

Ricardo Antônio Pralon Santos

**AUTOMATIZAÇÃO FLEXÍVEL DE ESTAÇÕES DE
CONTROLE GEOMÉTRICO POR MEDIÇÃO
DIFERENCIAL MULTIPONTOS**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Mestre em Engenharia
Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Herman Adolf
Harry Lücke, Dr. Ing.

Florianópolis

1992

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santos, Ricardo Antônio Pralon
Automatização Flexível de Estações de Controle Geométrico
por Medição Diferencial Multipontos / Ricardo Antônio
Pralon Santos ; orientador, Hermann Adolf Harry Lücke -
Florianópolis, SC, 1992.
142 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica.

Inclui referências

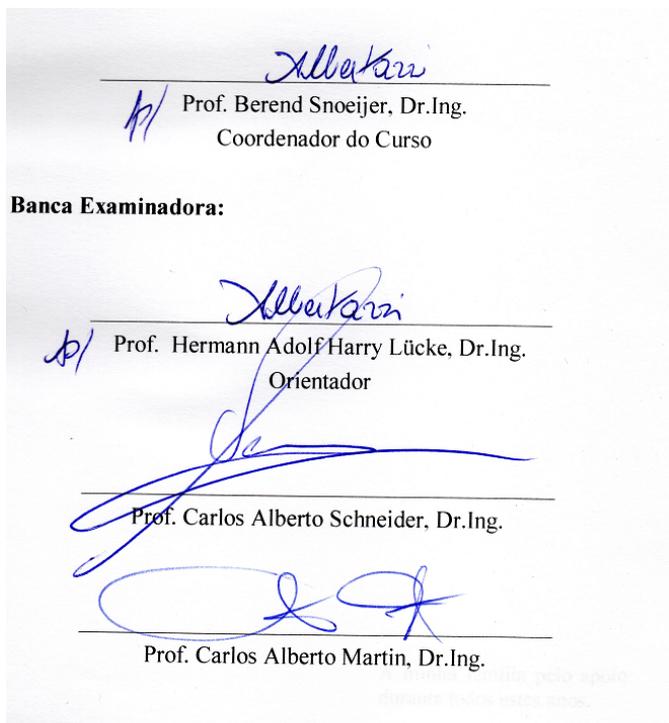
1. Engenharia Mecânica. 2. Metrologia Dimensional. 3.
Controle de Qualidade Assistido por Computador. 4.
Controle Estatístico do Processo. 5. Medição Diferencial
Multipontos. I. Lücke, Hermann Adolf Harry. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

Ricardo Antônio Pralon Santos

**AUTOMATIZAÇÃO FLEXÍVEL DE ESTAÇÕES DE
CONTROLE GEOMÉTRICO POR MEDIÇÃO
DIFERENCIAL MULTIPONTOS**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica, área de concentração Metrologia e Automação, aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Florianópolis, 27 de Novembro de 1992.



A minha família pelo apoio
durante todos estes anos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Hermann A. H. Lücke, pela orientação prestada ao trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC e ao CERTI/LABMETRO por terem oferecidos condições para elaboração deste trabalho.

Aos casais Hildonis e Maria do Carmo Borges, e Agenor e Therezinha Fardin por acreditarem na realização deste trabalho.

A Rosalva Stock pelo apoio na edição do trabalho.

Ao programa RHAЕ/Mecânica de Precisão do CNPQ pela concessão da bolsa de estudo.

Aos colegas do CERTI/LABMETRO.

Agradecimento Especial

Este trabalho contou com o apoio **do BANDES - Banco do Desenvolvimento do Estado do Espírito Santo**, através do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico.

RESUMO

A realização de controle de qualidade integrado à produção, o uso da automação flexível e a fabricação em lotes menores são características dos modernos sistemas de manufatura. Estações de controle geométrico por medição diferencial multipontos automatizadas, são sistemas utilizados há anos para o controle de qualidade de grandes séries de peças mecânicas, principalmente por suas características propícias a utilização em chão de fábrica. Para sua aplicação em séries menores de peças entretanto, é necessário o aumento de sua flexibilidade de sua parte mecânica e de sua automatização. Neste trabalho, após a análise dos aspectos e requisitos envolvidos, é proposta uma estrutura de um sistema flexível para a automação de estações de medição multipontos, com o objetivo de permitir sua utilização em diferentes tarefas de medição em curto espaço de tempo. A estrutura aberta deste sistema permitirá atender aspectos de integração, em um ambiente de manufatura computadorizado. Visando a diminuição dos refugos e retrabalhos e aumento da qualidade dimensional das peças produzidas, é estruturado um circuito de regulação da qualidade dimensional do processo de fabricação, baseado em dados de medição de uma estação de medição pós-processo. Demonstrando a viabilidade da proposta é apresentado a implementação de um pacote de software computacional com estas características, com detalhes sobre funcionamento e construção.

Palavras-chave: Metrologia Dimensional. Controle de Qualidade. Controle Estatístico do Processo. Qualidade Assistida por Computador. Medição Diferencial Multipontos

ABSTRACT

Making production integrated quality control, using flexible automation and manufacturing in smaller lots are characteristics of modern manufacturing systems. Automatic multipoint geometrical control stations are systems that have been used for a long time in the quality control of big series of mechanical parts mainly because of the favorable characteristics in factory floor. To be applied in smaller series of parts, however, it is necessary to increase its flexibility both in the mechanical part and in its automation. In this work, after the analysis of the aspects and the requisites involved, a flexible system structure is proposed to the automation of the multipoint measuring stations, with the objective of allowing its use in different work-tasks in a short space of time. The open structure of this system will allow to attend integration aspects in a computerized manufacturing environment. Looking for decrease of scraps and reworks of parts and an increase of dimensional quality a regulating circuit of dimensional quality of the manufacturing process is structured based on measuring data in a post-process measuring station. It is proposed to demonstrate, thus, the viability of the proposal and the implementation of a computational software packet with these characteristics, with details about its functioning and building.

Keywords: Metrology. Quality Control. Statistical Process Control. Computer Aided Quality. Multipoint Measuring Systems.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Ferramentas para o Controle de qualidade.....	27
FIGURA 1.2 - Características de qualidade de peças mecânicas.....	28
FIGURA 1.3 - Princípios de medição aplicados ao controle. geométrico.....	30
FIGURA 1.4 - Exemplo de medição multipontos.....	32
FIGURA 1.5 -Diagrama de blocos de estações de medição multipontos com medição manual e automática.....	33
FIGURA 1.6 - Conjunto modular de dispositivos de medição	36
FIGURA 2.1 - Tarefas de medição estática.....	41
FIGURA 2.2 - Tarefas de medição com movimento.....	43
FIGURA 2.3 - Tarefas de medição auxiliares.....	43
FIGURA 2.4 - Diagrama de blocos de hardware genérico para automação de EMMs.....	44
FIGURA 2.5 - Circuitos para o interfaceamento de transdutores de deslocamento.....	46
FIGURA 2.6 - Soluções para o conjunto micro computador.....	48
FIGURA 2.7 - Funções de software para automação de EMMs.....	50
FIGURA 2.8 - Função ajuste dos transdutores.....	52
FIGURA 2.9 - Exemplo de rede de comunicação para ligação entre EMMs e estação central	55
FIGURA 3.1 - Módulos de software para automação e controle de qualidade em EMMs.....	66
FIGURA 3.2 - DFD do Sistema para Automação de EMMs.....	68
FIGURA 3.3 - DFD da função medição.....	70
FIGURA 3.4 - DFD da função configuração.....	72

FIGURA 3.5 - DFD da função ajuste.....	73
FIGURA 3.6 - Derivações de um dispositivo de interface tipo placa módulo...	78
FIGURA 3.7 -Estrutura hardware\sistema operacional\programa aplicativo com a utilização de acionador de dispositivo (Device Driver).....	80
FIGURA 4.1 - Realimentação do processo de fabricação em malha fechada....	84
FIGURA 4.2 -Exemplo de uma aplicação de um filtro de médias móveis em uma série cronológica de uma dimensão.....	90
FIGURA 4.3 - Modelo auto regressivo.....	92
FIGURA 4.4 - Realimentação do processo por avanço (feed-forward).....	93
FIGURA 4.5 -Processo realimentado sem e com compensação dos efeitos das correções	97
FIGURA 4.6 - Limites e zonas para realimentação do processo.....	99
FIGURA 4.7 - DFD do módulo para realimentação da qualidade.....	101
FIGURA 5.1 - Módulos para automação de EMMs.....	104
FIGURA 5.2 - Arquivos do módulo de execução.....	104
FIGURA 5.3 - Peça para exemplo de aplicação.....	108
FIGURA 5.4 - Modelo para a configuração do sistema.....	110
FIGURA 5.5 - Tela para edição de dados de transdutor.....	111
FIGURA 5.6 - Tela para edição de dados de características geométricos.....	112
FIGURA 5.7 - Tela para a edição de dados de tolerância.....	113
FIGURA 5.8 - Tela do módulo de ajuste.....	114
FIGURA 5.9 -Funções e estrutura de dados para aquisição e pré-tratamento..	115
FIGURA 5.10 - Interpretação de expressões.....	116
FIGURA 5.11 - Protocolo de medição para a peça exemplo.....	117
FIGURA 5.12 -Acionador de dispositivo para simulação de hardware virtual.....	118

FIGURA 5.13 - Módulos para a realimentação da qualidade dimensional.....	119
FIGURA 5.14 - Telas do módulo de análise.....	120
FIGURA 5.15 - Arquivos do módulo de realimentação.....	121
FIGURA 5.16 - Tela de definição de parâmetros de realimentação.....	124
FIGURA 5.17 - Janela de monitoração do processo.....	124
FIGURA 5.18 - Gráfico de evolução do processo.....	125

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 -Comparação entre os métodos de controle do processo por grandezas geométricas pelo local de medição.....	29
TABELA 2.1 - Tabela comparativa dos sistemas para automação de EMMs..	51
TABELA 3.1 - Exemplos de tarefas de medição e suas expressões de conversão.....	75
TABELA 4.1 -Valores recomendados de tamanho da amostra e limite de controle	91

LISTA DAS SIGLAS E ABREVIATURAS

A/D- Analógico-Digital
AR- Auto-Regressivo
ARMA - Auto-Regressivo e com Média Móvel
BCD- Código Decimal Binário
CAD- Projeto Auxiliado por Computador
CAM- Manufatura Auxiliada por Computador
CAP- Produção Auxiliada por Computador
CAQ- Qualidade Auxiliada por Computador
CEP- Controle Estatístico do Processo
CIM- Manufatura Integrada por Computador
CG- Controle Geométrico
CMM- Máquina de Medir por Coordenadas
CNC- Comando Numérico Computadorizados
CP- Índice de Capabilidade
CPK- Índice de Capabilidade com Curtosis
DFD- Diagrama de Fluxo de Dados
EMM- Estação de Medição Multipontos
FMEA - Análise de Modo e Efeito de Falha
FTA- Análise de Árvore de Falha
GUI- Interface Gráfica de Usuário
IAS- Interface de Aquisição de Sinais
IHM- Interface Homem - Máquina
I/O- Entrada/Saída
IT- Intervalo de Tolerância
LVDT - Transformador Diferencial de Variação Linear
MUX- Multiplexador
NC- Comando Numérico
PC- Computador Pessoal
RFTA - Análise de Árvore de Falhas Reserva
ROM- Memória Somente de Leitura
UTS- Unidade de Tratamento de Sinais
TD- Transdutor de Deslocamento

Sumário

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 Tendências no Controle de Qualidade	25
1.2 Caracterização do Controle de Qualidade Geométrico	27
1.3 Descrição de uma Estação de Medição Multipontos.....	32
1.4 Proposta de trabalho.....	35
2 ANÁLISE DO ESTADO TECNOLÓGICO	39
2.1 Tipos de Aplicações de EMMs	39
2.2 Estrutura Eletrônico-computacional.....	44
2.2.1 Transdutores de deslocamento e unidades de tratamento de sinais(UTS)	45
2.2.2 Interface de aquisição de sinais (IAS)	45
2.2.3 -Microcomputadores.....	47
2.3 Software para Automação de EMMs.....	49
2.3.1 - Funções de Software.....	49
2.3.2 Interface Homem-Máquina (IHM).....	54
2.3.3 Interface CIM.....	54
2.4 Descrição dos Sistemas Específicos Existentes	55
2.5 Análise Crítica	59
3 PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA FLEXÍVEL PARA A AUTOMAÇÃO DE EMMS.	65
3.1Requisitos Gerais	65
3.2 Modularização do Sistema.....	65
3.2.1 Conceitos de Modularização de Software	66
3.3 Requisitos Funcionais para Automatização de EMMs.....	67
3.4 Modularização e Especificação do Software através da Definição de uma Tarefa de Medição Genérica	69
3.4.1 Procedimentos de Automação da Medição em EMMs	69

3.4.2 Procedimentos Auxiliares a Medição	72
3.4.3 Tarefas de Preparação	72
3.5 Parâmetros Necessários a Configuração de uma Tarefa de Medição.....	73
3.6 Interface com o Hardware e com o Sistema Operacional	76
3.6.1 Dispositivos de Interface	76
3.6.2 O Sistema Operacional	78
3.6.3 Acionadores de Dispositivo (Device Drivers)	79
4 REALIMENTAÇÃO DA QUALIDADE	83
4.1 Fontes de Erro em Processos de Usinagem	85
4.2 Modelagem do Sistema.....	87
4.3 Filtragem por Médias Móveis	88
4.4 Modelos Auto-Regressivos.....	90
4.4.1 O Filtro de Kalman	94
4.4.2 Os Parâmetros de Ajuste do Modelo	95
4.5 Efeitos da Realimentação	97
4.6 Estratégias de Correção	98
4.7 Estrutura de um Sistema Para Realimentação da Qualidade.....	100
5 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA	103
5.1 - Software Modular para Automação de EMMs	103
5.1.1 Arquivo de Estruturas de Dados	105
5.1.2 Arquivos de Procedimentos de Medição	106
5.1.3 Arquivo de Procedimentos de Interface	106
5.1.4 Arquivos de Procedimentos de Classificação, Apresentação e Armazenamento	107
5.2 Exemplo de uma aplicação	107
5.2.1 Preparação do Módulo de Execução	108
5.2.2 Módulo de Configuração	110
5.2.3 Módulo de Ajuste	113
5.3.1 A Montagem dos Característicos Geométricos	116
5.3.2 Classificação, Apresentação e Armazenamento de resultados	117

5.3.3 A Simulação da Interface de Aquisição da Medição.....	117
5.4 Módulos de Realimentação da Qualidade dimensional	118
5.4.1 Módulo de Análise	119
5.4.2 Módulo de Definição de Parâmetros	120
5.4.3 Módulo de Realimentação.....	121
5.4.4 Simulação de um Caso.....	122
5.5 Considerações sobre a implementação.....	126
6 CONCLUSÕES	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
APÊNDICE A - Algoritmo de Burg-Levison	139
APÊNDICE B- Algoritmo para cálculo das correções do processo pelos métodos da média móvel	141

1 INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas a qualidade emergiu como um fator fundamental na competição entre as empresas pela conquista de mercados. Dentro das tarefas de produção o controle de qualidade é definido em (ISO,1983) como "as técnicas operacionais e atividades que são utilizadas para satisfazer os requisitos de qualidade".Com o surgimento das linhas de fabricação em grandes séries e o aumento da complexidade das peças produzidas, sistemas de inspeção automatizados rígidos, foram adotados, na industria para a realização do controle de qualidade final neste tipo de linha de produção.

Ultimamente a orientação do mercado em busca de cada vez mais se adequar as exigências do consumidor e a crescente internacionalização da economia, vêm forçando o aparecimento de sensíveis alterações nos sistemas de manufatura em busca de maiores níveis de qualidade e produtividade. Primeiramente a diminuição do ciclo de vida dos produtos, enquanto que a diversificação destes aumenta na mesma proporção (AGOSTINHO et al,1991). Segundo, o uso de estratégias de produção visando a minimização do capital investido em estoques e a diminuição dos tempos de processamento das ordens de produção. Terceiro, o aumento da flexibilidade da fabricação automatizada via uso de máquinas ferramentas de comando numérico. Como resultado a fabricação em massa vem sendo substituída cada vez mais pela fabricação em séries menores.Ao mesmo tempo é crescente o uso de computador em toda as áreas da manufatura, seja no projeto (CAD), fabricação (CAM), no planejamento da produção (CAP), no controle de qualidade (CAQ) dentre outras. Grandes esforços vem sendo dedicados para a integração destes sistemas visando alcançar o conceito de manufatura integrada por computador (CIM).Todas estas tendências exigem uma maior velocidade e flexibilidade dos métodos e meios de controle de qualidade.

1.1 Tendências no Controle de Qualidade

Devido a tais requisitos, o controle da qualidade não pode ser mais encarado como atividade estanque, restrita a inspeção final do produto. É necessário a formação de malhas de controle de qualidade durante toda as etapas de desenvolvimento do produto deste a pesquisa de requisitos de mercado, o projeto, o planejamento e a produção propriamente dita. O objetivo destas malhas de qualidade, é comparar

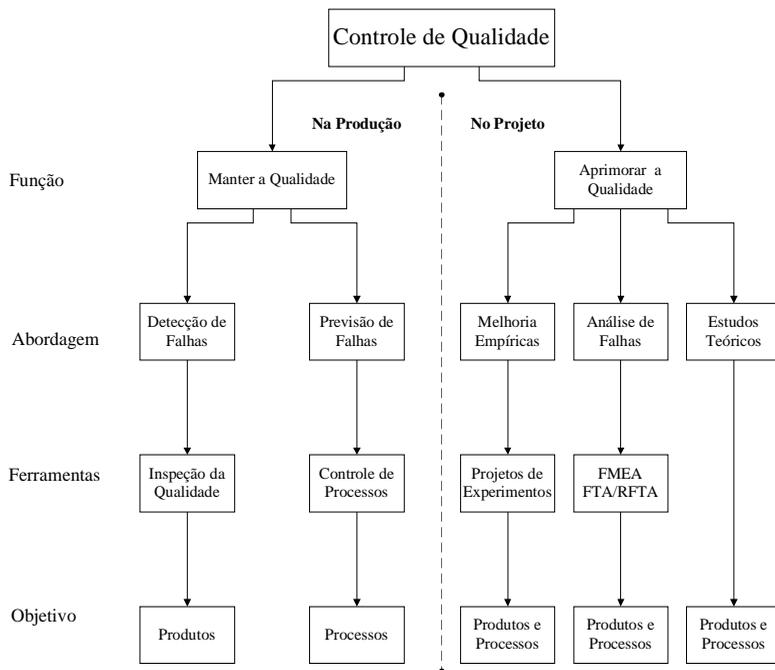
constantemente o nível real de qualidade com o padrão de qualidade desejado, tomando ações corretivas necessárias. Para tal vem sendo utilizadas uma gama de ferramentas, que podem ser classificadas conforme sua utilização, diretamente na produção (ON-LINE) ou nas etapas de pré produção (OFF-LINE) (figura 1.1). O aprimoramento da qualidade nas etapas pré-produção é o objetivo principal das ferramentas OFF-LINE, seja através de melhorias empíricas (projeto estatístico de experimentos, metodologia Taguchi), análise de falhas (FMEA, FTA, RFTA) ou de estudos teóricos. O controle de qualidade ON-LINE tem como função manter um nível de qualidade constante reduzindo sua variabilidade. Em sua evolução, o controle de qualidade ON-LINE passou de uma abordagem apenas corretiva, de inspeção de produtos para uma abordagem preventiva orientada ao controle de processos. Há indícios que no futuro haja ênfase na utilização de modelos preditivos (LIU, 199), (HUBELE e KEATS, 1987) que permitam estimar, previamente a ocorrência de falhas. Esta evolução vem se caracterizando pelo uso cada vez maior de ferramentas estatísticas e pelo deslocamento dos meios de CQ das salas de metrologia para o chão de fábrica.

O controle do processo oferece vantagens sobre a inspeção final de produtos:

- redução do custo de produção pela diminuição de refugos e retrabalhos.
- aumento do conhecimento do processo.
- estabelecimento de um nível previsível e consistente de qualidade.

No ambiente industrial estas ferramentas manipulam uma quantidade razoável de dados e seu desempenho depende da velocidade de tratamento desta informação. O computador surge como ferramenta indispensável para se atingir este objetivo, por sua performance no processamento e transporte de informações e sua flexibilidade de livre programação

FIGURA 1.1 - Ferramentas para o Controle de Qualidade.



Fonte:Elaborada pelo autor

1.2 Caracterização do Controle de Qualidade Geométrico

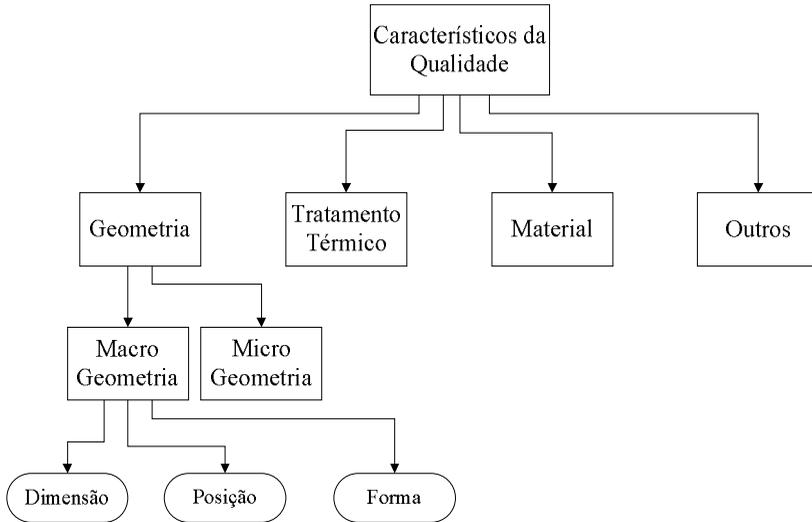
Na produção de peças mecânicas, dentro dos diversos característicos de qualidade que devem ser controlados (figura. 1.2) a geometria é nos processos de usinagem o que se dá maior atenção. Entende-se por controle geométrico de uma peça, a qualificação desta quanto a micro e macro geometria. A micro geometria compreende basicamente a rugosidade superficial. A qualificação da macro geometria de uma peça corresponde a verificação da dimensão, forma e posição dos elementos geométricos que a compõem (LABMETRO,1987).

No controle de qualidade geométrico através do controle do processo de usinagem, dois grupos de grandezas podem ser monitoradas (ALVAREZ,90):

- grandezas do processos de fabricação.
- grandezas geométricas da peça.

O controle de grandezas do processos compreende a medição e avaliação em tempo real de grandezas como força de corte, vibrações, emissões acústicas entre outras do processo de usinagem.

FIGURA 1.2 - Característicos de qualidade de peças mecânicas.



Fonte:Elaborada pelo autor

No controle de grandezas geométricas da peça, o estado do processo é avaliado, indiretamente, pela medição de características geométricas da peça fabricada. Conforme o local da medição, três métodos podem ser classificados:

- no processo: neste método a medição ocorre interna à máquina, simultaneamente a usinagem. A realimentação é feita em tempo real, ajustando-se a posição da ferramenta.

- intermitente ao processo: a medição neste método ocorre interna a máquina, antes, entre ou após as operações de usinagem, havendo distinção entre operações de usinagem e de medição. Pode-se diferenciar dentre estes, sistemas que utilizam as escalas da máquina ferramenta para medição ou sistemas com escalas próprias (exemplo: robôs de medição).

- pós-processo: neste método há distinção entre a unidade de fabricação e a unidade de inspeção. A peça é medida após a usinagem existindo um atraso mínimo de uma peça entre a usinagem e a medição.

A tabela 1.1 mostra as vantagens e restrições destes três métodos de controle de grandezas geométricas da peça.

Sob o ponto de vista de velocidade de realimentação os métodos de controle do processo internos à máquina são, conceitualmente, mais indicados por sua malha de controle mais curta, entretanto em função seus atuais custos e restrições em disponibilidade de transdutores adequados, o método de medição pós-processo é o mais comumente usado por sua aplicabilidade a todos os processos. Os princípios de medição utilizadas no controle geométrico pós processo são (Figura 1.3):

- medição direta.
- medição por coordenadas.
- medição diferencial.

A medição direta (Figura 1.3(a)) se caracteriza por existir para cada valor possível da grandeza a medir um único valor equivalente na escala do instrumento, podendo o resultado da medição ser obtido diretamente pela leitura desta sem a necessidade de medidas adicionais, o que a torna adequada para instrumentos manuais como paquímetros e micrômetros .

TABELA 1.1 -Comparação entre os métodos de controle do processo por grandezas geométricas pelo local de medição.

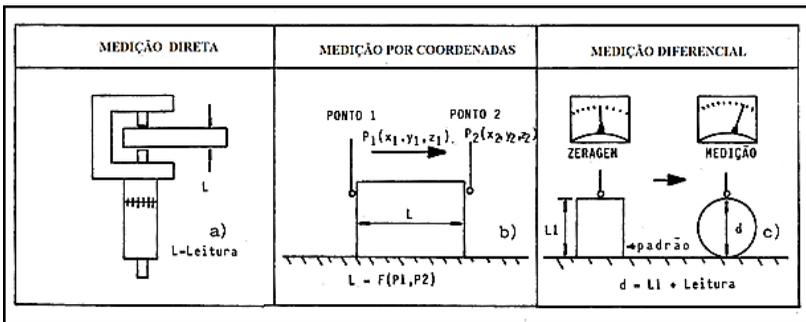
Método	Medição no Processo	Medição Intermitente ao Processo	Medição Pós-Processo
Vantagens	-Medição em tempo real -Malha de realimentação mais curta	-Estratégias de correção -Simplificadas se comparadas com pós processo	-Medição no ocupa tempo de Máquina -Distinção entre unidade de fabricação e medição -Medições mais complexas -Aplicável a todos processos

Desvantagens	-Problemas na Medição (desgaste dos sensores, condições locais) - Restrito a poucos processos -Temperatura da Peça	-Precisão dependente da máquina -Tarifas de medição pouco complexas -Ocupa tempo de máquina - Temperatura local	-Atraso em relação a peça produzida -Estratégias de correção mais complexas
Utilização	Retíficas e casos especiais (ex: usinagem eixos longos)	Localização de zero peça, superfícies de referencias e correção de ferramentas em máquinas CNC	Universal

Fonte:Elaborada pelo autor

Na medição por coordenadas (Figura 1.3(b)) a medição é realizada através da definição do característico geométrico por pontos em um sistema de coordenadas pré-estabelecido. Com o posterior processamento dos dados é obtido o resultado da medição. Sua principal vantagem é a grande flexibilidade para medir peças e característicos geométricos diferentes, principalmente porque a obtenção do resultado da medição depender do processamento das coordenadas dos pontos apalados independente do tipo de peça.

FIGURA 1.3 - Princípios de medição aplicados ao controle geométrico.



Fonte:Elaborada pelo autor

O advento do computador trouxe grandes aperfeiçoamentos a equipamentos que utilizam este método como as máquinas de medir por

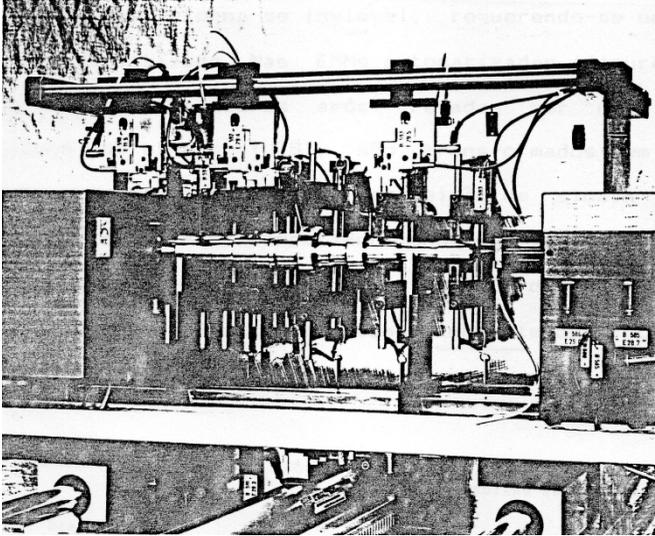
coordenadas (CMMs), por agilizar o processamento de dados. As máquinas de medir por coordenadas principalmente, quando dotadas de comando numérico computadorizado, vem sendo apontadas como solução para a inspeção de pequenos lotes nos sistemas flexíveis de manufatura. Entretanto apenas 3-5% destes equipamentos (GOELZE,1989) são atualmente utilizados para inspeção geométrica pós-processo em chão de fábrica. Isto se deve em parte a seu alto custo inicial, a limitações destes equipamentos em sua capacidade operacional sobre estas condições e a sua velocidade de medição. As CMMs são sistemas sensíveis principalmente a variação de temperatura sendo que fatores como pressão barométrica, umidade, concentração de gases e partículas, luminosidade e vibrações são fatores que devem ser também considerados (DOEBELIN,1990) como fontes de erro, exigindo ambientes climatizados para manter suas características metrológicas. Outro problema relativo ao uso de CMMs, principalmente para o controle de peças pequenas e de revolução é a fixação destas para a medição (SHANKAR,1989).

O princípio de medição do método diferencial (figura 1.3 (c)) que é tratado neste trabalho, é baseado em medir a diferença dimensional entre uma peça padrão e a peça em medição. Este método apresenta algumas vantagens metrológicas:

- possibilidade de uso de instrumentos com faixa de operação menores, o que representa na prática menores incertezas de medição. Medindo apenas pequenos deslocamentos lineares dos transdutores consegue-se através de montagens e processamentos adequados obter simultaneamente diferentes características geométricas como no exemplo da figura 1.4, com o que se consegue grande velocidade de medição de peças. Esta característica se denomina, no âmbito deste trabalho, como medição multipontos e os sistemas que a realizam como estações de medição multipontos (EMMs). Por medir a diferença as deformações térmicas e mecânicas sofridas pela peça medida são em parte compensadas pelas sofridas pela peça padrão, mesmo porque a variação de força de medição é pequena. Além disso os eventuais desajustes podem ser armazenados para posterior correção. Isto torna o método menos sensível a variações ambientais, portanto mais adequado ao uso em chão de fábrica.

A utilização de montagem mecânica específica e a necessidade de uma peça padrão são entretanto restrições à flexibilidade deste método.

FIGURA 1.4 - Exemplo de medição Multipontos.



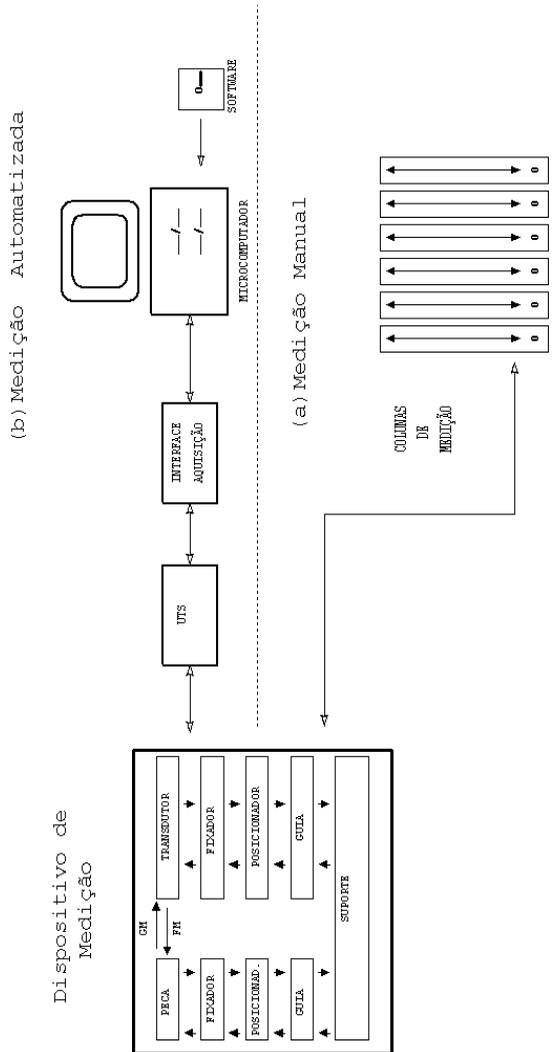
Fonte: Adaptado de(HOMMELWERKE, 1987)

1.3 Descrição de uma Estação de Medição Multipontos.

A figura 1.5 apresenta de forma esquemática os componentes básicos de uma EMM. Os dispositivos de medição são constituídos de transdutores de deslocamento e componentes mecânicos para ajuste, fixação e posicionamento da peça a medir. Nas estações com medição manual os deslocamentos dos transdutores são obtidos de unidades de tratamento e indicação, tipicamente na forma de colunas de medição pneumáticas ou eletrônicas (figura 1.5 (a)) ou de relógios comparadores.

Com o aumento do número de pontos medidos e a necessidade de medir parâmetros de forma e posição a medição manual torna-se inviável, requerendo-se um sistema de medição automatizado. Nas EMMs automatizadas (figura 1.5(b)) os sinais dos transdutores após tratados por uma unidade de tratamento de sinais (UTS), são transformados em informação digital por uma interface de aquisição de sinais (IAS) para processamento em microcomputador onde um software executará as funções necessárias como obtenção dos característicos geométricos, classificação da peça e controle do processo.

FIGURA 1.5 -Diagrama de blocos de estações de medição multipontos com medição manual e automática.



Fonte:Elaborada pelo autor

Em um nível maior de automação existem EMMs com alimentação e manipulação automática de peças, tipicamente na forma de máquinas "transfer" como nos casos apresentados em (HOMMELWERKE,1987) e (MITUTOYO,1990).

As EMMs são equipamentos, tradicionalmente, utilizados na indústria para o controle geométrico de peças em produção de grandes séries, seja na forma de estações próximas ao processo ou no caso de classificação de peças. Nota-se na bibliografia (SHANKAR,1989) (GIGER,1985), (DEMMER,1986), (GROTE,1990) e (STADELHOFER,1990) a utilização destas estações de medição no CQ de séries menores como opção a sistemas como as CMMs ou sistemas de medição opto eletrônicos automatizados como os micrômetros laser por "scanning". Em (STADELHOFER,1989) e (DEMMER,1986) são propostos sistemas deste tipo para o CQ de médios e pequenos lotes de peças cilíndricas junto a tornos CNC. Em (GROTE,1990) um sistema tipo EMM é usado para a inspeção de pequenos lotes de eixos de manivela (virabrequim) para motores de vários números de cilindros. Em (STADELHOFER,1990) uma célula flexível de torneamento utiliza-se de uma EMM para estação de CQ, inclusive com realimentação automática do processo. em final de produção. Já em (GIGER,1985) existe uma preocupação com flexibilidade e diminuição de tempo de "setup" em uma EMM tipo "transfer" para controle de famílias de eixos com faixas entre 0 - 100 mm de diâmetro e 0 - 300 mm de comprimento.

Tais aplicações exigem o aumento da flexibilidade destes sistemas para permitir menores prazos e custos nas mudanças no tipo de peça a ser inspecionada. Isto envolve basicamente dois aspectos:

a) projeto e utilização de dispositivos de medição universais caracterizados por sua flexibilidade de medição de diferentes parâmetros. Dentro destes existem os conjuntos modulares de dispositivos (figura 1.6) como os apresentados em (PEREIRA,1991). Tal trabalho se constitui em uma metodologia de projeto de dispositivos , a construção de um protótipo de conjunto modular de dispositivos para o inspeção da geometria de peças cilíndricas e prismáticas e uma biblioteca CAD para aceleração do desenvolvimento do projeto.

b) flexibilização da automatização destas estações para permitir uma maior flexibilidade de utilização, como também uma maior integração com outros sistemas dentro de um ambiente de manufatura informatizado, principalmente, com o processo de fabricação para a realização completa do CQ (medição, avaliação e correção) com o

mínimo de interferência do operador. Esta flexibilização passa pela modularização e padronização de componentes de hardware utilizados, o que envolve os microcomputadores, interfaces de aquisição e unidades de tratamento de sinal (figura 1.5(b)) assim como os de software computacional visando maior facilidade de programação das tarefas de CQ.

1.4 Proposta de trabalho

Os objetivos do trabalho são a estruturação, o desenvolvimento e a implementação de um sistema flexível para automação de EMMs. Utilizando-se de componentes padrão de hardware é proposto um conjunto de módulos de software com funções universais, que satisfaçam os requisitos operacionais e metrológicos existentes e que permitam obter, rapidamente, uma configuração que atenda uma tarefa de controle geométrico específica, de modo a permitir a sua utilização no controle de qualidade de menores séries de peças. São também objetivos que este sistema seja:

- genérico: para atender o maior número possível de tarefas de CG sem necessidade de reprogramação;

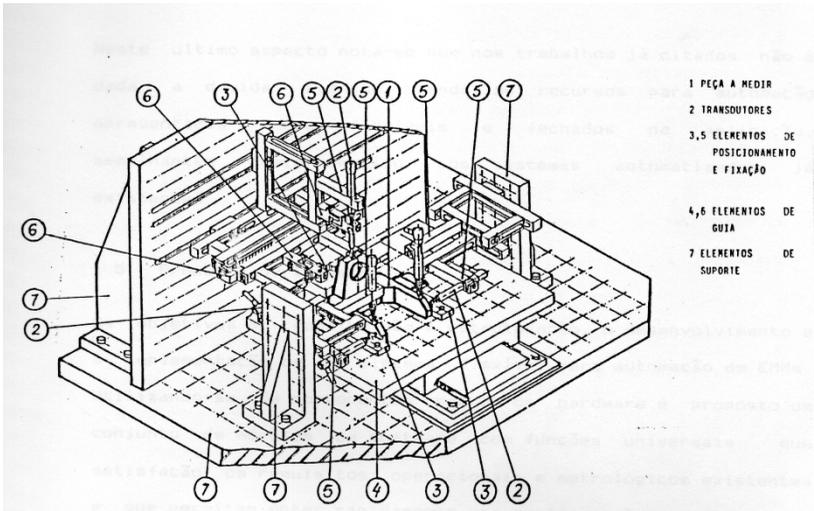
- aberto: para que possa ser modificado ou integrado a outros sistemas automatizados pelo próprio usuário através da utilização de uma linguagem de programação de uso geral ou/e componentes de software e hardware de mercado;

- expansível: para que possa ser ampliado pela inclusão de novos módulos, garantindo sua evolução.

Possibilitada por este sistema e por ser uma tendência (ALVAREZ,1990) e (GOELZE,1989) no CQ em linha de produção, pelos benefícios em diminuição de peças refugadas e retrabalhadas que sua utilização ocasiona, a realimentação do processo de fabricação pela interpretação dos dados de medição para a formação de uma malha fechada de qualidade é também objetivo. É enfatizada neste trabalho a realização de um sistema de regulação deste tipo baseado na medição de peças em EMMs, assunto este não plenamente desenvolvido na bibliografia (GOELZE,1989), (DEMMER,1986) e (STADELHOFER,1990), de ainda reduzida difusão no meio industrial e restrito em sua utilização a centros de pesquisas. O atendimento a estes objetivos enquadra o sistema proposto dentro no conceito CIM de

automação flexível de manufatura. Os trabalhos são apresentados conforme a ordem que se segue.

FIGURA 1.6 - Conjunto modular de dispositivos de medição.



Fonte: Adaptado de (Pereira, 1991)

No capítulo 2 é realizada uma análise do estado tecnológico dos sistemas existentes nos aspectos de hardware e software utilizados, limitações e um estudo comparativo entre as soluções técnicas adotadas. No capítulo 3 é proposto a estrutura de uma configuração básica de software para a automação de EMMs, analisando-se os requisitos a serem cumpridos, as funções e os parâmetros necessários e a forma de interação com o hardware. No capítulo 4 são analisados aspectos referentes à realimentação automática da qualidade dimensional como análise dos métodos existentes, modelagem do sistema e algoritmos de cálculo, sendo proposto um módulo de software para tal fim. No capítulo 5 são apresentadas as implementações dos módulos de software propostos nos capítulos 3 e 4 com exemplos de sua configuração para uma determinada tarefa de CG, o que permitirá obter uma visão sobre

seus detalhes e limitações. Finalizando são apresentadas conclusões do trabalho e recomendações para sua continuidade no capítulo 6.

2 ANÁLISE DO ESTADO TECNOLÓGICO

Por não existir bibliografia extensa na forma de livros e artigos sobre EMMs esta análise será baseada, principalmente em catálogos de fabricantes destes sistemas a nível mundial, a destacar: TESA e PRETEC (Suíça); Feinprüf, Marposs e Hommelwerke (Alemanha); Vernon (Inglaterra) e Mitutoyo (Japão).

2.1 Tipos de Aplicações de EMMs

A principal aplicação de EMMs é a medição de peças cilíndricas, havendo utilização para medição de peças de geometria prismática ou irregular. Basicamente existem três tipos de medição em EMMs:

- medição (geométrica) estática.
- medição (geométrica) com movimento.
- medições auxiliares.

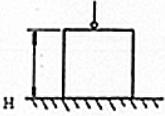
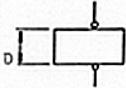
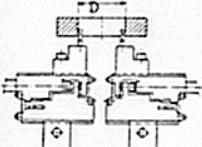
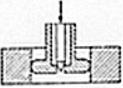
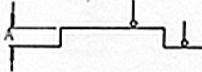
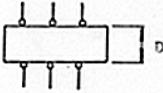
A medição estática é realizada com peças e transdutores parados e através desta obtém-se dimensões, erros de forma e de posição. A medição com movimento se caracteriza pelo movimento relativo entre peça e transdutor durante a medição, sua utilização é principalmente a medição de forma e posição de peças de revolução como eixos e válvulas automotivas. Como exemplos deste tipo de medição podem citados casos encontrados em (GROTE,1990), (STADELHOFER,1990) e (YONGSHENG et al,1990). As medições auxiliares são medições, como a de temperatura para compensação de dilatação térmica, medições para verificar posicionamentos de peças para compensação e/ou alarme ou medições de outras grandezas.

Nas figuras 2.1, 2.2, 2.3 são mostrados os esquemas das mais comuns tarefas de medições realizadas, são apresentadas nas figuras a grandeza, os pontos de medição e a função matemática utilizada para converter os valores de leitura dos transdutores na peça medido. Nas funções matemáticas apresentadas T_1, T_2, \dots, T_n se representam leituras dos transdutores e K constantes ajustadas a peça padrão. Comumente na medição multipontos a medição de um transdutor é utilizada para determinar mais de uma grandeza geométrica quando associado a outros diferentes.

A medição com movimento é mais complexa sob o ponto de vista mecânico e apresenta o problema de maiores desgastes mecânicos

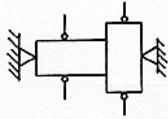
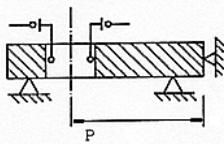
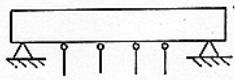
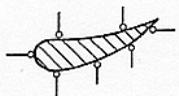
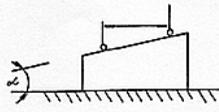
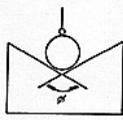
causados pelo contato transdutor/peça. As atividades de controle de processos e classificação de peças em chão de fábrica, estão de maneira geral, mais ligadas a verificação dimensional e de desvios de forma e posição do que a medição total da forma, de modo que, com o conhecimento do processo em relação as suas imperfeições e dos requisitos geométricos do projeto da peça consegue-se, através de montagens adequadas de transdutores substituir em vários casos medições com movimento por medições estáticas, relegando-se a medição da forma, a intervalos maiores de inspeção, em instrumentos especializados. Como exemplo em cilindros, o erro de forma (ovalidade) pode ser avaliado mediante a medição do diâmetro maior e do menor, entretanto se a forma gerada é de polígonos iso-espessos sua avaliação necessitará de medição com movimento em prisma cujo o angulo é função do número de faces do iso-espesso (LABMETRO,1987) e (AGOSTINHO et al,1981). Em casos como este ultimo (figura 2.2), principalmente em peças cilíndricas de pequenas dimensões, a medição com movimento é a solução indicada. Para delimitação da extensão do presente trabalho, será dada maior atenção neste às EMMs de medição estática, embora muitos dos aspectos aqui discutidos possam ser estendidos às de medição com movimento.

FIGURA 2.1 - Tarefas de medição estática.

	ESQUEMA	MEDIÇÃO	FUNÇÃO MATEMÁTICA
DIMENSÃO		ALTURA	$H = T_1 + k$
DIMENSÃO		DIÂMETRO EXTERNO	$D = T_2 + T_1 + k$
DIMENSÃO		DIÂMETRO INTERNO	$D = T_2 + T_1 + k$
DIMENSÃO		DIÂMETRO INTERNO	$D = k_1 \cdot T_1 + k$
DIMENSÃO		AFASTAMENTO	$A = T_1 - T_2 + k$
DIMENSÃO		DIÂMETRO MÉDIO	$D = \frac{(T_1 + T_2 + T_3) - (T_4 + T_5 + T_6)}{3}$

Fonte:Elaborada pelo autor

FIGURA 2.1 (continuação) - Tarefas de medição estática.

	ESQUEMA	MEDIÇÃO	FUNÇÃO MATEMÁTICA
POSIÇÃO		CONCENTRICIDADE	$C = \frac{((T1+T3)-(T2+T4))}{2}$
POSIÇÃO		CENTRO FURO	$P = \frac{(T1+T2)}{2} + k$
FORMA		ERRO DE RETILINEIDADE	$E = \max (T_i)$
FORMA		ERRO DE CONTORNO	$E = \max (T_i)$
DIMENSÃO		ÂNGULO	$A = \text{ARC Tg} \cdot \frac{(T1-T2+k)}{L}$
DIMENSÃO		DIÂMETRO COM BLOCO V	$D = C \cdot T1 + k$

Fonte:Elaborada pelo autor

FIGURA 2.2 - Tarefas de medição com movimento

	ESQUEMA	MEDIÇÃO	FUNÇÃO MATEMÁTICA
FORMA		BATIMENTO RADIAL	$B = \max (T1) - \min (T1)$
POSIÇÃO		CONCENTRICIDADE	$C = \frac{\max ((T1+T3) - (T2+T4))}{2}$
FORMA		BATIMENTO AXIAL	$B = \max (T1) - \min (T1)$
FORMA		CONICIDADE	$C = \max (T1 - T2)$

Fonte:Elaborada pelo autor

FIGURA 2.3 - Tarefas de medição auxiliares.

	ESQUEMA	MEDIÇÃO	FUNÇÃO MATEMÁTICA
COMPENSAÇÃO		TEMPERATURA	$h = ((T1+k) \cdot k1 (t1-t0))$
ALARME		POSICIONAMENTO	$IF = ((t1-T2) > k)$ então alerta

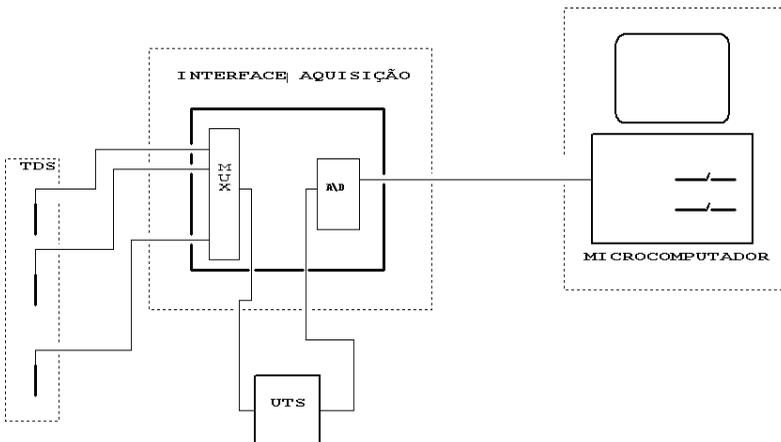
Fonte:Elaborada pelo autor

2.2 Estrutura Eletrônico-computacional

A estrutura típica de um hardware utilizado para automação pode ser vista na figura 2.4 (detalhamento da figura 1.6). Os principais componentes são:

- transdutores de deslocamento (TD).
- unidade de tratamento de sinais (UTS).
- sinais binários de comando (I/O digital).
- interface de aquisição de sinais (IAS).
- microcomputador.

FIGURA 2.4 - Diagrama de blocos de hardware genérico para automação de EMMs.



Fonte:Elaborada pelo autor

2.2.1 Transdutores de deslocamento e unidades de tratamento de sinais(UTS)

Os transdutores utilizados na medição automatizada em EMMs são basicamente de dois tipos:

- TDs indutivos (LVDT ou variação da indutância).
- TDs eletro-ótico digitais.

Os TDs indutivos são os mais utilizados por suas características metrológicas, confiabilidade e tamanho em função de que existem vários fabricantes no mercado, de vários tipos e formas construtivas. Os TDs indutivos são passivos e necessitam de uma UTS para, amplificação e de modulação para que possam fornecer sinal elétrico analógico(tensão ou corrente) proporcional ao deslocamento.

Os TDs eletro-óticos digitais são de tecnologia mais recente e apresentam a vantagem de maior faixa de operação. Sua UTS é basicamente um contador de pulsos gerados pelo transdutor tendo a atual desvantagem de não terem atingido ainda o grau de miniaturização dos TDs indutivos.

2.2.2 Interface de aquisição de sinais (IAS)

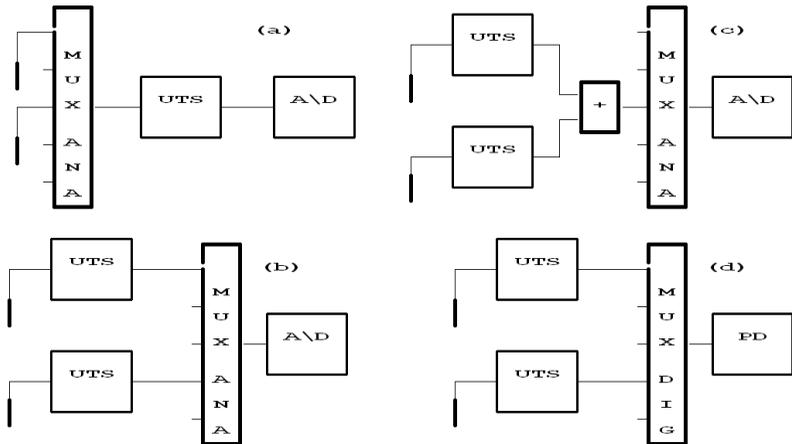
A interface de aquisição tem duas funções básicas:

- adquirir os sinais elétricos dos TDs e transformá-los em informação digital legível ao microcomputador.
- adquirir sinais binários de comando e supervisão externos (figura 2.4) que habilitem a medição. Estes sinais podem ser gerados por:
 - botoeiras
 - chaves fim-de-curso
 - sensores de proximidade
 - contadores de peças

Para a aquisição de sinais de vários TDs indutivos é necessário um circuito formado por um multiplexador e conversor analógico-digital(A/D). Algumas soluções diferentes são implementadas pelos

fabricantes no que diz respeito de onde fazer a multiplexação. Uma primeira solução utilizada por (TESA,1989) e (VERNON,1990) é fazer a multiplexação antes da UTS (figura 2.5 (a)), isto tem a vantagem de se utilizar uma só UTS para vários transdutores. Outra possibilidade é a realização da multiplexação após a UTS (figura 2.5(b)) sendo esta solução utilizada em (PRETEC,1987), onde também existe o recurso de se realizar operações analógicas como soma, diferença ou média antes da multiplexação (figura 2.5(c)).

FIGURA 2.5 - Circuitos para o interfaceamento de transdutores de deslocamento.



Fonte:Elaborada pelo autor

Os conversores A/D utilizados por estes sistemas tem resolução entre 12 a 14 bits e a numero de canais do multiplexador está entre 32 a 64 TDs. No caso de utilização de TDs eletro-óticos digitais estes possuem eletrônica digital incorporada, geralmente, fornecendo como saída uma interface digital BCD(figura 2.5(d)) como em (MARPOSS,1987).

A nível de software componentes para interfaceamento exigem a utilização de rotinas de baixo nível para sua manipulação (exemplo: ler

um A/D, chavear um canal no MUX), rotinas estas dependentes do hardware utilizado.

2.2.3 Microcomputadores

Basicamente pode-se identificar dois grupos de microcomputadores utilizados para automação de EMMs: microcomputadores proprietários e microcomputadores compatíveis em micros de linha como o IBM-PC e mais restritamente os da linha Apple. Os microcomputadores dedicados são implementações fechadas do próprio fabricante baseado em CPUs de 8 ou 16 bits. Como exemplos destes sistemas podemos citar (TESA,1989), (MARPOSS,1987) e (FEINPRÜF,1986). A utilização de microcomputadores compatíveis com IBM-PC é uma tendência seguida por um número cada vez maior de fabricantes (VERNON,1990), (MITUTOYO,1984), (ATI,1989) e (HELIOS,1989). Os recursos fornecidos nestes sistemas basicamente são:

- vídeo ou display de cristal liquido(LCD).
- teclado funcional com teclas programadas.
- leds e alarmes de aviso.
- drives para disquete, cassete ou winchester.
- interface para impressora e teclado padrão.

Na figura 2.6 pode-se observar as soluções encontradas para composição do conjunto microcomputador-IAS :

a)Placas de interface de aquisição no barramento do computador em módulo único (Figura 2.6(a)) é a solução adotada por (MARPOSS,1987). Este tipo de solução apresenta a desvantagem de limitação da distancia entre os transdutores e o microcomputador.

b)Interface de Aquisição Modular, que se constitui basicamente de um rack-barramento com CPU dedicada ligada ao micro por interface serial (figura 2.6(b)). Esta configuração apresenta a vantagem de uma maior modularidade, podendo o microcomputador estar ligado a varias IAS remotas. O sistema (VERNON,1990) é um exemplo deste tipo de solução.

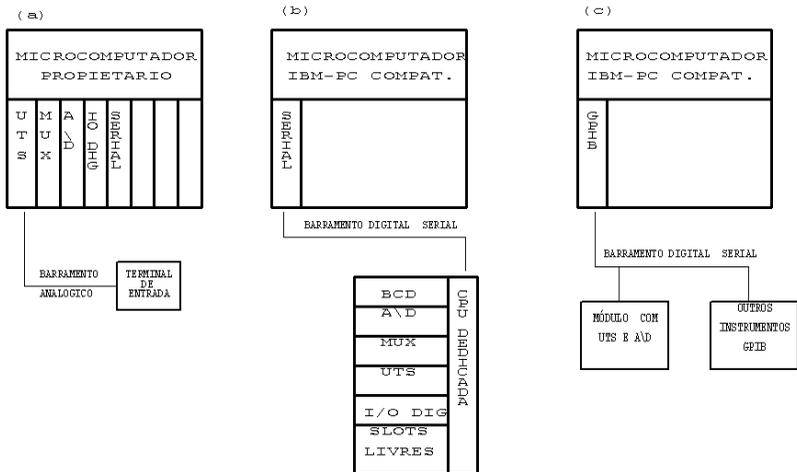
c)Módulo "stand-alone" ligado ao computador por interface GPIB(IEEE 488) (figura 2.6(c)) ou serial. Nesta solução encontrada em(SCHLUMBERGER,1991), em módulo específico para a medição de

TDs indutivos, estão concentrados os componentes necessários para a aquisição de até 16 TDs. O padrão GPIB oferece a vantagem de poder concentrar até 15 dispositivos (multipontos) em um único barramento, além de possuir protocolo de comunicação normalizado, apesar de apresentar restrições na distância máxima (<20 m) entre o módulo e o computador controlador. Este módulo (SCHLUMBERGER,1991) pode trabalhar sem o computador com a adição de uma unidade de indicação do fabricante em tarefas de CG simples.

Vários fabricantes de sistemas do tipo a) e b) permitem a expansão de suas IASs reservando espaço livre no barramento para outras placas como:

- Serial RS 232.
- Interfaces BCD.
- I/O digitais opto-isoladas.
- Interfaces analógicas para outras grandezas.

FIGURA 2.6 - Soluções para o conjunto micro computador.



Fonte:Elaborada pelo autor

2.3 Software para Automação de EMMs.

Os softwares existentes no mercado podem ser avaliados conforme as seguintes itens:

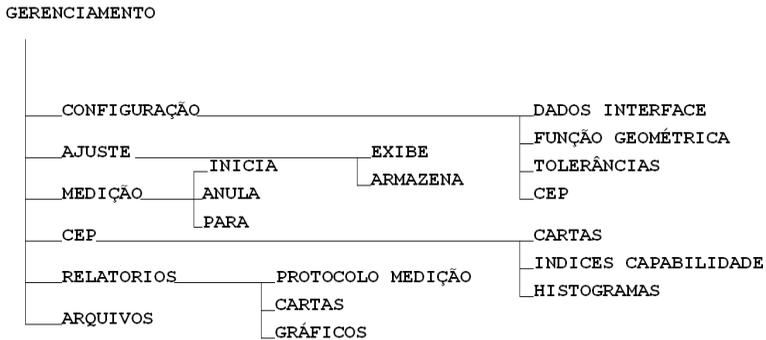
- a) independência ao hardware(portabilidade).
- b) capacidade de integração .
- c) disponibilidade e preço no mercado.
- d) Flexibilidade com respeito a adaptação às tarefas de medição no que inclui o ambiente de desenvolvimento e a documentação fornecida.
- e) número de funções disponíveis para a aplicação.
- f) facilidade de manipulação (interface homem-máquina).

Segundo os itens a) e b) existe dependência entre o software e hardware destes sistemas e a análise de ambos deve ser conjunta. A tabela 2.1 apresenta um estudo comparativo dos recursos de hardware e software dos principais sistemas para automação de EMMs disponíveis(c)) no mercado. Podemos separar dois grupos de software analogamente ao tipo microcomputador utilizado, proprietário ou compatível com IBM-PC. Os sistemas desenvolvidos para IBM-PC, geralmente, utilizam sistema operacional DOS e dentre estes existem pacotes de software não exclusivos para automação de EMMs. Pela grande difusão no mercado do conjunto IBM-PC\DOS em termos de hardware e software, os sistemas desenvolvidos para este ambiente, apresentam vantagens de maior facilidade de integração com outros pacotes, quando comparados com sistemas proprietários. A nível de facilidade de programação (d)) pode se observar na tabela a existência deste sistemas com poucos recursos de programação a sistemas com maior numero de funções programáveis por software e com algum tipo de ambiente de desenvolvimento fornecidos ao usuário.

2.3.1 Funções de Software

Os softwares dos sistemas analisados (GROTE,1990), (YONGSHENG et al,1990), (MITUTOYO,1994), (TESA,1989), (VERNO , 1990), (PRETEC,1987) e (MARPOSS,1987) de uma maneira geral apresentam um mesmo conjunto básico de funções (e)).

FIGURA 2.7 - Funções de software para automação de EMMs.



Fonte:Elaborada pelo autor

Visando facilitar o manuseio por usuários poucos experientes em programação (f) os sistemas se caracterizam pela utilização de menus para seleção das funções. Uma apresentação que já considera uma estrutura adequada para a utilização de menus pode ser encontrada em (MITUTOYO,1994) que é mostrada com algumas modificações na figura 2.7.

A função configuração permite a entrada de parâmetros necessários preparação para execução de uma dada aplicação. Desta função depende diretamente a flexibilidade do software, em se adaptar a uma tarefa de medição e pode ser dividida conforme:

- configuração para aquisição de dados (dados de interface e transdutores).
- configuração de característicos geométricos (identificação, relação entre transdutores e peça padrão).
- configuração de classes e tolerâncias para classificação de peças.
- configuração de parâmetros para Controle Estatístico do Processo (CEP).
- configuração de formato e modo de saída (tela, disco, impressora).

TABELA 2.1 -Tabela Comparativa dos Sistemas para automação de EMMs

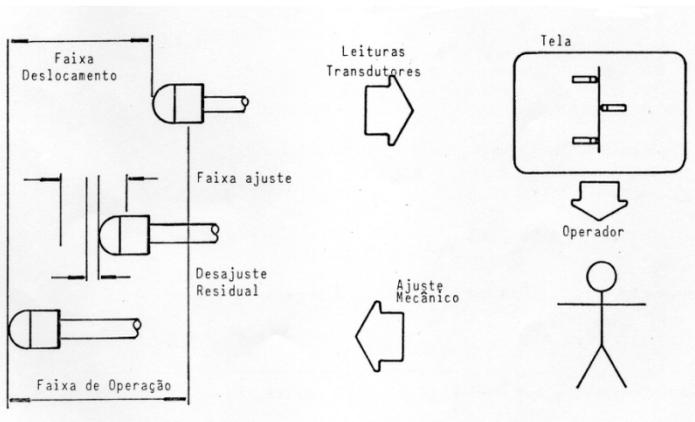
Sistemas	MARPOSS E3	TESA CQC200	FEINPRUNF MILTRON R9030	MARPOSS LS38
HARDWARE				
CPU	ND	16	ND	ND
Memória	ND	106 kb	128kb	ND
Teclado	Sim	Sim	Sim	Sim
Periféricos	ND	C+D+P	2D	D
Transdutor	Indutivo	Indutivo	Indutivo	Indutivo
A/D	ND	12 bits	ND	ND
Número Canais	64	64	32	32
Interfaces	Internas	Internas	Interna/Externa	Interna
Placas Extras	ND	I/O Digital, RS232	BCD,RS232	I/O Digital,BCD, Analógica, RS232
Rede	NF	Sim	Sim	ND
SOFTWARE BÁSICO				
SO	ND	ND	OS-9	ND
Ambiente	NF	Basic	NF	NF
Instalação	EPROM	DISCO	DISCO	DISCO
Numero Estações	ND	5	7	4
SOFTWARE APLICATIVO				
Ajuste	Gráfico	Gráfico	ND	Numérico/ Gráfico
CEP	ND	H, CP	H, X&R,CP, IT	X&R,I,CP,H
Medição	MDS	MDS,MA, SOMA, DIFERENÇA,MAXIMO,MI NIMO,HIPOTENUSA,	MDS	MDS
Classificação	ND	5 Classes	MD	12 Classes
Gráficos	NF	Semi-gráfico	Monocromático , BR	Monocromático,BR
IHM	Menus	Menus	Menus	Menus
Exportação Dados	NF	NF	NF	NF

Sistemas	VERNON VCS II	APROVE	PRETEC P3M	MITUTOYO SPC M-STAT
HARDWARE				
CPU	PC-AT	PC-XT	ND	PC-XT
Memória	1 Mb	640 Kb	64 kb	PC-XT
Teclado	sim	não	Sim	sim
Periféricos	HD +FD	PC Compatível	C+D	PC Compatível
Transdutor	Indutivo	Indutivo/Digital	Indutivo	Digital
A/D	14 bits	ND	ND	---
Número Canais	64	ND	ND	10por placa
Interfaces	Externa	Interna/Externa	Interna/Externa	Externa
Placas Extras	BCD,I/O Digital,Analógica, RS232	BCD,I/O Digital,Analógica, RS232, Timer,Reles, I/O Analógica, IEEE488	BCD,I/O Digital,Analógica, RS232, Timer,Reles, I/O Analógica, IEEE488	Aberto
Rede				
SOFTWARE BÁSICO				
Sistema Operacional	DOS	DOS	ND	DOS

Ambiente	NF	GML	BASIC	NF
Instalação	DISCO	DISCO	DISCO	DISCO
Numero Estações	8	ND	1	5
SOFTWARE APLICATIVO				
Ajuste	Numérico	Numérico/Gráfico	ND	ND
CEP	X&R, X&S, CP,IT	X&R, X&S, CP, H	X&R,CP,H	I,H,CP,X&R, X&S
Medição	ND	Programável	MDS	Medição Absoluta
Classificação	ND	Programável	ND	NF
Gráficos	AR, Colorido	AR, Colorido	BR,Colorido	AR, Colorido
IHM	PP,Help,Janelas	PP, Help,Janelas	MS	MS
Exportação Dado	ND	LOTUS 123	ASII	Proprietário
LEGENDA				
ND Não Documentado NF Não Fornecido X&R Carta de CEP Media e Amplitude X&S Carta de CEP Média e Desvio Padrão H Histograma CP Índice de Capabilidade I Carta de individuais		IT Indicadores de Tendências BR Baixa Resolução AR Alta Resolução PP Menus Pop-ups MS Menus Texto MA Medição Absoluta MDS Medição Diferencial Simples		

Fonte:Elaborada pelo autor

FIGURA 2.8 - Função ajuste dos transdutores.



Fonte:Elaborada pelo autor

A função ajuste (figura 2.8) auxilia o operador a obter a "zeragem" mecânica dos transdutores em relação a peça padrão. As leituras são apresentadas no vídeo em valor numérico ou gráfico de

barras. Após obtido o melhor ajuste mecânico possível, os valores de desajustes residuais são armazenados para posterior compensação durante a medição.

A função medição executa a seqüência de procedimentos necessários a medição que são:

- aquisição de dados dos transdutores.
- processamento para obtenção dos característicos geométricos.
- classificação da peça em relação as tolerâncias (retrabalho/refugo/boa).
- apresentação dos resultados para o operador ou emissão de relatórios.
- gravação em mídia.

Estes procedimentos são executados sob o ponto de vista do usuário em uma única operação. Permite também ao operador anular ou abortar a operação. Alguns sistemas possuem opção de entrada manual de dados para casos eventuais de falhas no sistema de aquisição. Muitos dos sistemas existentes apresentam capacidade de suportar a automação de vários dispositivos de medição em um mesmo microcomputador, não de forma multitarefa simultânea, mas alternando seqüencialmente a utilização da CPU entre as estações através de comandos ou teclas específicas, tratando cada dispositivo de uma vez.

A função CEP contém procedimentos de Controle Estatístico do Processo (CEP) como:

- cálculo de parâmetros como média, desvio e amplitude das amostras.
- cartas de controle média e amplitude(\bar{X} & R)e/ou média e desvio padrão (\bar{X} & S) .
- histogramas.
- índices de capacidade CPK, CP.
- análise de tendências (RUN, TREND, MIDDLE-RUN).

A função relatório permite a emissão de protocolos de medição, relatórios ou gráficos via impressora acoplada.

A função arquivo possibilita o acesso e a manipulação dos arquivos previamente gravados de dados no sistema. Em alguns sistemas é permitida a exportação e importação de dados em formatos definidos.

2.3.2 Interface Homem-Máquina (IHM).

As interfaces homem-máquina (IHM) disponíveis, variam deste sistemas com apresentação em displays de cristal liquido, com baixa capacidade de apresentação, a sistemas com monitores de vídeo padrão VGA e painéis com teclado especial com teclas programadas, sinais luminosos e sonoros de aviso. A nível de software existem pacotes pobres em IHM com tratamento de telas e erros de operação limitados, sendo que os sistemas mais recentes apresentam facilidades como menus tipo "pop-up", janelas múltiplas e ajuda "on-line". Nota-se que não existem sistemas com interface homem-máquina orientadas a ícones ou interfaces gráficas de usuário (GUI) como Microsoft Windows®.

2.3.3 Interface CIM

Segundo (LÜCKE,1990) um sistema de garantia de qualidade em um ambiente CIM requer três tipos de integração de seus sub-sistemas:

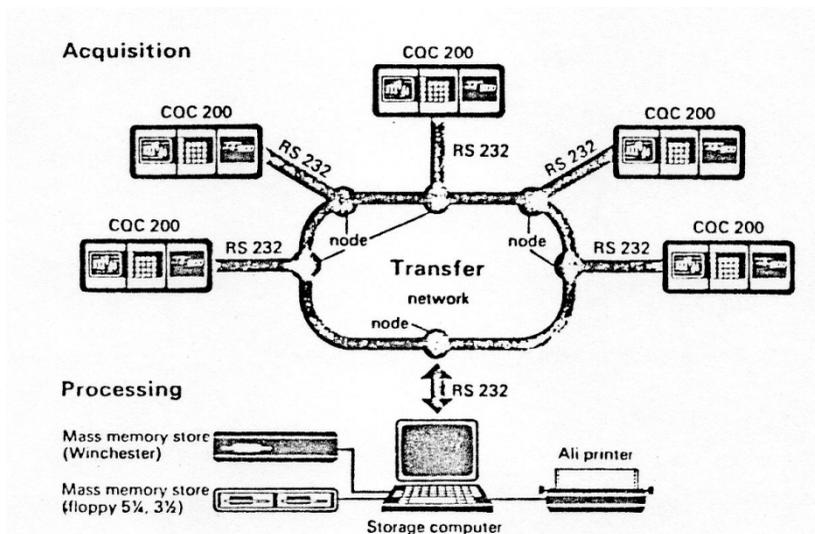
-integração vertical, que se refere a integração dentro do próprio sistema de qualidade, como no caso existente de estações de medição e uma base de dados de qualidade ou uma estação central de CEP.

-integração funcional(ou horizontal), que é a integração com outros subsistemas CIM a cada nível de criação do produto, tendo como exemplo relação entre o sistema CAQ e sistemas CAD/CAM ou a realização do planejamento de inspeção integrado com o planejamento do processo (CAPP).

-integração de processo, entendida aqui como a integração a nível de chão de fábrica entre a unidade de inspeção e a unidade de fabricação, com o objetivo de se controlar o processo, seja diretamente na formação de uma malha fechada ou,seqüencialmente, entre os estágios de produção como por exemplo, de uma peça que é processada em duas máquinas e inspecionada entre estas (exemplo: máquina1 -> estação de CQ -> máquina2).

Alguns fabricantes fornecem alguma integração vertical com a opção de interligar suas estações em rede a um computador central. Um exemplo típico é o sistema (TESA,1989) que utiliza uma rede proprietária para centralização de dados para CEP em um microcomputador central (figura 2.9). A exportação de dados em formatos padrão é também permitida em alguns sistemas como Lotus 123® em (VERNON,1990) e ASCII em (SMG,1989). O sistema (MITUTOYO,1984) permite algum grau de integração de processo através da ligação entre as unidades de fabricação e inspeção para realimentação do processo, embora tal integração seja de forma proprietária tanto a nível de software ou a nível de hardware.

FIGURA 2.9 - Exemplo de rede de comunicação para ligação entre EMMs e estação central .



Fonte: Adaptado de (TESA,1989).

2.4 Descrição dos Sistemas Específicos Existentes

Apesar de apresentarem basicamente as mesmas funções os sistemas para automação de EMMs se distinguem por algumas

características especiais que são a seguir apresentadas. Para melhor visão do conjunto de soluções existentes no mercado, serão discutidos três sistemas baseados em microcomputadores proprietários (Marposs, TESA e Feinprüf) e três baseados em microcomputadores compatíveis com IBM-PC (Mitutoyo, Vernon e APPROVE).

Já há algum tempo no mercado, mais ainda representativo, o sistema Marposs (MARPOSS,1987), apresenta seus componentes em um único bastidor onde estão concentrados os recursos de hardware e um software gravado em ROM. É um sistema pouco flexível, com poucas funções configuráveis, voltado principalmente para o controle de processos em tornos CNC, com possibilidade de ligação direta com o CNC da máquina, não apresentando as funções de armazenamento de dados ou de apresentação de informação gráfica para o operador. Para o cálculo das correções do processo se utiliza de "médias geométricas ou número definido de pré-descarte de peças" (MARPOSS,1987).

Dentre os sistemas com microcomputadores proprietários o sistema TESA CQC200(TESA,1989), é o que apresenta maior flexibilidade. Trata-se de um sistema típico orientado a menu. O seu menu principal contém 5 opções:

- configuração.
- ajuste dos transdutores.
- zeragem dos transdutores.
- medição
- estatística.

O modo de configuração ("definition mode"), de sua versão estendida permite, a entrada de campos para:

- identificação da peça e da estação(11 caracteres).
- dados para interfaceamento como : limite para timeout, atraso em relação ao sinal para habilitação de medição(trigger).
- dados de transdutores: tipo, faixa de operação e fator de correção.
- definição de característicos geométricos: código por três caracteres alfanuméricos para identificação na função matemática de medição (exemplo D01).

-definição de funções matemáticas para cálculo dos característicos através de:

- soma ou diferença de até 8 TDs ou outra função de medição, cada um multiplicado por uma constante. (exemplo: $D01=0.5*P1+0.5*P2$, onde P1, P2 são transdutores e D01 é a média).
- cálculo da hipotenusa para medição indireta (exemplo: cálculo de um comprimento de uma linha com um ângulo em relação ao eixo de medição).
- cálculo do valor máximo e mínimo de várias dimensões para cálculo de erro de forma ou posição pela medição de vários pontos em uma superfície ou linha. (exemplo $M9=MAX(M1,M2..M8)$).

-definição de dados numéricos das dimensões como dimensão nominal, dimensão de referência, tolerâncias superior e inferior.

-definição de modo de saída (display, impressora ou disco).

O sistema permite a definição de 5 opções para a classificação de característicos que são retrabalho interno (furo), retrabalho externo (eixo), refugo exclusivo, retrabalho exclusivo e sem classificação.

É possível neste sistema reescrever programas em dialeto da linguagem BASIC do fabricante, utilizando algumas funções do software "standart" em caso de aplicações especiais. Este fabricante propõe um sistema para CEP distribuído entre as EMMs e um computador central, adotando a estratégia de realizar os procedimentos mais simples do CEP nas EMMs e os procedimentos gráficos mais complexos junto com o armazenamento dos dados no computador central.

Um sistema mais antigo mas com maior capacidade de processamento de CEP local, é o Feinprüf(FEINPRÜF,1986), que possui melhores recursos gráficos e indicadores de tendências no processo (RUN/TREND/ MIDDLE-THIRD) por software através da análise de cartas X&R. O apoio a medição entretanto é mais restrito.

O sistema Mitutoyo (MITUTOYO,1984), para micros IBM-PC compatíveis, apresenta a particularidade de ser dedicado a TDs eletro-óticos digitais. É composto por interface para TDs do fabricante que é ligada ao micro via serial RS 232 e do software que é voltado exclusivamente para CEP, não possuindo as funções de ajuste e de

classificação de peças. O ajuste dos TDs é realizado diretamente na UTS que possui indicador.

O sistema Vernon (VERNON,1990), é fornecido em módulos compostos por dispositivos de medição, transdutores, interface de aquisição, microcomputador tipo PC-AT e software para CEP. O software possui elaborada interface homem - maquina com menus e janelas múltiplas. Para configuração o sistema utiliza-se de um modulo do software designado "editor de programas" para geração de programas de medição específicos. Possui o conjunto básico de rotinas de CEP local, com boa capacidade gráfica, permitindo também a exportação de dados no formato Lotus 123 ®(popular planilha eletrônica).

O sistema APPROVE (SMG,1989) é um sistema de propósito geral não exclusivo para EMMs. É constituído por conjunto de placas de interface para micro IBM-PC compatível, para suporte de diversas funções de aquisição e comando e um software genérico para controle de qualidade e de processos. A configuração do software é realizada por menus e por um conjunto de instruções interno denominado "linguagem geral de metrologia" (GML) do próprio fabricante com sintaxe semelhante ao Pascal. Esta linguagem possui comandos com funções:

- matemáticas : ABS(), EXP(), SQRT().
- lógicas: AND, NOT, OR.
- entrada e saída (I/O) : INPUT, OUTPUT, FPRINT.
- especializadas : MAX, MIN, OUTTOL.
- miscelânea : BEEP, MENSAGE.

O sistema permite através desta linguagem a definição de "checks de qualidade" como no exemplo a seguir:

```

FORMULA OF QUALICHECK:
if Outwarn( Diametro_1 ) then
begin
    BEEP; { alarme sonoro}
    Message("diâmetro requer controle");
end;
if Outtol ( Diametro_2 ) then;
begin
    Message ("Diametro2 fora da tolerancia")
    Output(5,ON);

```

```
end;  
else Output(5,OFF);
```

As Funções Outwarn e Outtol do exemplo, verificam respectivamente a dimensão especificada está sob controle ou fora da tolerância. A função Output a seta o valor uma porta digital enquanto BEEP faz soar um alarme. A linguagem GLM possui suporte para manipulação de arquivos, sendo possível a importação e exportação de dados no formato ASCII. Dados usuais como as tolerâncias das dimensões e os limites das cartas de controle para o CEP podem ser configurados diretamente por menus específicos. O sistema possui suporte para suas placas através de "device drives" específicos selecionados por menus. O fabricante fornece suporte a vários tipos de redes de comunicação para ligação com outros computadores.

2.5 Análise Crítica

A facilidade de utilização é um alvo geral dos sistemas para a automação de EMMs analisados, sendo a configuração dos sistemas, com algumas exceções, realizada por janelas e menus específicos. Tal solução favorece o uso do sistemas por usuários poucos treinados em programação, mas restringe a preparação do sistema a entrada de parâmetros a funções fechadas, pré-definidas, resultando em menor flexibilidade dos sistemas, que é comprometida nos seguintes aspectos:

a)Hardware: parte dos sistemas disponíveis utilizam-se de hardware de arquitetura própria. A capacidade de memória destes sistemas se situa entre 64 a 128 kbyte o que satisfaz os requisitos iniciais do sistema mas restringe a expansão do software seja pela inclusão de novas variáveis ou procedimentos. Alguns destes sistemas o software vem instalado em memória EPROM,uma solução que dificulta a reprogramação. Os sistemas baseados em microcomputadores IBM-PC compatíveis, são uma solução mais flexível devido a arquitetura aberta, a quantidade de documentação disponível e o grande número de periféricos, placas e softwares para desenvolvimento existentes no mercado para diversas aplicações, o que facilita qualquer modificação.

Alguns fabricantes, como o Vernon (VERNON,1990) fornecem interfaces com um bom grau de modularidade com

diversas funções disponíveis. Nota-se que não existe padronização em termos suporte de software para estas placas. Um recurso obsoleto utilizado em alguns sistemas (PRETEC,1987) e (MARPOSS,1987) é a necessidade realização de operações analógicas como soma, subtração e média para a obtenção de resultados que poderiam ser conseguidos, mais precisamente e com menos custo por software, visto que a velocidade da operação não é crítica nestes sistemas.

b) Ambiente de programação: Pode-se notar na tabela 2.1 que a maioria dos fabricantes não fornece ambientes para livre programação de seus sistemas. Alguns fabricantes como (TESA,1989) e (PRETEC,1987) oferecem interpretadores BASIC em seus sistemas. Esta solução, assim como a linguagem GML (SMG,1989), não podem ser classificadas como ambientes de programação completos para automação, visto que não tem controle completo sobre operações com o hardware ou o sistema operacional. Em sistemas compatíveis com o IBM-PC ou outros micros de linha este problema poderia ser superado pela oferta de ambientes de programação disponíveis no mercado caso estes sistemas fossem abertos.

c) Software aplicativo: A crescente evolução dos sistemas informáticos exige que os softwares sejam realizados com preocupação de futuras modificações para aumentar o seu ciclo de vida. Os softwares dos sistemas estudados, geralmente, são fornecidos na forma de um programa executável, sendo que os fabricantes, em geral não tem a preocupação de fornecer bibliotecas documentadas de funções ou código fonte de seus sistemas, para que o usuário possa fazer suas próprias modificações, nem um modo alternativo de fazer uma integração entre seus pacotes e outros sistemas. Os softwares em geral, apresentam grande dependência com o hardware, não permitindo o uso de, por exemplo, outra interface de aquisição, unidade de tratamento de sinais ou transdutores (geralmente do mesmo fabricante) para qual foram previstos. A capacidade de medição de características que dependam da associação matemática de vários transdutores, só é apresentada explicitamente por dois fabricantes, do mesmo modo que existe

poucos recursos para medições auxiliares. A forma de como é implementada a automação de varias estações por um único microcomputador é ineficiente e deveria ser realizada pelo uso de um sistema operacional multitarefa. Cabe destacar que nos sistemas mais flexíveis como o APPROVE(SMG, 1989), existe um limite de opções permitidas ao usuário, restringindo ao fabricante a possibilidade de modificações maiores como, por exemplo, implementar um novo tipo de carta de controle ou uma interface com um robô de manipulação o que na prática aumenta os custos de modificações. Na verdade as possibilidades de modificações são muitas, sendo inviável cobri-las, totalmente por um sistema voltado a menu, sob pena de este sistema ficar demasiadamente mais complexo em sua utilização que a programação via linguagens de programação de uso geral.

d) Comparação com Pacotes de Software Genéricos de Aquisição e Análise de Dados: De uma certa forma muitos dos sistemas para automação de EMMs se mostram obsoletos em termos de recursos e concepção, quando comparados com outros pacotes para aquisição e análise de dados mais modernos existentes no mercado (LÜCKE,1990), (SCHMALZAL,1991) e (BURR-BROWN,1990). Entre os pacotes de software para aquisição e análise de dados disponíveis, há um conjunto de soluções em termos de flexibilidade e facilidade de programação, que variam deste bibliotecas de funções para linguagens de programação (pacotes orientados a comando segundo (LÜCKE,1990), sistemas orientados a menu que como exemplo podemos citar o Labtech Notebook® (BURR-BROWN,1990) e mais recentemente como evolução destes últimos sistemas orientados a programação em ícone sem ambientes gráficos como o MS-Windows®. Um exemplo típico de um sistema orientado a ícone é o sistema HP-ITG (HEWLETT PACKARD,1990) para instrumentos programáveis de barramento GPIB ou VXI. Tal sistema apresenta a programação do ensaio diretamente em ícone com layout semelhante ao painel do instrumento, sendo gerado automaticamente código fonte das funções programadas em linguagens como C e BASIC . Isto representa vantagens em termos de flexibilidade, facilidade de utilização e abertura do sistema para o usuário. Já o Labtech Notebook® (BURR-BROWN,1990) oferece suporte a razoável faixa de hardware, um bom número de funções programáveis, integração com

planilhas eletrônicas, possibilidade de iteração com outros programas em tempo de execução e disponibilidade para diversas plataformas. Outro pacote que une características destes dois últimos é o LabView® (NATIONAL INSTRUMENTS,1990) para microcomputadores APPLE e IBM-PC.

Entretanto estes pacotes são voltados principalmente para aplicações em testes e ensaios em laboratório com instrumentos programáveis ou placas - PC, não suportando em completo as características comuns a medição geométrica multipontos como o grande número de transdutores semelhantes, a combinação entre leituras de transdutores e a medida da peça padrão para a obtenção do resultado de medição e funções de CG como a classificação de peças.

e) Interface CIM : Dentre os sistemas analisados os fabricantes que fornecem algum grau de integração vertical permitem a transferência de dados via rede de comunicação para um computador central principalmente para centralização do CEP. Esta solução é ainda primitiva visto que não há nenhuma padronização no tipo de rede utilizada, no formato de dados e protocolos utilizados. Inclusive a forma de centralização do CEP em alguns sistemas é conceitualmente errada pois as informações de forma gráfica ficam disponíveis apenas ao supervisor da estação central, restando ao operador(que teoricamente realizaria o controle do processo) apenas informações textuais resumidas por restrições de hardware e software do sistema (falta de resolução no vídeo, pouca memória para programa). A utilização de redes de campo (Fieldbus) vêm sendo proposta para a padronização da ligação de dispositivos em chão de fábrica (TANNOCK ,1988). O gerenciamento de informações de qualidade em um ambiente CIM não encontrou ainda solução definitiva mas a idéia do uso de bases de dados distribuídas é proposta em muitos trabalhos (LEPIKSON,1990), (BONSE,1989) e (TANNOCK ,1988) sendo que em algumas implementações vêm sendo usados conhecidos pacotes de software para base de dados como Dbase III® ou Clipper® (BONSE,1989) .

Tais restrições destes sistemas podem ser contornadas através de uma maior modularização do sistema e pelo não uso de soluções

fechadas e proprietárias, cumprindo-se as premissas de flexibilidade e expansibilidade. A modularização consiste na utilização de componentes distintos e independentes de hardware e software com interfaces definidas e preferencialmente padronizadas. No caso do hardware, isto consiste na utilização interfaces de aquisição modulares aliados a microcomputadores de arquitetura aberta, soluções já adotadas por alguns fabricantes. A nível mundial os microcomputadores compatíveis com o IBM-PC (principalmente) e o APPLE Macintosh®, são as linhas mais utilizadas para aplicações de aquisição e análise de dados com diversos fornecedores de versões industriais (CONTROL ENGINEERING,1992), placas e softwares para tal fim. As interfaces de aquisição existentes no mercado ainda não alcançaram um grau de padronização total principalmente,a nível de software básico e de barramentos de comunicação adotados (GPIB/RS 232C/VXI bus), mas existe grande variedade de placas e funções disponíveis no mercado a custo razoável.

A nível de software tais objetivos seriam satisfeitos por um sistema que permitisse fácil utilização por pessoas não especializadas em programação, mais que fosse aberto o suficiente para que modificações mais profundas(expansões, migrações de hardware, etc.) fossem efetuadas, com custos e prazos razoáveis pelo próprio usuário .

3 PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA FLEXÍVEL PARA A AUTOMAÇÃO DE EMMs.

3.1 Requisitos Gerais

Os requisitos gerais para o desenvolvimento de um sistema flexível para automação de EMMs, em parte apresentados no capítulo 2 e, em (GROTE,1990), podem ser resumidos nos seguintes conceitos:

a)Flexibilidade: o sistema deve atender a uma grande gama de tarefas de medição específicas, com possibilidade de reconfiguração rápida.

b)Expansibilidade: deve permitir a partir de uma configuração inicial a expansão do sistema pela adição de novas funções.

c)Confiabilidade: além de realizar resultados confiáveis, o sistema deve prever meios para detecção e tratamento de erros de funcionamento.

d)Usabilidade: a comunicação com o usuário deve ser realizada através de interface simples e amigável.

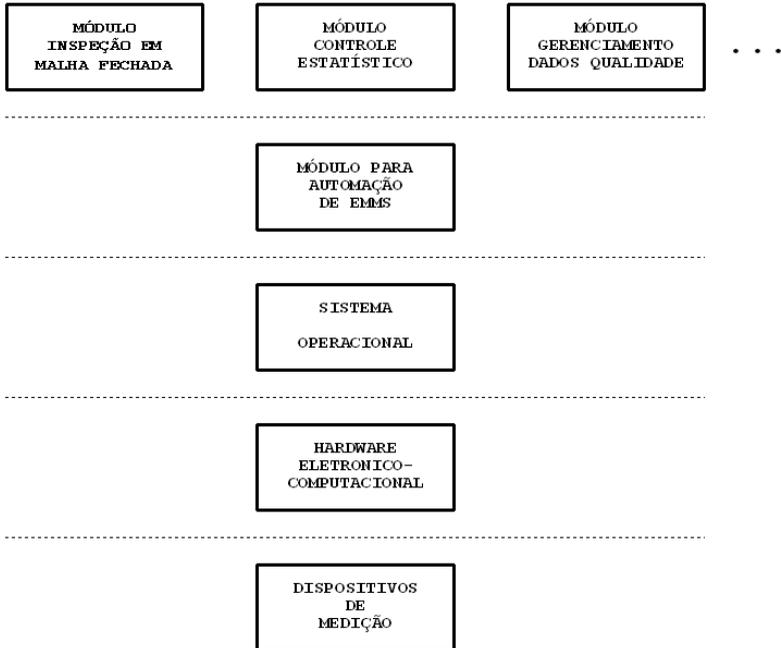
e)Portabilidade: a independência hardware/software deve ser a maior possível.

3.2 Modularização do Sistema

A satisfação dos diversos requisitos citados exige que o sistema deva ser modular para garantir a independência e integridade de seus diversos componentes. A nível de hardware esta modularização passa pela utilização de microcomputadores e interfaces padronizadas existentes no mercado já citados no capítulo 2. A nível de software nota-se que não existe no mercado um sistema que satisfaça estas exigências.

As diferentes possibilidades, para a aplicação de uma EMM dentro do contexto do controle de qualidade auxiliado por computador, exige que existam interações entre módulos, com funções de controle de qualidade genéricas a qualquer unidade de inspeção (figura 3.1) e o software para automação de EMMs. Do mesmo modo deve-se manter o software o mais independente possível da aplicação, do sistema operacional e do hardware utilizado. A simples utilização de menus, para configuração de um pacote fechado de funções, não é suficiente para satisfazer todas estas possibilidades.

FIGURA 3.1 - Módulos de software para automação e controle de qualidade em EMMs.



Fonte:Elaborada pelo autor

A solução proposta é o desenvolvimento de um pacote aberto e modular, realizado em linguagem de programação de uso geral, que permita atender estes requisitos através da facilidade de reprogramação pela reutilização do código, combinando as vantagens de utilização dos pacotes orientados a menu, com a flexibilidade de uma linguagem de programação.

3.2.1 Conceitos de Modularização de Software

O uso da divisão de software computacional em módulos é usado há décadas, mas os benefícios em relação a extensibilidade e reusabilidade do código só são alcançados se os módulos sejam independentes, coerentes e organizados de forma robusta. Dois

conceitos básicos estão ligados a modularização de software (BONSE,1989) :

-Abstração: a abstração é uma descrição ou especificação simplificada de um sistema, que enfatiza somente os detalhes e propriedades significantes no momento para o usuário, provendo uma diminuição da complexidade do sistema como um todo.

-Encapsulamento : Os detalhes internos da construção de um módulo são ocultos dos outros, de modo que os dados e procedimentos contidos em um módulo devem ser inacessíveis a outros módulos, que não tem necessidade de utilizá-los.

Os benefícios de software realizado em módulos são muitos:

-facilidade de desenvolvimento pois as funções podem ser divididas em compartimentos e distribuídas entre equipes.

-facilidade de manutenção e teste, visto que os efeitos secundários das modificações são limitados.

- extensibilidade pela adição de novos módulos.

-aumento da portabilidade, pois funções dependentes do hardware ou do sistema operacional podem ser confinadas em módulos.

3.3 Requisitos Funcionais para Automatização de EMMs

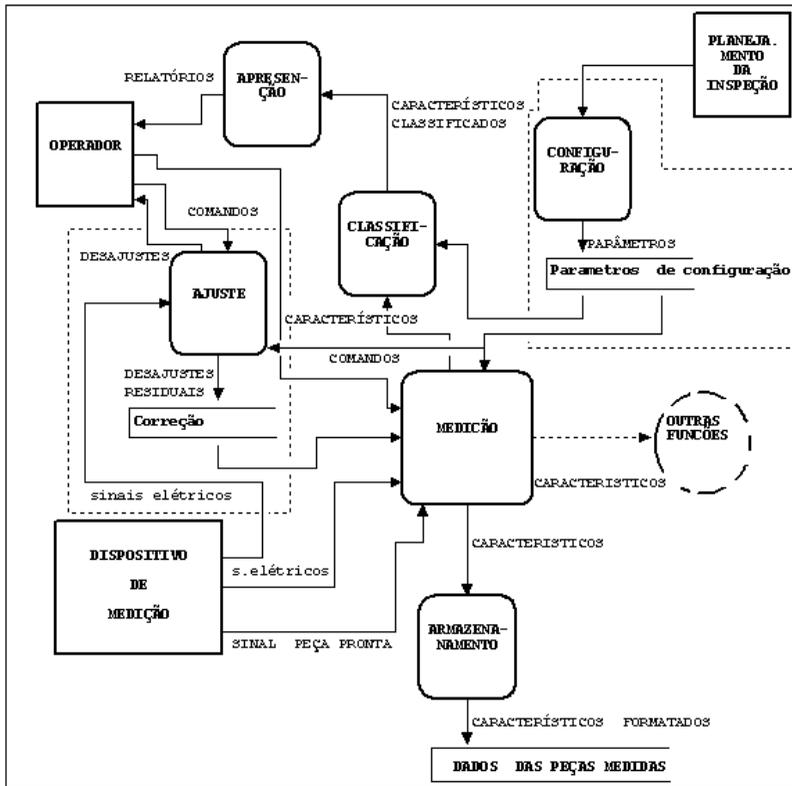
A configuração mínima de um software para a automação de EMMs, deve atender a um conjunto de funções básicas para que a partir destas, novas funções possam ser agregadas. A figura 3.2 apresenta um diagrama de fluxo de dados (DFD) de um sistema básico para a automação de EMMs.

Deve se separar as tarefas necessárias apenas a automação de EMMs de outras tarefas necessárias apenas ao controle de qualidade (exemplo: Controle Estatístico do Processo). Os requisitos funcionais de um sistema mínimo para automação de EMMs são:

a) Fornecer meios para preparar a estação para uma aplicação, que consiste:

- configuração do sistema: estabelecer parâmetros a uma medição de determinada peça como pontos de medição, características geométricas medidos e associadas tolerâncias de fabricação.
- ajuste dos transdutores: auxiliar o ajuste mecânico dos transdutores à peça padrão.

FIGURA 3.2DFD do Sistema para Automação de EMMs



Fonte:Elaborada pelo autor

b)Possuir capacidade de medir automaticamente os característicos geométricos das peças a partir da aquisição e processamento dos dados gerados pelos dispositivos de medição.

c) Permitir interface com o operador da estação para a realização de operações de avaliação e de interação com a estação:

- apresentação dos resultados: os resultados da medição devem estar disponíveis ao operador na forma de protocolo de medição.

- indicar a presença de possíveis erros de operação.

- parar/reinicializar a operação ou anular determinada medição.

- classificação da peça.

d) Armazenamento dos resultados: possuir meios para armazenamento dos resultados de medição para a estes possam ser utilizados em tarefas pós medição.

Pelo DFD da figura 3.2 pode se verificar que as tarefas de ajuste e configuração podem ser decompostas em módulos estanques, já que as mesmas se interligam com as outras tarefas somente pelos dados gerados, tratando-se de tarefas de "setup" que não precisam ser repetidas a cada medição de uma peça.

3.4 Modularização e Especificação do Software através da Definição de uma Tarefa de Medição Genérica

A especificação do software deve partir da definição de uma tarefa de medição genérica, para torná-lo possível ao maior número de casos. A automação de uma tarefa de medição envolve um conjunto definido de dados de configuração (transdutores, característicos, tolerâncias) e uma seqüência lógica de procedimentos (funções), que devem ser combinados para obtenção do resultado de medição. Para que o sistema seja facilmente configurável, os procedimentos utilizados devem ser universais a qualquer tarefa de medição, o que exige uma estrutura de dados genérica que represente e suporte as variações inerentes de cada tipo de tarefa.

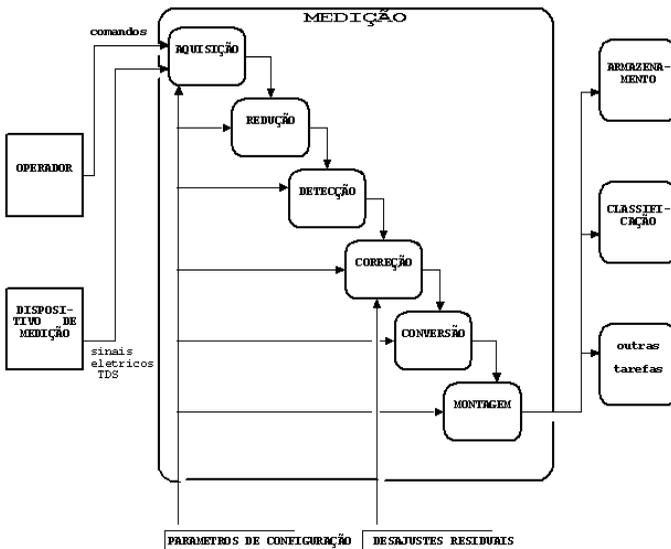
3.4.1 Procedimentos de Automação da Medição em EMMs

A figura 3.3 mostra uma expansão do DFD da tarefa medição apresentando os procedimentos necessários à medição de uma peça. Os procedimentos podem ser divididos em módulos, pois realizam um conjunto de tarefas seqüenciais, isoladas, que podem ser interfaceadas

apenas pela passagem dos dados processados entre si. As tarefas necessárias são descritas a seguir:

a) Aquisição de dados: a primeira tarefa necessária à medição automatizada é a aquisição de dados. Após a habilitação desta tarefa feita por sinal de comando do operador ou de dispositivos como sensores de peça como chaves fim-de-curso é realizada a aquisição através da leitura através da IAS. Como resultado desta operação pode ser obtida uma matriz com as leituras brutas. A realização de uma rotina genérica para aquisição dos dados dada a atual falta de padronização das interfaces de aquisição não é totalmente possível, entretanto como será discutido adiante neste capítulo, pode-se contornar esta restrição utilizando-se recursos do sistema operacional.

FIGURA 3.3 - DFD da função medição.



Fonte: Elaborada pelo autor

b) Pré-tratamento dos dados: os dados brutos provenientes da aquisição, precisam de uma série de tratamentos antes que possam ser

obtidas grandezas geométricas. Basicamente os tratamentos necessários são:

- Redução de dados: para obtenção da média das leituras de cada transdutor e de um valor de medida de variabilidade (amplitude ou o desvio padrão) para se avaliar a repetibilidade dos mesmos.

- Detecção de erros: os valores da média e da amplitude devem ser comparados a uma faixa de valores aceitáveis para a identificação de erros grosseiros ou falhas no sistema de medição, anulando a medição e alertando o operador nestes casos.

- Correção dos desajustes: os desajustes residuais armazenados na fase de ajuste mecânico devem ser compensados dos valores obtidos.

- Conversão de unidades: os valores validados devem ser transformados de unidades elétricas para unidades geométricas, através das funções de transferência.

c)Montagem do característico geométrico: os valores tratados das leituras dos transdutores precisam ser combinados por expressão de matemática adequada para a obtenção dos característicos geométricos.

Após a realização desta operações, os valores dos característicos geométricos já estão obtidos e restam apenas realizar as tarefas de controle qualidade:

- Classificação da peça: obtidos os resultados de medição estes devem ser comparados com suas tolerâncias de fabricação para classificação da peça. Eventualmente esta função pode ser usada para acionar um dispositivo para manipulação ou marcação da peça, conforme resultados da classificação.

- Apresentação de resultados: os resultados devem ser tornar disponíveis ao operador via tela de vídeo ou protocolo de medição. A forma de apresentação permite ao operador fácil visualização dos resultados, se possível, de forma gráfica, alertando sobre as eventuais anomalias.

- Armazenamento de dados: os resultados obtidos devem ser gravados em memória não volátil, para posterior processamento. O formato de gravação dos dados deve ser implementado de forma que este possa ser facilmente exportados para outras aplicações.

3.4.2 Procedimentos Auxiliares a Medição

Além das operações sequenciais que, necessitam ser repetidas a cada medição de uma peça, outras funções devem estar disponíveis no software durante a medição:

-Cancelamento/reinicialização: necessário que para reinicialização da tarefa possa ser requisitada pelo operador (caso comum de erro de operação).

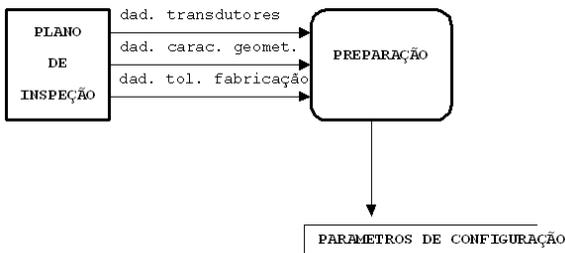
-Zeragem: é comum durante a medição de varias peças, periodicamente, realizar a medição da peça padrão para efetuar a zeragem dos transdutores (novos valores de desajustes residuais).

-Tratamento de erros: durante todo o processo de medição podem haver erros (hardware, medição ou de tratamento), que precisam ser adequadamente tratados para manter a confiabilidade do sistema.

3.4.3 Tarefas de Preparação

Os tarefas de preparação do sistema, basicamente, são duas preparação do software para medição e ajuste dos transdutores. Previamente a realização do CQ propriamente dito, deve existir a etapa de planejamento da inspeção, em que são definidos os característicos que devem ser controlados, o projeto, construção e montagem dos componentes mecânicos e de hardware eletrônico computacional e a definição dos parâmetros para configuração do software. Estes parâmetros devem ser facilmente definidos por um módulo de configuração conforme o DFD da figura 3.4.

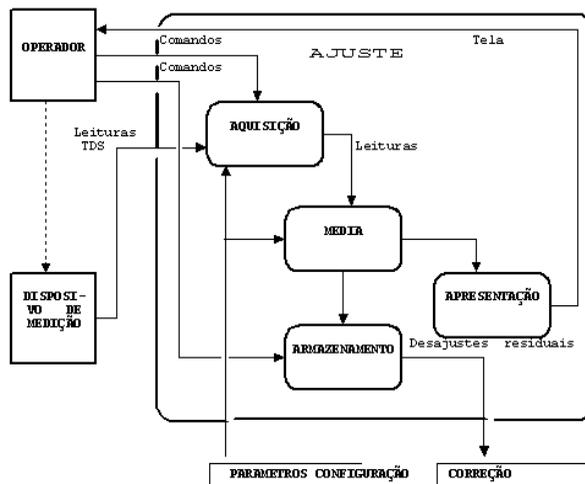
FIGURA 3.4 DFD da função configuração.



Fonte:Elaborada pelo autor

Após esta etapa e com a montagem de todo o sistema (hardware e software) cabe, então ao operador ajustar os transdutores a peça padrão. Este ajuste é uma necessidade operacional dos transdutores indutivos de deslocamento, que além de terem pequena faixa de operação, apresentam variações de linearidade nas extremidades da faixa, de modo que para otimizar sua incerteza de medição precisam trabalhar centrados. Este trabalho de ajuste exige interação do operador com o sistema de automação\dispositivo. Uma vez obtido o melhor ajuste possível é necessário armazenar os eventuais desajustes para posterior compensação. Esta tarefa é representada pelo DFD da figura 3.5.

FIGURA 3.5 - DFD da função ajuste.



Fonte:Elaborada pelo autor

3.5 Parâmetros Necessários a Configuração de uma Tarefa de Medição

Os parâmetros necessários a configuração de uma medição em uma EMM estão relacionados a transdutor, aos característicos geométricos e as tolerâncias da peça e podem ser representados por três tipos abstratos de dados: transdutor, característico geométrico e tolerância. O tipo de dado transdutor contem informações sobre os

transdutores utilizados na medição. O tipo de dado característico geométrico relaciona as grandezas geométricas da peça medida em relação as leituras dos transdutores. As tolerâncias de fabricação e a forma de classificação do característico estão contidas no tipo tolerância.

a) O Tipo de Dado Transdutor: Os transdutores realizam a medição dos deslocamentos nos pontos de medição na peça, como transdutor aqui entendemos como transdutores elétricos, isto é que transformar a grandeza medida em sinal elétrico digital ou analógico com determinada razão de proporcionalidade (função transferência). Nos objetivos deste sistema (medição automatizada), os parâmetros necessários a caracterização de um transdutor genérico são:

- Tipo: Digital ou analógico.
- Características metrológicas e operacionais:
- função transferência: geralmente paramétrica na forma linear $(Ax+b)$.
- faixa de operação.
- repetibilidade.
- dados para interfaceamento:
 - seqüência de medição.
 - número de leituras recomendável.
 - endereçamento na interface de aquisição.

A diferenciação entre transdutor digital e analógico se deve ao modo de como é feita aquisição destes dispositivos de medição na interface. Como já citado no capítulo 2, para a o interfaceamento de transdutores analógicos são necessários um conversor A/D e um multiplexador, sendo que para um transdutor digital precisa-se de uma interface digital multiplexada por computador (as vezes podem ser várias interfaces digitais simples). Um transdutor interfaceado pode ser identificado conforme o endereço que ocupa na interface. Para o transdutor analógico:

- endereço e canal do conversor A/D.
- endereço e canal utilizado no multiplexador.

Para o transdutor digital:

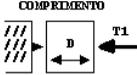
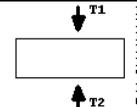
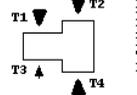
- endereço da interface digital
- endereço e canal no multiplexador digital

b)Tipo de Dado Característico Geométrico: O característico geométrico pode ser um diâmetro, comprimento, conicidade ou qualquer outra grandeza geométrica medida, como as apresentadas na figura 2.1. O tipo de dado característico geométrico deve conter a relação entre os valores dos leituras transdutores com a grandeza geométrica medida, o que é basicamente:

- descritor do característico.

- expressão de conversão: como já citado no capítulo 2, na medição diferencial a medição consiste da combinação da dimensão da peça padrão e da leitura de um ou mais TDs por expressão matemática específica. Como pode ser observado na tabela 3.1 a expressões de conversão existem parâmetro constantes(diâmetro da peça padrão), variáveis (leituras dos transdutores, T1, T2, T3), operandos (=, +, -) e funções matemáticas (arco tangente).

TABELA 3.1 - Exemplos de Tarefas de Medição e suas Expressões de Conversão.

MEDIÇÃO	NUMERO DE TRANSDUTORES	LEITURA	FUNÇÃO MATEMÁTICA
 <p>COMPRIIMENTO</p>	1	T1	$D = D_p + T1$ DP => DIÂMETRO DA PEÇA PADRÃO
 <p>DIÂMETRO</p>	2	T1, T2	$D = DP + T1 + T2$
 <p>ECCENTRICIDADE</p>	4	T1, T2, T3, T4	$EX = \frac{(T1 - T2) - (T3 - T4)}{2}$ EX => ECCENTRICIDADE
 <p>ÂNGULO</p>	2	T1, T2	$A = \text{arc_tg}((T1 - T2 + K) / L)$

Fonte:Elaborada pelo autor

c) Tipo de Dado Tolerância de Fabricação: O tipo Tolerância de fabricação contém informações sobre como deve ser classificado o característico que são:

- nome do característico.
- valor nominal: valor nominal de projeto.
- tolerância: tolerância de fabricação inferior e superior.
- classe: atributo que indica como o característico é tratado se estiver fora da Tolerância

(retrabalho, refugo).

Neste caso restringimos a classificação do característico ao caso de tolerância universal, onde existe apenas uma faixa de tolerância aceitável (entre o valor máximo e o mínimo) por característico, com a ressalva que o sistema por sua concepção pode ser facilmente ampliado para o caso de montagem seletiva de peças (tolerâncias por sub-faixas) bastando apenas adicionar um módulo para tal fim. Deste modo a classificação da peça pode ser tomada conforme seus característicos estejam: abaixo da tolerância inferior, acima da tolerância superior ou dentro da faixa de tolerância.

3.6 Interface com o Hardware e com o Sistema Operacional

Os transdutores atualmente utilizados para a medição, não dispõem de meios para ligação direta com microcomputadores, podendo ser considerados elementos passivos por este ponto de vista. Embora exista uma tendência de que com o barateamento e miniaturização dos componentes eletrônicos de tornar os transdutores "inteligentes" e comunicáveis com os computadores, tal situação deve permanecer por algum tempo. Para a aquisição dos sinais é necessário a utilização de dispositivos de interface de aquisição entre o computador e os transdutores. Dispositivos de interface são entendidos aqui como componentes individuais da IAS necessários à aquisição de determinada grandeza particular (conversor A/D, multiplexador, etc.).

3.6.1 Dispositivos de Interface

Podemos diferenciar dois tipos de dispositivos de interface sob o ponto de vista de processamento:

-dispositivos comandados através de cadeias de caracteres (Strings), que como exemplo podemos citar os instrumentos programáveis GPIB, VXI e RS-232. Estes dispositivos se caracterizam por permitirem sua utilização por comandos de alto nível sem preocupação de manipulação de componentes de hardware interno.

-dispositivos comandados por manipulação direta de seus registros de hardware que, como exemplo, podemos citar as placas para PC e para interfaces de aquisição modulares. Nestes dispositivos são necessários comandos de baixo nível para a utilização de seus recursos. Tal falta de processamento local tem que ser substituída por módulos de software para tal fim.

Na automação de EMMs são utilizados, principalmente, dispositivos do segundo grupo, chamados aqui de tipo placa módulo. No contexto computacional um dispositivo de interface tipo placa módulo pode ser definido por um endereço base de acesso e um conjunto de registros internos. Se considerarmos apenas os métodos de comunicação por software ("polling") as funções básicas para manipulação são a escrita e a leitura nestes registros. Para o interfaceamento real em EMMs são necessários dispositivos específicos utilizados para o interfaceamento de diferentes tipos de sinais:

- amplificador programável (opcional).
- multiplexador analógico.
- conversor analógico-digital(A/D).
- I/O digital universal.
- multiplexador digital.
- interface paralela BCD.

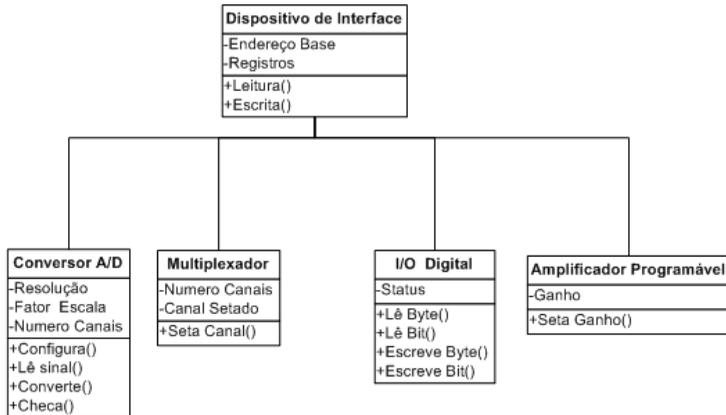
Algumas vezes na prática alguns destes dispositivos estão concentrados em único dispositivo físico, entretanto é útil no âmbito do sistema, diferenciá-los para manter nível de complexidade mais baixo. Cada um destes tem registros e funções específicos as sua utilização. Como exemplo um dispositivo tipo conversor A/D as funções específicas poderiam ser :

- Configurar: configurar uma entrada analógica.
- Ler: ler um sinal analógico.
- Converter unidades: transformar o resultado binário em volts.

- Checar: retornar o status da leitura.

As características de um conversor A/D típico são a sua resolução em bits, número de canais, fator de escala e taxa de conversão. Existem conversores A/D mais complexos com circuitos "sample-hold" e temporizadores de varredura que também suportam outros recursos como por exemplo:gatilho externo ("trigger"), varredura automática de canais, acesso direto a memória(DMA) entre outros, mas no contexto da medição em EMMs as funções apresentadas já satisfazem. Do mesmo modo cada tipo de dispositivo tem suas características, registros e funções próprias derivadas das funções básicas de leitura e escrita. A figura 3.6demonstra as derivações possíveis de um dispositivo de interface genérico em termos de seus dados e funções necessários a caracterização de dispositivos específicos.

FIGURA 3.6 - Derivações de um dispositivo de interface tipo placa módulo.



Fonte:Elaborada pelo autor

3.6.2 O Sistema Operacional

A nível mundial o sistema operacional MS-DOS® ou simplesmente DOS é o mais largamente utilizado em aplicações gerais em ambiente domestico e escritório, mas apresenta algumas restrições

para uso industrial, que são, principalmente, o limite de memória em 640 kbytes e a capacidade de executar um só programa de cada vez (mono tarefa). Sua principal vantagem é a grande oferta de programas aplicativos e para desenvolvimento existente. No ponto de vista da automação de EMMs a utilização de um sistema multitarefa, seria útil na realização em um único microcomputador da automação de vários dispositivos de medição. Com tal característica existem as seguintes opções no mercado:

-O ambiente operacional gráfico Windows®, tornou possível a multitarefa com aplicativos DOS em micros PC 386, aproveitando características especiais deste processador (MIKES,1989).

- O sistema operacional IBM OS/2® é um sistema monousuário multitarefa, para computadores compatíveis com IBM PC-AT(286 em diante). Não possui as limitações de memória do sistema DOS, entretanto, não tem a mesma penetração no mercado, principalmente no brasileiro .

-O sistema operacional UNIX é o mais antigo entre os citados, sendo muito aplicado em meios acadêmicos e comerciais. Como vantagens para aplicações industriais apresenta a capacidade multitarefa e multiusuário, mecanismos de comunicação entre processos, melhores recursos de segurança e apoio a redes de comunicação.

-Outras soluções encontradas no mercado, são para a utilização de multitarefa em IBM PC no ambiente industrial, são a implementação de um núcleo de tempo real sobre o MS-DOS®, sistemas operacionais similares ao UNIX como o Quantum QNX® ou a aplicação de sistemas operacionais mistos como a combinação Intel IRMX\DOS\Windows apresentada em (RAJAMANI et al,1992).

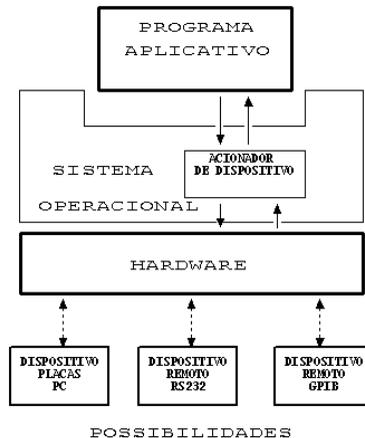
3.6.3 Acionadores de Dispositivo (Device Drivers)

A atual falta de padronização a nível de software básico, para manipulação de dispositivos de interface e o número de possibilidades existentes(modos de leitura, tipo de barramento, protocolo de comunicação), tornam inviável a construção de rotinas genéricas para tratamento de tais dispositivos, por existir grande dependência com o hardware. Alguns fabricantes de placas módulo fornecem pacotes de rotinas específicas para seus dispositivos, na forma arquivos objetos que podem ser chamados em linguagens como C, Pascal ou BASIC, nas

suas versões de ambientes mais conhecidos. Tal técnica é um avanço, mas exige ainda, que o programa principal chame a rotina com o nome e argumentos corretos, não havendo ainda separação total entre o software aplicativo e o hardware. Em caso de utilização de sistemas operacionais multitarefa, existem ainda questões relativas ao compartilhamento de um mesmo recurso físico, por dois programas ao mesmo tempo, que não são resolvidas neste tipo de solução.

A maioria dos sistemas operacionais utilizados em microcomputadores (DOS, OS\2, UNIX), permitem o uso de acionadores de dispositivos ("device drivers"). Acionadores de dispositivos são módulos de um sistema operacional que controlam o hardware.

FIGURA 3.7 -Estrutura hardware\sistema operacional\programa aplicativo com a utilização de acionador de dispositivo ("Device Driver").



Fonte:Elaborada pelo autor

Eles isolam o núcleo do sistema operacional das características específicas dos dispositivos periféricos que fazem interface com o processador central (DUNCAN,1990). Deste modo o programa aplicativo se relaciona com o dispositivo como um recurso do sistema operacional (figura 3.7). Com a troca do hardware utilizado, basta

também utilizar o respectivo acionador de dispositivo, sem que haja necessidade de modificações no programa aplicativo.

A estrutura de um de um acionador de um acionador de dispositivo no sistema operacional DOS (DUNCAN,1990) apresenta:

- rotina de estratégia para recepção do bloco de controle.
- rotina de inicialização chamada no "boot" do sistema.
- rotinas de abertura e fechamento do acionador.
- rotinas de leitura e escrita para efetuar a transferência de dados.
- rotinas para operações diversas de gerenciamento do acionador.
- rotinas especiais de controle de I/O.

As estrutura de um acionador de dispositivo para UNIX é semelhante, para maiores detalhes ver (MIKES,1989).

As estrutura dos acionadores de dispositivos para estes sistemas se referem a dispositivos genéricos e podem ser adaptadas qualquer dispositivo especial que manipule filas de entrada ou saída de bytes. Aplicado ao problema de aquisição de dados as funções do acionador de dispositivo seriam duas:

-Transformar o endereço lógico dos dispositivos no programa aplicativo em endereço físico (local ou remoto) para acesso ao dispositivo real.

-Implementar as rotinas necessárias para a realização das funções necessárias a utilização do dispositivo, inclusive indicando ao sistema operacional a ocorrência de erros.

Um acionador de dispositivo padronizado se constitui em uma interface de chamada comum a todos os dispositivos do mesmo tipo e a parte de implementação das rotinas que manipulam o hardware (Um exemplo prático são os acionadores de drives ou mouse nos PCs).

Como resultado da falta de padronização dos dispositivos de interface quanto a estrutura e comandos, é provável que pouco código utilizado em um acionador possa ser aproveitado em outro, causando, evidentemente, maiores custos. No âmbito dos instrumentos GPIB, já esta havendo uma padronização quanto a forma dos comandos através da linguagem SCPI (RENARD,1990) e (FORQUE,1990). Como

desvantagem da utilização de acionadores de dispositivos em relação ao acesso direto ao hardware existe uma queda de velocidade pela necessidade de chamadas indiretas de funções, mas este problema já não é crítico em microcomputadores mais recentes.

4 REALIMENTAÇÃO DA QUALIDADE

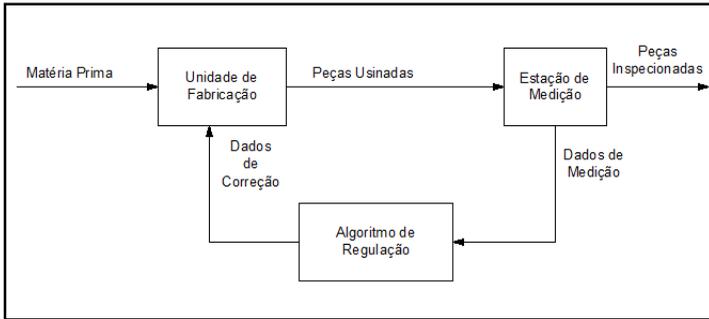
O Controle de processos por ferramentas estatísticas não é idéia nova e data de 1924, quando Walter A. Shewhart introduziu o conceito de cartas de controle (MONTGOMERY,1985). Deste então se desenvolveram novas técnicas e gráficos, que passaram a ser utilizados com intensidade como ferramenta no controle de qualidade na linha de produção. Entre as técnicas mais conhecidas para controle estatístico do processo podemos citar:

- Carta da média e do desvio ou amplitude (X&S ou X&R), inicialmente, propostas por Shewhart;
- Cartas para controle de atributos, como as cartas de fração defeituosa ou de número de defeitos;
- Cartas da soma acumulada (CUMSUM);
- Cartas da média móvel e de média exponencial ponderada (EWMA);
- Gráfico de Pré-controle;
- Cartas de individuais;

Basicamente estas técnicas, exceto as que trabalham com atributos, trabalham com as premissas de que as variáveis medidas do processo obedecem uma distribuição normal e são independentes, fato este nem sempre presente em processos que evoluem com o tempo (LIU,1988), (HUBELE e KEATS,1987) e (TONTINI,1991) onde existe a possibilidade de correlação entre os dados de medição. O advento do computador como ferramenta para CEP limitou-se, inicialmente, a coleta e processamento para obtenção das cartas, gráficos de controle e relatórios necessários. Para tal aplicação existem no mercado vários pacotes de software(QUALITY PROGRESS,1989) além dos associados aos sistemas para EMMs já citados. O uso de cartas de controle como forma de controle do processo pode ser encarado como um sistema em malha aberta, já que necessita de interpretação de um operador treinado para avaliação das cartas, e corrigir eventuais desvios no processo. Nota-se, em trabalhos mais recentes (ALVAREZ,1990), (GOELZE,1989), (RICHARD et al,1987) e (SZYMINSK e WURPELI,1986) a preocupação de se também automatizar as ações corretivas sobre o processo de fabricação, muitas vezes automatizado como no caso das máquinas ferramentas CNC. O objetivo é a formação de uma malha fechada de qualidade, onde as

ações de CQ são tomadas com o mínimo de interferência do operador. A figura 4.1 demonstra o fluxo de informações necessário a criação de uma malha fechada aplicada a uma máquina ferramenta e uma estação de medição pós-processo.

FIGURA 4.1 - Realimentação do processo de fabricação em malha fechada.



Fonte:Elaborada pelo autor

Tal solução se mostra útil na diminuição do tempo de resposta nas ações corretivas, o que significa menores refugos e no controle simultâneo de vários característicos (caso comum às EMMs), principalmente em casos em que a dispersão inerente ao processo é crítica em relação as tolerâncias de fabricação da peça. Neste sentido podemos definir um processo como sendo (KIRSCHLING,1988):

- de baixa capacidade: $IT < 6 S$
- de média capacidade: $6S \leq IT \leq 8S$
- de alta capacidade: $IT \geq 8S$

Onde IT é a tolerância de fabricação e S é o desvio padrão do processo. A presença de uma dispersão aleatória, comum ao processo de manufatura e de valor considerável em relação a variável controlada, impede o uso de técnicas de controle clássicas como o controlador PID, além da existência de um atraso mínimo de uma peça entre medição e realimentação na medição pós-processo, sendo que uma peça em medição já foi processada não podendo, a princípio, ser corrigida . As

ferramentas utilizadas para tal fim, em trabalhos recentes, basicamente, se dividem em:

-Sistemas especialistas: onde por heurísticas e conhecimentos adquiridos sobre o processo, objetiva-se, através de métodos como a análise de cartas de controle (EVANS e LINDSAY,1988) saber o estado do processo e tomar as ações corretivas necessárias.

-Modelagem do processo: pela modelagem do processo por métodos estatísticos/ matemáticos (KLINGENBERG,1990), (YAND,1985) e (RICHARD,1985) com comprovação experimental.

Nota-se, que no estágio atual, as ferramentas baseadas em sistemas especialistas se mostram mais úteis para identificar o estado qualitativo do processo e na tomada das ações corretivas do processo, enquanto os as ferramentas por modelagem do processo fornecem valores numéricos para a correção do processo. Cabe salientar, que um sistema deste tipo tem como objetivo a melhoria da qualidade geométrica das peças produzidas, não dispensando a utilização de outros sistemas de monitoração de processos, de outros objetivos como os de monitoração de quebra ferramenta em tempo real,por exemplo.

4.1 Fontes de Erro em Processos de Usinagem

A análise de fontes de erro em processos de usinagem é assunto profundamente discutido em trabalhos como (ALVAREZ,1990), (SUTOYO,1987) e (RICHARD,1985). Resumindo estes trabalhos as fontes de erros em processo de usinagem se devem a:

-Máquina: erros no sistema de servo posicionamento, rigidez geometria e folgas das guias, dilatação térmica, desgastes e deformações mecânicas.

-Peça: deformação mecânica, dilatação térmica, material não uniforme, geometria, fixação, variações geométricas no material bruto.

-Processo:condições de usinagem, geometria, desgaste, deformação e dilatação da ferramenta.

-Ambiente: vibrações induzidas, variação na temperatura,limpeza, radiação solar, gradientes de convecção.

-Programa NC: erro de definição de zero peça, erro de dados de ferramenta, erro na programação.

- Operador: erros de operação.

A correção de tais fontes o mais quanto antes da fabricação o possível como nos casos da fixação das condições de usinagem, na fase de planejamento do processo, dos erros geométricos da máquina, que podem ser avaliados e parcialmente corrigidos via ensaios geométricos, e os erros de programação NC que podem ser corrigidos na etapa de "tryout" em peças cabeça de produção como na metodologia REQUAL apresentada em (ALVAREZ,1990). Outros erros podem ser corrigidos com um maior controle de qualidade pré-processo, como no caso de variações no material, problemas de fixação da peça e variação excessiva de sobre metal na peça bruta. Restam erros inerentes ao processo e estes se devem, principalmente, a deformações e desgastes mecânicos e efeitos térmicos na peça, ferramenta e na máquina estimados por (VENUGOPAL e BARASH,1986) como causa de 60 - 70% dos erros), erros do sistema de posicionamento e guias e erros residuais de ajuste de ferramenta. Os erros podem ser divididos conforme seu comportamento no tempo, basicamente eles se apresentam nas seguintes formas:

- a) Sistemáticos: constantes no tempo;
- b) Progressivos (ALVAREZ,1990), flutuações (WU,1989) ou tendências: que se apresentam variáveis no tempo, mas com alguma função de correlação;
- c) Aleatórios: variáveis no tempo sem nenhuma correlação entre si, geralmente obedecendo uma distribuição normal.

Os erros do tipo a) e b) são passíveis de correção, o que não acontece com os erros aleatórios. A identificação dos erros é um problema de grande complexidade devido a multiplicidade de variáveis de entrada e a não linearidade das equações que regem o conjunto de processos existentes, embora seja possível corrigir uma fonte isolada de erro, através da identificação e medição do fenômeno físico gerador, sendo os casos de alguns trabalhos. Em (SATA,1981) através da modelagem da expansão térmica em função das condições de corte é realizada a compensação via correção da posição da ferramenta durante a usinagem quando esta expansão ultrapassa um determinado valor. Já em (VENUGOPAL e BARASH,1986) é proposto a modelagem dos efeitos térmicos de uma máquina CNC, por elementos finitos e a compensação via software pela medição da temperatura em alguns

pontos. Erros de desgaste de ferramentas e de posicionamento, entretanto não são tratados. Este tipo de abordagem de se estudar o fenômeno físico, varia muito conforme o tipo de usinagem, máquina e as fontes de erros predominantes, viabilizando-se apenas em casos onde quantidade de peças produzidas compense o investimento necessário em estudo do processo. O uso de técnicas estatísticas tem a vantagem de não se precisar de um entendimento tão profundo do processo, podendo se utilizar de dados do histórico da máquina quando trabalhando sob condições semelhantes, caso comum na fabricação repetitiva de famílias de peças.

4.2 Modelagem do Sistema

A modelagem de um sistema de regulação da qualidade dimensional pode ser idealizada conforme equação (4.1):

$$\bar{X}X = f \cdot C_a - D_v(t) - U_f(t) - U_m(t) \quad (4.1)$$

onde :

$\bar{X}X$ é o desvio da dimensão em relação ao valor nominal da dimensão;

C_a é o somatório das correções efetuadas até o instante t no processo;

$D_v(t)$ é o valor atual do somatórios dos erros do tipo a) e b);

$U_f(t)$ é o erro aleatório no instante t ;

$U_m(t)$ é o erro aleatório de medição (considerando os erros sistemáticos já compensados na medição);

f é o fator de transformação entre a correção e seu efeito na dimensão (por exemplo, na correção de ferramenta em uma usinagem de um diâmetro em um torno, o efeito do deslocamento da ferramenta é duplicado em relação ao diâmetro sendo $f=2$);

Numa situação ideal $\bar{X}X$ é igual a zero, resultando (4.2):

$$C_a = (D_v(t) + U_f(t) + U_m(t)) / f \quad (4.2)$$

como a parcela aleatória $U_f(t) + U_m(t)$ não é identificável, temos como aproximação (4.3):

$$C_o = D_v(t)/f \quad (4.3)$$

Onde C_o é o valor desejado da correção no momento t . Entretanto existem dois problemas básicos na estimação de $D_v(t)$, através da medição de peça pós-processo:

-O atraso de, no mínimo, uma peça entre a medição e a execução da correção, de modo que a dimensão no instante t será corrigida com correção calculada no instante $t-1$.

-Estimar o valor de $D_v(t)$ a parcela corrigível dos erros, sobre a presença de erro aleatório de fabricação $U_f(t)$ como também do valor do erro de medição $U_m(t)$ (parcela aleatória).

O valor de ΣX não precisa ser, necessariamente, zero uma vez que a dimensão tem uma tolerância de fabricação. Se considerarmos esta tolerância centrada no valor nominal o valor máximo de ΣX deve ser menor que $IT/2$.

Existem vários métodos numéricos e estatísticos para estimar o estado de um sistema sob a presença de ruído, entretanto, no presente trabalho fixaremos em dois métodos particularmente usados na bibliografia para o caso em questão, que são:

-Filtragem por médias móveis (KLINGENBERG,1990) e (WURPEL et al,1986).

-Modelos auto-regressivos (RICHARD,1985), (KIM,1988), (WU,1989 e (VERON et al,1986).

4.3 Filtragem por Médias Móveis

O método da filtragem por médias moveis, baseia-se no principio da lei dos grandes números, pela qual a média de varias medidas de uma variável aleatória independente e identicamente distribuída, tende a média real desta variável, quanto maior for o tamanho da amostra. A média móvel é calculada como (4.4):

$$X_{mm}(t) = 1/n * (x(t) + x(t-1) + x(t-2) + \dots + x(t-n-1)) \quad (4.4)$$

onde: $x(t)$ é o valor da variável no instante t
 n é o tamanho da amostra.

Deste modo o efeito do ruído é reduzido na proporção $1/\sqrt{n}$ (figura 4.4), deste modo o valor de $Dv(t)$ pode ser estimado como (4.5):

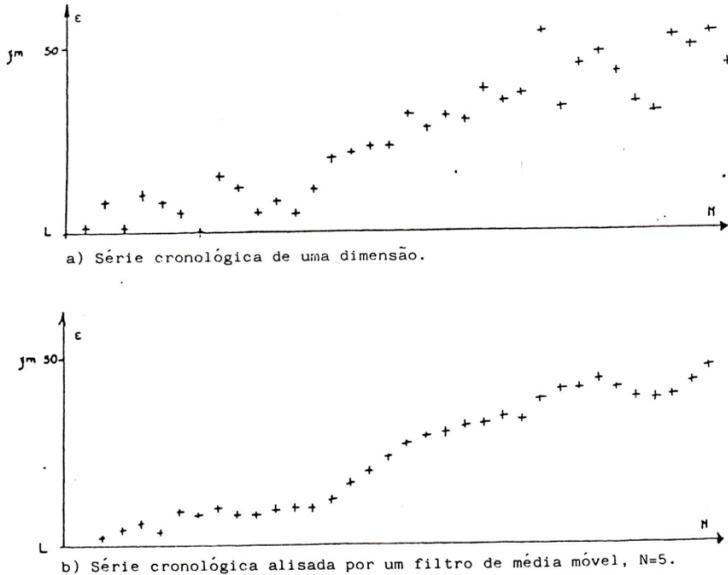
$$DV(t)=X_{mm}(t)-X_{nominal}; \quad (4.5)$$

Este método se mostra útil para separar o valor da tendência $Dv(t)$ do ruído, entretanto, apresenta restrições :

- Estima-se a tendência média dos valores das ultimas n medidas, de modo que exista uma relação de compromisso entre o tamanho n da amostra e a taxa de variação da tendência;
- Permanece o atraso entre a medição e correção;

Particularmente, em casos em que o desvio se apresenta na forma de uma tendência, aproximadamente, linear e constante (geralmente quando a maior fonte de erro é o desgaste de ferramenta) este método é aplicável com bons resultados como provam os trabalhos (KLINGENBERG,1990) e (WURPEL et al,1986). Em (KLINGENBERG ,1990) é sugerida a tabela 4.1 com valores do número ótimo da amostra para calculo da média móvel em relação ao valor relativo da tendência por peça em relação ao desvio padrão, tendo como base um processo com índice de capacidade igual a 1 (IT igual a 6 desvios padrões).

FIGURA 4.2 -Exemplo de uma aplicação de um filtro de médias móveis em uma série cronológica de uma dimensão.



Fonte:Elaborada pelo autor

4.4 Modelos Auto-Regressivos

Vários trabalhos comprovam, a existência de correlação entre valores uma dimensão de peças usinadas em seqüência em uma máquina ferramenta. Esta correlação pode ser explicada pela parcela de erros do tipo a) e b) existentes cujas fontes estão associada a algum fenômeno físico que apresenta continuidade no tempo.

A existência de tal correlação vem sendo utilizada para estimativa e correção de erros em processos de usinagem baseados em dados medidos no processo e pós-processo com resultados compensadores. Em (YANG et al,1985) é usada a teoria da predição ótima, por funções ponderadas, para prever a precisão dimensional em uma série de peças

usinadas em uma retífica interna, com medição em uma estação pós-processo.

TABELA 4.1 -Valores recomendados de tamanho da amostra e limite de controle conforme).

Capabilidade do Processo $C_p=1$ ($C_p=6*\sigma/IT$)	Parâmetros para Regulação Recomendados		Porcentagem de Refugos em 50 peças	
	Tamanho da amostra	Limite de controle	Sem realimentação	Com realimentação
Atraso de Medição de uma peça Inclinação da Tendência em desvios padrão (σ)				
1/6	3	1.1	75	4.8
1/15	6	1.2	28.5	2.6
1/30	9	1.35	7.1	2.1

Fonte: Traduzido de (KLINGENBERG,1990)

O resultado é usado para aumentar ou diminuir o tempo da retificação de acabamento. Em(KIM,1988) um modelo auto-regressivo (AR) é usado para a correção da cilindridade em uma retífica através da medição no processo e atuação direta na posição do rebolo. Em(WU,1989) é apresentada a metodologia de controle compensatório por previsão (FFC), exemplificando sua utilização em processos como fresamento e retificação. Modelos AR e ARMA(modelo auto regressivo-médias móvel) são utilizados para modelar uma seqüência de peças usinadas em torno automático em (LIU,1988), o resultado é utilizado como um filtro que permite estimar o valor do ruído residual que é plotado em uma carta de controle. Já (RICHARD,1985) usa modelos AR como metodologia para realimentação da qualidade em uma célula flexível de manufatura, tendo como resultado, a diminuição de cerca 70% de refugos em uma usinagem em um torno, de peças com tolerância de fabricação de 0.01 mm.

Modelos AR e ARMA podem ser utilizados nestes casos sem a necessidade de se obter as complexas relações de causa e efeitos das fontes de erros. Os modelos ARMA, em alguns casos se mostram mais

ajustados, porem necessitam de para sua resolução de regressão não-linear por mínimos quadrados o que dificulta sua aplicação na realimentação em tempo real em microcomputador (LIU,1988 KIM,1988 e WU,1989), sendo nestes casos preteridos em pelos modelos AR pela maior eficiência computacional destes.

Uma seqüência de variáveis pode ser representada por um modelo auto-regressivo, deste que, esta seqüência seja um processo estocástico estacionário (que tenha a sua média e auto-correlação constantes) e ergódico (que suas estatísticas possam ser obtidas de qualquer função amostrada) (ZURN,1990). Se uma seqüência $X(t)$, $X(t-1) \dots X(t-n)$ satisfaz (4.6):

$$X(t) = a_1 * X(t-1) + a_2 * X(t-2) + a_3 * X(t-3) + \dots + a_n * X(t-n) + V \quad (4.6)$$

onde :

$X(t)$, $X(t-1)$, ..., $X(t-n)$ é a seqüência de uma variável do processo nos instantes t , $t-1 \dots t-n$;

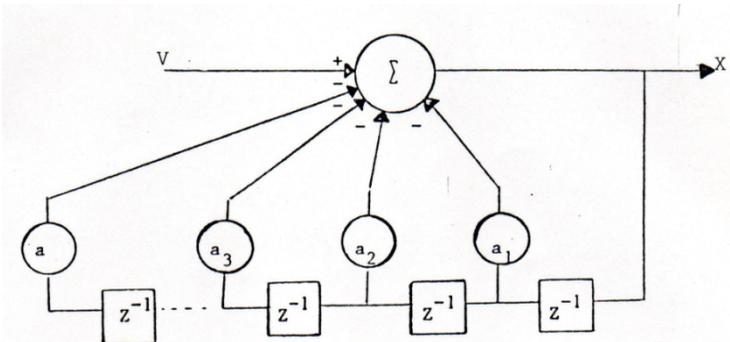
a_1, a_2, \dots, a_n são os coeficientes do modelo auto-regressivo(AR);

V é ruído branco gaussiano residual;

n é a ordem do modelo AR.

Então pode ser representada como um modelo auto-regressivo, excitado por um ruído V , conforme figura 4.3, onde z é o operador atraso.

FIGURA 4.3 - Modelo auto regressivo.



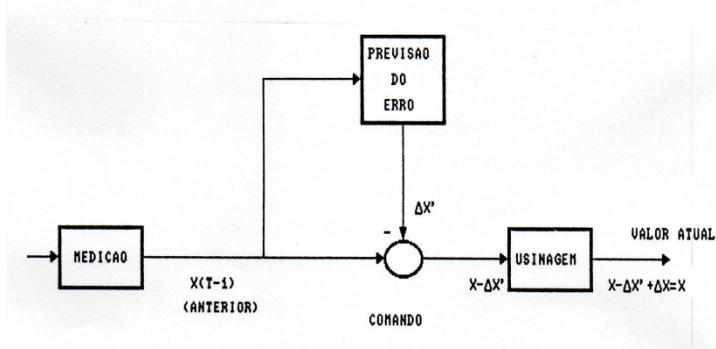
Fonte:Elaborada pelo autor

Se o valor do ruído for baixo, então esta modelagem permite prever o da variável $X(t+1)$ tendo como base as variáveis até o instante t , de modo que (4.6):

$$X_p(t+1) = a_1 * X(t) + a_2 * X(t-1) + \dots + a_n * X(t-n+1) \quad (4.7)$$

Com esta previsão pode-se corrigir o processo antes que a peça seja usinada, resolvendo teoricamente o problema do atraso na medição pós-processo. Trata-se de uma estratégia de correção por avanço (feed-forward) (figura 4.4). Usando a recorrência desta equação pode-se estimar com maior grau de antecedência, conforme o grau de ajuste do modelo.

FIGURA 4.4 - Realimentação do processo por avanço (feed-forward).



Fonte:Elaborada pelo autor

Para a resolução dos coeficientes a_1, a_2, \dots, a_n é necessário satisfação do conjunto de equações (4.3) denominado matriz de Toeplitz:

$$\begin{array}{l} |R(1)| |R(0) \ R(1) \ \dots \ R(n-1)| \ | \ a_1| \\ |R(2)| |R(1) \ R(0) \ \dots \ R(n-2)| \ | \ a_2| \\ |R(3)| = |R(2)R(1) \ \dots \ R(n-3)| \ | \ a_3| \\ | \cdot \ | \cdot \ \cdot \ \cdot \ | \cdot \ | \\ |R(n)| |R(n-1)R(n-2) \dots R(0)| \ | \ a_n| \end{array} \quad (4.8)$$

onde $R(n) = E\{ X(t) * X(t-n) \}$, a auto-correlação de ordem n ;

O algoritmo de Burg-Levison (Apêndice A), permite estimar estes coeficientes, sem a necessidade de montagem e resolução direta desta matriz, minimizando a média quadrática dos erros de predição a priori e a posteriori (RICHARD,1985).

De fato este método de correção permite teoricamente aumentar a capacidade do processo pela redução de sua variância aparente, pela seguinte equação (4.9):

$$V_c = (1 - R(1))/(R(0) \cdot a_1 - R(2)/(R(0) \cdot a_2 + \dots + R(n)/(R(0) \cdot a_n)) \cdot V_a \quad (4.9)$$

onde: V_a é a variância aparente;

V_c é a variância com a correção

e o termo que multiplica V_a é menor que um;

permanecendo apenas a parte residual (V_c) devido a outros erros aleatórios V não passível de correção.

4.4.1 O Filtro de Kalman.

Na prática, a seqüência de dimensões de peças gerada em processos de usinagem, não é um processo estocástico estacionário:

-Primeiramente devido a razões do próprio processo. O erro devido ao desgaste de ferramenta é um processo não estacionário pela própria natureza de tendência, assim como os erros de fonte térmica cujos fenômenos associados são passíveis de variação no tempo;

-O erro da determinação dos coeficientes, em que o número de medidas deve ser alto em relação a ordem do modelo e entretanto se dispõem na prática de número limitado de dados principalmente na usinagem das primeiras peças.

O filtro de Kalman é um estimador recursivo ótimo, que pode ser usado em um modelo AR, para corrigir a estimativa a cada nova medição pela atualização das estatísticas, não necessitando da hipótese de estacionaridade. Em (VERON et al,1986) é proposto uma variante escalar do filtro de Kalman para correção da não-estacionaridade em processos de usinagem (4.10).

$$X_c(t) = X_p(t) + K(X(t) - X_p(t)); \quad (4.10)$$

onde $X(t)$ é o valor medido da dimensão no instante t ;

$\hat{X}_p(t)$ é o valor previsto da dimensão para o instante t ;

$X_c(t)$ é o valor de estado corrigido no instante t ;

K é o ganho do filtro de Kalman;

O ganho do filtro de Kalman é calculado como sendo (4.11):

$$K = E_n / (E_n + W + R(0) * W_{an}); \quad (4.11)$$

onde: $E_n = E\{(X(t) - \hat{X}_p(t)) * (X(t) - \hat{X}_p(t))\}$ erro médio quadrático de previsão;

W é variância do ruído de medição;

W_{an} é a variância dos coeficientes a_1, a_2, \dots, a_n ;

$R(0)$ é $E\{X(t) * X(t)\}$ - auto-correlação de ordem zero

O valor estimado corrigido é obtido por (4.12) onde a cada nova medição são recalculados os valores dos coeficientes :

$$\hat{X}_p(t+1) = a_1 * X_c(t) + a_2 * X(t-1) + a_3 * X(t-2) + \dots + a_n * X(t-n+1) \quad (4.12)$$

Se o valor do ganho do filtro varia de 0 a 1 conforme o nível de estacionariedade do processo (zero se o processo é estacionário). O valor do ruído de medição é quase sempre desprezível em relação aos outros fatores na equação 4.11.

4.4.2 Os Parâmetros de Ajuste do Modelo

Os parâmetro para ajuste de um modelo AR são:

- Ordem do modelo, expressado pelo número de coeficientes do modelo;
- Número de medidas para cálculo dos coeficientes;
- Ordem de previsão desejada.

Estes parâmetros devem ser ajustados por experimentos e particularmente são função (VERON et al, 1988) de:

- Tipo de usinagem;
- Tempo de usinagem;
- Estabilidade da máquina;
- Meio ambiente;

- Atraso da medição em relação a usinagem em número de peças.

O ajuste deste tipo de modelo pode ser enquadrado dentro de varias ferramentas de CQ OFF-LINE existentes, como a metodologia IQS (Sistema Integrado de Qualidade) e no Projeto Estatístico de Experimentos. Entre os métodos utilizados para ajuste de modelo AR podemos citar:

-A metodologia DDS (Dinamic Data Systems) de (WU,1977) para ajuste de modelos ARMA e AR;

-A análise espectral utilizada em (VERON et al,1988), o espectro de frequências de um processo AR é representado como(4.13) (BOX e JENKINS,1970):

$$P(f) = 2 * V * R(0) / (1 - a_1 * R(1) * \exp(-i * 2 * \pi * f) - \dots - a_n * R(n) * \exp(-i * n * 2 * \pi * f)); \quad (4.13)$$

para $0 \leq f \leq 1/2$

onde: f é frequência em função da frequência de amostragem;

V é a variância do ruído branco;

$P(f)$ é o espectro de frequências;

Analisando-se o espectro de frequências, pode-se chegar a quais são frequências principais e sua magnitude em relação ao ruído branco existente.

-O critério da minimização dos erros quadráticos de previsão. Neste caso se procura achar os parâmetros (ordem do modelo, número de peças para calculo) que minimizem E_n . Para talo método utilizado é o critério de AKAIKE (RICHARD,198) e (KIM,1988) que se consiste em achar ordem do processo e o numero de leituras que minimizem o erro final de previsão (EFP):

$$EFP = (N+P) / (N-P) * [R(0) - a_1 * R(1) - a_2 * R(2) - \dots - a_P * R(P)] \quad (4.14)$$

onde: N é numero de leituras.

P é ordem do processo.

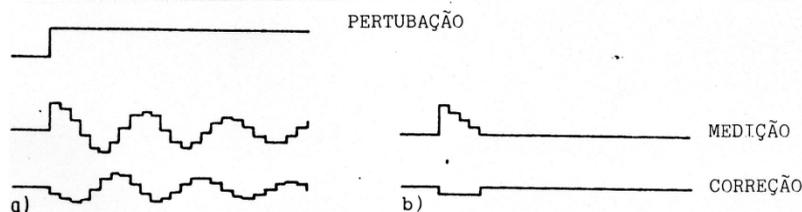
Os modelos AR apresentam a vantagem precisar de relativamente poucos dados (cerca de 50 pontos) para ajuste, se comparados com cartas de controle X&R (comumente 20 amostras de 5 ou 25 de 4 peças). Não é todo tipo de processo de usinagem que pode ser,

adequadamente ajustado por este tipo de modelo, principalmente por problemas ligados a própria necessidade de correlação e estacionaridade no processo sendo mais restrito, que os métodos das médias móveis ou as cartas de controle. Porém tem como vantagens a utilização de mais informações sobre o processo maximizando sua capacidade, como mostram os resultados dos trabalhos já citados, representando o estado da arte neste tipo de aplicação. Com o avanço do poder de processamento dos microcomputadores, outros métodos de modelagem de processos estocásticos mais complexos, como os modelos ARMA, poderão ser utilizados no CQ ON-LINE.

4.5 Efeitos da Realimentação

Os dados das correções realizadas no processo máquina, precisam ser compensados dos valores medidos da dimensão para não sobrepor os efeitos da realimentação na dinâmica do modelo. Este estudo é realizado em (KLINGENBERG, 1990) e conforme a figura 4.5(a), onde pode ser verificado o efeito da instabilidade causada por uma perturbação tipo pulso sobre um sistema sem correção nos dados para um modelo de média móvel com número da amostra (n) igual a 4 e com atraso de uma peça.

FIGURA 4.5 -Processo realimentado sem e com compensação dos efeitos das correções .



Fonte: Adaptado de (KLINGENBERG, 1990)

Os efeitos da correção podem ser compensados conforme (4.15) que é usado na figura 4.5(b):

$$X_{xc}(t) = X(t) - (n-1) \cdot Co(t-1) - (n-2) \cdot Co(t-2) - \dots - Co(t-n) \quad (4.15)$$

onde : $X_{xc}(t)$ é valor da medida corrigido;
 $Co(t)$ é correção realizada no instante t ;

O valor da média móvel deve ser calculado com estes valores corrigidos, porque o valor de uma correção efetuada no processo tem efeito direto sobre as próximas peça. Para o caso do modelo AR a compensação pode ser efetuada conforme (4.16):

$$|X_{xc}(t)| = |X(t)| - |Ca(t-1)| \quad (4.16)$$

onde $|X_{xc}(t)|$ é o vetor com as medições corrigidas

$|X(t)|$ é o vetor das medições;

$|Ca(t-1)|$ é o vetor das correções acumuladas até o instante t (exclusivo a correção $Co(t)$ executa em t);

4.6 Estratégias de Correção

O tipo de estratégia para implementar a correção, depende do processo e tipo de dimensão a ser controlada. A forma geométrica final da peça depende, diretamente da forma e da trajetória da ferramenta de corte assim como as condições de usinagem do processo. Os processos de usinagem existentes possuem muitas particularidades como:

- tipo de máquina usada
- forma da ferramenta (rebolo, fresa, broca, pastilha, etc..);
- material usinado;
- relação entre parâmetros de usinagem e outros característicos de qualidade como acabamento superficial.
- grau de automação: (CNC, NC, Automação rígida), troca de ferramenta automática ou não.

A correção por sua vez pode ser efetuada das seguintes formas :

- Trocando a ferramenta, no caso a alteração na forma da ferramenta justifique;
- Mudando a trajetória da ferramenta, que pode ser implementado corrigindo dados de ferramenta, alterando dados de coordenada da máquina (zero peça) ou corrigindo o programa NC;
- Mudando-se os parâmetros de usinagem (velocidade de corte, avanço, profundidade).

A realização de um sistema para realimentação que trata todas estas variáveis conjuntamente (principalmente parâmetros de usinagem) exigiria a construção de um sistema especialista com regras e conhecimentos das características e comportamentos dos processos.

No presente trabalho é proposto uma estratégia para a correção diretamente por atuação na posição da ferramenta de corte, aonde a relação entre a posição da ferramenta e o desvio seja linear conforme equação (4.3) dentro de uma determinada faixa . Este caso compreende grande faixa de processos de usinagem como torneamento externo, fresagem, entre outros. Trata-se da utilização de algumas regras e de limites para o desvio $Dv(t)$ conforme figura 4.6, sendo o desvio sendo calculado como (4.17, 4.18) já utilizando os valores corrigidos das realimentações anteriores:

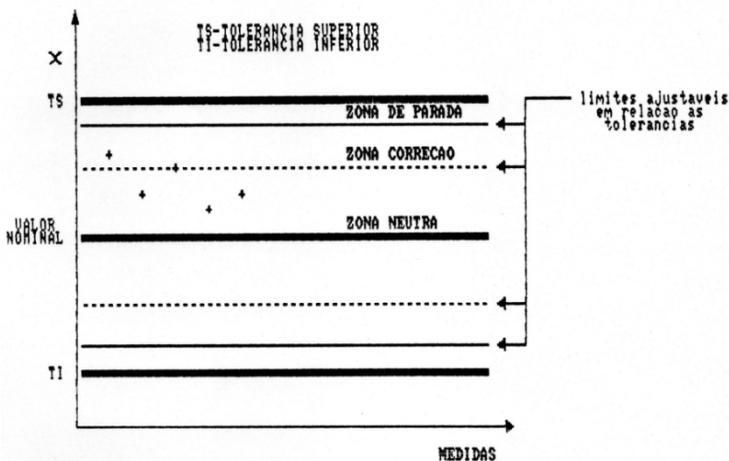
No caso do método das médias móveis:

$$Dv(t) = X_m - X_{nom}; \quad (4.17)$$

Para o caso do modelo AR :

$$Dv(t+1) = X_p(t+1) - X_{nom}; \quad (4.18)$$

FIGURA 4.6 - Limites e zonas para realimentação do processo.



Fonte:Elaborada pelo autor

Dentro da faixa denominada zona neutra os desvios não são corrigidos. Na zona de atuação correção é executada conforme (4.19, 4.20).

Para o método das média móveis (feed-back):

$$Co(t)=Dv(t)/f; \quad (4.19)$$

para o modelo AR (feed-forward):

$$Co(t)=Dv(t+1)/f ; \quad (4.20)$$

Na zona de parada a ferramenta deve trocada e emitido sinal para o operador, o mesmo acontecendo quando o valor de uma dimensão individual sair dos limites de tolerância ou da variabilidade (desvio padrão)do processo for maior que os limites pré-estabelecidos. Os limites entre as zonas são programáveis e dependem da capacidade do processo, do tipo de método adotado e do grau de adequação do modelo devendo ser calculados em função da probabilidade de uma peça ser refugada. Esta probabilidade pode ser calculada em relação ao número de desvios-padrão do processo para o método da média móvel ou em números de desvios-padrão do erro aleatório residual para o caso do modelo AR e as tolerâncias de fabricação.

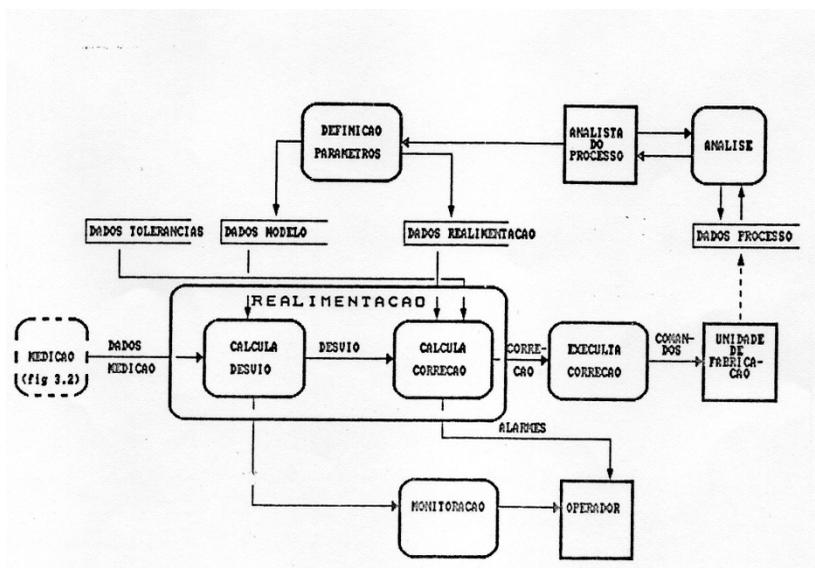
A correção acumulada com o tempo deve ser comparada com os valores máximos permitidos para efeito de troca de ferramenta ou parada do processo. A implementação física da correção depende do tipo do controlador, mas geralmente os CNCs mais modernos permitem o acesso externo a dados de ferramenta e coordenadas parametrizadas do programa NC.

4.7 Estrutura de um Sistema Para Realimentação da Qualidade

O Sistema para realimentação da qualidade dimensional, na forma de software, pode ser estruturado em módulos conforme DFD da figura 4.7. Este sistema conforme figura 3.1, está em um nível mais alto dentro das funções de CQ e pode ser utilizado com outros sistemas automatizados para CG. Através da interação com o módulo de análise, o analista do processo ajusta o modelo e método mais adequado ao processo em questão e com o módulo de definição de parâmetros define estes dados para o módulo de realimentação. No módulo de realimentação, inicialmente os dados provenientes da medição

(características geométricas, ver figura 3.2 e 3.3) são processados pelo método escolhido para cálculo do desvio(o algoritmo completo para calculo do desvio se encontra no apêndice B). A seguir o desvio é processado para a obtenção da correção pelo estratégia apresentada passando ao operador eventuais dados de alarme. As correções são passadas para um módulo de execução da correção. Este módulo é dependente do hardware e deve ser implementado na forma de um acionador de dispositivo específico a cada tipo de sistema de controle (CNC ou NC) que varia muito de fabricante para fabricante. Para permitir uma melhor visualização da evolução do processo com o tempo, informações gráficas sobre o processo devem estar disponíveis ao operador.

FIGURA 4.7 - DFD do módulo para realimentação da qualidade.



Fonte:Elaborada pelo autor

5 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

Seguindo a estrutura dada no capítulo 3 e 4 é a seguir descrita a implementação do modelo na forma de software computacional. O sistema foi desenvolvido usando como hardware básico microcomputador IBM PC-XT compatível e sistema operacional MS-DOS. A linguagem de programação escolhida foi a linguagem C, que apresenta as seguintes vantagens para a aplicação:

- Grande difusão no mercado com vários ambientes de desenvolvimento existentes para varias plataformas de hardware.
- Possui bom nível de padronização (ANSI C) o que permite portabilidade.
- É uma linguagem para programação estruturada com flexibilidade para programação de baixo nível, dispensando na maioria dos casos o uso de linguagem de máquina (Assembler).

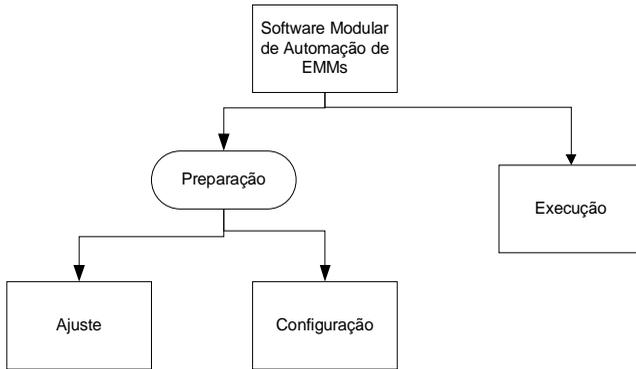
O software foi desenvolvido de forma modular e aberta com o objetivo de permitir ao usuário facilidade nas modificações que venham ser necessárias.

5.1 Software Modular para Automação de EMMs

O sistema modular para automação de EMMs, apresenta a estrutura da figura 5.1. Basicamente existem dois tipos de módulos: módulos de preparação e módulos de execução.

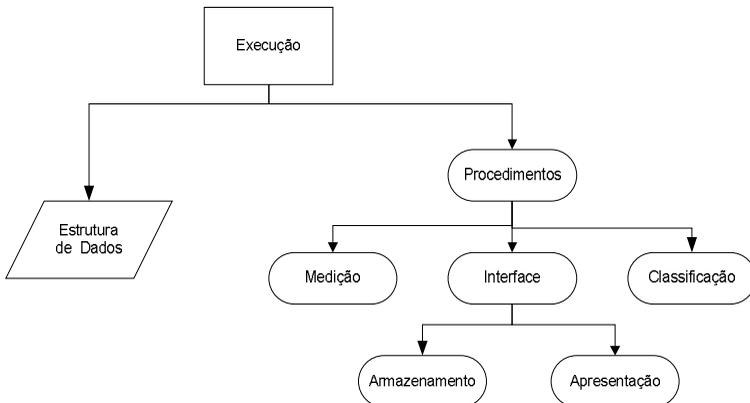
Os módulos de preparação, são os de configuração e ajuste, que apresentam as funções discutidas no capítulo 3 e são módulos genéricos para qualquer aplicação. O módulo de execução é formado por um conjunto de arquivos com procedimentos e estruturas de dados, que podem ser combinados para a solução de uma determinada aplicação. Os arquivos do módulo de execução são apresentados na figura 5.2.

FIGURA 5.1 - Módulos para automação de EMMs.



Fonte:Elaborada pelo autor

FIGURA 5.2 - Arquivos do módulo de execução.



Fonte:Elaborada pelo autor

O arquivo de estruturas de dados contém a declaração das estruturas de dados necessárias e que são compartilhadas pelos arquivos de procedimentos . Os arquivos de procedimentos contém os diversos para procedimentos de automação em EMMs, conforme figura 5.2 . Na

aplicação também podem ser usadas as bibliotecas padrão da linguagem C. Para melhor compreensão do sistema são a seguir detalhados os arquivos mais importantes.

5.1.1 Arquivo de Estruturas de Dados

O arquivo de estruturas de dados contém a definição dos tipos de dados usados para a caracterização da medição conforme 5.3 que são:

-TIPO_TRANSDUTOR: que contém as informações referentes a cada transdutor.

-TIPO_CARACTERÍSTICO: que possui as informações sobre cada característico medido.

-TIPO_TOLERANCIA: Com as tolerâncias dimensionais de cada característico geométrico controlado.

Em uma medição num dispositivo de medição multiponto são usados vários transdutores e medidos diversos característicos. No arquivo de definição é declarada a estrutura de dados TIPO_TAREFA_DE_MEDIÇÃO que possui todos os dados necessários a automação de um dispositivo de medição que são:

- Identificador da tarefa.

-Matrizes dos dados de transdutores, característicos e tolerâncias da tarefa.

-Uma estrutura de dados própria para o tratamento de erros de operação.

- Variáveis de status de operação.

- Uma área de trabalho reservada na memória para realização das operações necessárias a automação. Esta área de trabalho é formada por matrizes alocadas dinamicamente na inicialização levando em consideração o número de TDs, característicos e tolerâncias existentes.

Todas as operações realizadas sobre aquela tarefa de medição passam ser referenciadas a esta estrutura de dados, simplificando a forma de programação.

Estes tipos de dados são codificados em estruturas de dados ("structs" e "unions") em C como no exemplo:

```
typedefstruct{
```

```

char tipo;
struct faixa_de_operação FO;
struct funcao_transferencia FT;
union endereco_interface{
struct digital dig;
struct analogico analog;
} endereco;
unsigned número_de_leituras;} TIPO_TRANSDUTOR;

```

Onde está a definição do tipo de dado transdutor.

5.1.2 Arquivos de Procedimentos de Medição

No arquivo procedimentos de medição, estão disponíveis na forma de funções em C, as operações que correspondem as etapas necessárias ao tratamento de dados descritas em 3.4.1 que são:

- aquisição;
- redução;
- detecção de erros;
- correção dos desajustes;
- conversão de unidades;
- montagem do característico;

Possui também as operações de comando do operador sobre a tarefa, inicialização e tratamento de erros:

- inicialização da medição;
- exclusão de medição
- zeragem;
- finalização da operação;
- manipulação de erros;

5.1.3 Arquivo de Procedimentos de Interface

No arquivo de procedimentos de interface estão disponíveis as rotinas de acesso ao acionador de dispositivo. Estas rotinas se

comunicam com o acionador por meio de funções de interface do sistema operacional DOS . Entre as rotinas disponíveis estão:

- Inicializa_Interface: rotina para inicialização.
- Le_AD: Lê o conversor analógico-digital.
- Seta_mux: Seta canal do multiplexador.
- Le_bit_porta: Le bit de porta digital.

5.1.4 Arquivos de Procedimentos de Classificação, Apresentação e Armazenamento

O arquivo de procedimentos de classificação contém as implementações necessárias para a classificação automática de uma peça. O arquivo com procedimentos de apresentação é formado por rotinas como as de manipulação de telas e janelas e de impressão de protocolos de medição formatados. O arquivo de armazenamento possui as rotinas de gravação e recuperação de dados em disco nos formatos ASCII ou binário.

5.2 Exemplo de uma aplicação

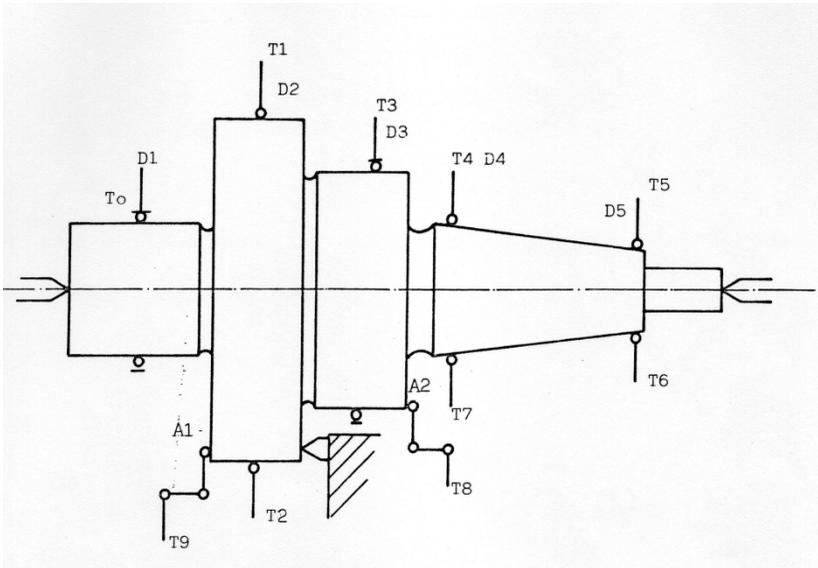
Como exemplo de aplicação do sistema é a seguir apresentada sua programação para a medição da uma peça conforme a configuração de transdutores mostrada na figura 5.3.

São usados 10 transdutores para a medição de 9 características geométricas que são:

- D1, ..D5 - diâmetros.
- A1 e A2 - afastamentos.
- Concentricidade entre D4 e D2.
- Inclinação do cone.

A peça será medida em etapa única de medição, isto é todos os características serão medidos em um só dispositivo de medição.

FIGURA 5.3 - Peça para exemplo de aplicação.



Fonte:Elaborada pelo autor

5.2.1 Preparação do Módulo de Execução

Numa primeira fase é necessário realizar o módulo de execução. A programação é inicialmente, realizada identificando-se o número de etapas para medição da peça necessária se o modo de indicação de que a peça esteja pronta para medir em cada uma delas. Esta última rotina pode ser implementada de diversas formas como por teclado, pedaleira, sinal de outro computador e sua construção é fácil em termos de programação, preferindo-se aqui deixá-la em aberto para o programador da aplicação. Para o caso em questão a peça é medida em um única etapa. Na programação estão embutidas todas as operações necessárias e sua seqüência. A seguir é apresentado a versão básica do programa para o módulo de execução:

<Arquivos de inclusão>

```
TIPO_TAREFA_DE_MEDICAO Peca1; /* declara uma etapa de
                                medição */
void main() /* inicio do programa de medição */
{
    inicializa_medição(&Peca1, "peca1"); /* inicializa tarefa
                                           com dados dos arquivos de
                                           configuração */
    inicializa_interface(); /* inicializa interface */
    manipula_erro(&peca1); /* instala manipulador de erro */
    for(;;) /* entra do laço para medição */
    {
        if(peca_pronta()) /* verifica se existe peca p/ medição */
        {
            aquisição(&peca1); /* procedimentos de automação */
            redução(&peca1);
            deteccta_erro(&peca1);
            correção(&peca1);
            conversão(&peca1);
            montagem(&peca1);
            classificação(&peca1);
            apresenta(&peca1);
            armazena(&peca1, BIN); /* grava no formato binário */
        }
        else {
            switch(verifica_opção()) /* opção do operador */
            {
                case FIM : finaliza_medição(&peca1);
                           exit(0); /* fim da medição */
                case ANULA: anula_medição(&peca1);
                           break; /* anula ultima medição */
            }
        }
    }
}
```

```

        case ZERAGEM:autozeragem(&peca1);
                                /* mede peça padrão e
zera*/
    }
}
}

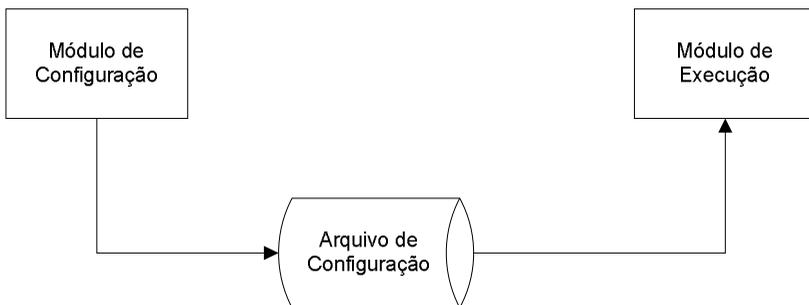
```

As funções `verifica_opção` e `peca_pronta` verificam respectivamente qual a opção desejada pelo operador ouse existe uma peça pronta para medição.

5.2.2 Módulo de Configuração

Após definido o programa de medição, é necessário configurar os parâmetros necessários para a medição da peça. A preparação é realizada pelo módulo de configuração conforme a figura 5.4.

FIGURA 5.4 - Modelo para a configuração do sistema



Fonte:Elaborada pelo autor

O módulo de configuração é um módulo independente que permite a edição dos parâmetros por menus adequados e que gera arquivos de configuração para os módulos de ajuste e execução. Estes arquivos serão lidos pela função `inicializa_medicao()` que realizará todas

as inicializações necessárias. Isto apresenta a vantagem de que esta tarefa poder ser realizada em local remoto e transportada (por disquete ou rede de comunicação por exemplo) para a EMM.

A configuração é realizada em três etapas respectivamente para os dados de transdutores, característicos e tolerâncias.

A figura 5.5 apresenta a edição em tela de parâmetros de transdutor para a aplicação exemplo, de transdutor com as seguintes características:

- tipo analógico;
- terceiro na seqüência de leitura (TD número 3).
- instalado no canal 3 do multiplexador 1 e no A/D de endereço 1 (endereço lógico).
- Faixa de operação em volts de -5 a 5 V, variação entre leituras de 0.02 V.
- função transferência $Y=000.2*X$, y em mm e x em volts.
- número de leituras igual a 10;

FIGURA 5.5 - Tela para edição de dados de transdutor.

MÓDULO DE CONFIGURAÇÃO

Arquivo:peca1
 Transdutor: 3
 Tipo (Analogico/Digital) : A
 Compensacao de ajuste (Sim/Nao): S
 Numero de leituras : 10

Dados para aquisição					
Endereço multiplexador :	3	Endereço A/D :	1	Endereço Amp.:	1
Canal multiplexador :	1	Canal A/D :	1	Ganho Amp.:	1.000

Função transferência	
Coefficiente Angular (A _x):	0.2
Coefficiente linear (B):	0.0

Características Operacionais	
Valor máximo operacao:	5.0000
Valor mínimo operacao:	-5.0000
Repetibilidade aceitavel: 0.02	

F5=Apula trans. F5=Le. arq. F4=Grava arq. F2=Novo arq. F1=Lim. edição

Fonte:Elaborada pelo autor

A configuração de característicos geométricos é realizada através da definição da fórmula geométrica do característico utilizando-se de sintaxe pré estabelecida:

- dn dimensão de número n;
- tn leitura do transdutor n;
- A a F: variáveis auxiliares para utilização em grandezas auxiliares, como por exemplo temperatura.

Nas fórmulas de definição podem ser realizadas operações:

- soma(+), subtração(-), multiplicação(*), divisão(/);
- funções trigonométricas: cos, sin, arcsin etc..;
- operações como maior(t1, t2), menor(t1,t2) para a avaliação de erros de forma e posição;
- operações para alarme como sob_limite(), sobre_limite() para verificação de erros de posicionamento da peça;
- operações matemáticas diversas como: valor absoluto (Abs()), raiz quadrada (sqrt()), logaritmo (log()), média, exponenciação(^) para o calculo de grandezas com função transferência não lineares.

A figura 5.6 apresenta a configuração dos característicos da peça exemplo.

FIGURA 5.6 - Tela para edição de dados de característicos geométricos.

MÓDULO DE DEFINIÇÃO DE CARACTERÍSTICAS		
Arquivo : pecal		
DEFINIÇÃO DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS		
1	d0=20.001t0	: DIAMETRO 1 17
2	d1=50.000+t1+t2	: DIAMETRO 2 18
3	d2=35+t3	: DIAMETRO 3 19
4	d3=25.000+t4+t7	: DIAMETRO 4 20
5	d4=19.010+t5+t6	: DIAMETRO 5 21
6	d5=1.5*t9+9.001	: AFASTAMENTO 1 22
7	d6=1.5*t8+11	: AFASTAMENTO 2 23
8	d7=atan((t4-t5)/15)+30	: INCLINACAO 24
9	u=(t1-t2)/2	25
10	x=(t5-t6)/2	26
11	d8=abs(x-u)	: EXCENTRICIDADE 27
12		28
13		29
14		30
15		31
16		32

F1-Fim edicao F2-Novo arq. F4-Grava arq. F5-Le arq. F6-Reordena

Fonte:Elaborada pelo autor

A entrada de dados de tolerâncias de fabricação é também realizada em tela específica conforme figura 5.7. O parâmetro "Ret" indica ao sistema a forma de se classificar o característico para o retrabalho que pode ser:

- retrabalho externo E (eixo).
- retrabalho interno I (furo).
- indiferente N.
- retrabalho exclusivo R.
- Sem possibilidade de retrabalho A.

FIGURA 5.7 - Tela para a edição de dados de tolerância.

Dim	Nome dimensão	Unid	Valor nom	Limite min	Limite max	Ret
0	diâmetro1	mm	20.0000	-0.0050	0.0050	E
1	diâmetro2	mm	50.0000	-0.0050	0.0050	E
2	diâmetro3	mm	35.0000	-0.0050	0.0050	E
3	diâmetro4	mm	25.0000	-0.0050	0.0050	E
4	diâmetro5	mm	19.0000	-0.0050	0.0050	E
5	afastamento1	mm	9.0000	-0.0010	0.0030	E
6	afastamento2	mm	11.0000	-0.0030	0.0030	A
7	ângulo cone	º	30.0000	-0.010	0.010	A
8	excentricidade	mm	0.0000	0.0000	0.010	A
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

Fonte:Elaborada pelo autor

5.2.3 Módulo de Ajuste.

Após a realização de toda a montagem do conjunto mecânico e de hardware eletrônico computacional e a preparação do programa de medição é necessário a realização do ajuste dos transdutores a peça padrão. O módulo de ajuste permite ao operador visualizar as leituras dos transdutores e suas médias de forma textual e através de forma de um display gráfico (figura 5.8) na tela do microcomputador, oferecendo opções de leitura por varredura dos transdutores ou de um único. Após o fim do ajuste pode ser selecionado a gravação de valores residuais.

FIGURA 5.8 - Tela do módulo de ajuste.

MÓDULO DE AJUSTE

Arquivo : pecal

Tr	Valor	Media	min	max	Tr	Valor	Media	min	max
0	-1.144	-1.144			1	2.0278	2.0278		
2	-0.760	-0.760			3	0.8644	0.8644		
4	4.6491	4.6491			5	1.7130	1.7130		
6	3.0732	3.0732			7	-3.218	-3.218		
8	0.6103	0.6103			9	-0.292	-0.292		

Novo Arquivo Faz Leituras Faz Papei Gravados Seleccione

Fonte:Elaborada pelo autor

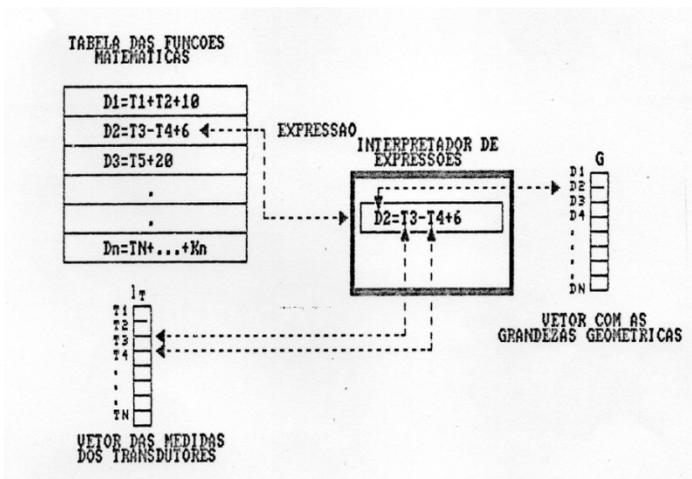
5.3 Módulo de Execução

Após a realização destas tarefas o sistema para a automação se encontra configurado e a medição pode se realizada. A figura 5.9 apresenta a estrutura do módulo de execução em termos de dados e funções para as etapas de aquisição e pré tratamento (ver figura 3.3). Pode-se observar a seqüência de operações necessárias, a passagem de dados através de matrizes/vetores e utilização da estrutura de dados TIPO_TRANSDUTOR para a realização das operações.

5.3.1 A Montagem dos Característicos Geométricos

Para a realização da conversão das expressões matemáticas nos valores dos característicos na função montagem foi utilizado um interpretador de expressões (figura 5.10). Esta solução permite maior facilidade e flexibilidade de configuração por permitir que a formula geométrica que define o característico seja um parâmetro de configuração, não exigindo sua inclusão no código.

FIGURA 5.10 - Interpretação de expressões.



Fonte:Elaborada pelo autor

5.3.2 Classificação, Apresentação e Armazenamento de resultados

O obtidos os característicos geométricos são executadas as operações de classificação, apresentação e armazenamento sobre estes resultados. É apresentado ao final de cada medição um protocolo de medição como no exemplo mostrado na figura 5.11 para a peça exemplo. São apresentados os nomes dos característicos e suas dimensões nominais, o valor atual medido e o display gráfico. O parâmetro "Exe" informa em termos percentuais o quanto o característico excedeu a tolerância especificada. O parâmetro "S" indica a classificação do característico.

FIGURA 5.11 - Protocolo de medição para a peça exemplo.

Protocolo de medição										
Arquivo : pecal						18:49:52				
Dimensao	Un	Medido	Valor		Tolerancia		min	max	Exe.%	S
			Nominal	Inf.	Sup.					
diametro1	mm	20.0010	20.0000	-0.005	0.0050		..		+0.0	
diametro2	mm	49.9954	50.0000	-0.005	0.0050	*****			+0.0	
diametro3	mm	35.0001	35.0000	-0.005	0.0050	.			+0.0	
diametro4	mm	24.9995	25.0000	-0.005	0.0050	.			+0.0	
diametro5	mm	19.0098	19.0000	-0.005	0.0050	*****			+47.6	R
afastamento1	mm	9.0016	9.0000	-0.001	0.0030	***			+0.0	
afastamento2	mm	11.0012	11.0000	-0.003	0.0030	***			+0.0	
angulo cone	º	30.0000	30.0000	-0.010	0.010	.			+0.0	
exentricidade	mm	0.0023	0.0000	0.0000	0.010	****			+0.0	

F1=F1m F2=Anula F3=Nova correcao F4=grafico F5=Monitoracao ENTER=Medicao

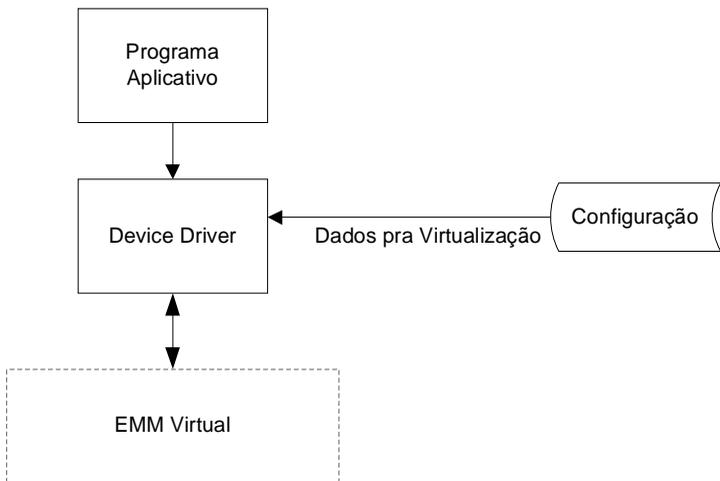
Fonte:Elaborada pelo autor

5.3.3 A Simulação da Interface de Aquisição da Medição

Como já comentado o acionador de dispositivo é um módulo de software ligado ao sistema operacional com a função de gerenciar dispositivos de hardware. Uma das vantagens destes acionadores é permitir a criação de um dispositivo de hardware virtual, o que é bastante útil para testes e simulações. Devido a independência entre o hardware e o programa é possível testar o aplicativo sem a necessidade de montar o hardware. A figura 5.12 apresenta o diagrama de bloco de

uma configuração deste tipo. O acionador de dispositivo virtual é carregado no "boot" do sistema operacional e lê de um arquivo dados sobre o dispositivo simulado. Estes dados se referem a endereços dos transdutores (A/D e multiplexação), e faixa de valores para a geração de leituras. As leituras dos transdutores podem ser simuladas via geração de números aleatórios com uma distribuição normal em uma determinada faixa, do mesmo modo pode ser simulada variação entre as peças. O ajuste dos transdutores e o "trigger" para medição podem ser simulados via teclado.

FIGURA 5.12 -Acionador de dispositivo para simulação de hardware virtual.



Fonte:Elaborada pelo autor

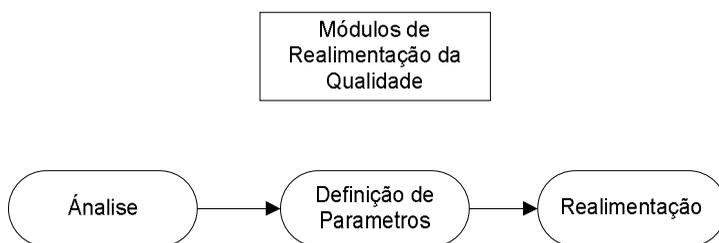
No caso exemplo foi utilizado um arranjo deste tipo para teste do sistema devido a não existência de recursos de hardware suficientes para tal fim.

5.4 Módulos de Realimentação da Qualidade dimensional

Os módulos de realimentação da qualidade estão conforme figura 3.1 em nível funcional superior dentro das funções de CQ podendo ser implementados em outros sistemas de medição diferentes de EMMs .

Os módulos com este fim implementados são apresentados na figura 5.13.

FIGURA 5.13 - Módulos para a realimentação da qualidade dimensional.



Fonte:Elaborada pelo autor

5.4.1 Módulo de Análise

O módulo de análise contém funções para o estudo e análise do processo através de modelos AR. Consiste de um editor que permite a entrada de dados do processo, dados que podem ser também importados de um arquivo. A partir destes dados o módulo auxilia o ajuste do modelo AR que mais adequado ao processo. Este ajuste pode ser realizado interativamente pela escolha do operador das características do modelo:

- número de medidas;
- ordem do modelo;
- ordem de previsão;
- utilização de filtro de Kalman.

Uma segunda opção é a realização pelo "modo automático" pelo qual o módulo procura automaticamente os parâmetros para os modelos que mais se adequam ao processo pelo critério da minimização do erro médio quadrático de previsão. Os resultados são apresentados para o operador na forma de telas ou relatórios impressos conforme exemplo mostrado na figura 5.14 ((a), (b)).

5.4.2 Módulo de Definição de Parâmetros

O módulo de definição de parâmetros para realimentação permite a configuração via menus de parâmetros para realimentação, e compreende dados sobre:

- Dimensão controlada.
- Tipo de modelo usado (média móvel, AR ou AR com filtro de Kalman) e seus dados para caracterização.
- Dados para correção como limites para atuação, variâncias máxima, fator de correção.
- Dados de ferramenta como identificador, valor nominal e limites máximos e mínimo.

FIGURA 5.14 - Telas do módulo de análise.

RESULTADO FINAL				
Data : 0/ 0/ 0		Arquivo : TESTE		
NUMERO	MEDIDA REAL	MEDIA MOVEL	MEDIDA PREVISTA	ERRO
7	20.0260000	20.0310000		
8	20.0340000	20.0303333	20.0310000	0.00300000
9	20.0260000	20.0286666	20.0282847	-0.0022847
10	20.0270000	20.0290000	20.0340000	-0.0070000
11	20.0340000	20.0290000	20.0335114	0.00048852
12	20.0290000	20.0300000	20.0290445	-0.0000445
13	20.0300000	20.0310000	20.0309126	-0.0009126
14	20.0340000	20.0310000	20.0338739	0.00012600
15	20.0340000	20.0326666	20.0311747	0.00282527
16	20.0280000	20.0320000	20.0306376	-0.0026376
17	20.0260000	20.0293333	20.0323236	-0.0063236
18	20.0380000	20.0306666	20.0312694	0.00673057
19	20.0340000	20.0326666	20.0291135	0.00488641

F1 - ANT F2 - PROX

Metodo: BURB com FK Numero de Pontos: 3 Variância de Erro:(0.0039624872) ;
 Ordem do Processo : 2 Ordem de Previsao : 1 Variância Amostral:(0.004065174) ;
 F3 - IMPRIMIR ESC - RETORNAR

RESULTADO AUTOMATICO		
Data : 0/ 0/ 0		Arquivo : TESTE
Ordem do Processo	Numero de Pontos	Variância de Erro
2	3	(0.0039563382) ;
1	3	(0.0045047077) ;
2	7	(0.0045186505) ;
5	7	(0.0047000187) ;
5	6	(0.0047484067) ;

Metodo : BURB Ordem de Previsao : 1
 Variância Amostral : (0.0040651742) ;
 F1 - IMPRIMIR ESC - RETORNAR

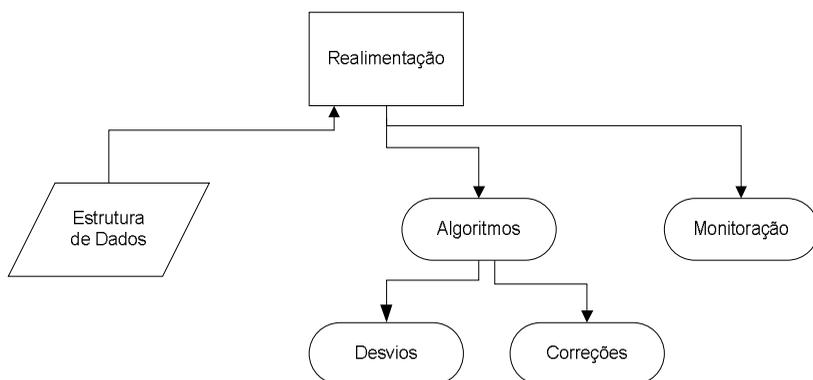
Fonte:Elaborada pelo autor

Da mesma forma que o módulo de configuração (figura 5.4) este módulo gera um arquivo de configuração para o processo controlado.

5.4.3 Módulo de Realimentação

O módulo de realimentação é composto de um conjunto de arquivos com estruturas de dados e procedimentos. Conforme figura 5.15 existem os seguintes arquivos.

FIGURA 5.15 - Arquivos do módulo de realimentação.



Fonte:Elaborada pelo autor

O arquivo de estruturas de dados contém a definição das estruturas de dados necessárias a monitoração de um processo. Nos arquivos de algoritmos estão os procedimentos para cálculo dos desvios e correções utilizando-se os modelos da média móvel e AR explicados no capítulo 4, rotinas de inicialização e sua interface com os módulo de automação da medição. O arquivo Monitoração contém procedimentos de interface com o operador e apresentação de telas e gráficos sobre o processo monitorado.

5.4.4 Simulação de um Caso

Como exemplo será simulada a realimentação da qualidade do diâmetro 1 da peça anteriormente apresentada (Figura 5.3). No programa de medição anteriormente realizado devem ser incluídos os comandos do módulo de realimentação:

```

<Arquivos de inclusão>
TIPO_TAREFA_DE_MEDICAO Peca1; /*declara uma etapa de
                               medição*/
TIPO_PROCESSO Processo1; /* declara um processo*/
void main() /* inicio do programa de medição*/
{
  inicializa_medição(&Peca1,"peca1"); /* inicializa tarefa
                                     com dados dos arquivo de
configuração*/

  inicializa_processo(&Processo1,"processo1.prc"); /* inicializa
                                     Processo com dados do
arquivo configuração */
  for(;;) /* entra do laço para medição */
  {
    if(peca_pronta()) /* verifica se existe peca p/ medição*/
    {
      aquisição(peca1); /* procedimentos de automação*/
      .
      armazena(peca1,BIN);
      controla_processo(peca1,processo1); /* função para controle do
processo */
    }
    else{
      switch(verifica_opção()) /*opção do operador*/

```

```

        {
    case FIM : finaliza_medição(peca1)
        .
    case GRAFICO: apresenta_grafico(processo1);
                /* apresenta gráfico processo */
    break;
    case MONITORACAO: Janela_processo(processo1);
                /* apresenta janela de informações do
    processo*/
    }
    }
    }

```

A estrutura de dados TIPO_PROCESSO definida no arquivo de estruturas de dados para realimentação contém as informações necessárias à caracterização de um processo controlado. A função controla_processo submete ao controle a dimensão especificada da tarefa de medição (PECA1) especificada no arquivo de definição de parâmetros de realimentação ("processo1.prc"). São também incluídas opções para o operador visualizar o processo de forma gráfica ou textual.

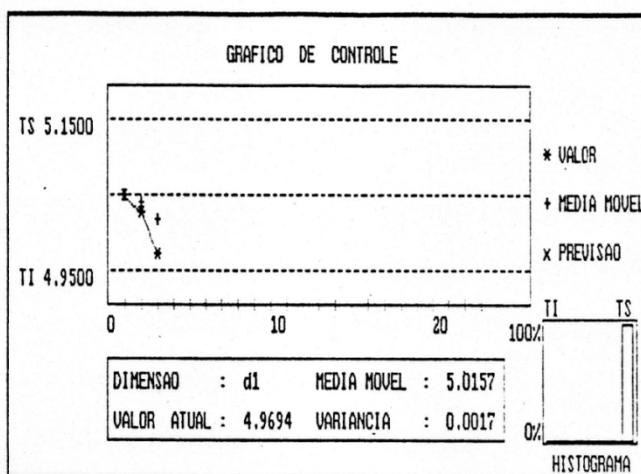
Os parâmetros para realimentação devem ser configurados via módulo de definição de dados de realimentação conforme análise do processo. A figura 5.16 apresenta a configuração para, no caso de exemplo, considerando que um processo (no caso a série cronológica de medidas do diâmetro 1 seja modelado por um modelo AR de ordem 3, calculado a 6 peças com filtro de Kalman)

As mensagens emitidas para o operador podem ser na forma de alerta ou de parada do processo como no caso de:

- Dimensão fora da tolerância.
- Processo fora de controle.
- Limite de correção de ferramenta atingido.
- Variância do processo maior que a especificada.

As correções no processo podem ser realizadas com confirmação pelo operador ou totalmente automática pelo sistema. No caso apresentado não foi implementado nenhuma ligação direta com um comando numérico sendo tais correções simuladas por software. Em uma etapa posterior deve ser efetuada esta implementação na forma de um acionador de dispositivo específico a CNC/NC de uma máquina ferramenta. Existe ainda a opção de visualização de um gráfico de evolução do processo conforme figura 5.18.

FIGURA 5.18 - Gráfico de evolução do processo.



Fonte:Elaborada pelo autor

5.5 Considerações sobre a implementação

O software modular para automação de EMMs para apresentou desempenho aceitável em termos de velocidade de processamento quando testado em um micro PC-XT de clock 4.77 MHz sem processador aritmético . Em sua configuração atual são permitidos até 32 TDs e 16 característicos por tarefa de medição sendo este limite facilmente modificável. Sua configuração é rápida em relação a montagem do hardware e não exige grandes conhecimentos de programação, principalmente quando se trata de dispositivos de medição semelhantes. Melhorias podem ser realizadas nas telas de configuração, implementação de menus de ajuda e melhor crítica de dados. Para aplicações reais é necessário a implementação de acionadores de dispositivos para o hardware que venha ser usado.

Os módulos para realimentação da qualidade foram realizados tendo como base os métodos apresentados na bibliografia e apesar de fornecerem um ferramental suficiente para a aplicação necessitam ser aperfeiçoados para uso industrial, para tal é necessário:

- Análise experimental de casos reais para confirmação do uso dos modelos e métodos de correção, realizando um estudo comparativo com os resultados da bibliografia citada no capítulo 4 e criando uma base de informações sobre os processos.

- No Módulo de Análise prever o uso de outros critérios de ajuste de modelos AR como a metodologia DDS e a análise espectral, assim como o possibilitar apresentação de gráficos (X-T, histogramas, espectro de frequências, carta de capacidade) nos resultados para permitir uma melhor apoio ao analista do processo. Este módulo pode inclusive ser complementado com pacotes estatísticos e gráficos existentes no mercado pela exportação e importação de dados.

- Execução de acionadores de dispositivos para ligação do sistema ao CNC da máquina ferramenta. Muitos dos CNCs mais modernos permitem esta ligação via interface serial ou BCD, embora a solução ideal seja a ligação por uma rede de comunicação padronizada (padrão Fieldbus por exemplo).

6 CONCLUSÕES

Estações de medição multipontos automatizadas (EMMs) são sistemas tradicionalmente utilizados na indústria para realização do CQ de peças mecânicas em chão de fábrica. A tendência atual de fabricação em menores séries e crescente informatização da manufatura exigem o aumento da flexibilidade e capacidade de integração destes sistemas.

Com este objetivo as contribuições do trabalho foram:

a) A análise das exigências e requisitos técnicos e operacionais de um sistema flexível para a automação de EMMs.

b) A criação de uma bibliografia sobre automação de EMMs, o que durante o trabalho não foi encontrado similar em pesquisa bibliográfica.

c) A especificação e o projeto de um sistema flexível para a automação de EMMs. Como as características de destaque deste sistema podemos destacar:

- Estrutura aberta : o sistema é aberto em termos de hardware e software podendo ser modificado pelo próprio usuário.

- Sistema versátil facilmente adaptável a uma tarefa de medição.

- Utilização de componentes de hardware padrão.

- Preparação do sistema realizada de forma mista, por menus e telas e também via linguagem de programação de uso geral.

- Estrutura modular o que permite a sua expansão pela adição de novos módulos.

- Transparência ao hardware pela utilização de acionadores de dispositivos ("device drivers") para manipulação de dispositivos de interface.

d) Estrutura de um sistema para realimentação da qualidade baseado na medição pós processo. As características deste sistema são:

- Uso de modelos auto-regressivos e filtro de médias móveis para estimação do desvio.

- Estrutura compatível com o sistema para automação de EMMs, mas extensível a outros sistemas de medição.

- Ferramental para a análise do processo.
- Aplicável a diversos processos de usinagem.
- Parâmetros para regulação configuráveis por menu.

e) Comprovação da viabilidade da proposta pela implementação dos sistemas na forma de um pacote de software computacional realizado em linguagem C. O pacote de software implementado mostrou desempenho compatível para a aplicação. O conjunto de características disponíveis do pacote, principalmente a arquitetura de hardware/software aberta tornam o sistema sem similar no mercado o que pode justificar sua futura comercialização.

Como sugestão para a continuidade do trabalho cita-se:

- a) Extensão do sistema para suporte de tarefas de medição geométrica dinâmica.
- b) Criação de novos módulos de software, com outras funções utilizadas no controle de qualidade, que poderiam ser:
 - Conexão com base de dados de qualidade.
 - Cartas de controle.
 - Classificação de peças por sub-faixas.
 - Inspeção por amostragem.
- c) Utilização do sistema em uma célula de manufatura automatizada e análise experimental do sistema de realimentação da qualidade.
- d) Aplicação das metodologias de desenvolvimento de software orientadas a objeto para a construção de sistemas para medição e teste automatizado. Estas metodologias estão em crescente uso no desenvolvimento de sistemas informáticos e se mostram adequadas para a construção de sistemas abertos, extensíveis e reusáveis.
- e) Extensão do sistema de realimentação da qualidade seja pela aplicação de sistemas especialistas e técnicas de inteligência artificial, outros métodos de modelagem de processos estocásticos, e de monitoração conjunta de fatores fontes de erro

como temperatura ambiente e grandezas do processo de fabricação por exemplo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMANN,J.; **Coordinates Measuring Machines and Automatic Multigauging Fixturing for Pilot batch and Mass Production of Precision Parts**, Industrial production Engineering, N 1, pp 40-48, 1983.

AGOSTINHO,O.L;**Projeto CIM-BRASIL Manufatura Integrada por Computador**,FINEP/ABINEE, abril, 1991.

AGOSTINHO,O.L ;RODRIGUES,A.C.S LIRANI,J; **Tolerância, Ajustes, Desvios e Análise de dimensões**, Editora Edgard Blucher LTDA, 1981.

ALVAREZ,A.J; **A Tecnologia de Medição por Coordenadas como Base para a Regulação da Qualidade do Processo de Usinagem CNC**, Dissertação de Mestrado, UFSC/EMC/LMA,1990.

ATI ;**ATI NEU C4000, Catálogo do produto**, Applications Techniques, Franca, 1989.

BONSE,L; **Systemkonzept fur die integration von online-und offline-CAQ-funktionen uber eine gemeinsame Qualitätsdatenbasis**, Tese de Doutorado, RWTH Aachen, Alemanha, 1989.

BOOCH,G.; **Object-Oriented Development**, IEEE Transactions on Software Engineering, Vol se12, No 2, February, 1986.

BOX,G.E.P.; JENKINS,G.M. ; **Time Series Analysis, Forecasting And Control**, Holden Day Inc., 1970.

BURR-BROWN Corporation; **BURR-BROWN The Handbook of Personal Computer Instrumentation**, July, 1990.

COAD,P.; YOURDON,E.; **Análise baseada em objetos**, Editora Campus, Tradução da segunda edição americana, 1992.

CONTROL ENGINEERING; **PC hardware and software**, **Control Engineering**, Vol 39, no3, Feb, 1992.

COWAN, C.F.N.; GRANT,P.M; **Adaptative Filters**,. Prentice-hall Inc, 1985.

DEMMER,P; **Flexible automatiserte Erfassung von Messdatenowiederem Auswertung und Ruckfuhrung den Prozesszu Qualitätsregelung**, VDI Berichte , pp67-77 NR 606 1986.

DIGICONSA; **Cota Digicon MCE-21 Múltiplos Comparadores Eletrônicos**, Catálogo do produto, 1990

DOEBELIN,E.O; **Measuring Systems, Aplication and Design**, McGraw-Hill Inc, Quarta edição, 1990.

DUNCAN,R;**MS-DOS Avançado**, Makron Books, segunda edição, Brasil, 1990.

EVANS,J,R; LINDSAY,W.M. ; **A Framework For Expert Systems Development in Statistical Quality Control**, Computer In Engng, Vol 14, no3, pp335-343, 1988.

FEINPRÜF Mahr GmbH; **Feinprunf Militron R 9030**, Catálogo do produto, Alemanha, 1986.

FORQUE,B.; **SCPI: Bientot un language universel?**, MESURES, Octobre, pp45-51, 1990.

GIGER,I; Flexible Multi-point Automatic Measuring Machine for Checking Shaft-Type Parts, Swiss Quality Production, pp 582-584, july,1985.

GOELZE,H; Integration of Measurement Controlling Systems into Flexible Production Lines, VDI Berichte NR 761,pp 205-214,1989.

GROTE,H; Flexible Systemeuberwachen die Fertigung von kurbelwelle, Werkstaatt und Betrieb, Controlling Systems into Flexible Production Lines, VDI Berichte NR 761,pp 205-214,1989 vol 123, N 3, pp193-195, 1990.

HELIOS mbH; Helios SPC HEROLD, Catálogo do produto, Alemanha, 1889

HEWLETT PACKARD Company;HP Interactive Test Generator for DOS, Catálogo do Fabricante,, EUA ,1990

HOMMELWERKE Gmbh, Homellwerke Gauging Machine, Catálogo do Produto, , Alemanha,1987.

HOMMELWERKE GmbH; HOMMELWERKE Valve Measuring Machine with OptoElectronic Surface Plan Detection, Catálogo do produto, Alemanha, 1987.

HUBELE,N.F; KEATS,J.B. ; Automation the Chalenge for SPC, Quality ,pp 14-22, March, 1987.

KIM,K.; Cilindrical Accuracy Control Based on Stochastic Modeling an Forecasting Compensation, Int.J.Mach.Toll, pp-489-500, 1988.

KIRSCHILING,G. Qualitatssicherungund Toleranzem, Springer-Verlag Berlin, 1988.

KLINGENBERG, V.; **Kontinuierliche Prozessregelung**, QZ, Vol 35, no 1, pp 608-610, 1990.

ISO 8402; **Quality Vocabulary**, 1983.

LABMETRO; **Instrumentação para Controle Dimensional, Laboratório de Metrologia e Automação**, UFSC, 1987.

LAW, K.J.; **Automatic Dimensional Gauging Systems**, Quality, p32-34, October, 1986.

LEPIKSON, H.A.; **Padronização e Interação das unidades de Fabricação, Inspeção e manipulação de uma célula flexível de manufatura**, Dissertação de Mestrado, UFSC/EMC/LMA, 1990.

LIU, T.I.; **A Time-series Approach for Computer-Aided Quality Control**, 1988 Integrated Systems Conference Proceedings, Institute of Industrial Engineers, pp 44-48, 1988.

LUCKE, H.A.H.; **Computadores Pessoais para Automatização de Laboratórios**, CONAI, pp106-118, 1990

MARPOSS; **MARPOSS E3 - Medidor Pós processo, Catálogo do produto**, 1987.

MARPOSS ; **MARPOSS LS 38 - Medidor programável e Analisador Estatístico**, Catálogo do Produto, EUA, 1987.

MIKES, S.; **UNIX for MS-DOS Programmers**, Addison-Wesley Publishing Comp. Inc., 1989.

MITUTOYO LTD; **Mitotoyo Corona, Automatic Inspection Equipaments for Automobil Industry**, Japão, 1990

MITUTOYO Corporation; **MITUTOYO SPC M-stat for Mux-40 systems / Host computer system IBM-PC**, Operations manual, 1984.

MONTGOMERY,D.C.; **Introduction to Statistic Quality Control**, John Wiley Sons Inc., 1985.

NATIONAL INSTRUMENT Corporation; **IEEE-488 Control Data Aquisition for your Computer**,Catálogo do fabricante, EUA, 1990

PEREIRA, M.W; **Desenvolvimento de Dispositivosde Medição para Controle Geométrico**, Dissertação de Mestrado, UFSC\EMC\LMA, 1991.

PRESMAN.R.S.; **Software Engennering, A Practitioners Approach**, McGrall-Hill Book Company, 1982.

PRETEC AG; **Pretec 3600, Cartão para medição e controle para IBM-PC ou compatível**, Catálogo do produto, Suíça,1989.

PRETEC AG ; **PRETEC Universeller Messrechner P3M e Mess-Systems 3000**, Catálogos dos produtos, Suíça, 1987

PUTNAN,F.A.; **Comparing Unix and OS/2 Operating Systems for Process Control**, Control Engineering, Abril, 1989.

QUALITY PROGRESS; **1989 Directory of Software for Quality Assurance and Quality Control**,pp17-64, Mar, 1989.

RAJAMANI,K.; BHASKER,R.; GERBER,R.; SNYDER,S. **Windows Goes to Real Time**, Byte, pp119-130, abril, 1992.

RENARD,P.; **IEEE 488: Faites du test, MESURES**, Octobre, pp45-51, 1990.

RICHARD,J.; **Controle Dimensionnel et Suivi de Production un Ilot Automatise de Fabrication de Pieces Mecaniques. Analysesdes Mesures et Prediction des Corrections**, Tese de doutorado, Universidade de Nancy I, França, Feb, 1985.

RICHARD,J.; BASIC,E; VERON,M. ; **Controle Statistique du processus du fabricationen atelier flexible, Materix Mequanique Eletricite**, no 420, Mar-Mai, pp15-17, 1987

RICKETTS,R.; **Quality Takes Control**, Manufacturing Engineering, pp34-36, September, 1989.

SATA,T.; TAKEVCHI,Y.; SAKAMOTO,M.; WECK,M.; **Improvement of Working Accuracy on NC lathe by compensation for the thermal Expansion of Toll**, Annals of CIRP, Vol 39, no1, pp445-449, 1981.

SCHLUMBERGER Industrias Ltda;**Schlumberger SM-16 - Interfaces para microcomputadores**, Catálogo do produto, 1991.

SCHMALZAL,J.L; **Data Handling**, IEEE, Spectrum, November, 1991.

SGM; **SGM-APPROVE APPROVE - Qualitätssicherung prozesssteuerung**, Catálogo do produto, Holanda, 1989.

SHANKAR,N.K; **Flexible Inspection Systems for Turned Parts, Quality**, pp 34-36, November, 1989.

SHAW,M.; **Abstraction Techniques in modern Programming Language**, IEEE Software, October, 1984.

STADELHOFER,E; **Ein flexibles CNC-Drehsystem für verschiedene Fertigungsstufen** Production Engineering, pp s16-22,1990.

SUTOYO,J.C; **Automação do Controle Estatístico do Processo**, Dissertação de Mestrado, UFSC\EMC\LMA,1987.

SZYMINSKI,S.; WURPEL,H.; Computaterized Quality Control in Automatical Machining Systems in Batch Production, IMEKO, pp-148-153, 1986.

TANNOCK,J.D; The Integrated Quality System in CIM, Computer Integrated Manufacturing Systems, vol1, N 4, November, 1988.

TESA SA ; TESA CQC 200 - Industrial computer for multi-dimension gaging, Catálogo do produto, Suíça, 1989.

TESA SA; TESA TDC 2001, Descrição do produto, Suíça, 1989.

TONTINI,G.; Sistema Integrado de Qualidade- IQS Aplicação e análise em processos de Fabricação, Dissertação de Mestrado, CPGEM, UFSC, Fev, 1991.

VENUGOPAL,R; BARASH,M.; Thermal Effects on the Accuracy of Numerically Controlled Machine Tolls, Annals of CIRP, VOL 35, no 1, 1986.

VERNON Gauging systems Limited; Vernon VCS II, Catálogo do produto, Inglaterra, 1990.

VERON,M;BASIC,E; RICHARD,J. ; In-process Quality Control and Corrective Feedback in a Flexible Manufacturing Cell, Proc.5° Int.Conf. Flexible Manufacturing Systems, pp4-84, 1986

VERON,M.; CIRTON,V.; RICHARD,J; RIS,V; Integration du Controle Dimensionel dans um system flexible du producton, Annal of CIRP, Vol 37, no1, 1988

WU,S.M; Dynamic Data Systems: A New modeling Approach, Transactions of ASME, pp708-714, Ago, 1977.

WU,S.M. ; **Precision Machining without Precise Machinery**,
Annals of CIRP, Vol 38, no 1, pp553-556,1989.

WURPEL,H.; NIEHOFF,B; BOHME,H.G.;SZYMINSKI,S; WISS.Z.;
**Statistische Regelalgorithmen für die Masssteuerung in
Automatisierten Fertigungseinheiten der Teilefertigung**,
TechnHochsch, Magderburg, Vol30, no5, 1986.

YANG,H.H; WANG,X; YANG,G.P; LIU,M.Y.; **Optimal Control of
the Grinding Process based on Filtering and Prediction Theory**,
Annals of CIRP, Vol 32, no 1, pp-335-338, 1985

YONGSHENG,G ; ZHU, L.;KALISZER; WEBSTER,J; TIEBANG,X.;
**Automotive auto-classification machine controlled by
microcomputer**, Int.J.Mach.Tools, vol 30, N 2, pp 237-242,1990.

ZURN,H.; **Processos Estocásticos em Engenharia Elétrica**, Notas de
Aula, CPGEL, UFSC, 1990

APÊNDICE A - Algoritmo de Burg-Levison

Retirado de Rabiner, L.R. e Englewood, C., " Digital Processing of Speech Signals", Prentice-Hall, 1978 e adaptado na forma de pseudocódigo.

ENTRADA: N - tamanho da amostra

M - Ordem do Processo

Y[N] - Vetor com os valores das amostras

INICIO:

FAZ I=0 A M

SE I = 0

ENTAO

E[0] = 0

FAZ K=1 A N

E[0] = E[0] + SQR(Y[K])

PROXIMO K

E[0] = 2 * E[0]

DEN[0] = E[0]

Q = 1

FAZ K=1 A N

F[0,K] = Y[K]

B[0,K] = Y[K]

PROXIMO K

SENAO

NUM = 0

FAZ K=1 A N-1

NUM = NUM + B[I-1,K] * F[I-K,K+1]

PROXIMO K

DEN[I] = DEN[I-1] * Q - SQR(B[I-1,N-I+1]) - SQR(F[I-1,1])

A[I,I] = -2 * NUM / DEN[I]

Q = 1 - SQR(A[I,I])

E[I] = E[I-1] * Q

```

SE I <> 1
  ENTAO
    FOR K = 1 A M-1
      A[I,K] = A[I-1,K]+ A[I,I]*A[I-1,I-K]
    PROXIMO K
  FAZ K= 1 A N-1
    F[I,K]=F[I-1,K+1]+A[I,I]*B[I-1,K]
    B[I,K]=B[I-1,K]+A[I,I]*F[I-1,K+1]
  PROXIMO K
PROXIMO I

```

SAIDA :

```

  FAZ I=1 TO M
Ar[I]= -A[I,m]
  PROXIMO I

```

Os coeficientes a_1, a_2, \dots, a_n podem ser obtidos:

$a_1 = Ar[1], a_2 = Ar[2] \dots a_n = Ar[M]$.

APÊNDICE B- Algoritmo para cálculo das correções do processo pelos métodos da média móvel

Algoritmo para cálculo das correções do processo pelos métodos da média móvel e por modelo auto-regressivo(AR).Adaptado de :

Média móvel: Klingenberg,V., "Kontinuierliche Prozess Regelung", QZ ,Vol 35, no 1, pp608-610,1990.

Modelo AR : Richard,J., " Controle Dimensionel et Suivi de Production un Ilot Automatse de Fabrication de Pieces Mecaniques. Analyse des Mesures et Prediction des Corrections", Tese de doutorado, Universidade de Nancy I, França, 1985.

Filtro de Kalman : Veron,M., Basic,E., Richard,J., In-Process Quality Control and Corretive Feedback in a Flexible Manufacturing Cell, Proc 5° Int.Conf. Flexible Manufacturing Systems, pp74-84,1986.

Dados de Entrada:

Série seqüencial de medidas.

Parâmetros do Modelo:

- Modelo Ar : ordem do processo e tamanho da amostra
- Filtro de Kalman :ruído de medição.
- Média Móvel :tamanho da amostra.

Limites de controle:

- Tolerâncias.
- Limites das zonas neutra, atuação, parada.
- Variância máxima do processo.
- Limites de correção.

Dados de Saída :

- Correções
- Status do processo
- Compensação das correções anteriores

