada causa pode ser investigada e ser desconsiderada se comprovada a sua irrelevância no problema;
- quando a análise tenha sido completada, existirá uma razoável certeza de que as principais possíveis causas foram enumeradas /10, 11/.

4. A AUTOMATIZAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

4.1 PROBLEMATICA DA IMPLANTAÇÃO MANUAL DO CEP

A execução manual de todas as tarefas inerentes ao controle estatístico do processo, pode não só estar sujeita a uma série considerável de erros, como também, implicar atrasos nas ações corretivas, devido ao grande volume de informações normalmente envolvidas nas suas diversas etapas. As ações corretivas deverão basear-se no processamento dos dados coletados, traçado de gráficos, comparações com tolerâncias fixadas e com informações históricas do processo. A postergação destes procedimentos causará atrasos nas decisões e eventualmente como consequência a fabricação de peças fora das especificações, tornando necessário o controle adicional em 100% das peças dos lotes produzidos.

No capítulo 3 foram abordadas as diversas etapas do CEP. Basicamente podem ser identificados, no decorrer das mesmas as seguintes ações principais:

- coleta de dados;
- processamento das informações;
- ações corretivas.

4.1.1 Coleta de Dados

Na coleta de dados o operador realiza a leitura de um ou de vários sistemas de medição empregados no controle dimensional da peça.

Dependendo do tipo de indicador no sistema de medição utilizado (mostrador analógico, mostrador digital, escalas combinadas (nônio)), exigirá uma maior ou menor atenção por parte do operador na realização das leituras.

Na transcrição das leituras para a planilha de levantamento de dados poderão ocorrer transposição de números, números incorretos e escrita ilegível, os quais ocasionarão erros na análise posterior do comportamento do processo.

A figura 4.1 mostra uma planilha típica de levantamento de dados para CEP de uma determinada característica dimensional de uma peça.

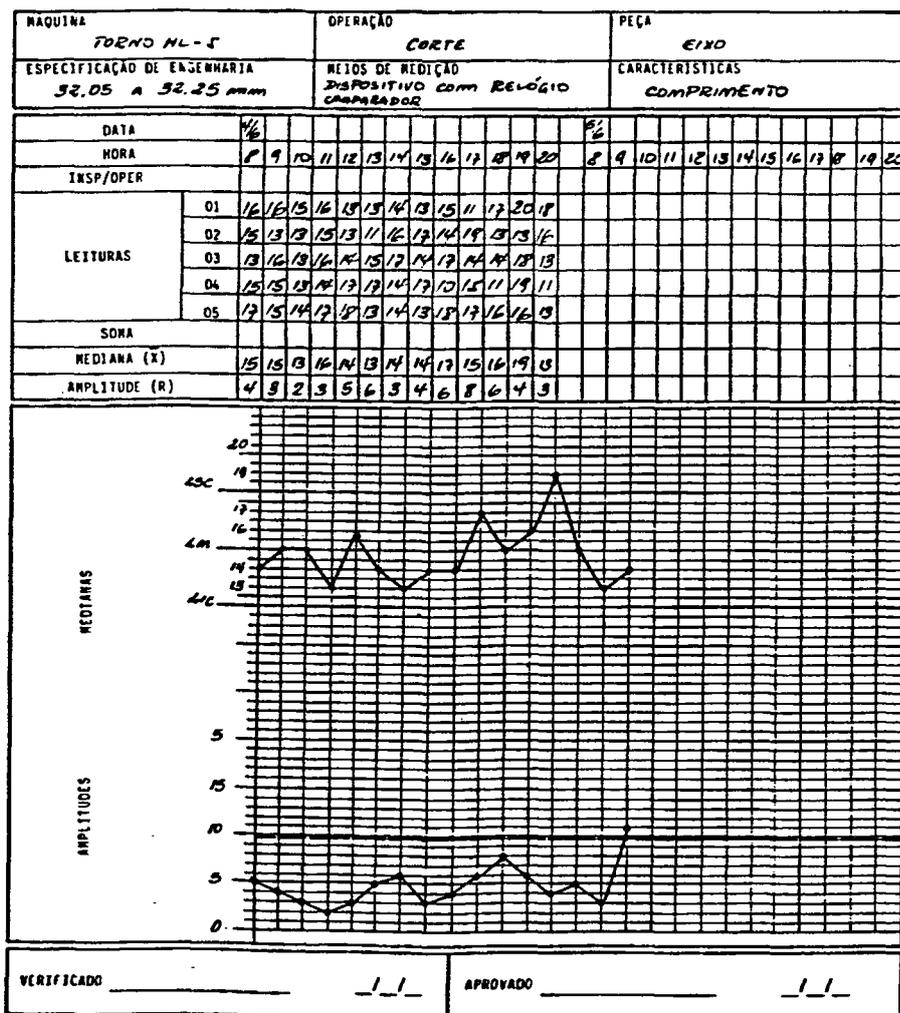


Fig. 4.1 Planilha típica de coleta de dados para o CEP

O operador deve anotar na planilha a leitura correspondente a cada peça medida, agrupando-as nas denominadas amostras de tamanho pré-definido e indicando a hora da coleta. Após completar cada amostra, deve determinar a mediana e a amplitude amostral. Seguidamente, indica no gráfico a localização de ambos, verificando a existência ou não das denominadas causas especiais de variação /25/.

Isto requer do operador uma análise do comportamento das duas curvas, a das medianas e a das amplitudes, quanto a presença de pontos fora dos limites superior e inferior de controle, tendências ou variações cíclicas. Estas últimas são geralmente verificadas pelo inspetor do CQ devido a sua relativa complexidade.

Em alguns casos, o operador deverá registrar ainda os eventos ocorridos durante o processo de fabricação, como troca de ferramentas, parada de máquina, manutenções, falta de matérias primas, entre outras, para auxiliar na avaliação posterior dos dados coletados.

O operador deve lembrar o próximo horário de levantamento de dados, e assim sucessivamente até completar as tarefas programadas.

4.1.2 Processamento da Informação

As planilhas com os dados coletados em cada unidade de fabricação são geralmente recolhidas no final de cada lote de produção para ser processado pelo CQ.

Este processamento consiste basicamente de cálculo de médias, amplitudes, desvios padrão, cálculo de novos limites de controle, cálculo de capacidade e desempenho do processo, traçado de cartas de controle, histogramas, contabilização de eventos, etc. Cada unidade de fabricação terá um roteiro de processamento dependendo da etapa do CEP em que se encontre seu acompanhamento.

As tarefas de processamento, sendo executadas manualmente provocam:

- dificuldade de interpretação dos dados coletados;
- erros de cálculos que poderão refletir nas ações corretivas;
- acúmulo de grande volume de informações;
- desestímulo aos executores, por não terem rápida realimentação das suas tarefas.

4.1.3 Ações Corretivas

As ações corretivas podem ser divididas em dois tipos: as "ações no local" e as "ações no sistema". As primeiras são decorrentes dos erros sistemáticos (causas especiais), as segundas provocadas pelos erros aleatórios (causas comuns) /30/.

As "ações no local" podem ser efetuadas pelo próprio operador da unidade de fabricação. Isto é feito a partir das informações contidas nas cartas de controle durante o acompanhamento do processo. O operador e/ou o inspetor do CQ, analisam as cartas, verificando a existência de pontos fora dos limites de controle, ou quando da presença de comportamentos tendenciosos da média ou da dispersão do processo, refletindo por exemplo, desgaste da ferramenta.

Nestes casos requererá ajustes na unidade de fabricação de modo rápido para evitar a produção de peças fora das tolerâncias. Deverá ser também discriminado o denominado "lote viciado", ou seja, o conjunto de peças que deverá passar pela inspeção 100%.

As "ações no sistema" requerem uma ação gerencial da Administração da Qualidade, devido a problemas alheios à máquina ferramenta, tais como matérias-primas, processos anteriores, métodos de fabricação, condições ambientais, entre outros. Isto é detectado a partir da análise da estabilidade do processo, quando as variações aleatórias comprometam a produção dentro das tolerâncias

A Administração da Qualidade baseia-se nas informações do comportamento do processo, expressas nos estudos de estabilidade, capacidade e desempenho realizados pelo CQ. As ações gerenciais requerem informações atualizadas e confiáveis para poder agir de modo rápido.

4.2 VANTAGENS DA AUTOMAÇÃO

A automatização industrial, de modo geral, se propõe a racionalizar os recursos (matérias-primas, equipamentos de produção, suprimentos e mão-de-obra) de modo a garantir diminuição dos custos operacionais e melhorar a qualidade dos bens produzidos.

A automatização deve servir como instrumento de melhoria das condições de trabalho, sobre dois aspectos:

- assumindo tarefas desumanas;
- realizando tarefas inviáveis ao homem, cabendo a este as tarefas criativas e de supervisão.

Pela problemática abordada no item 4.1, é evidente a necessidade da automatização das várias fases do CEP, como uma maneira de tornar o controle mais rápido e confiável, permitindo a realimentação do processo em tempo hábil.

A posse de informações atualizadas e confiáveis inerentes ao comportamento do processo de fabricação, permitirá às diversas áreas da garantia da qualidade, reavaliar as especificações de projeto, métodos e máquinas, visando um aumento sempre contínuo da qualidade.

A seguir, serão analisadas as formas e as principais vantagens a se obter quando da adoção de procedimentos automatizados na coleta de dados, processamento da informação e nas ações corretivas.

4.2.1 Automação da Coleta de Dados

A automatização da Coleta de Dados junto ao processo de fabricação pode ser implementado em diferentes graus (fig. 4.2).

~~Um primeiro grau de implementação utiliza um meio de~~ armazenamento de dados. Desta forma as leituras dos instrumentos de medição e as indicações de eventos ocorridos durante a fabricação, são introduzidas manualmente, aumentando assim, a velocidade de recuperação da informação para posterior análise.

Uma outra instância consiste na automatização da aquisição das leituras dos sistemas de medição e dos sensores de monitoração de eventos, restando ao operador, a intervenção parcial de colocação e retirada da peça no dispositivo de medição. A implementação deste nível necessita a substituição dos instrumentos de medição convencionais por aqueles que possuam saídas elétricas analógicas ou digitais de modo a que sejam compatibilizados com um processador de dados. Neste caso são eliminados os erros de leitura e transcrição da informação.

Um próximo estágio consiste na eliminação da intervenção do operador na colocação e retirada da peça no dispositivo de medição. Isto requer a inclusão do sistema de medição dentro da unidade de fabricação ou a inclusão de um elemento manipulador /8/. Desta forma são minimizados os erros de posicionamento da peça no dispositivo de medição.

A automatização do sistema de medição, não somente reduz os erros como também em muitos casos reduz o tempo requerido para a execução das medidas /31/.

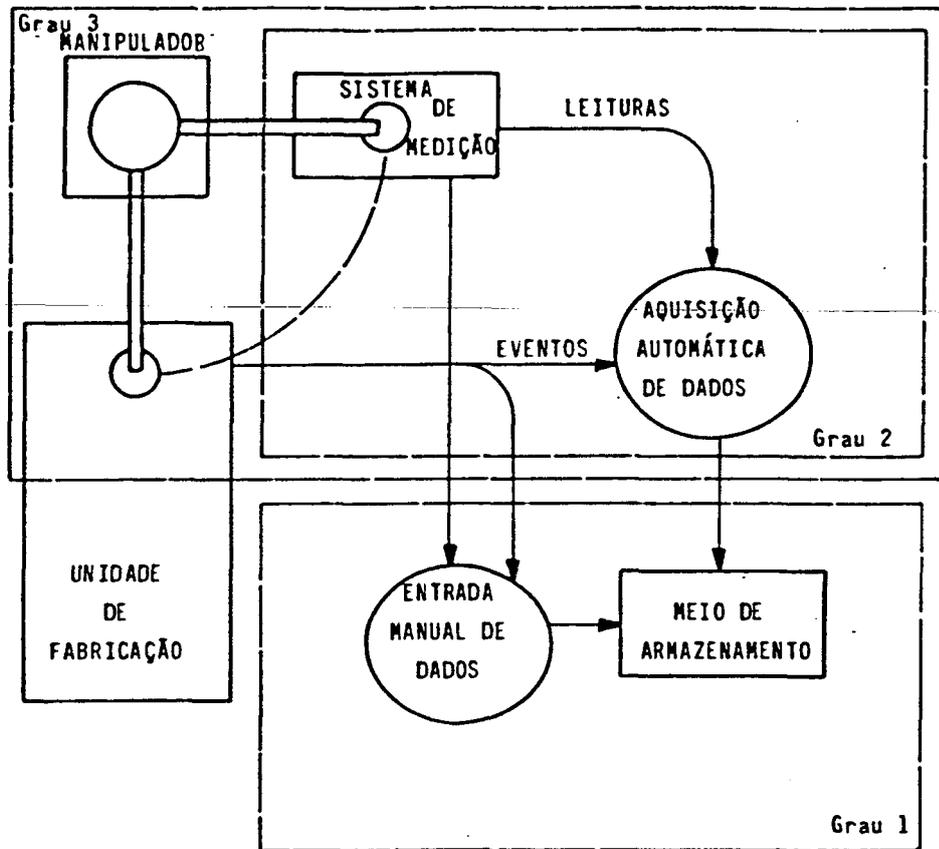


Fig. 4.2 - Estágios da Automatização da Coleta de Dados do Processo

4.2.2 Automação do Processamento da Informação

Podem ser considerados dois tipos de processamento da informação. Um realizado pelo operador da máquina junto ao processo e o outro realizado pelo CQ com os dados coletados das diversas unidades de fabricação.

O processamento junto à unidade de fabricação consiste na determinação de medianas, amplitudes, traçado de gráficos e análise do comportamento do processo. Com a automação da aquisição e armazenamento dos dados, as tarefas de cálculo de médias e amplitudes, a comparação das informações e a indicação das ações a serem tomadas podem ser assumidas pelo processador.

Desta forma, além da eliminação dos erros inerentes a execução dos procedimentos, teria-se uma rápida resposta do que deveria ser feito para controlar o processo.

O processamento dos dados coletados, a cargo do CQ, é sumamente simplificado, uma vez que a obtenção das informações pode ser realizada diretamente do processo através de algum meio de transmissão, ou de um elemento coletor de dados.

Desta forma, a transmissão dos dados seria rápida e livre de erros. As tarefas de cálculos estatísticos, análise de estabilidade, capacidade e desempenho do processo, traçado de curvas e emissão de relatórios podem ser executados por um sistema computacional.

4.2.3 Automação das Ações Corretivas

A existência de um processador de informações junto à unidade de fabricação, permite que este assuma a análise do comportamento do processo.

As ações corretivas poderiam ser de três formas:

- a) indicação ao operador das ações a serem tomadas, através de sinalização sonora e/ou luminosa completada pela apresentação numa tela, da sequência de procedimentos;
- b) interrupção do processo, assumindo um controle liga/desliga quando determinadas condições ultrapassam os limites de controle;
- c) ação direta sobre a unidade de fabricação, emitindo sinais que modifiquem os parâmetros de controle do processo. Isto requer que a unidade de fabricação esteja dotada de meios de entrada automática de ajustes.

Haveria assim um sistema de controle que garantiria a fabricação dentro das especificações.

As ações gerenciais descritas no item 4.1.3, executadas pela Administração da Qualidade, com o objetivo de efetuar correções

no sistema de produção, são facilitadas contando-se com informações "on-line" das várias fases da fabricação, desde o recebimento de matérias-primas até a última etapa de transformação.

A figura 4.3 apresenta uma sinopse do processamento local e centralizado, bem como as ações corretivas associadas.

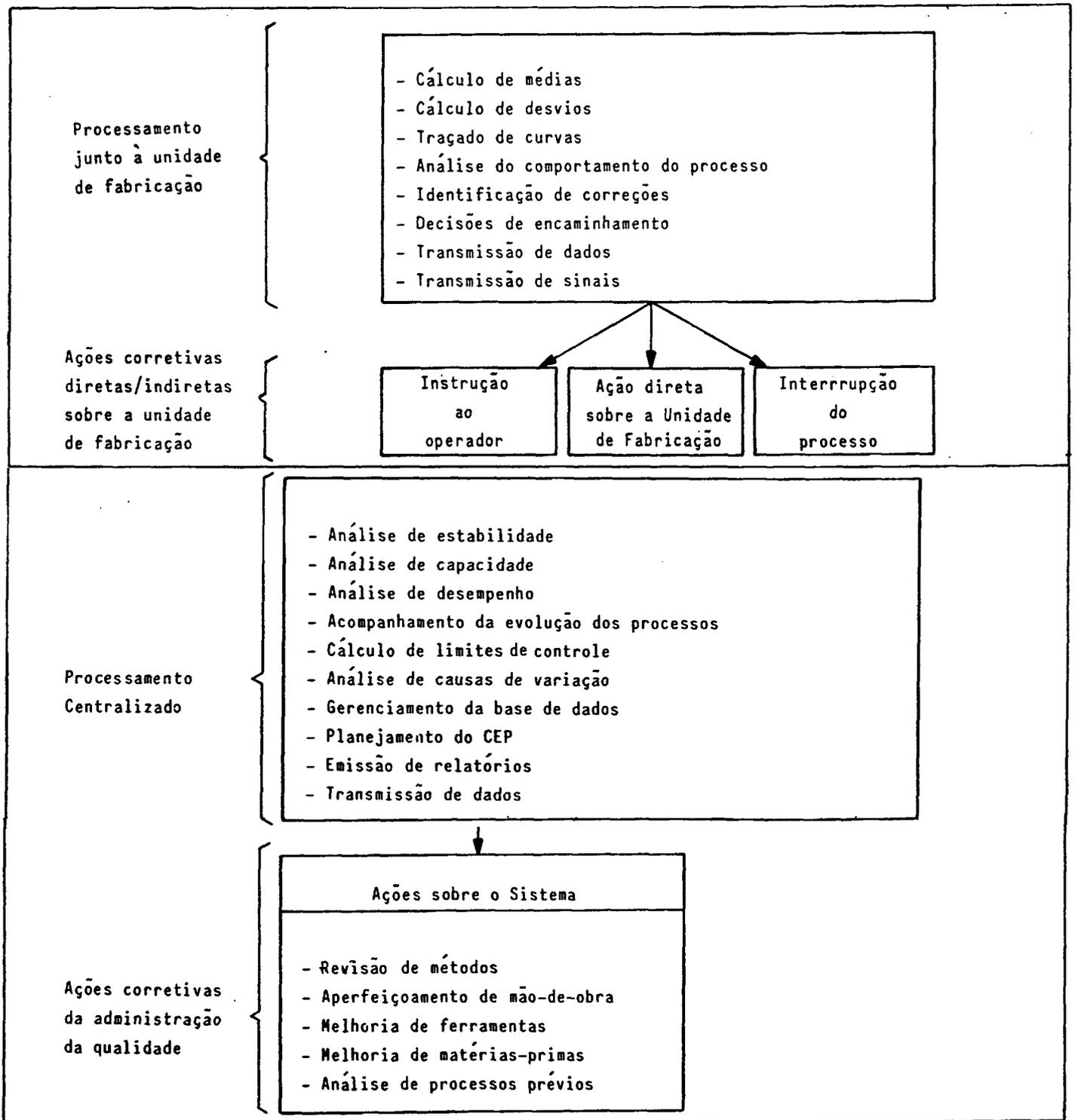


Fig. 4.3 - Sinopse dos Processamentos e Ações Corretivas

4.3 REQUISITOS DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO

A seguir serão descritos os principais elementos com que deve contar um sistema automatizado para o controle estatístico do processo.

Junto às unidades de fabricação deveria contar-se com:

- a) Sistemas de medição capazes de medir automaticamente parâmetros de controle do próprio processo, e/ou características dimensionais das peças produzidas. Isto feito com mínima intervenção do operador.

- b) Processadores dedicados à máquina ferramenta, capazes de:
 - armazenar os dados coletados;
 - processar as informações estatísticas, analisando o comportamento das amostras para a detecção da presença de causas especiais de variações no processo;
 - a partir do processamento, sinalizar ao operador para que tome as providências de correção, ou, se a unidade de fabricação permitir realimentação automática, enviar sinais para correção de parâmetros de controle;
 - possibilitar o armazenamento manual e/ou automático dos eventos do processo, tais como troca de ferramentas, mudanças de operador, manutenções, falta de matéria-prima, etc. Estas informações auxiliarão na análise do comportamento do processo;
 - possibilitar o acoplamento a meios de comunicação de dados, de modo a permitir a extração das informações armazenadas de modo rápido e seguro;
 - adquirir sinais digitais e/ou analógicos dos sistemas de medição acoplados ao processo.
 - comunicação homem/máquina através de vídeo, mostrador alfanumérico, painel sinalizador, teclados e/ou botoeiras, configurados de acordo com as reais necessidades da

aplicação e com boas características ergonômicas.

- comunicação processador/unidade de fabricação, dotando ambos de interfaces padronizadas de comunicação, padronização de níveis de tensão/corrente para a troca de sinais de atuação, sinalização de eventos e leitura de sistemas de medição instalados na unidade de fabricação.

Os inspetores do CQ devem ter condições de centralizar as informações providas dos diversos processos, havendo dois modos desejáveis de obtenção das informações:

- a) imediato, possibilitando a qualquer instante a obtenção de informações sobre um particular processo. Isto requer a utilização de meios de transmissão de dados desde cada unidade de fabricação até as salas de processamento do CQ.
- b) em lotes, recebendo de cada processo o conjunto de dados armazenados localmente para posterior processamento, requerendo os meios de transmissão, ou coletores de dados portáteis que "recolham" as informações.

Do processamento, deverão obter-se resultados que forneçam subsídios ao próprio CQ, à Administração da Qualidade, e a clientes. Estes resultados poderão ser na forma de relatórios, gráficos e arquivos contendo o histórico do comportamento de cada processo /9/.

5. ANÁLISE DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS IMPLANTADOS

Serão apresentados e analisados neste capítulo três sistemas desenvolvidos destinados para a área de controle da qualidade e implantados na indústria pelas equipes do Laboratório de Metrologia e Automatização da UFSC (LABMETRO) e do Centro Regional de Tecnologia em Informática (CERTI).

Os três sistemas surgiram da necessidade das indústrias de incorporarem sistemas automatizados para o controle dimensional. Estes equipamentos eram anteriormente importados na sua grande maioria.

Para cada sistema serão apresentados a configuração, a descrição de funcionamento e uma análise crítica.

A participação do autor nesses trabalhos possibilitou-lhe um contato com a problemática do controle da qualidade na área metal/mecânica, e fundamentalmente conhecer aspectos práticos importantes a serem levados em conta nas especificações, extrapolando assim as preocupações acadêmicas.

A partir dessas experiências é que surge a proposta de um sistema automatizado para o CEP, assunto objeto do próximo capítulo.

5.1 SISTEMA AUTOMATIZADO PARA O CONTROLE DA QUALIDADE DE PISTÕES (SACQP)

5.1.1 Requisitos do Sistema

A aplicação do SACQP é no controle final de pistões. O sistema deve permitir a medição de até 8 diâmetros; calcular as diferenças entre diâmetros para determinação do abaulamento; classificar os pistões dentro de grupos dimensionais preestabelecidos; acionar uma carimbadora que imprime uma identificação no pistão; produzir informações estatísticas.

O pistão deve ser usinado com uma forma não cilíndrica, isto é, apresentando um abaulamento, de modo que, quando em regime de trabalho, a dilatação diferencial sofrida pelo aumento não homogêneo da temperatura o torne cilíndrico. Assim, o controle dimensional dos diâmetros externos deve interrelacionar os mesmos para a verificação dessa condição.

A dificuldade da operação com instrumentos convencionais, do tipo pneumático ou indutivo, exigem do operador a observação de tantos indicadores quantos diâmetros estejam sendo medidos. A classificação do pistão dentro dos grupos dimensionais, ordenados em ordem crescente de uma determinada diferença entre dois diâmetros, realiza-se mediante a comparação das leituras com uma escala móvel. A identificação do pistão com o selo dava-se pelo acionamento manual da carimbadora. Faltando ainda meios rápidos de coleta de dados para cálculos estatísticos.

5.1.2 Configuração do Sistema

O sistema é composto (fig. 5.1) de um microcomputador compatível com o modelo TRS-80 (8 bit, 64 kbyte), uma unidade de disquetes e uma impressora. A aquisição dos sinais dos transdutores indutivos de deslocamento e o acionamento da carimbadora é executada pela Unidade de Aquisição e Controle (UAC) (fig. 5.2), que é constituída de um barramento, ao qual estão acoplados os seguintes módulos de hardware:

- Conversor analógico/digital (A/D): responsável pela digitalização dos sinais de tensão elétrica proporcionais à grandeza a medir;
- Chave seletora (CS): permite a multiplexação dos sinais dos transdutores na entrada de uma ponte amplificadora;

- Interface paralela (PPI): encarregada do controle da sinalização da botoeira do painel, assim como também do acionamento da carimbadora.
- Painel de controle: contendo a sinalização luminosa das operações e os botões de indicação de medição.

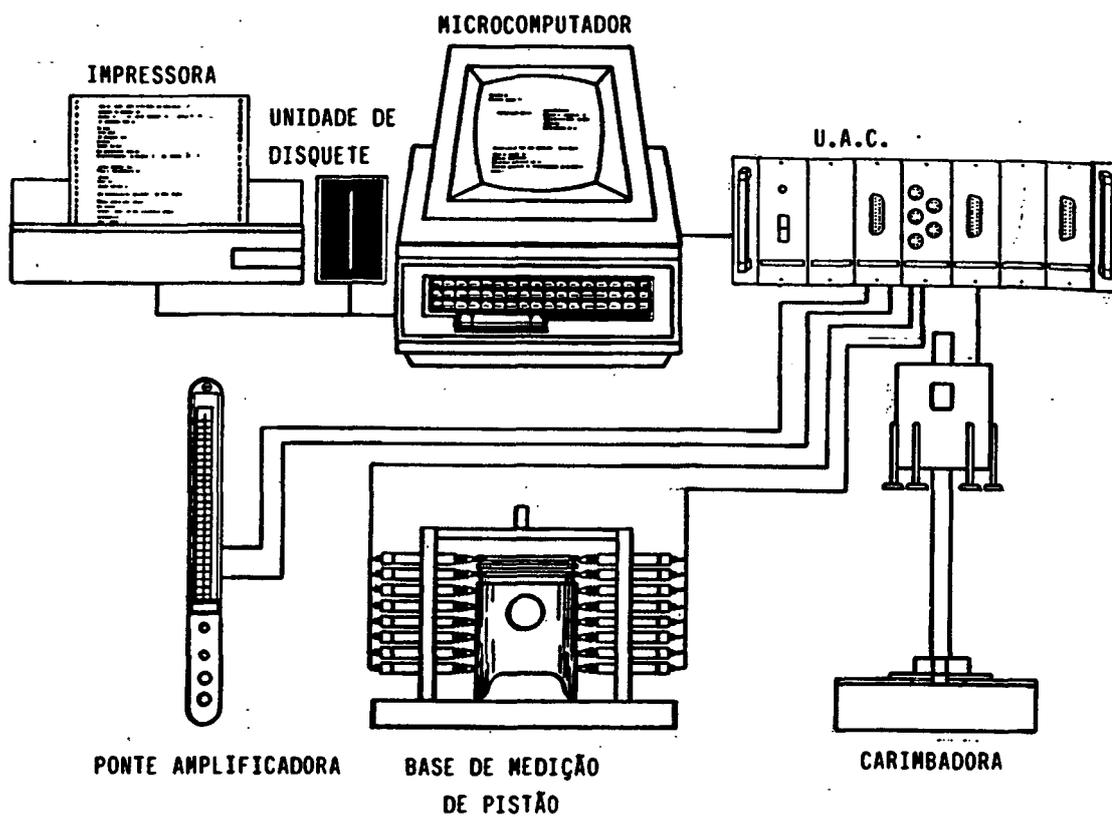


Fig. 5.1 - Configuração do Sistema

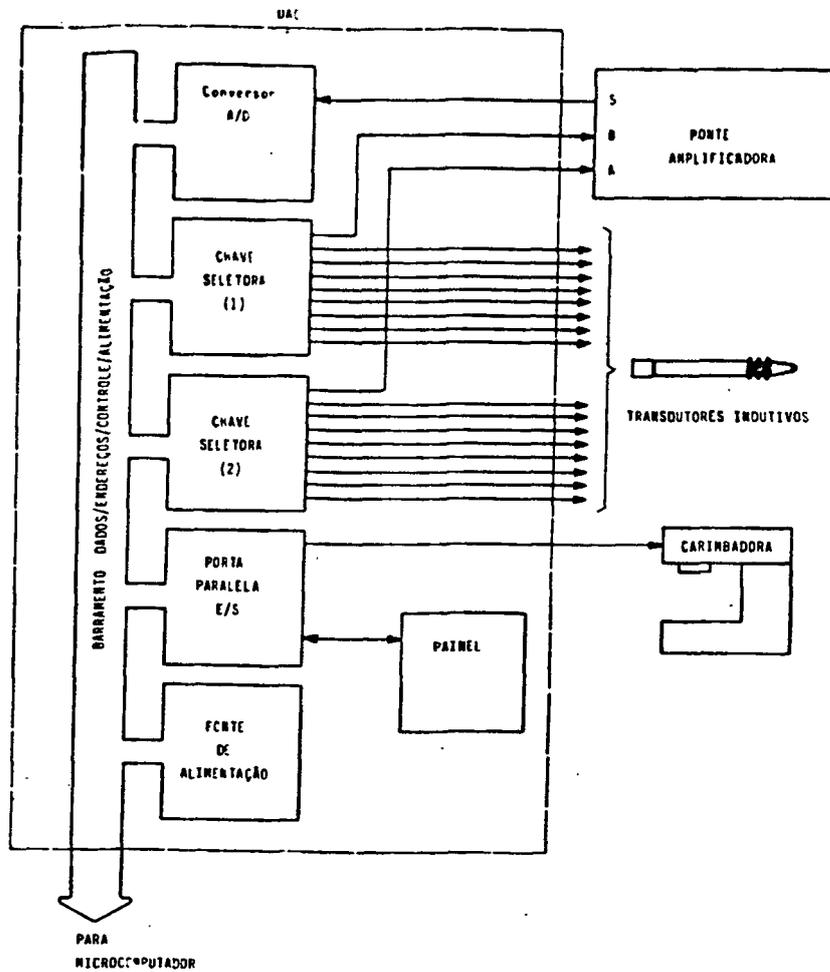


Fig. 5.2 - Módulos da UAC

5.1.3 Módulos de Software

Os programas desenvolvidos estão estruturados em módulos atendendo funções específicas (fig. 5.3).

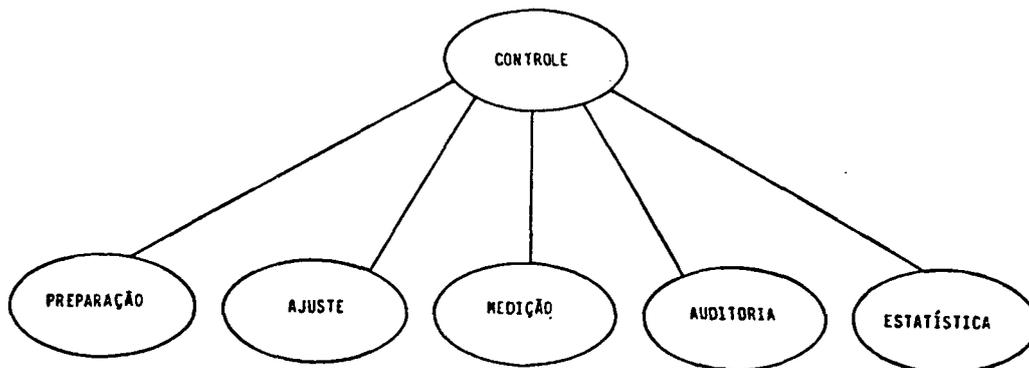


Fig. 5.3 - Módulos de Software do SACQP

A operação do software no microcomputador é feita através de telas autoexplicativas, dispensando o uso de manuais. O módulo de Controle é o encarregado do gerenciamento de "menus" e chamadas das restantes funções.

A função de Preparação é a responsável pela entrada dos parâmetros do pistão, tais como: tolerância dos diâmetros, relação entre diâmetros para o cálculo de características dimensionais, faixas de classificação dos pistões e informações adicionais.

A função de Ajuste auxilia o operador a posicionar o transdutor (fig. 5.4) através da indicação em forma de barra móvel apresentada no vídeo. O método de medição dos diâmetros de pistão é o diferencial. Os medidores de deslocamento são ajustados com um pistão padrão de diâmetros conhecidos. Cada transdutor é fixado no dispositivo de medição de modo que as leituras sejam o mais próximo possível do "zero". Quando todos os transdutores estiverem ajustados, serão armazenados os valores dos "desajustes remanescentes" de cada transdutor para compensação durante a medição.

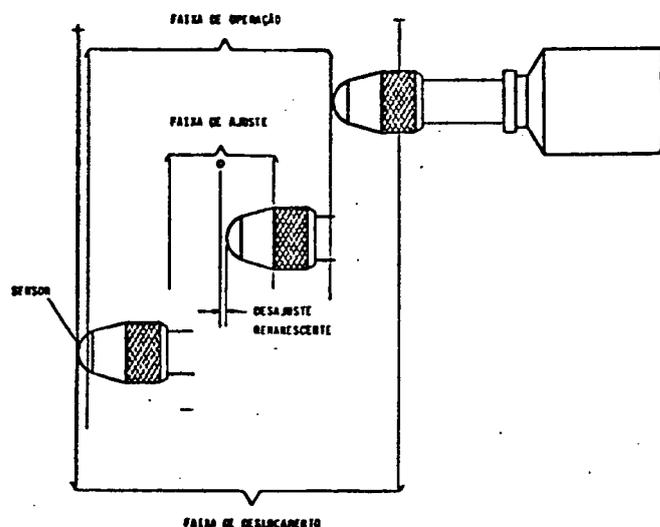


fig. 5.4 - Faixa de Ajuste do Transdutor Indutivo de Deslocamento

A função de Medição é a responsável pela aquisição das leituras, cálculo das características dimensionais, classificação do pistão e acionamento da carimbadora. A interação com o operador se dá tanto através do vídeo ou mediante sinalização luminosa no painel da UAC, indicando as ações de posicionamento de pistão, retirada e colocação na carimbadora.

A função de Auditoria permite observar através de um gráfico o comportamento de cada uma das características dimensionais medidas, para um lote de até 50 pistões.

A função Estatística é a que permite, a partir das leituras coletadas e armazenadas no disquete, mostrar através de uma listagem o comportamento do lote produzido, um balanço de peças boas, refugadas e retrabalháveis, uma contabilização de peças produzidas por grupo dimensional, e uma previsão do número de peças a serem fabricadas dentro das especificações /32/.

A figura 5.5 mostra detalhes do sistema instalado.

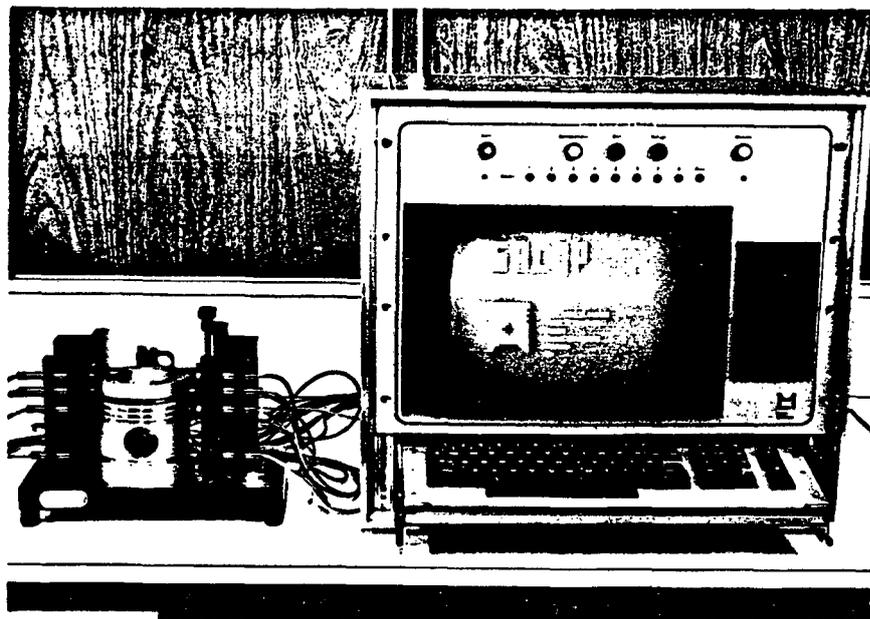


Fig. 5.5 - Sistema Instalado

5.1.4 Análise Crítica

Na época de desenvolvimento do SACQP, 1983, não existia disponível no mercado nacional um sistema com características

similares. Os microcomputadores nacionais estavam no início do seu surgimento, não contando com muitas opções de escolha.

Equipamentos similares eram importados, e as modificações funcionais praticamente impossíveis devido à falta de documentação apropriada.

Nesse quadro o desenvolvimento apresentava várias vantagens se comparado com os já disponíveis na empresa, devido a apresentar maior flexibilidade e o seu software elaborado "sob medida".

Com relação aos procedimentos executados com instrumentos convencionais as vantagens eram inúmeras. Em primeiro lugar os erros de medição e classificação do pistão são minimizados pela aquisição, classificação e acionamento da carimbadora de modo automático.

A facilidade de operação se dava pela interação homem/máquina através de telas autoexplicativas em português.

O desenvolvimento do software em módulos estruturados permitem a manutenção adaptativa por parte dos próprios usuários.

A incerteza de medição do sistema alcança as necessidades requeridas, sendo esta da ordem de 1 μ m.

O hardware apresentou alguns problemas devido à UAC estar ligada a uma extensão do barramento do microcomputador, o que torna as perturbações do meio mais críticas. Estes problemas foram resolvidos quando do acondicionamento do sistema num gabinete apropriado.

As limitações de recursos computacionais da época caracterizam hoje uma série de desvantagens do sistema. Em primeiro lugar o desenvolvimento do software em linguagem Basic interpretado, o relativamente grande volume de programas, as escassas capacidades de memória no microcomputador e na unidade de disquete (fase simples) provocam "demoras" no carregamento dos vários módulos em que teve que ser subdividido o software para a implementação. Porém durante a execução das funções específicas o seu desempenho atende satisfatoriamente aos propósitos.

5.2 SISTEMA PARA ESTUDO DE CAPABILIDADE DE MÁQUINAS (SECM)

O SECM se caracterizou como primeiro sistema desenvolvido para aplicação específica no controle estatístico do processo.

5.2.1 Requisitos do Sistema

O objetivo do sistema é servir como estação móvel para efetuar o estudo de capacidade de máquinas ao longo da linha de produção.

As peças sob estudo constituem-se principalmente de anéis e camisas de pistão, sendo a medição realizada pelo método diferencial, utilizando transdutores indutivos de deslocamento.

A reconfiguração do sistema para atender diferentes tipos de peças deve ser rápida. A partir dos dados coletados junto a cada máquina em estudo, o sistema deve emitir relatórios por característica dimensional controlada, contendo informações sobre a média das amostras, desvio padrão, índice de capacidade, traçado de histograma, cartas de controle e curva de distribuição.

5.2.2 Configuração do sistema

A fig. 5.6 apresenta a configuração do sistema.

Foi utilizado um microcomputador de 8 bit com 64 kbyte de memória RAM, duas unidades de disquetes e uma impressora.

A leitura dos sinais provenientes dos 10 transdutores indutivos de deslocamento, é realizada por um sistema de aquisição semelhante ao apresentado na figura 5.2.

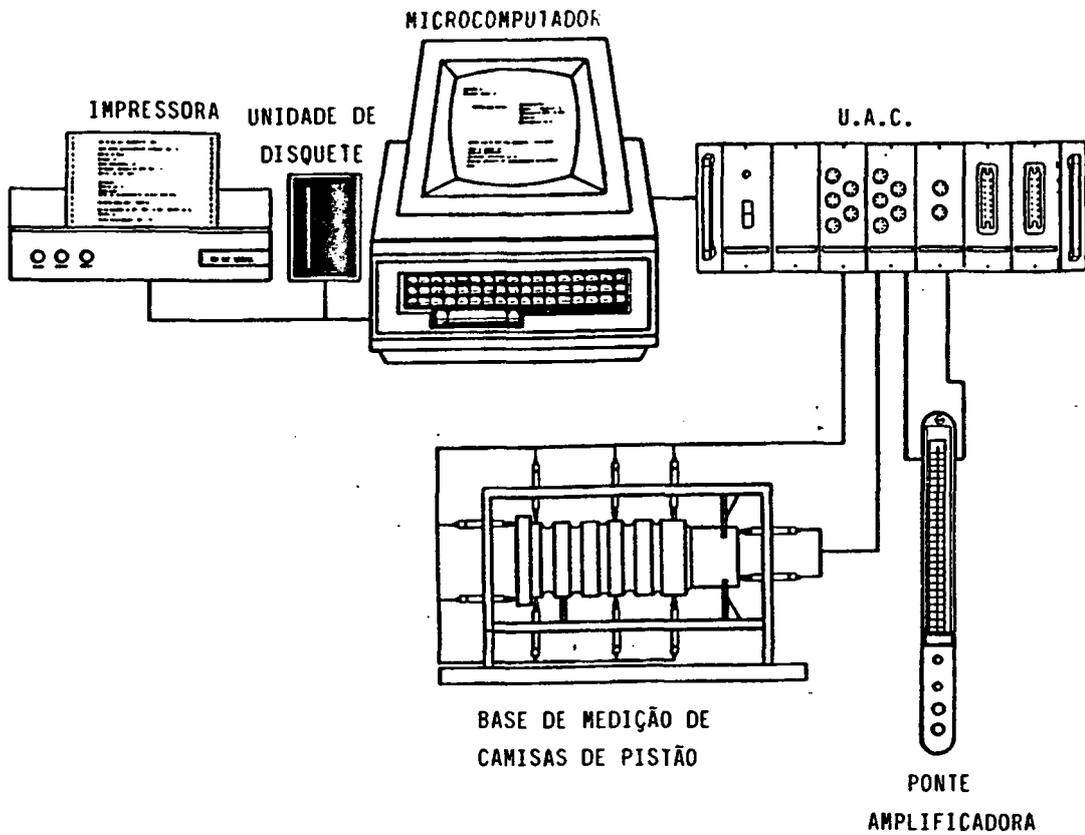


Fig. 5.6 - Configuração do Sistema

5.2.3 Módulos de Software

A figura 5.7 mostra a interrelação dos principais módulos do sistema.

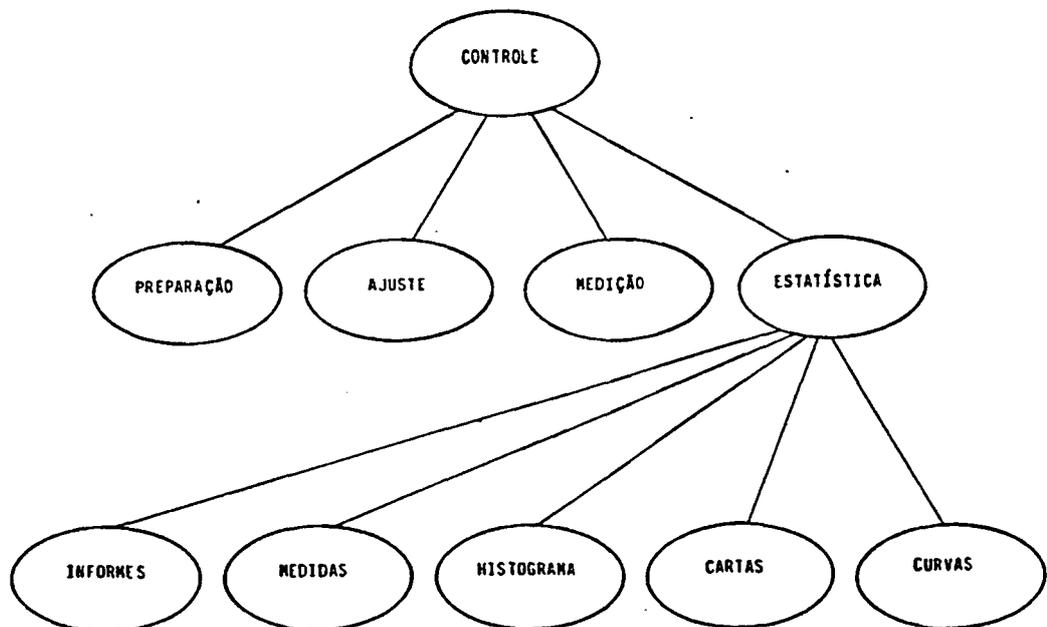


Figura 5.7 Módulos de software do SECM

O módulo de Preparação permite a entrada de informações sobre a máquina e peça a serem estudadas. Para a peça são indicados as características dimensionais a serem medidas e os limites de tolerância correspondentes. Para cada característica medida são informados as configurações de transdutores indutivos de deslocamento, permitindo a combinação dos mesmos para a medição de diâmetros externos ou internos e medição de afastamento entre superfícies. A figura 5.8 mostra um exemplo de esta relação entre transdutores.

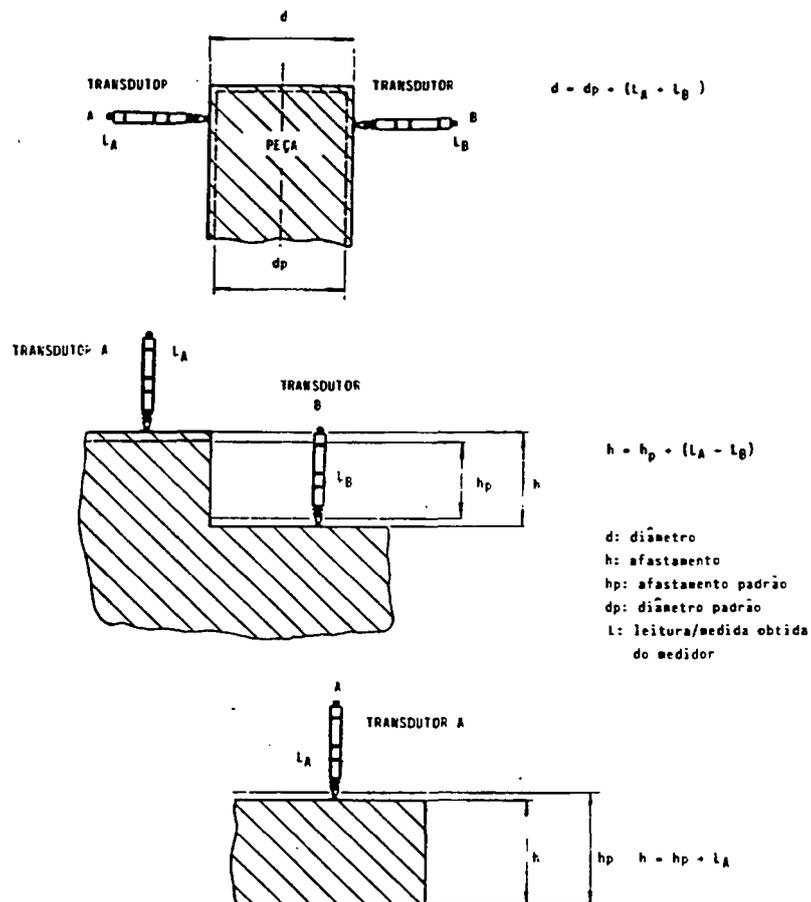


Figura 5.8 - Exemplo de relação entre transdutores indutivos de deslocamento

A função de Ajuste auxilia na tarefa de fixação de cada transdutor no dispositivo de medição, possibilitando o armazenamento dos valores dos "desajustes remanescentes" de modo análogo ao descrito no SACQP.

Alguns tipos de peças (as camisas de pistão por exemplo) requerem a localização do diâmetro máximo (denominado "ponto alto"), para logo depois efetuar as medições de todas as características. O módulo de Medição encarregado das leituras dos transdutores, auxilia o operador na busca desse diâmetro máximo, mostrando na tela do microcomputador uma barra móvel. Quando localiza a posição próxima do "ponto alto", o operador indica ao sistema através de um botão para que execute as restantes leituras.

As leituras das características dimensionais de cada peça inspecionada são armazenadas para posterior processamento.

O módulo Estatística executa o processamento de todas as informações obtidas durante a medição de peças.

Basicamente permite para cada característica dimensional da peça o cálculo de:

- média;
- desvio padrão;
- máximo valor medido;
- mínimo valor medido;
- média da amplitude;
- índice de capacidade;
- traçado de histogramas;
- traçado das cartas de controle;
- traçado da curva de distribuição;
- relatório de todos os valores medidos.

A figura 5.9 apresenta detalhes do sistema em operação /33/.

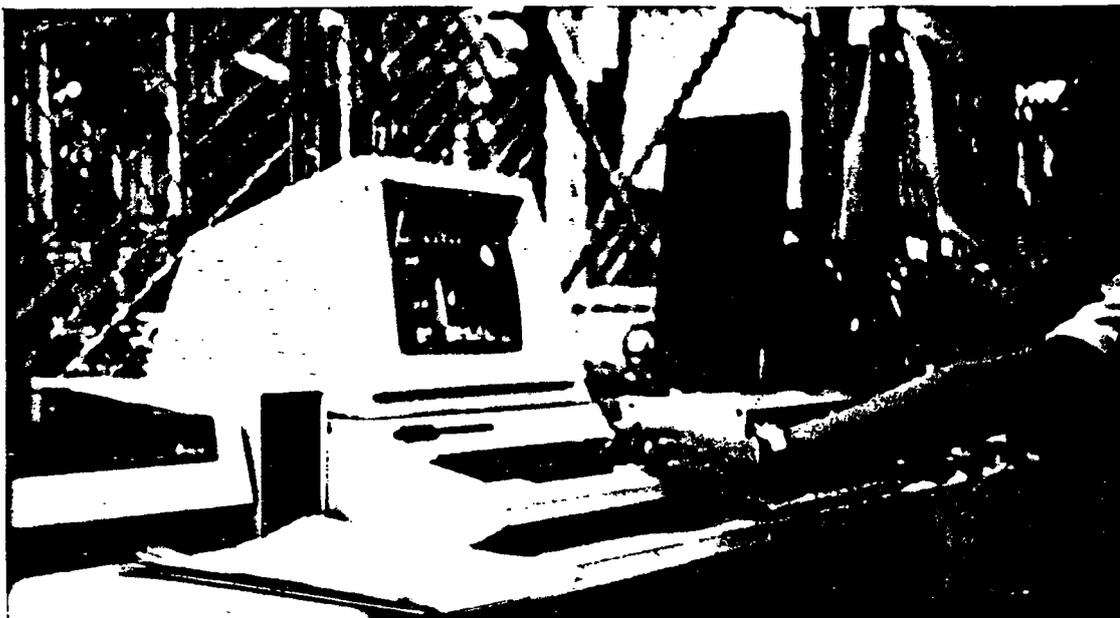


Fig. 5.9 - Detalhes do Sistema Instalado

5.2.4 Análise Crítica

Os recursos computacionais utilizados no desenvolvimento acarretaram problemas similares aos descritos no item 5.1.4, com o agravante de que a sua utilização devia ser dentro do ambiente da fábrica, com condições bastante adversas, devido a poluição ambiental, variações bruscas de temperatura, rede elétrica com sinais espúrios e tensão instável.

O traçado das cartas de controle não apresentou boa qualidade devido à baixa resolução do vídeo do microcomputador.

A sua utilização como estação móvel, realizando levantamento de dados junto às máquinas ferramentas não é muito prática devido ao grande volume de equipamentos, incluindo uma unidade reguladora de tensão. Porém, para uso como estação fixa e trabalhando em ambiente menos hostil apresentou um bom funcionamento.

As características metrológicas do sistema foram satisfatórias quanto à incerteza de medição.

A operação do sistema, devido a interação homem/máquina mediante telas autoexplicativas, possibilitou um rápido aprendizado por parte dos operadores, não requerendo mais do que três horas de treinamento prático para familiarizar-se com o uso.

O equipamento vem sendo utilizado desde dezembro de 1984 sem ter apresentado problemas que requeressem manutenções corretivas.

5.3 SISTEMA AUTOMATIZADO PARA O CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO NA LINHA DE PRODUÇÃO DE PISTÕES

A necessidade de iniciar a implantação gradativa do CEP automatizado, levou a desenvolver uma configuração piloto. A sua utilização deveria fornecer subsídios para avaliação crítica das características operacionais do sistema.

A fig. 5.10 mostra detalhes do protótipo em teste no CERTI/LABMETRO.

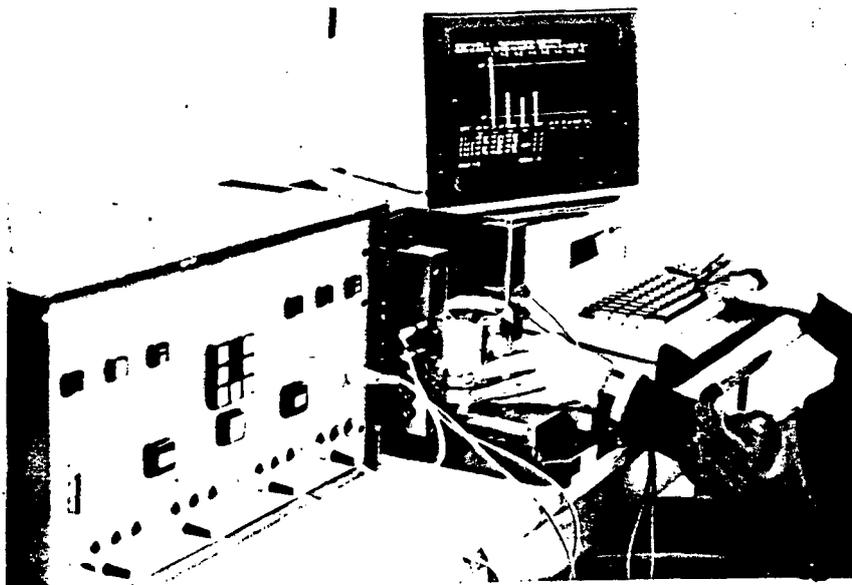


Fig. 5.10 - Protótipo em desenvolvimento no CERTI/LABMETRO

5.3.1 Requisitos do Sistema

O sistema deve assumir as fases principais do CEP, isto é, coleta de dados, acompanhamento do processo e pré-controle, devendo ser atendidas seis máquinas de acabamento de diâmetros externos de pistão. Sendo controlados até oito diâmetros por pistão, com um dispositivo de medição para cada duas máquinas.

5.3.2 Configuração do Sistema

A fig. 5.11 apresenta a configuração da implantação de um sistema piloto.

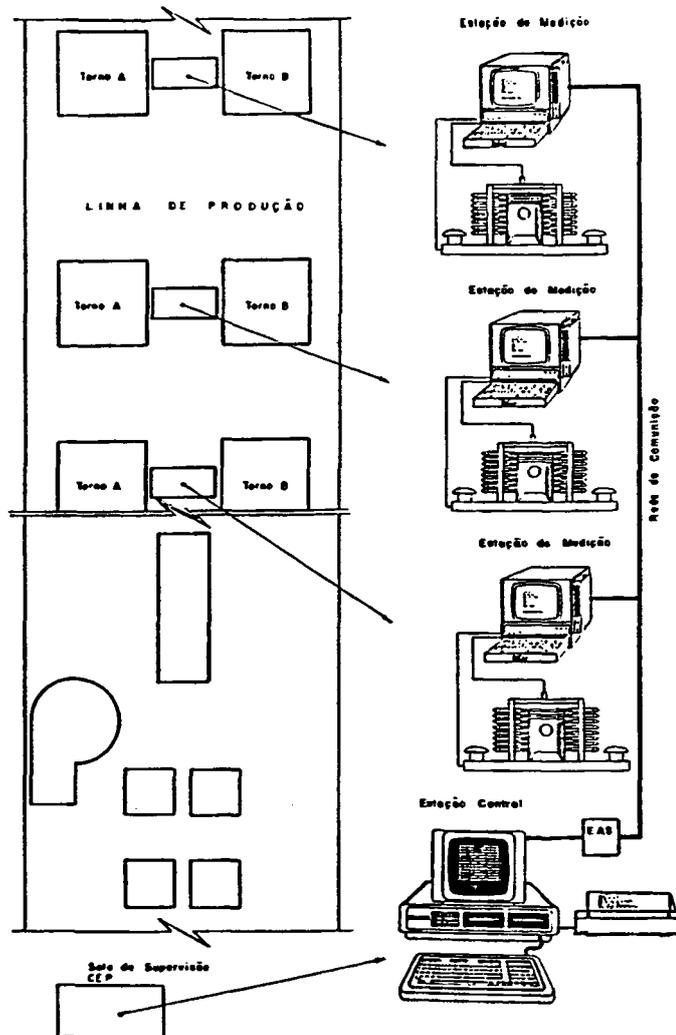


Fig. 5.11 - Configuração do Sistema Piloto

O sistema apresenta três módulos principais: Estação de Medição (EM), Estação Central (EC) e Rede de Comunicação.

A Estação de Medição (fig. 5.12) é um elemento que pode tanto operar como um sistema de medição, ou como um controlador estatístico do processo, podendo atender 2 máquinas paralelamente.

A EM é composta de:

- dispositivo de medição, com transdutores indutivos de deslocamento;
- unidade de aquisição de sinais, com a seguinte configuração:
 - . módulo CPU,
 - . módulo porta-paralela (PPI),
 - . módulo conversor (A/D),
 - . módulo chave seletora (CS),
 - . módulo de comunicação (RS 232-C);
- microcomputador de 8 bit, com a seguinte configuração:
 - . CPU, 8 bit,
 - . vídeo e teclado,
 - . 64 kbytes,
 - . 1 unidade de disco 5 1/4",
 - . 2 canais seriais RS 232-C;
- ponte amplificadora para transdutores indutivos;
- interface de comunicação/estação de acesso ao serviço (EAS).



Fig. 5.12 - Versão das EM para Implantação Piloto

A estação central concentra informações sobre o estado do sistema. A EC é a responsável pela ativação das estações de medição, recuperação dos dados colhidos junto às máquinas, entrada manual de dados, armazenamento e emissão de relatórios.

A EC é composta de:

- microcomputador de 16 bit, com a seguinte configuração:

- . CPU;
- . vídeo e teclado;
- . 256 kbytes;
- . 2 unidades de disco 5 1/4";
- . 2 interfaces seriais;
- . 1 interface de comunicação (EAS);
- . 1 impressora.

A rede de comunicação interliga a EC com as EM, possui as seguintes características:

- canal de comunicação (rede):
 - . meio físico: cabo blindado;
 - . topologia: barramento aberto;
 - . número máximo de estações: 254;
 - . velocidade de operação: 76,8 kbit/s;
 - . mecanismo de acesso: CSMA-CD;
 - . protocolo de comunicação a nível de enlace lógico: HDLC.
- Estação de Acesso ao Serviço (EAS): são unidades reconfiguráveis em "hardware" que podem permitir ligações a rede de equipamentos que disponham de:
 - interfaces seriais:
 - . RS 232-C
 - interfaces paralelas:
 - . GPIB
 - . BCD
 - barramentos:
 - . ECB-85
 - . IBM-PC
 - . Multibus.

5.3.3 Operação do Sistema

A estação central tem como função principal a preparação das estações de medição, indicando o tipo de programa estatístico a ser seguido por elas.

Na EC é permitida a entrada manual de dados provenientes do levantamento de informações de processos não automatizados.

A partir de dados armazenados, provenientes tanto da entrada manual, como dos coletados automaticamente pelas EM e transmitidos pela rede de comunicação, o sistema traça as cartas de controle para a análise de estabilidade. A figura 5.13 exemplifica um gráfico traçado na EC.

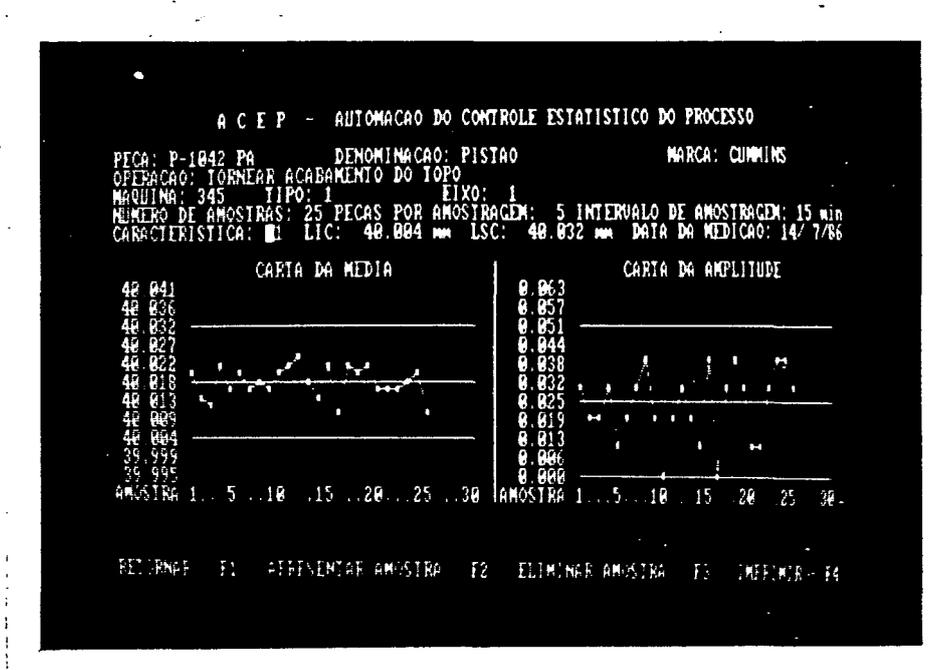


Fig. 5.13 - Tela das Cartas de Controle na Estação Central

As estações de medição, podem trabalhar ligadas à rede de comunicação ou de modo independente.

As funções básicas da EM são:

- Ajuste de transdutores: periodicamente o sistema de medição com apalpadores indutivos pode ser ajustado com um pistão padrão, armazenando os valores dos desajustes remanescentes de todos os 16 transdutores;

- b) Medição: possibilita a medição de até 8 (oito) diâmetros;
- c) Levantamento estatístico: a EM, solicita ao operador via alarme sonoro e luminoso, a medição de um número determinado de amostras, em intervalos de tempo pré-definidos na preparação das estações, para atender aos programas de coleta de dados, acompanhamento do processo e pré-controle.

No acompanhamento do processo é traçado um gráfico contendo as cartas de controle. Se a média ou amplitude de alguma amostra estiver fora dos limites de controle, um alarme indica ao operador. Sendo armazenados os códigos das intervenções ocorridas no processo.

Durante o pré-controle, a EM indica automaticamente ao operador todas as ações a serem tomadas. Um gráfico no vídeo ilustra a distribuição de frequências das amostras coletas.

Os dados coletados durante as várias fases, podem ser transmitidas pela linha de comunicação; a qualquer instante na EC, podem obter-se informações do andamento em todas as EM /34, 35/.

5.3.4 Análise Crítica

Os principais inconvenientes do sistema se encontram na EM. O porte do equipamento é impróprio para operação em locais de poucos recursos de espaço. Os microcomputadores utilizados apresentam problemas que requerem manutenções periódicas, o que caracteriza um equipamento inadequado pela pouca confiabilidade.

Para o bom funcionamento requer instalações de rede elétrica especiais, devido a problemas de instabilidade e ruídos apresentados normalmente nas instalações industriais.

Uma outra dificuldade da EM é a velocidade de resposta da mesma quando da medição contínua de um pistão para a localização

do maior diâmetro. Neste caso os problemas de resolução gráfica do vídeo dificultam a representação da indicação do valor das leituras do diâmetro, a qual é representada mediante uma barra móvel. A comunicação serial entre o microcomputador e a unidade de aquisição de sinais, causa neste caso alguma demora de resposta.

Como o envio de informações da EM para a EC é através de uma rede de comunicação, dificulta a flexibilidade de "lay-out" da EM, impedindo o deslocamento da Estação de Medição a outras máquinas, que não tenham instalações apropriadas.

Quanto as características metrológicas o sistema apresentou um desempenho conforme as especificações. Quanto a EC após pequenas manutenções corretivas e adaptativas do software, suas condições operacionais obedecem o previsto nas especificações.

6. PROPOSTA DE UM SISTEMA OTIMIZADO DE AUTOMATIZAÇÃO PARA O CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

6.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

A participação do autor na elaboração de trabalhos ligados à área de CAQ, tanto na execução de anteprojetos de sistemas como no desenvolvimento de protótipos para aplicação no controle de qualidade dimensional de peças na indústria metal/mecânica, possibilitou o estudo da problemática do assunto no referente às questões dos próprios procedimentos do CEP, aspectos metrológicos dos sistemas, características funcionais e operacionais.

A avaliação crítica dos sistemas automatizados instalados, do ponto de vista da própria elaboração do projeto e do parecer dos usuários, permitiu reunir um conjunto de requisitos funcionais que servem de base para análise e concepção de um sistema otimizado para o CEP.

O estudo do estado da arte demonstrou a carência no mercado nacional de equipamentos que levassem em conta as reais necessidades do CEP e a disponibilidade de instrumentos de medição no país. No exterior diversos fabricantes apresentam soluções com suporte à mais variada gama de instrumentos, porém com algumas restrições de uso em particulares tipos de aplicação.

É com base nessas apreciações que surge uma proposta de concepção de sistema automatizado para o CEP. Em princípio voltada a atender as necessidades nas aplicações de controle dimensional nos processos de usinagem, porém com simples adequações, pode ser estendida sua aplicabilidade a outros processos da área metal/mecânica, como fundição, forjamento, conformação mecânica, entre outros.

A proposta leva em conta as disponibilidades tecnológicas, tornando possível a sua implementação dentro do atual estado da tecnologia.

6.2 REQUISITOS DO SISTEMA

Os requisitos do sistema compreende tanto as questões referentes ao próprio CEP, como também as considerações importantes a serem levadas em conta no desenvolvimento de sistemas para aplicação em ambientes industriais.

Estas considerações se referem tanto às preocupações com as questões ambientais propriamente ditas, como também com a dinâmica de funcionamento de uma indústria, onde a produção não pode ser afetada inconvenientemente com a inclusão de sistemas ou procedimentos que degradem o seu desempenho.

6.2.1 Requisitos Específicos

O sistema deve auxiliar na execução de todas as etapas do CEP, sendo: no estudo de capacidade, acompanhamento do processo e no pré-controle. Requer para isto:

- a) Medição e armazenamento de características dimensionais, quando instalado junto à unidade de fabricação;
- b) Processamento da informação junto à unidade de fabricação para indicação, através de meio visual, do comportamento das amostras coletadas.
- c) Análise de tendências do processo para atuação corretiva através da realimentação da própria máquina ferramenta e/ou sinalização adequada ao operador da UF.
- d) Monitoração e armazenamento de eventos durante a fabricação, para posterior auxílio à detecção de causas de instabilidade do processo.

- e) Contagem de peças produzidas para eventual identificação de lotes viciados, quando desajustes no processo venham ocasionar peças fora das tolerâncias.
- f) Incorporação de variados sistemas de medição, permitindo a aquisição das leituras automaticamente.
- g) Previsão de "sinais" de controle de entrada/saída para troca de informações com:
 - operador através de, por exemplo, botoeiras, pedais, lâmpadas, sinais sonoros;
 - dispositivos auxiliares de medição, como manipuladores, posicionadores de transdutores, sensores de proximidade, etc, de maneira a permitir, quando necessário, a execução das leituras sem a intervenção do operador.
- h) Centralização das informações para o processamento estatístico adicional, criação de banco de dados com histórico de comportamento dos processos, resumo estatístico das séries de peças/produtos, etc.

6.2.2 Requisitos Gerais

a) Operação:

A interação homem/máquina deve ser simples e confortável, pois um sistema para o CEP, funcionando junto à UF, é um "elemento" auxiliar, que não deve demandar do operador maiores atenções que as mínimas indispensáveis para a medição de uma peça. As indicações do sistema ao operador devem ser claras e concisas.

b) Questões ambientais:

Num ambiente industrial inúmeras são as perturbações que podem retroagir sobre um sistema baseado em processadores.

Devem ser tomados cuidados especiais com relação a ruídos eletromagnéticos existentes no meio, os quais podem provocar falhas no funcionamento dos sistemas computacionais.

As redes elétricas constituem outra preocupação, devido às instabilidades tanto dos níveis de tensão quanto a presença de sinais espúrios causados pelo funcionamento de alguns tipos de maquinarias.

As vibrações mecânicas existentes nos locais das UF, constituem outra preocupação que afetam tanto aos processadores, devido a existência de conectores, quanto aos próprios sistemas de medição.

A poluição ambiental, com presença de agentes corrosivos, poeira, óleo, cavacos, são elementos que afetam os componentes do sistema.

Idêntica preocupação deve ser considerada com as variações bruscas de temperatura normalmente existentes num ambiente industrial.

As sinalizações sonoras e/ou luminosas devem levar em conta os problemas de luminosidade e ruídos ambientais.

c) Flexibilidade:

O desenvolvimento de sistemas para o controle dimensional deve levar em consideração a variedade de peças produzidas, evitando-se assim, soluções estanques. A reconfiguração de sistemas para o atendimento a outras famílias dimensionais de peças deve ser rápido.

d) Expansibilidade:

Diz respeito à possibilidade do sistema partir de uma configuração inicial e permitir expansões graduais. Este objetivo implica concepção de modularidade tanto a nível de software, hardware e de sistemas de medição.

e) Miniaturização:

Devido a que os espaços físicos junto às UF nem sempre comportam a inclusão de novos equipamentos, é necessário que o sistema seja de reduzidas dimensões.

f) Confiabilidade:

A inclusão de um sistema associado a produção requer mecanismos que permitam a detecção, diagnóstico e reparo de erros no seu funcionamento. No caso do CEP é importante que sejam detectados erros de medição provocados pelo próprio sistema de medição ou operação indevida, além de efetuar contínuos testes de auto-verificação.

6.3 ESTRUTURA LÓGICA DO SISTEMA

O sistema sob aspecto lógico é dividido em duas partes. Uma corresponde às tarefas a serem executadas junto à unidade de fabricação, a outra esta relacionada com a preparação da operação da primeira e com a centralização das informações.

6.3.1 Fluxo de Informações junto à Unidade de Fabricação

A figura 6.1 mostra um diagrama de fluxo de dados (DFD) junto à unidade de fabricação.

Os termos circundados da figura 6.1 representam funções a serem executadas pelo sistema, podendo ser tanto assumida pelo software, hardware ou operações manuais.

A seguir serão descritas as tarefas assumidas pelas principais funções.

a) Ajuste:

Os sistemas de medição devem ser ajustados, antes ou durante a medição. Este ajuste consiste por exemplo no posicionamento dos

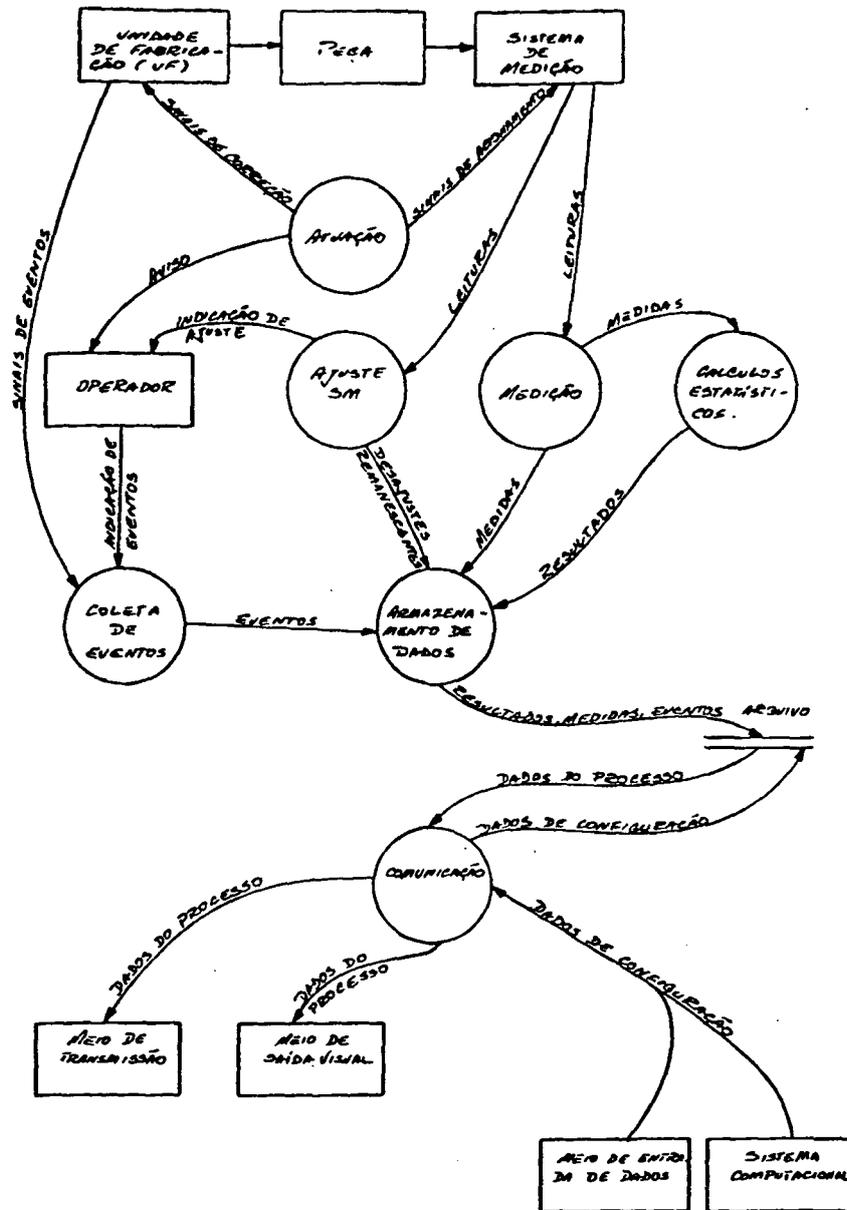


Fig. 6.1 - Diagrama de fluxo de dados do Sistema junto à unidade de fabricação

transdutores com relação a uma peça padrão como é o caso da medição pelo método diferencial. Esta função auxilia o operador, mediante a indicação através de algum meio visual como lâmpadas, visor ou vídeo, das ações a serem tomadas.

b) Medição:

Responsável pela aquisição das leituras dos sistemas de medição e transformação em medidas.

c) Atuação:

A função de atuação comanda as ações de envio de sinais para:

- operador: através de sinalização apropriada que indicam as ações a tomar para corrigir desajustes do processo;
- estação de medição: dependendo dos dispositivos auxiliares de medição utilizados poderá ser necessário o envio de sinais para acionamento de mecanismos de posicionamento da peça ou sensores/transdutores;
- unidade de fabricação: a correção de parâmetros de controle da máquina ferramenta pode ser efetuada automaticamente, através do envio de sinais apropriados. Dependendo do tipo de unidade de fabricação e da disponibilidade de entradas para correção é possível o envio de sinais elétricos analógicos ou digitais, ou comandos do tipo "liga/desliga".

d) Coleta de eventos:

A função gerencia a entrada no sistema dos eventos ocorridos durante a fabricação, tais como: troca de ferramentas, mudança de operador, parada da máquina, manutenção, falta de matérias-primas, contagem de peças, etc.

e) Processamento estatístico:

A partir das medidas das características dimensionais controladas, a função realiza o processamento estatístico para determinação, por exemplo, de médias, desvio padrão, traçado de cartas de controle, análise de tendências do processo, adotando os procedimentos descritos no capítulo 3.

f) Armazenamento de dados:

As medidas das características dimensionais, eventos, resultados estatísticos, dados do ajuste dos sistemas de medição, entre outros, são armazenados nos arquivos do sistema.

g) Comunicação:

Gerencia a transmissão e recepção de dados dos elementos periféricos, tais como redes de comunicação, teclados, mostradores, etc.

6.3.2 Fluxo da Centralização de Informações

A figura 6.2 mostra o diagrama de fluxo de dados do sistema para preparação e processamento das informações.

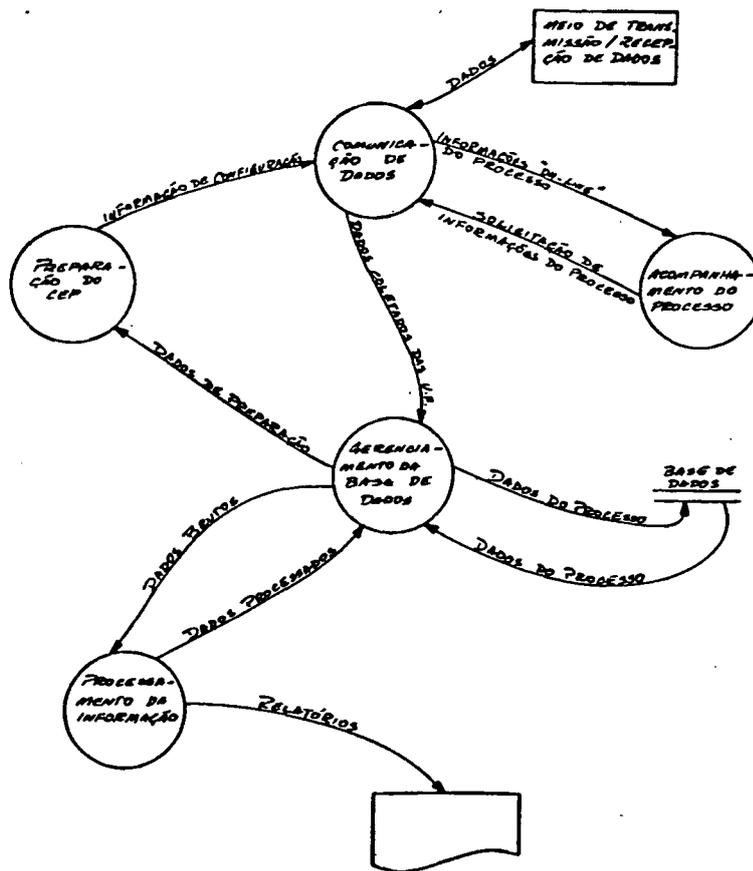


Fig. 6.2 - Diagrama de fluxo de dados na centralização de informações.

As principais funções são descritas a seguir:

- a) Comunicação de dados: encarregada da transmissão e recepção de informações das e para as unidades de fabricação.
- b) Preparação do CEP: responsável pela preparação do CEP de cada unidade de fabricação, indicando o tipo de operação a ser efetuada, como: coleta de dados, acompanhamento do processo, pré-controle. Indica todos os parâmetros necessários à realização dos objetivos para posterior transmissão junto às UF.
- c) Acompanhamento dos processos: encarregada da solicitação de informações "on-line" para supervisão do andamento do CEP em cada UF.
- d) Gerenciamento da base de dados: responsável pela manipulação das informações contidas na base de dados do sistema. Esta contém basicamente informações de preparação para cada UF, dados coletados junto às UF, medidas, eventos, resultados do processamento estatístico, histórico dos processos, mostrando dados de desempenho ao longo do tempo, informações estatísticas das séries produzidas, etc.
- e) Processamento das informações: função que engloba todas as operações do processamento dos dados coletados junto às UF, para efeito de atualização dos arquivos da base de dados, informações, emissão de relatórios, etc.

6.4 ESTRUTURA FÍSICA DO SISTEMA

O sistema é dividido fisicamente em dois subsistemas. O primeiro compreende a implementação junto às unidades de fabricação, da denominada Estação de Medição de Controle (EMC). O segundo, responsável pela centralização das informações, denominado de Central de Processamento e Controle (CPC). A ligação lógica entre ambos e a comunicação para intercâmbio de informações (fig. 6.3). Esta pode ser implementada através de um meio físico, como por exemplo uma rede local de comunicação, ou um elemento "transportador" de informações. Isto depende do grau de integração necessário, além de ser uma alternativa de implantação gradativa.

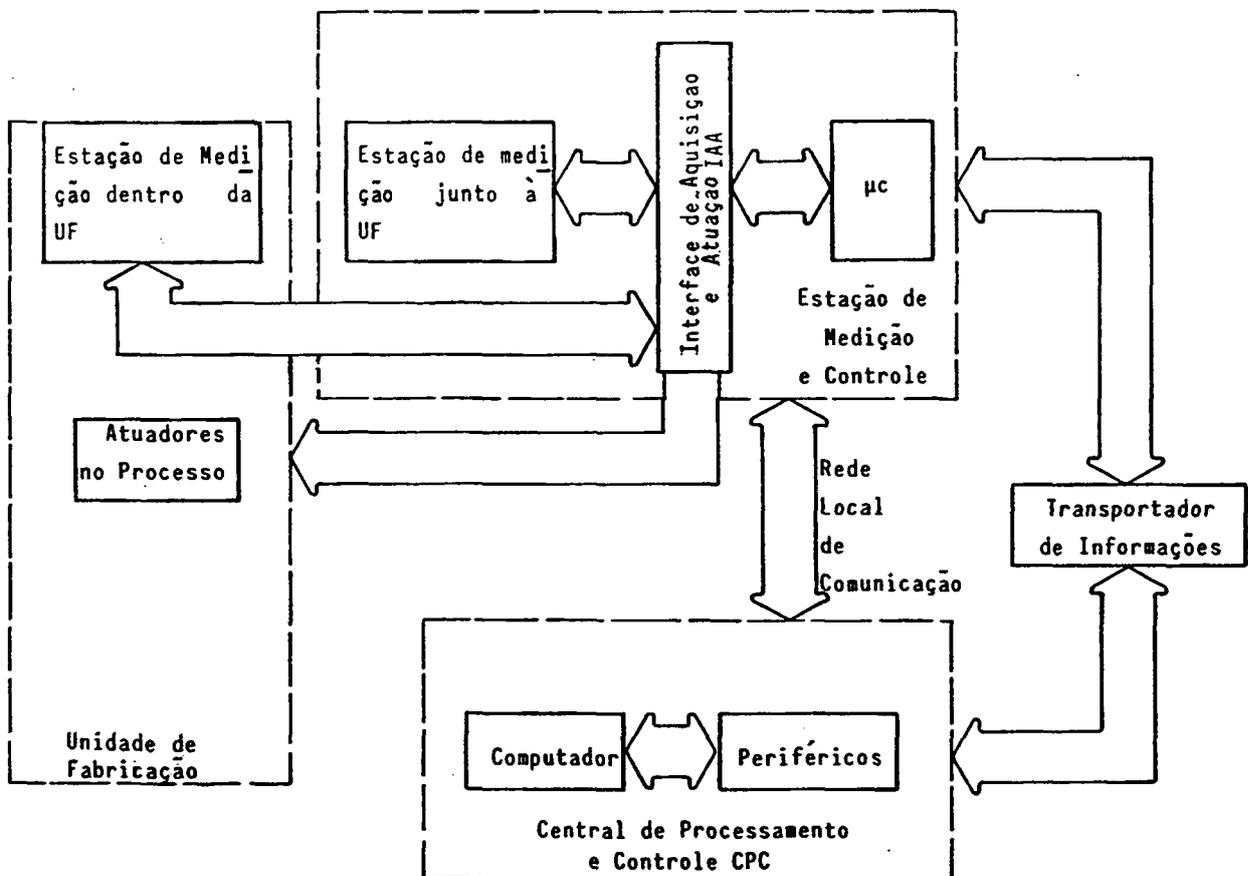


Fig. 6.3 - Estrutura Física do Sistema.

6.4.1 Estação de Medição e Controle (EMC)

A EMC é composta de:

- Estação de Medição
- Interface de Aquisição e Atuação
- Microcomputador

A sua configuração depende dos sensores/transdutores/medidores associados, da inclusão ou não de monitoração de eventos e do tipo de atuação corretiva.

A seguir serão descritos cada um dos módulos da EMC.

a) Estação de Medição (EM):

Composta de:

- Sensores, transdutores e medidores com saídas elétricas analógicas ou digitais. Assim é possível a incorporação de transdutores indutivos de deslocamento linear e/ou angular, reguas eletro-ópticas, paquímetros e micrômetros digitais, medidores a laser, etc.

De modo geral permite a aplicação de sistemas de medição que possuam saídas elétricas analógicas ou digitais proporcionais a grandeza a medir.

Medidores de temperaturas com saídas elétricas analógicas ou digitais podem ser incorporados para a medição da temperatura ambiente, permitindo efetuar compensação da dilatação térmica das peças durante a medição de peças;

- dispositivos: compreendendo os necessários a manipulação, posicionamento e fixação de peças, como também os mecanismos de posicionamento de sensores/transdutores. O dispositivo pode consistir, desde uma simples base para apoio da peça a medir, até um complexo sistema para medições múltiplas com colocação e retirada da peça através de manipuladores;

- atuadores: para o posicionamento de peças e sinalizações (lâmpadas, motores, cilindros pneumáticos, etc).

b) Interface de Aquisição e Atuação (IAA)

A interface de aquisição e atuação é a responsável por:

- aquisição dos sinais provenientes da estação de medição, através das leituras dos medidores, dos detetores de eventos, contadores de peças fábricas;
- atuação sobre a estação de medição, mediante o envio de sinais no término da medição e indicação de erros;
- indicação de correções do processo, diretamente à máquina ferramenta ou ao operador.

A IAA é composta de:

- conversor analógico/digital: encarregado da digitalização dos sinais analógicos provenientes da estação de medição.
- contadores: utilizados na contagem dos pulsos provenientes das estações de medição, contadores de peças e de eventos na UF.
- conversor digital/analógico: para o envio de sinais analógicos de correção.
- interfaces paralelas: permitindo a entrada de sinais digitais no formato nos diversos padrões disponíveis nos medidores, e a aquisição de sinais dos sensores dos dispositivos da EM.
- interfaces seriais: permitindo a aquisição das leituras de medidores, e o envio de dados para atuação.

- comando de chaveamento para:
 - chaves seletoras de sinais de transdutores, para a multiplexação de entrada nas unidades de tratamento de sinais.
 - relés ou tiristores para ligação de sistemas elétricos diversos (motores, eletroímãs, lâmpadas, etc.)

c) Microcomputador

O microcomputador da EMC é o encarregado do gerenciamento da Interface de Aquisição e Atuação, da interação com o operador e com o meio de comunicação, quando a EMC está conectada a uma rede de comunicação ou um transportador de informações.

As principais características do microcomputador são:

- banco de memórias EPROM e RAM não-volátil;
- teclado e mostrador;
- unidade central baseada em microprocessadores ou microcontroladores;
- comunicação serial.

Basicamente, o microcomputador possui um sistema operacional residente em memória tipo EPROM, o qual gerencia as entradas e saídas do sistema, e interpreta as instruções dos programas inerentes ao CEP. Existem programas básicos residentes que permitem a complementação de informações para operação via teclado. Os programas de maior complexidade, são montados a partir de um software configurador existente na CPC.

6.4.2 Integração da Estação de Medição e Controle

a) Hardware

O microcomputador e a interface de aquisição e controle estão fisicamente integrados. As chaves seletoras e os relés são independentes, recebendo da IAA somente os sinais de controle.

Um dos principais problemas no desenvolvimento de sistemas computacionais para aplicação em ambientes industriais é a necessidade de inclusão de sistemas "no-break", ventilação forçada e acondicionamento mecânico apropriado /41/.

A disponibilidade de componentes com tecnologia CMOS (Complementary Metal Oxide Silicon) na aplicação de microprocessadores, microcontroladores, controladores de teclado/"display"; portas paralelas, portas seriais, memórias com capacidade de 32 kbyte (em um único "chip"), conversores A/D e D/A, entre outros, permitem projetos com arquiteturas de alto grau de integração, implicando numa redução significativa de espaço. O baixo consumo dos componentes minimiza os problemas de dissipação de calor, e possibilita a alimentação com baterias portáteis, eliminando os possíveis problemas causados pela rede elétrica /36, 37, 38/.

A figura 6.4 apresenta os diversos módulos possíveis de serem configurados na EMC.

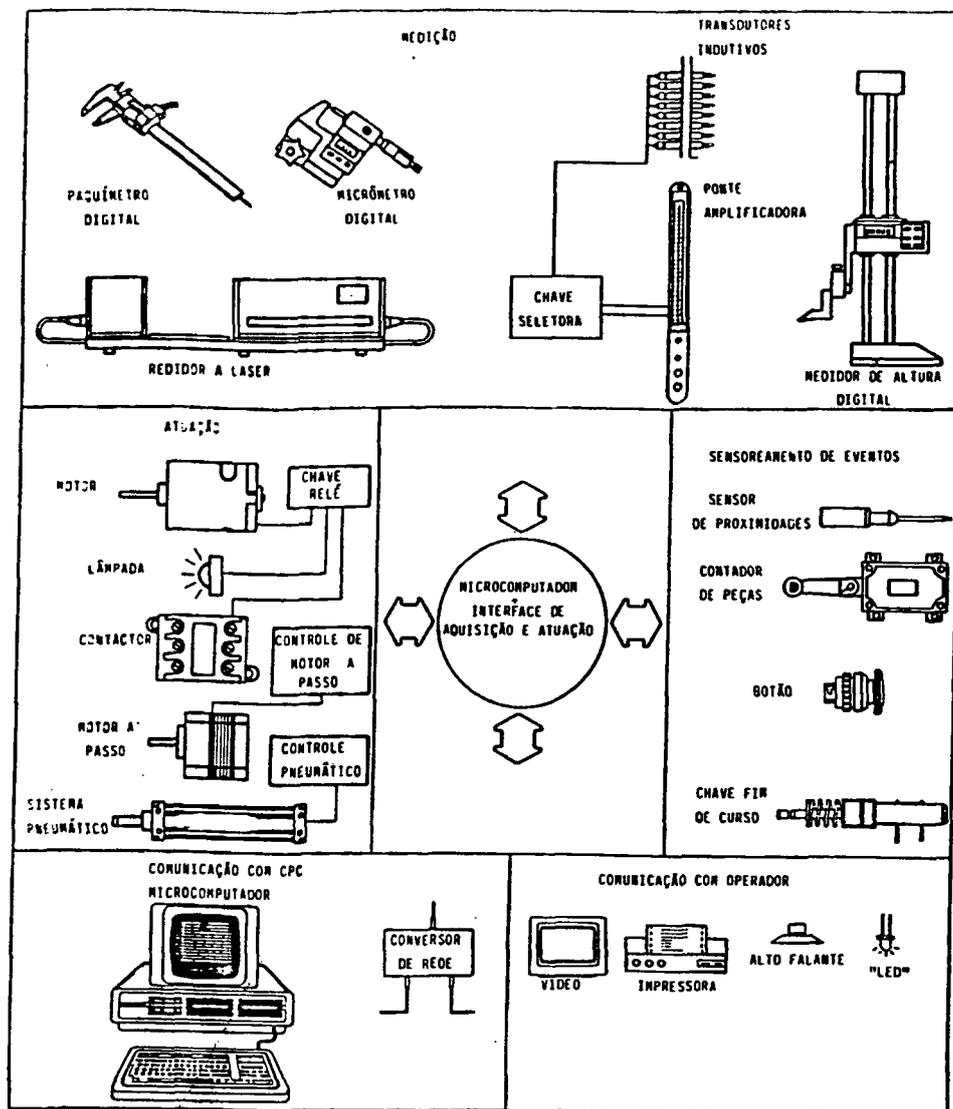


Fig. 6.4 - Exemplos de Interfaceamentos Possíveis com uc + IAA da EMC

b) Software

O software da Estação de Medição e Controle possui um sistema operacional residente em memória não volátil, cuja função é gerenciar o interfaceamento do microcomputador com os periféricos tais como: teclado, display, interfaces de comunicação de dados seriais, conversores analógicos/digitais, portas paralelas, sinalização sonora e luminosa para o operador.

Um interpretador de comandos também residente processa as instruções de programa de medição e controle introduzido no sistema via teclado ou mediante a comunicação serial com a central de Processamento e Controle.

6.4.3 Central de Processamento e Controle (CPC)

Dependendo da configuração global do sistema, isto é, do número de unidades de fabricação incorporados ao CEP, a CPC assumirá parcial ou totalmente as funções a que se destina.

O importante é a possibilidade da inclusão gradativa de procedimentos automatizados, significando com isto, que o conjunto das suas funções não necessariamente deverá fazer parte numa implantação inicial.

A seguir serão descritas as principais atribuições (fig. 6.5), destacando a sua importância no contexto do sistema global.

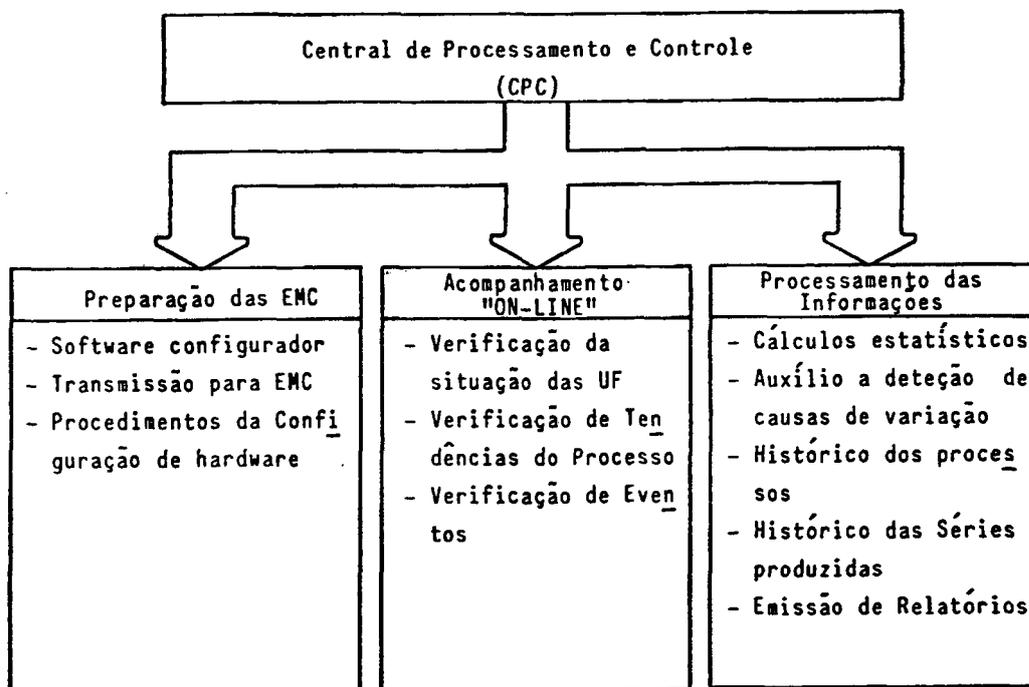


Fig. 6.5 - Atribuições da CPC

a) Preparação das EMC:

A preparação consiste na adequação da estação de medição e controle, ao atendimento de uma particular configuração de CEP junto a uma UF. Devendo para tanto, indicar os sensores/transdutores/medidores, dispositivos, modos de atuação e de monitoração de eventos: Assim como as estratégias de medição e atuação. Requer para isto a informação das características dimensionais a controlar, os limites de tolerância, limites de controle (se for o caso), e as formas de correção do processo.

No caso de compensação da dilatação térmica na medição de peças, é preciso informar a função matemática ou a tabela com a relação da variação dimensional com a variação de temperatura da particular grandeza. A cada medição da peça, o sistema realiza a medição da temperatura ambiente para posterior correção das leituras.

A configuração do hardware é auxiliada pelas informações arquivadas na base de dados, onde constam os procedimentos a ser seguidos.

As informações da configuração são transmitidas para as EMC através de uma rede de comunicação ou mediante uma ligação serial ponto a ponto.

b) Acompanhamento "on-line":

A verificação do andamento do CEP em cada UF, pode ser realizada através da solicitação, via rede de comunicação à EMC associada, das informações sobre a situação de: tendências do processo, eventos ocorridos, estado da coleta de informações, etc. Desta forma, se agilizam as estratégias de controle para cada UF e o interrelacionamento com processos adjacentes.

c) Processamento das informações:

O processamento das informações engloba:

- cálculo dos limites de controle a partir das amostras coletadas junto às UF, traçado das cartas de controle, cálculo de capacidade (capabilidade) e desempenho do processo;
- traçado de Diagramas de Pareto e edição dos Diagramas de Causa e Efeito;
- atualização do histórico dos processos, o qual contém os parâmetros estatísticos e a quantificação de eventos ao longo do tempo, para avaliação de comportamento;
- atualização do histórico das séries produzidas, o qual contém um resumo estatístico dos lotes produzidos. Esta informação pode acompanhar, em forma de relatório, ao produto final, ou servir na análise de problemas, quando de eventuais reclamações de usuários.

6.4.4 Alternativas de Comunicação

Na determinação dos modos de comunicação entre a CPC e a EMC, cabe inicialmente fazer algumas considerações. Diferenciam-se dois tipos de comunicação dentro do sistema como um todo. A primeira corresponde à interação entre UF e EMC, onde, dependendo das taxas de fabricação de peças, exigirá uma resposta rápida da EMC para a efetivação da medição e da atuação corretiva.

Como o controle se dá através da observação do comportamento das amostras coletadas, e os intervalos de amostragem serem da ordem de minutos (em processos de baixas taxas de produção, é de 30 min ou 60 min), as ações corretivas não necessariamente requerem respostas imediatas, como é o caso de um controle contínuo.

O segundo tipo de comunicação é o necessário para a preparação da EMC, e "retirada" dos dados das mesmas para análise do comportamento do processo.

A preparação da EMC é feita durante a instalação inicial junto à UF, na inclusão de novas estações de medição, na mudança do tipo de peça fabricada, ou quando da mudança da estratégia de controle.

Considerando que, a preparação requer tempo para a adequação e ajustes na estação de medição e na IAA, a velocidade de transferência dos dados de configuração não é crítica.

A "retirada" das informações da EMC, também não requer procedimentos imediatos, uma vez que a análise do comportamento do processo demanda tempos consideráveis.

Logo, não é imprescindível em primeira instância a inclusão de uma rede de comunicação para o funcionamento do sistema. Porém, a sua incorporação agiliza consideravelmente a funcionalidade e a confiabilidade e rapidez das informações.

As alternativas de comunicação entre EMC e CPC são então:

a) Rede local de comunicações:

Uma rede local é uma rede de comunicações que possibilita a interconexão de uma variedade de dispositivos de comunicação de dados dentro de uma área com extensões de 5 ou 10 km /39, 40/.

A utilização de uma rede local para a comunicação, permite a inclusão gradativa de novas EMC, assim como um aumento da capacidade computacional da CPC. A flexibilidade da configuração é garantida uma vez que a retirada, ou inclusão de novos elementos à rede não afetam substancialmente os demais.

b) Transportador de dados:

O transportador de dados é basicamente um elemento portátil com características idênticas ao do microcomputador da EMC, porém não contando com interfaces de aquisição e atuação.

A sua função é a de "carregar" informações, transportá-las e "descarregá-las" no sentido da EMC para a CPC, e vice-versa.

O transportador de dados é um elemento alternativo quando da utilização de redes no CEP, servindo como "back-up" nos casos de falhas na comunicação.

c) Direta:

Através da comunicação via interface serial do computador da CPC com o microcomputador da EMC.

6.5 ASPECTOS COMPLEMENTARES

Serão destacados alguns aspectos relevantes da concepção do sistema no que se refere a versatilidade de programação das EMC, de maneira a permitir a composição de diferentes configurações, acorde com as necessidades da aplicação.

O programa configurador residente na CPC, permite, através de um software conversacional, as definições de:

a) Características dimensionais:

Permitindo a relação entre elementos geométricos (diâmetros, distância entre superfícies, etc) para obtenção de características dimensionais (diferença entre dois diâmetros, determinação de ângulos, etc). Isto é feito mediante a formação de uma função matemática para cada característica dimensional (fig. 6.6).

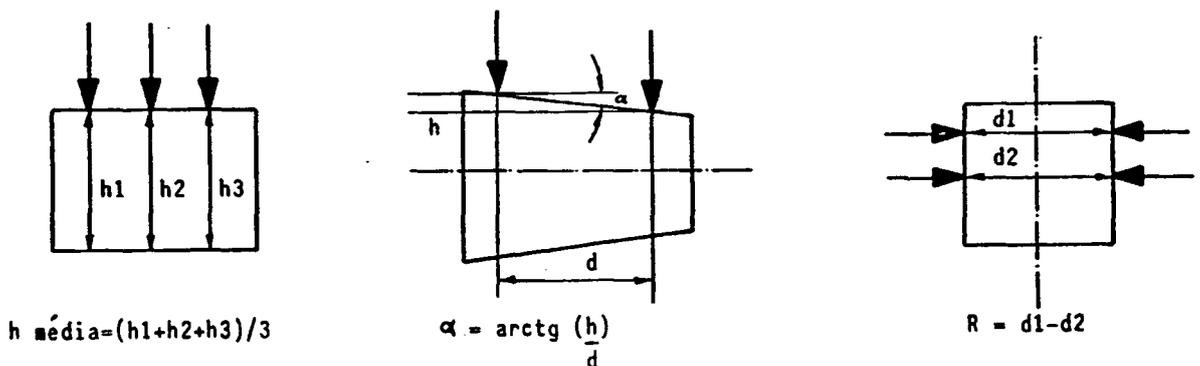


Fig. 6.6 Exemplos de definição de Características Dimensionais

b) Associação de entradas/saídas para a medição:

Permitindo a indicação de quais entradas da IAA indicarão ao sistema o instante de:

- monitorar uma particular grandeza, mediante a aquisição contínua de leituras para auxílio ao posicionamento da peça;
- efetivação da medição;
- coleta estatística.

Também permite a seleção das saídas da IAA associadas à atuação sobre a estação de medição ou a indicação ao operador para:

- indicação de medição para coleta estatística;
- indicação de fim de medição;
- indicação de erro de medição.

c) Definição do programa de CEP:

Indicando ao sistema a etapa do CEP correspondente, as características dimensionais envolvidas, restantes informações necessárias ao funcionamento.

d) Definição das estratégias de controle:

Indicando que tipo de ações devem ser tomadas, caso as amostras de determinadas características dimensionais apresentem comportamentos preestabelecidos.

Cabendo a associação dos elementos físicos que irão agir sobre o processo (sinalização sonora e/ou luminosa, saídas analógicas ou digitais, etc).

Todas as informações são compiladas pelo software, gerando um conjunto de instruções que são interpretadas pelo microcomputador da EMC.

A figura 6.7 esquematiza as funções e parâmetros do software configurador.

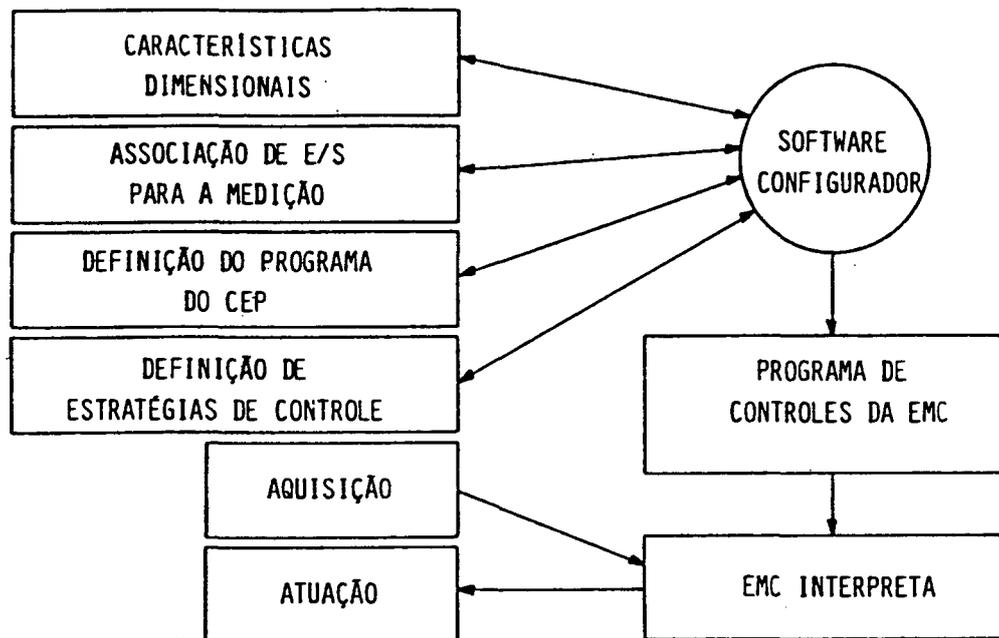


Fig. 6.7 - Funções e Parâmetros do Software Configurador

A concepção do software configurador e do interpretador residente no microcomputador da EMC, permite a criação de procedimentos especiais que permitiram o funcionamento da EMC sem intervenção do operador, característica importante na aplicação do CEP em linhas automáticas ou semi-automáticas de produção.

7. CONCLUSÕES

A participação no desenvolvimento de sistemas aplicados ao controle dimensional de peças em indústrias do ramo metal/mecânica, permitiu um profundo contato com a problemática envolvida na introdução de sistemas automatizados para o controle de qualidade.

Esta problemática engloba desde a própria formulação dos problemas, o estudo de soluções e as dificuldades encontradas na integração das partes componentes, como sistemas computacionais, interfaces e sistemas de medição, conseqüentes da carência de recursos apropriados no mercado nacional.

Isto induz dar destaque a algumas conclusões importantes:

a) Dificuldades da automatização do CEP:

A automatização do CEP requer em primeira instância uma definição clara "do que", "como" e "com que" controlar. Uma vez alcançada a etapa de definições, devem ser levados em consideração os impactos causados pela sua implementação devido a sua contraposição aos preceitos convencionais do controle da qualidade, requerendo para isto uma implantação gradativa que permita uma reavaliação dos procedimentos. À implantação do CEP automatizado ainda se somam os problemas dos "instrumentos" necessários à sua implementação.

A situação atual, no concernente a sistemas de medição para o controle dimensional no Brasil, não é nada alentadora, pois há uma grande dificuldade na migração de instrumentos convencionais (sistemas pneumáticos, relógios comparadores) para sistemas eletro-eletrônicos devido a falta de variedade de características metrológicas disponíveis no mercado nacional. Outro agravante são os sistemas computacionais, os disponíveis não apresentam

condições apropriadas para sua utilização em ambientes industriais.

b) Esforços a realizar para incrementar o CAQ:

Uma maneira de reverter o atual quadro em que se encontra a Qualidade Auxiliada por Computador (CAQ) no Brasil é a concentração de esforços nos seguintes assuntos:

- desenvolvimento da área de micromecânica, principal impedição na implementação de sistemas de medição, dispositivos e manipuladores;
- pesquisa e desenvolvimento de sistemas de medição adequados a operação em ambiente industrial, com saídas compatíveis com sistemas de aquisição de sinais, com ênfase a sistemas eletro-ópticos para medição sem contato, e a transdutores indutivos;
- desenvolvimento de redes de comunicação de baixo custo com protocolos padronizados, que garantam a interligação entre os diversos componentes de apoio aos processos produtivos;
- estudo e desenvolvimento de sistemas de informação integrados para apoio à Garantia da Qualidade;
- pesquisa e desenvolvimento de unidades de fabricação com maiores facilidades de realimentação, possibilitando a ação automática sobre os processos;
- análise de erros em máquinas ferramentas, de modo a correlacionar resultados do CEP com as fontes de erros;
- desenvolvimento de sistemas peritos para auxílio à determinação de causas de variação nos processos de usinagem;

c) Necessidade de desenvolvimento do sistema proposto

O conjunto de características contidas na proposta do trabalho (cap. 6) permite o pleno atendimento dos procedimentos do CEP. A flexibilidade de configuração em software, hardware e incorporação de variados medidores/transdutores, aliados à possibilidade de atuação sobre o processo e dispositivos auxiliares para a medição, o tornam um sistema original.

A carência no mercado nacional de sistemas com essas potencialidades, justifica plenamente seu desenvolvimento.

d) Esforço pela tecnologia nacional

Um esforço conjunto de universidades, indústrias, centros de pesquisa e desenvolvimento e fabricantes de equipamentos deve ser empreendido para reverter o atual quadro nacional nesta área, sendo este, mais um desafio para todos aqueles que acreditam e anseiam o desenvolvimento tecnológico do país. Uma vez que o Brasil não "receberá" tecnologia dos países desenvolvidos, pois ela não se compra, é preciso dominá-la e desenvolver meios alternativos.

O Brasil tem demonstrado em diversos campos da ciência e da tecnologia que é capaz, que tem pessoal e recursos suficientes para se desenvolver, a despeito daqueles que continuamente tentam subestimar a sua capacidade, com o intuito de submetê-lo a uma dependência que ponha em risco o logro da Soberania Nacional plena.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- / 1/ Costa, J.R. da Sistema de Garantia da Qualidade.
Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro
do Petróleo, 1982. V1 e V2.
- / 2/ Burr, I.W. Statistical Quality Control Methods.
New York, Marcell Dekker inc, 1982.
- / 3/ Lourenço Filho, R. Controle Estatístico de Qualidade.
de C.B. Rio de Janeiro, LTC-Livros Técnicos e
Científicos, 1982.
- / 4/ Controle da Qualidade Controle de Qualidade da
na VW Mundial Volkswagenwerk AG. Coordenação do
Controle de Qualidade, Junho, 1980.
- / 5/ Lücke, H.A.H. Automatização do Controle de
Qualidade. Encontro Nacional de
Automatização Tecnológica em
Engenharia Mecânica (ENATEM),
Florianópolis, 1982.
- / 6/ Duncan, A.J. Quality Control and Industrial
Statistics. Illinois, Richar D. Irwin 3
Ed, 1965.
- / 7/ Juran, J. Quality Control Handbook. Inspection
Cook Jr, H.M. and Test. Mc Graw-Hill, 3 ed, New
York, 1974.

- / 8/ Schneider, C.A. Controle Dimensional do Processo de Fabricação. Anais do II Congresso de Metrologia e Controle de Qualidade, México, março, 1986.
- / 9/ Pfeifer, T. Controle de Qualidade Computadorizado na Fabricação em Pequenas Séries - Aspectos da Sistemática de Planejamento. Trad. C.A. Schneider, Encontro Nacional de Atualização Tecnológica em Engenharia Mecânica (ENATEM), Florianópolis, 1982.
- /10/ Ishikawa, K. La Gestion de la Qualite. Outils et Applications pratiques. Bordas, Paris, 1984.
- /11/ Juran, J. Quality Control Handbook. Process Control by Statistical Methods. Mc Graw-Hill, 3ed, New York, 1974.
Bicking, C.A.
Gryna Jr, F.M.
- /12/ Paula Leite, P.G. Ensaio não Destrutivos. Associação Brasileira dos Metais, 10 Impressão, São Paulo, 1978.
- /13/ Madrigal, R.I. Vision Artificial por Computador. Fundamentos, Sistemas y aplicaciones en la Industria y la Robotica. Madrid, 1985.
Usategui, J.M.A.
- /14/ Labmetro Ensaio Geométricos de Máquinas Ferramentas - Laboratório de Metrologia e Automatização. Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC - Florianópolis.

- /15/ Labmetro Instrumentação para Controle Dimensional - Laboratório de Metrologia e Automação. Departamento de Engenharia Mecânica UFSC - Florianópolis - SC.
- /16/ Silva, A.D.da Ensaio Geométrico de Peças e Máquinas - Uma Metrologia Automatizada. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC - Florianópolis, Fevereiro, 1984.
- /17/ General Motors Statistical Process Control Manual, Michigan - Bug 1984.
- /18/ Mazzeo, J.M. S.P.C. A new training need. Mechanical Engineering - Dezembro, 1984.
- /19/ VDI/DCQ 3441 Exame Estatístico da Precisão de Trabalho e Posição de Máquinas Ferramentas. Bases Fundamentais.
- VDI/DCQ 3442 Exame Estatístico da Precisão de Trabalho de Tornos.
- VDI/DCQ 3443 Exame Estatístico da Precisão de Trabalho de Fresadoras.
- VDI/DCQ 3444 Exame Estatístico da Precisão de Trabalho de Furadeiras.
- VDI/DCQ 3445 Exame Estatístico da Precisão de Trabalho de Retificadoras.
- /20/ Valentina, L.V.O.D. Ensaio Geométrico em Máquinas Ferramentas com Laser de Alinhamento. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC - Florianópolis, Abril 1986.

- /21/ Schneider, C.A.
Lücke, H.A.H.
Wondracek, U. Ensaio Geométrico em Máquinas Ferramentas. Encontro Nacional de Automatização Tecnológica em Engenharia Mecânica (ENATEM), Apostila de Minicursos - Florianópolis, 1982.
- /22/ König, H.C. Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren. Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der RWTH Aachen.
- /23/ Florez-Lozano, J.A. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional. Aspectos Psicofisiológicos da Fadiga. Janeiro/fevereiro/Março, 1980.
- /24/ Schoeler, N. Estabilidade da Função Transferência de Sistemas de Medição. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC - Florianópolis, Março, 1986.
- /25/ Thomas, D.W. Statistical Quality Control Handbook. 2 ed. Western Electric - Pennsylvania, 1956.
- /26/ Williams, L. Basic Training Review. Quality, Copeland Corp, Sidney, OH, August, 1984.
- /27/ Ford Motor Company Capacidade do Processo e Controle Contínuo do Processo. São Paulo, 1982.
- /28/ ASTM, STP-15D Manual on the Presentation of Data and Control Chart Analysis, 1976, p. 134-136.

- /29/ Rosa, J. de La Staff Manufacturing Engineer. IBM Corp. Austin Tx, Quality - Abril, 1985.
- /30/ Juran, J.M. Quality Control Handbook. Computers
Blum, J.E. in Quality Control. McGraw-Hill, 3.
Bingham Jr, R.S. ed, New York, 1974
- /31/ DataMyte DataMyte Handbook. 2 Ed.,
Corporation Minnesota, 1986.
- /32/ Labmetro Sistema Automatizado de Controle da
Qualidade de Pistões. Manual do
Sistema, Departamento de Engenharia
Mecânica, UFSC - Florianópolis, 1984.
- /33/ Labmetro Sistema para Estudo de Capabilidade de
Máquinas. Documentação do Sistema,
Departamento de Engenharia
Mecânica, UFSC - Florianópolis, 1984.
- /34/ CERTI Especificação do Sistema:
Automatização do Controle Estatístico
do Processo da Metal Leve S.A.
Florianópolis, 1985.
- /35/ Flesch, C.A. Automatização do Controle
Sotuyo, J.C. Estatístico do Processo de
Fabricação. 6. SCNB Seminário de
Comando Numérico no Brasil, Sobracon,
Agosto, 1986.
- /36/ National CMOS Databook
Semiconductor Califórnia. USA, 1986.
Corporation

- /37/ Elektor Electronics March 1987, volume 13, Number 143.
- /38/ MacWilliams, Peter D. Serial Bus Simplifies Distributed Control. Control Engineering - June, 1984.
- /39/ Giozza, W.F. Redes Locais de Computadores. McGraw-Hill, São Paulo, 1986.
Araújo, J.F.M.
Moura, J.A.B.
Savve, J.P.
- /40/ Lages, N.A.C. Introdução aos Sistemas Distribuídos. Ed. da UNICAMP - São Paulo, 1986.
Nogueira, J.M.S.
- /41/ National Computing Aplicação de Micro Processadores na Center Indústria. Ed. Campus - Rio de Janeiro, 1985.