

**Universidade Federal de Santa Catarina**

**Centro Tecnológico**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial**

**Labmetro - Laboratório de Metrologia e Automatização**

**Sistemática de Avaliação e Melhoria  
do Processo de Medição com suporte  
de um Laboratório de Serviços e  
Assessoramento Remoto**

Dissertação submetida à: Universidade Federal de Santa Catarina para a  
obtenção do título de Mestre em METROLOGIA

João Vicente Falleiro Salgado

Florianópolis, 15 de outubro de 2004

# **Sistemática de Avaliação e Melhoria do Processo de Medição com Suporte de um Laboratório de Serviços e Assessoramento Remoto**

***João Vicente Falleiro Salgado***

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

**Mestre em METROLOGIA**

e aprovada na sua forma final pelo

Programa de Pós Graduação em Metrologia Científica e Industrial

---

Prof. Carlos Alberto Schneider, Dr. Ing.  
Orientador

---

Prof. Marco Antonio Martins Cavaco, Ph.D.  
Coordenador do Curso

## **Banca Examinadora:**

---

Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D.

---

Prof. Gustavo Daniel Donatelli, Dr. Eng.

---

Prof. André Roberto de Souza, Dr. Eng.

---

Eng. Günther Pfeiffer, M. Sc

A meus entes queridos , esposa e filhos pela  
compreensão da minha ausência.

# Agradecimentos

As organizações UFSC, Labmetro e CERTI, que possibilitaram o meu crescimento profissional.

Ao professor Carlos Alberto Schneider pela orientação criteriosa e produtiva.

Ao colega e amigo professor Walter Luís Mikos do CEFET-PR, pelas oportunas e importantes contribuições.

Aos colegas do grupo LASAR, Fred, Leal e Ribeiro pelo grande trabalho realizado em equipe, contribuindo para o crescimento de cada um de nós.

Aos colegas da turma 2001 pelo compartilhamento dos momentos agradáveis e experiências de vida.

## Resumo

A globalização da economia e a uniformização dos sistemas da qualidade adotados pelos diversos países, impuseram às empresas brasileiras exigências superiores em termos de metrologia, qualidade e normalização. Processos de medição confiáveis no chão de fábrica, com pequenas variações, têm papel fundamental e determinante na garantia da qualidade e competitividade das empresas brasileiras, de modo a satisfazerem às práticas internacionais e conseqüentemente participem das redes globais de fornecedores. Neste trabalho, será abordado o tema *Avaliação e Melhoria do Processo de Medição* no ambiente industrial contemplando os aspectos da relevância dos *processos de medição* no contexto da gestão industrial e das dificuldades e deficiências dos métodos e da prática atual. Propõe-se neste trabalho, desenvolver uma *Sistemática* para *análise e melhoria* do *processo de medição*, disponibilizada com o emprego da Tecnologia da Informação, proporcionando confiabilidade, agilidade e melhor aproveitamento dos recursos despendidos pelas empresas neste processo. Para a validação da *Sistemática* desenvolvida foram realizados dois estudos de casos em duas empresas. Estes estudos, possibilitaram praticar a funcionalidade da *Sistemática* e comprovar sua viabilidade; identificar pontos para aperfeiçoamento e modificações necessárias. Os resultados alcançados dizem respeito aos resultados dos estudos de casos; à eficácia da *Sistemática*; aos ganhos competitivos para empresa e a aplicabilidade da *Sistemática*.

Palavras-chaves : processos de medição, sistemática de análise e melhoria, metrologia.

# Abstract

The globalization of the economy and the standardization of the systems of quality adopted by several countries, impose to Brazilian companies superior requirements in metrology, quality and standardization terms. Trustworthy measurement process in shop floor, with small variations, have basic and main roles for the guarantee of the quality and competitiveness of Brazilian companies, in order to satisfy international practices. They consequently participate of the global nets of suppliers. In this work, the subject was Evaluation and Improvement of the Measurement Process in the industrial environment, contemplating the aspects of the relevance of the measurement processes in the context of industrial management and the difficulties and deficiencies of the methods and practical issues. A Systematics for analysis and improvement of the measurement process was also developed , available through the work of the Technology of the Information, providing reliability, agility and better exploitation of the resources spent by the companies in this process. For the validation of developed Systematics, two case studies in two companies have been carried out. These studies, made possible the practice of the functionality of Systematics and prove its viability; identify points for improvement and necessary modifications. The reached results of the case studies were the effectiveness of Systematics and the competitive profits for the company and the applicability of Systematics.

Key-words : measurement process, systematics of analysis and improvement, metrology.

# Sumário

Aprovação	ii
Dedicatória	iii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Sumário	vii
Lista de abreviaturas	viii

## Capítulo 1

A Tecnologia da informação agilizando a avaliação e melhoria do processo de medição

1.1 RELEVÂNCIA DOS PROCESSOS DE MEDIÇÃO NO CONTEXTO DA GESTÃO INDUSTRIAL.....	4
1.2 DIFICULDADES E DEFICIÊNCIAS NA AVALIAÇÃO E MELHORIA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO .....	4
1.3 PROPOSTA DE UMA SISTEMÁTICA USANDO A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO .....	5
1.3.1 A tecnologia da informação.....	5
1.3.2 O LASAR - Laboratório Associado de Serviços e Assessoramento Remoto .....	6
1.3.3 O Módulo de avaliação e melhoria do processo de medição .....	9
1.3.4 Área de abrangência .....	13
1.3.5 Desenvolvimento do trabalho.....	13

## Capítulo 2

O processo de medição no ambiente industrial e a prática atual de sua avaliação e melhoria	14
2.1 QUALIDADE E CAPACIDADE DO PROCESSO DE MEDIÇÃO.....	15
2.1.1 Variações do processo de medição .....	15
2.1.2 Conjunção necessária para qualidade e capacidade no processo de medição .....	19

2.1.3	Sistema metrológico brasileiro.....	20
2.2	O PROCESSO DE MEDIÇÃO E A PRÁTICA INDUSTRIAL OBSERVADA .....	21
2.3	RECOMENDAÇÕES E REFERÊNCIAS NORMATIVAS .....	28
2.3.1	Recomendações normativas.....	28
2.3.2	Referências normativas da indústria automobilística .....	34
2.4	MÉTODOS PRATICADOS PARA AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE MEDIÇÃO .....	41
2.4.1	Método da resolução .....	42
2.4.2	Método do erro máximo .....	44
2.4.3	Método da incerteza do sistema de medição .....	44
2.4.4	Método da incerteza do processo de medição .....	45
2.4.5	Método da norma ISO 14253-1 .....	45
2.4.6	Método: MSA - Análise dos sistemas de medição .....	46
2.5	ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS .....	46
 Capítulo 3		
Desenvolvimento do módulo de avaliação e melhoria do processo de medição no contexto do LASAR		48
3.1	ESTABELECIMENTO DE OBJETIVOS .....	48
3.2	INTEGRAÇÃO DO MÓDULO NO CONTEXTO DO LASAR.....	49
3.3	A ESTRUTURA DO MÓDULO .....	49
3.4	A FUNCIONALIDADE DO MÓDULO .....	53
3.5	DESENVOLVIMENTO DO SUB-MÓDULO - SELEÇÃO E APLICAÇÃO DE MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO .....	53
3.5.1	Estrutura básica do sub-módulo .....	54
3.5.2	Desenvolvimento e validação das planilhas de cálculo .....	56
3.5.3	Processo de inspeção por atributo - Seleção e aplicação de métodos para avaliação.....	63
3.5.4	Processo de medição - Seleção e aplicação de métodos para avaliação .....	65
3.6	DESENVOLVIMENTO DO SUB-MÓDULO - ANÁLISE E MELHORIA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO/INSPEÇÃO .....	71
3.6.1	Processo de inspeção por atributo - Análise e melhoria.....	73
3.6.2	Processo de medição - Análise e melhoria.....	73
3.7	DESENVOLVIMENTO DO SUB-MÓDULO - ORIENTAÇÕES PARA REAVALIAÇÃO DO PROCESSO DE MEDIÇÃO/INSPEÇÃO .....	88
 Capítulo 4		
Aplicações do módulo desenvolvido em ambiente industrial		89
4.1	PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO MÓDULO .....	90
4.1.1	Caracterização das empresas selecionadas para validação .....	90



4.1.2	Programa de computador desenvolvido para a validação .....	91
4.1.3	Plano de trabalho para a validação.....	92
4.2	ESTUDO DE CASO 1 - EMPRESA A .....	92
4.2.1	Análise da sistemática atual de avaliação e melhoria do processo de medição.....	92
4.2.2	Seleção dos processos de medição críticos .....	97
4.2.3	Treinamento no uso do módulo/programa .....	97
4.2.4	Aplicação do sub-módulo : Seleção e aplicação de métodos para a avaliação.....	99
4.2.5	Aplicação do sub-módulo : Análise e melhoria do processo de medição/inspeção .....	103
4.2.6	Aplicação do sub-módulo : Orientações sobre reavaliação do processo de medição/inspeção .....	111
4.2.7	Análise pela empresa A do módulo aplicado .....	111
4.2.8	Conclusões do estudo de caso 1 .....	111
4.3	ESTUDO DE CASO 2 - EMPRESA B .....	114
4.3.1	Análise da sistemática atual de avaliação e melhoria do processo de medição.....	114
4.3.2	Seleção dos processos de medição críticos .....	116
4.3.3	Treinamento no uso do módulo/programa .....	116
4.3.4	Aplicação do sub-módulo : Seleção e aplicação de métodos para a avaliação .....	116
4.3.5	Aplicação do sub-módulo : Análise e melhoria do processo de medição .....	119
4.3.6	Aplicação do sub-módulo : Orientações sobre reavaliação do processo de medição/inspeção .....	121
4.3.7	Avaliação pela empresa B do módulo aplicado .....	121
4.3.8	Conclusões do estudo de caso 2 .....	123
	 <b>Capítulo 5</b>	 126
	Considerações Finais	
	 Referências Bibliográficas	 130

## Lista de Abreviaturas

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>AEAM</b>	Avaliação Econômica das Atividades Metrológicas
<b>AMI</b>	Assistência Metrológica Industrial
<b>APQP</b>	<i>Advanced Product Quality Planning</i> : Planejamento Avançado da Qualidade do Produto
<b>BIPM</b>	Bureau International des Poids et Mesures: Biro Internacional de Pesos e Medidas
<b>CEP</b>	Controle Estatístico do Processo
<b>CERTI</b>	Fundação Centros de Referência em Tecnologia Inovadoras
<b>CMM</b>	Melhoria da Confiabilidade Metrológica de Medições
<b>DE</b>	Divisão de escala
<b>GSM</b>	Gerenciamento de Sistemas de Medição
<b>GUM</b>	Guia para Expressão da Incerteza de Medição
<b>IATF</b>	<i>International Automotive Task Force</i>
<b>INMETRO</b>	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i>
<b>IT ou T</b>	Intervalo de Tolerância ou Tolerância
<b>LASAR</b>	Laboratório Associado de Serviços e Assessoramento Remoto
<b>M.Atr</b>	Método de avaliação do processo de inspeção por atributo
<b>M.Est</b>	Método de avaliação da estabilidade do processo de medição
<b>M.Tdc</b>	Método de avaliação da tendência do processo de medição
<b>M.Lin</b>	Método de avaliação da linearidade do processo de medição
<b>M.R&amp;R</b>	Método de avaliação da Repetitividade e Reprodutibilidade do processo de medição
<b>MSA</b>	<i>Measurement System Analysis</i> : Análise de Processos de Medição
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>PP</b>	Ponto de Presença
<b>PPAP</b>	<i>Production Part Approval Process</i> : Processo de Aprovação de Peça de Produção
<b>PM</b>	Processo de Medição
<b>PUMA</b>	<i>Procedure For Uncertainty Management</i> : Procedimento de Gerenciamento de Incerteza

<b>Re</b>	Resolução do sistema de medição
<b>RBC</b>	Rede Brasileira de Calibração
<b>RBLE</b>	Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios
<b>R&amp;R</b>	Repetitividade e Reprodutibilidade do processo de medição
<b>RM</b>	Resultado de uma Medição
<b>SM</b>	Sistema de Medição
<b>SGQ</b>	Sistema de Gestão da Qualidade
<b>T ou IT</b>	Tolerância ou Intervalo de Tolerância
<b>Td</b>	Tendência do processo de medição
<b>VP</b>	Variação do Processo de Fabricação
<b>VC</b>	Valor de calibração ou Valor verdadeiro convencional ou Valor de referência
<b>VR</b>	Valor de referência ou Valor verdadeiro convencional ou Valor de calibração
<b>VVC</b>	Valor verdadeiro convencional ou Valor de referência ou Valor de calibração
<b>VIM</b>	Vocabulário Internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia

## Capítulo 1

# A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO AGILIZANDO A AVALIAÇÃO E MELHORIA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO.

Grande parte das decisões tomadas, em todas as áreas da atividade humana moderna, e especialmente em relação à qualidade, é baseada em estatística. Sendo interpretada como a ciência da tomada de decisão perante incertezas, compreende as atividades de coleta, análise e interpretação de dados [1]. Em muitas empresas, a estatística da qualidade, tem como dados de origem (entrada), os resultados dos processos de medição da área produtiva.

Sob o ponto de vista empresarial, a redução das incertezas na estatística da qualidade, aliada a agilização na tomada de decisão gerencial, são fundamentais para manter-se competitivo no mercado globalizado. O uso da Tecnologia da Informação possibilita disponibilizar uma sistemática de análise e da melhoria dos processos de medição com confiabilidade, agilidade e melhor aproveitamento de recursos.

### **1.1 RELEVÂNCIA DOS PROCESSOS DE MEDIÇÃO NO CONTEXTO DA GESTÃO INDUSTRIAL**

Com a globalização da economia, tornou-se imperativo a uniformização dos sistemas da qualidade adotados pelos diversos países, a partir de 1973[2]. Neste sentido, as normas da série ISO9000 desempenharam um papel fundamental na padronização e sistematização da qualidade cujo objetivo é facilitar o comércio internacional.

O surgimento da Comunidade Européia, apresenta-se como elemento facilitador deste processo, decisivo na difusão das normas ISO9000.

Atualmente, a crescente conscientização da sociedade sobre qualidade, facilitada pela mídia dos produtos, aliada aos direitos do consumidor e a legislação pertinente, impôs às empresas nacionais, um padrão internacional de qualidade e inovação. Outro fato comum, no mundo globalizado é o processo produtivo tendo suas etapas realizadas em diversos países.

Este cenário implica em exigências superiores em termos de metrologia, qualidade e normalização para o país. A capacidade das empresas brasileiras atenderem as práticas internacionais passa a ser um elemento importante para que participem das redes globais de fornecedores [3].

A qualidade depende diretamente da normalização e da metrologia. Não há qualidade se não houver especificações dos insumos, do processo produtivo e de medição dos atributos-chave [2].

Para dar suporte às áreas de qualidade, normalização e metrologia, o Brasil dispõe do Sistema Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO), modelo que integra as funções básicas da tecnologia industrial em um único sistema [4]. A metrologia industrial baseia-se em medições e ensaios executados por sistemas calibrados para a avaliação da conformidade de produtos, processos e serviços, ou para fins de certificação de Sistemas da Qualidade como, por exemplo, ISO9000, QS9000, TS16949.

Sob o ponto de vista técnico, a medição é empregada como uma ferramenta para [5]:

- Monitorar/acompanhar a produção;
- Controlar ou investigar um processo;
- Garantir a qualidade de produtos e processos de fabricação;
- Classificar as peças em ruins ou boas em relação às especificações.

Medições relacionadas à qualidade dos produtos são uma parcela essencial dos sistemas de controle da qualidade. Tais medições podem estar diretamente relacionadas à qualidade do produto quando, por exemplo, elas tomam a forma de medições dimensionais, ou podem afetar indiretamente a qualidade do produto quando tomam a forma de controle de condições do processo, como temperatura e pressão [6]. Dados de medição estão sendo cada vez mais usados e em número maior de modos. Por exemplo, a decisão de se ajustar ou não um processo de manufatura, é agora comumente baseada em dados de medição [7]. (A referência [7] usada neste trabalho se baseia na segunda edição, não sendo considerado as modificações que a terceira

edição (março de 2002) traz). A qualidade dos dados de uma medição está relacionada com as desempenho metrológico do processo de medição que os gerou.

A qualidade e confiança nos resultados dos processos de medição no ambiente industrial são o foco principal deste trabalho. Observa-se na figura 1.1, que os processos de medição, tem um forte impacto na gestão empresarial.

A figura mostra, a contribuição direta dos processos de medição na avaliação da conformidade do produto, na melhoria e controle dos processos fabris e no desenvolvimento de produtos, realizados por testes, ensaios e medições em produtos e processos. Identifica-se também um impacto indireto nos indicadores de desempenho empresarial (qualidade e custo). Os processo de medição apontam os refugos, os retrabalhos, as correções, as reclassificações ou os reparos [8], necessários nos produtos. Os indicadores da qualidade e custo da empresa são compostos pelo levantamento dos números e custos destas não conformidades.

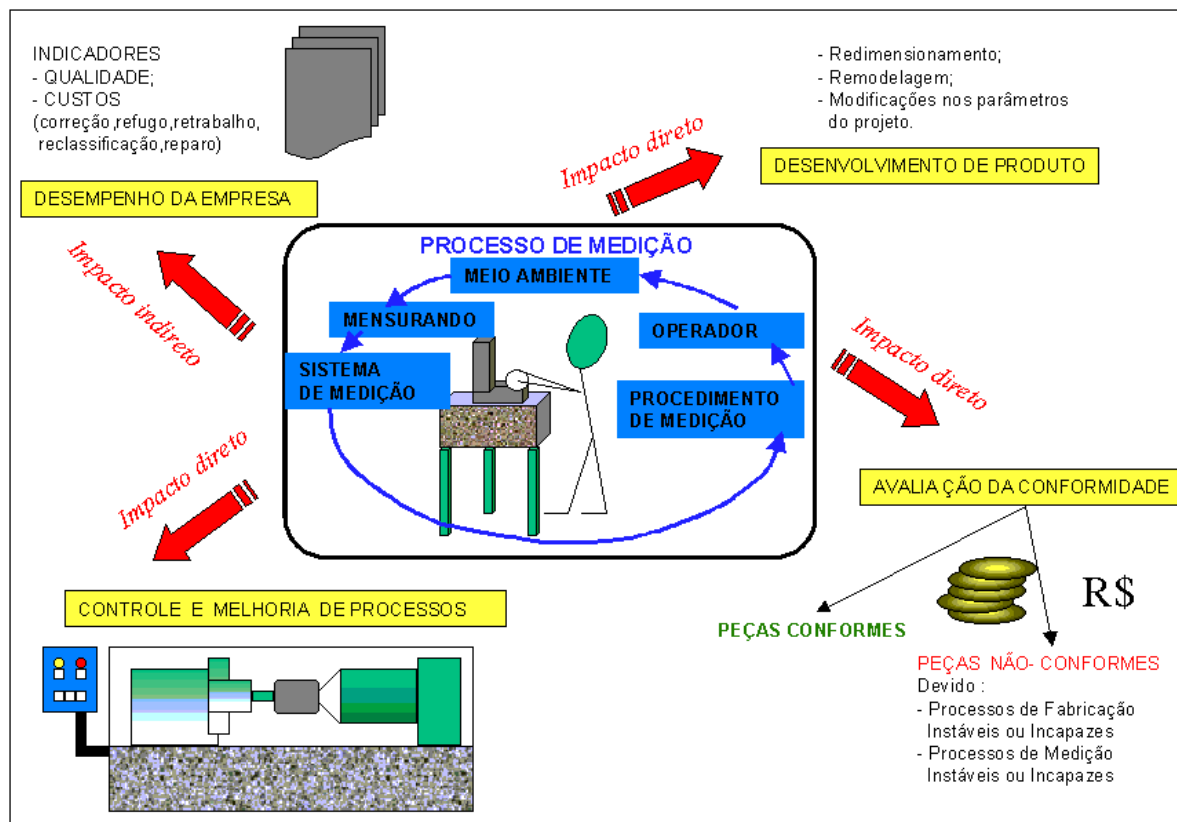


Figura 1.1 – Impacto dos processos de medição na gestão empresarial.

## **1.2 DIFICULDADES E DEFICIÊNCIAS NA AVALIAÇÃO E MELHORIA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO**

Existem atualmente várias recomendações normativas e alguns métodos bastante conhecidos e difundidos que tratam o tema "avaliação e melhoria de processos de medição". Dentre as recomendações normativas, destacam-se as relacionadas com o sistema de gestão da qualidade (por exemplo: ISO9001:2000) as quais dão maior ênfase à gestão e calibração dos sistemas de medição, negligenciando os outros elementos que compõem o processo de medição, os quais são: O operador; o meio ambiente; o mensurando e o método.

Já as normas da indústria automobilística, demonstram uma preocupação maior com os elementos do processo de medição indicando métodos de avaliar sua influência. Entretanto, percebe-se que algumas empresas não utilizam estas referências por desconhecimento ou por falta de competência[8].

Destacam-se os seguintes métodos para avaliação [9]:

- Empírico;
- Resolução;
- Erro máximo;
- Incerteza do Sistema de Medição;
- Incerteza do Processo de Medição;
- Norma ISO14253-1;
- MSA – Análise de Sistemas de Medição.

A referência[9] deste trabalho esta em discordância do ISOGUM[34], este último considera que a Incerteza de medição não é o do sistema nem do processo de medição, mas sim aplicada ao resultado de medição,segundo [42].

Dentre os métodos, evidencia-se a difusão e aplicação do MSA no meio industrial. Todavia, identificou-se em visitas técnicas realizadas, que as empresas aplicam-no erroneamente ou sentem dificuldades na sua aplicação, pelas razões citadas a seguir:

- Dificuldade na interpretação do MSA;
- Recursos humanos não especializados;
- Visão errônea de que processo de medição é igual a sistema de medição;
- Análise indevida por família de sistemas (paquímetros, micrômetros, súbitos e outros);
- Desconhecimento de possíveis ações quando a dispersão é maior ou igual a 20% do

admissível;

- Desconhecimento de possíveis ações para reavaliação do processo de medição;
- MSA aplicado erroneamente em ensaios destrutivos e grandezas heterogêneas (dureza, tração, metalografia);
- Grande quantidade de dispositivos a serem avaliados;
- Ausência de assessoria de apoio.

Por outro lado o manual do MSA apresenta deficiências que dificultam sua aplicação, descritas abaixo:

- Terminologia e definições usadas conduzem a erros de interpretação, devido a não adoção do V.I.M. – Vocabulário Internacional de Metrologia [10]. Ex: Resolução, sistema de medição;
- É bastante genérico, apresenta certa dificuldade para empresas passarem para o específico;
- Informações não sistematizadas (dispersas);
- Fluxograma orientativo só prevê o teste de Reprodutibilidade e Repetibilidade ou o teste para processo de medição atributivo, não considerando os testes de Linearidade, Estabilidade e Tendência;
- Mostra só um exemplo para cada método;
- Deixa dúvidas quando realizar o teste de Linearidade ou Tendência;
- Deixa dúvidas quando aplicar a avaliação da Estabilidade;
- Exigência de grande conhecimento em estatística para implementá-lo.

### **1.3 PROPOSTA DE UMA SISTEMÁTICA USANDO A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO**

A análise e melhoria dos processos de medição envolvem certa complexidade, que muitas vezes não é equacionada pela empresa. Quando o é, realiza-se de forma incompleta, não abordando todos os seus aspectos. Diante de dificuldades dessa natureza, viabiliza-se sistematizar a análise e melhoria dos processos de medição, disponibilizada com emprego da Tecnologia da Informação, amplamente utilizada atualmente.



### 1.3.1 A tecnologia da informação

Sabe-se que insumos como “dinheiro, informação e outros itens imateriais podem ser transferidos mundialmente com velocidade sem precedente” [11], transpassando as barreiras geográficas e temporais. Esta realidade foi possível com o advento da tecnologia da informação, liderada pela *internet*, onde as informações são disseminadas *on line* e em tempo real, reproduzidas, processadas, captadas e interpretadas usando um computador conectado em rede.

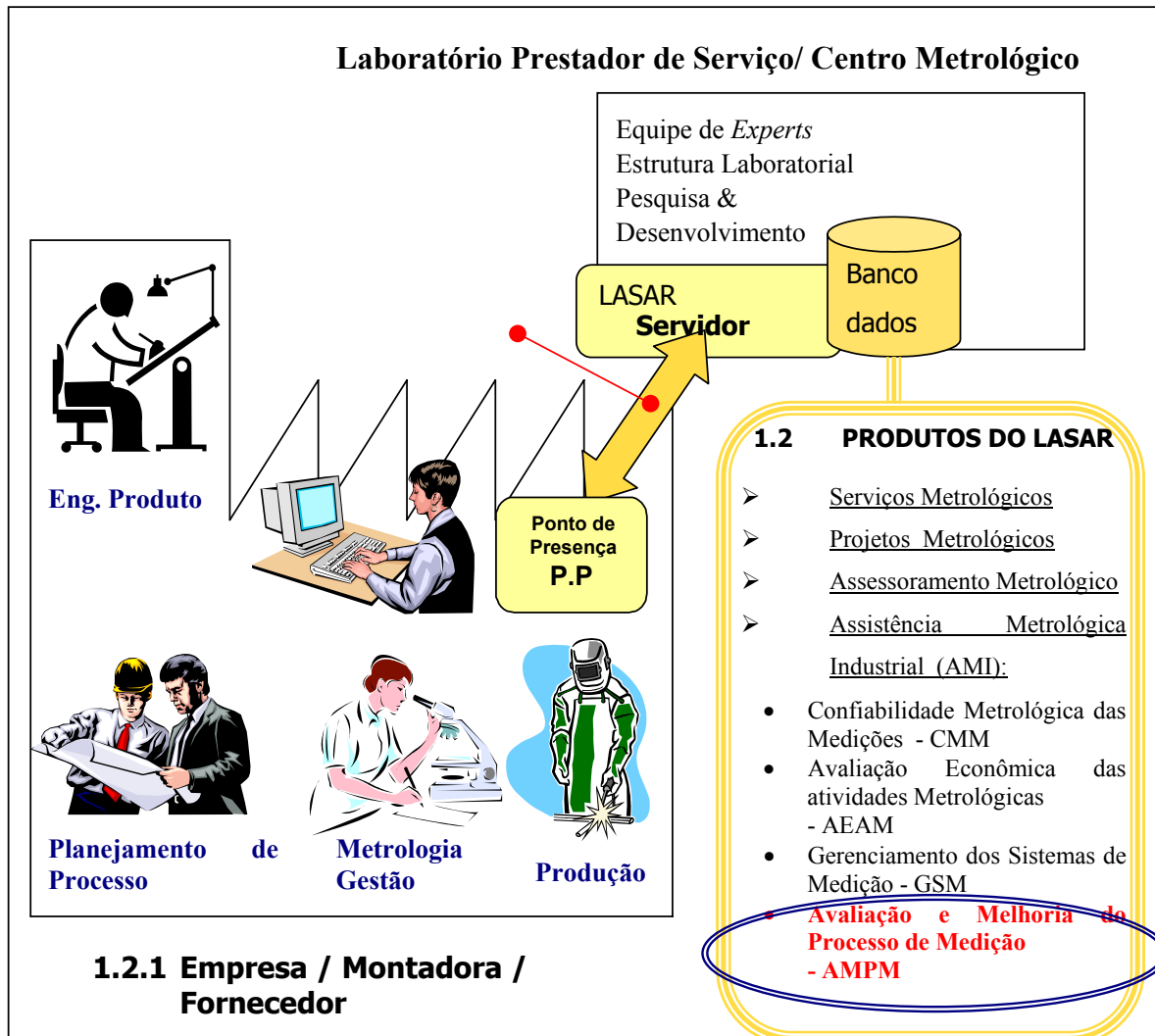
A Tecnologia da Informação apresenta uma série de aspectos positivos para a factibilidade da sistemática proposta, alguns citados a seguir[12,13]:

- Grande capacidade de gerar, tratar e transmitir informações em forma de som, imagem e dados;
- Quebra das barreiras do espaço e do tempo na comunicação;
- Atualização *on line* de novas “versões” seguindo o “estado da arte”;
- Apoio e agilidade nos processos de tomada de decisão na empresa;
- Possibilidade de aproveitamento dos sistemas informatizados já instalados;
- Serviço personalizado configurado ao perfil específico de um determinado cliente.

### 1.3.2 O LASAR – Laboratório Associado de Serviços e Assessoramento Remoto

O LASAR apresenta-se como um novo conceito de atuação de um centro tecnológico. É um laboratório prestador de serviços independente, associado à indústria para dar suporte técnico na área metrológica, por meio de trabalhos de assessoramento e serviços. Envolve forte cooperação entre laboratório e a indústria [13]. Utilizando a *internet* como meio de intercâmbio de informações e disponibilização das soluções, o assessoramento envolve sistemáticas interativas, buscando o melhor aproveitamento de tempo, recursos humanos e financeiros [13,14]. A concepção do LASAR pode ser visualizada na figura 1.2.

O setor responsável pela metrologia em cada empresa, associada, acessará, após treinamento e habilitação, toda ou parcialmente a estrutura do LASAR, através do chamado Ponto de Presença do LASAR (PP) [12]. O desenvolvimento do LASAR prevê uma nova sistemática da assistência metrológica industrial (AMI). A AMI vista como um dos produtos do LASAR, atuará com as funções de:



*Figura 1.2 – Destaque do módulo de Avaliação e melhoria do processo de medição no contexto LASAR. Adaptado de [14].*

Disponibilizar informações; Gerenciar sistemas de medição; Assessorar atividades para confiabilidade metrológica das medições; Prover educação e treinamento; Prover avaliação econômica da atividade metrológica e prover avaliação e melhoria do processo de medição. O LASAR está em desenvolvimento no âmbito do PósMCI (Programa de Pós Graduação em Metrologia Científica e Industrial), ligado à Universidade Federal de Santa Catarina e Fundação CERTI (Centros de Referências em Tecnologias Inovadoras) com objetivo de gerar conhecimentos e conceitos para atender demandas de metrologia provenientes da indústria [12]. Pela experiência comprovada dessas instituições, no desenvolvimento de projetos na área de metrologia, gerando tecnologia e transferindo informação e conhecimento, tem-se as características neces-

sárias para o êxito do projeto. Sua infra-estrutura é composta por módulos, interligados entre si. Atualmente, têm-se os seguintes módulos, contidos na referência [13]:

- *Gerenciamento dos Sistemas de Medição (GSM)* [13].  
Envolve a gestão dos sistemas de medição e meios auxiliares, garantia de rastreabilidade, seleção e aquisição por meio da sistematização de procedimentos e serviços.
- *Avaliação econômica das atividades metrológicas influenciadas pela contratação de serviços e assessoramento remoto (AEAM)* [14].  
Visa obter custos relacionados à metrologia na empresa, dentro dos custos relativos a qualidade, permitindo identificar o impacto econômico causado pela contratação do LASAR. Estes custos da qualidade estão relacionados aos custos de conformidade (avaliação e prevenção) e não-conformidade (falha interna e externa).
- *Melhoria da Confiabilidade Metrológica, (CMM)* [12].  
Prevê suprir a carência em conhecimentos metrológicas e a necessidade da correta utilização dos documentos gerados pelo setor responsável pela metrologia, através da função de caráter educativo. Outras funções de caráter executivo têm objetivo de utilizar dados existentes nas empresas e que não estão sendo utilizados de maneira ótima.

### **1.3.3 O Módulo de avaliação e melhoria do processo de medição**

Inserida no contexto do LASAR, a sistemática proposta por este trabalho de dissertação, é concebida em forma de módulo e daqui para frente designado pela sigla (AMPM). Dentro da concepção modular está relacionado e integrado aos demais módulos do LASAR, entretanto pode ser aplicado independentemente.

Para superar as dificuldades e deficiências identificadas no item 1.2, o módulo foi estruturado em sub-módulos descritos a seguir:

- Seleção e Aplicação de Métodos para Avaliação de Processos de Medição.
- Análise e Melhoria dos Processos de Medição.
- Orientações para Reavaliação de Processos de Medição.

O sub-módulo “Seleção e Aplicação de Métodos para Avaliação de Processos de Medição” em linhas gerais, objetiva conduzir e orientar as empresas para aplicação de métodos de avaliação (Repetitividade, Reprodutibilidade, Tendência, Linearidade, Estabilidade) mais adequados, de acordo com a aplicação e as variáveis de um determinado processo de medição.

Após a aplicação correta da avaliação, o sub-módulo "Análise e Melhoria do Processo de Medição" possibilita à empresa realizar uma análise crítica dos resultados, interpretando-os. Com o uso de ferramentas de qualidade apropriadas, identifica-se as fontes de variações e otimiza-se o processo de medição.

O sub-módulo "Orientações para Reavaliação de Processos de Medição" propõe critérios para reavaliar os processos de medição, pois atualmente segundo visitas de estudos realizadas[15], as empresas fazem somente uma vez a avaliação do processo de medição.

Cada sub-módulo concebido deverá atender algumas características pretendidas, citadas a seguir:

- Facilidade de aplicação e execução;
- Confiabilidade nos resultados e informações fornecidas;
- Atuar como meio de treinamento;
- Ser auto-explicativo;
- Ser esclarecedor e informativo;
- Prover clareza e objetividade na comunicação;
- Proporcionar redução nos custos e otimizar recursos (humanos, tempo, infraestrutura).

#### **1.3.4 Área de abrangência**

Objetivando viabilizar um trabalho progressivo e focado, institui-se algumas condições de contorno iniciais para o desenvolvimento da AMPM, as quais são [12,13,14,15]:

- Empresa industrial;
- Preferencialmente de pequeno e médio porte;
- Ramo metal-mecânico;
- Produção seriada;
- Sistema de Qualidade implantado ou com decisão de implantá-lo;
- Demandas por soluções metrológicas.

As condições delimitadas agrupam, um segmento de indústrias que apresentam maior demanda por soluções metrológicas, envolvendo complexidade e conhecimento especializado. Todavia, o uso dos processos de medição confiáveis como ferramenta para tomada de decisão, abrange as áreas de projeto, planejamento de processos e

produção, melhoria e controle de processos. Estas estão presentes em quase todos os setores e segmentos industriais, demonstrando a grande possibilidade de expansão futura da área de abrangência agora limitada.

### **1.3.5 Desenvolvimento do trabalho**

Com o objetivo de desenvolver um trabalho aplicado a realidade de pequenas e médias empresas, atendendo suas necessidades, estabeleceu-se um plano preconizando três etapas:

- Busca de informações da realidade industrial  
A identificação das dificuldades e deficiências na avaliação e melhoria do processo de medição desenvolveu-se, através da análise da literatura pertinente, associada com o conhecimento da prática industrial, realizada por visitas técnicas. Esta etapa é descrita no capítulo 2.
- Pré-concepção do módulo.  
Nesta fase, exposta no capítulo 3, estabeleceram-se a estrutura, os sub-módulos, características e ferramentas necessárias para ao bom desempenho do módulo.
- Validação do módulo  
Realizou-se por meio de estudos de casos em duas empresas, possibilitando comprovar, testar a viabilidade e eficácia [8] do módulo, apresentadas no capítulo 4. É apresentado toda a metodologia aplicada na validação, os resultados obtidos, sua tratativa e análise.

Destaca-se que a base deste módulo é o Sistema de AMI do LASAR (figura 1.2), concebido para associar um centro tecnológico a empresas que apresentam demandas por soluções e assessoria envolvendo complexidade e alto conteúdo tecnológico. Observa-se que neste trabalho adotou-se a terminologia do VIM – Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia [10], para os termos relativos à metrologia e a norma NBR ISO 9000:2000 [8] para os termos relativos à qualidade.

## Capítulo 2

# O PROCESSO DE MEDIÇÃO NO AMBIENTE INDUSTRIAL E A PRÁTICA ATUAL DE SUA AVALIAÇÃO E MELHORIA

O ambiente industrial, também conhecido como chão de fábrica, é o local onde se gera o produto por meio dos diversos processos de fabricação.

Máquinas e equipamentos funcionando, materiais e operadores em movimento, meios de medição e ensaios avaliando a conformidade de produto e processo, estão contidos num ambiente sujeito a vibrações, oscilações de temperatura, umidade.

Neste ambiente, o processo de medição está inserido, sendo, portanto necessário a compreensão dos seus elementos e das fontes de sua variação.

Igualmente importante é o entendimento da conjunção necessária para assegurar a necessária confiança no processo de medição desde o chão de fábrica, até as *Key Comparison* das organizações regionais mundiais.

Neste capítulo apresenta-se também uma interpretação detalhada das recomendações, referências, normas e métodos utilizados na avaliação e melhoria dos processos de medição, confrontando-as com a prática observada em empresas. Finaliza-se este capítulo com uma análise comparativa dos métodos praticados.

## 2.1 QUALIDADE E CONFIANÇA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO

A qualidade e confiança em um processo de medição na empresa, é decorrente de várias atividades gerenciais, entre as quais destacam-se:

- Identificação e manutenção das grandezas de influência [10,17] dentro de limites aceitáveis ;
- Disponibilizar instrumentos de medição, operando segundo um sistema de comprovação metrológica [17];
- Operadores treinados e competentes [8];

Tais atividades devem ser suportadas por um sistema metrológico reconhecido internacionalmente que realiza as calibrações dos sistemas de medição utilizados pelas empresas e os ensaios necessários ao desempenho e a conformidade do produto. Além destas, faz-se necessário por parte das empresas, a compreensão e domínio das fontes de variações do processo de medição.

A conjunção entre sistema metrológico reconhecido internacionalmente e a gestão das atividades metrológicas empresariais determinam a qualidade e confiança no processo de medição.

### 2.1.1 Variações do Processo de Medição

“O equipamento de medição é apenas um entre os diversos fatores que afetam ou interferem nas medições. O conceito de processo de medição considera a medição como um processo completo, partindo da análise das implicações das bases científicas da medição, rastreabilidade dos valores dos padrões de medição, calibração e, se necessário, ajuste através da verificação e comprovação metrológica aos resultados produzidos pelo equipamento de medição no local de trabalho e sob condições de uso” [17].

Os elementos do processo de medição são fontes de influência que sofrem variações.

Tais variações decorrem em desvios ou erros. As fontes são ilustradas na figura 2.1.

A variação pode ocorrer na localização e ou na dispersão de um processo de medição [7]. A primeira envolve os desvios de: tendência, estabilidade e linearidade. A segunda: repetitividade e reprodutibilidade.

#### a) **Desvios na localização são caracterizados através de:**

- *Tendência* [7]: É a diferença entre a média observada das medições repetidas em um valor de referência. O valor de referência, também conhecido como valor

padrão ou valor verdadeiro convencional (VVC) é o valor que serve como uma referência para os valores medidos. Um valor de referência pode ser determinado tirando-se a média de várias medições feitas com um equipamento de medição de maior exatidão. A figura 2.2 ilustra a tendência.

- *Estabilidade* [7]: Pode ser definida também como a propriedade : “aptidão de um instrumento de medição em conservar constantes suas características metrológicas ao longo do tempo” [10,17] (figura 2.3). É a maior variação encontrada em medições realizadas com um sistema de medição medindo uma única característica (mensurando) na mesma peça ou padrão ao longo de um extenso período de tempo.
- *Linearidade* [7]: É a diferença nos valores da tendência ao longo da faixa de operação do dispositivo de medição (figura 2.4).

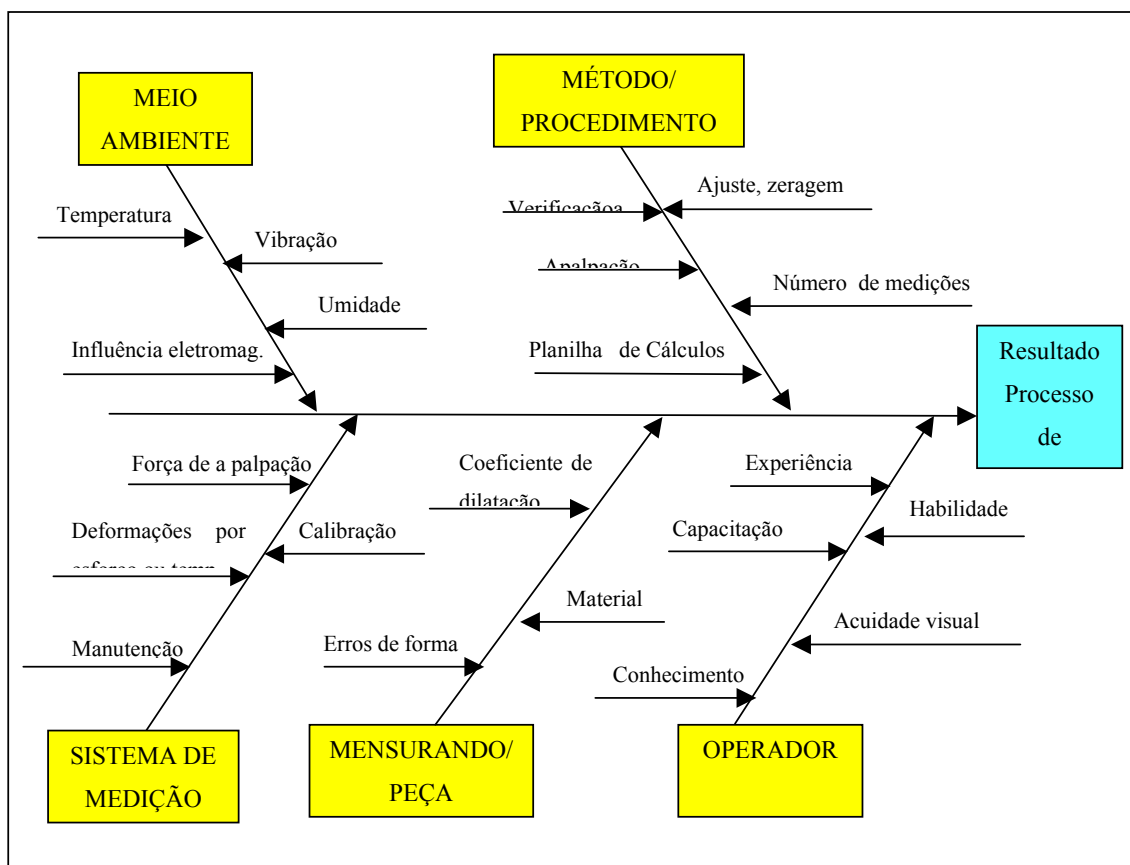


Figura 2.1 – Fontes de Variação de um Processo de Medição.



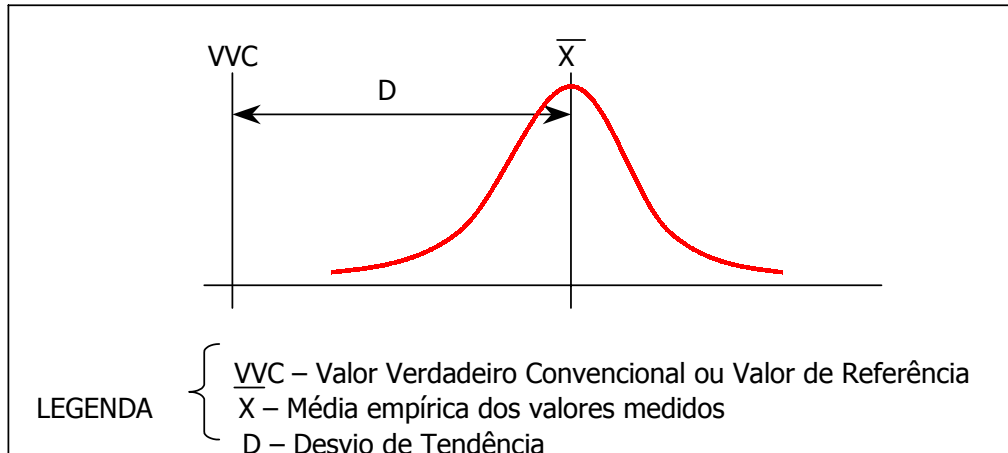


Figura 2.2 – Variação na Localização – Tendência [7]

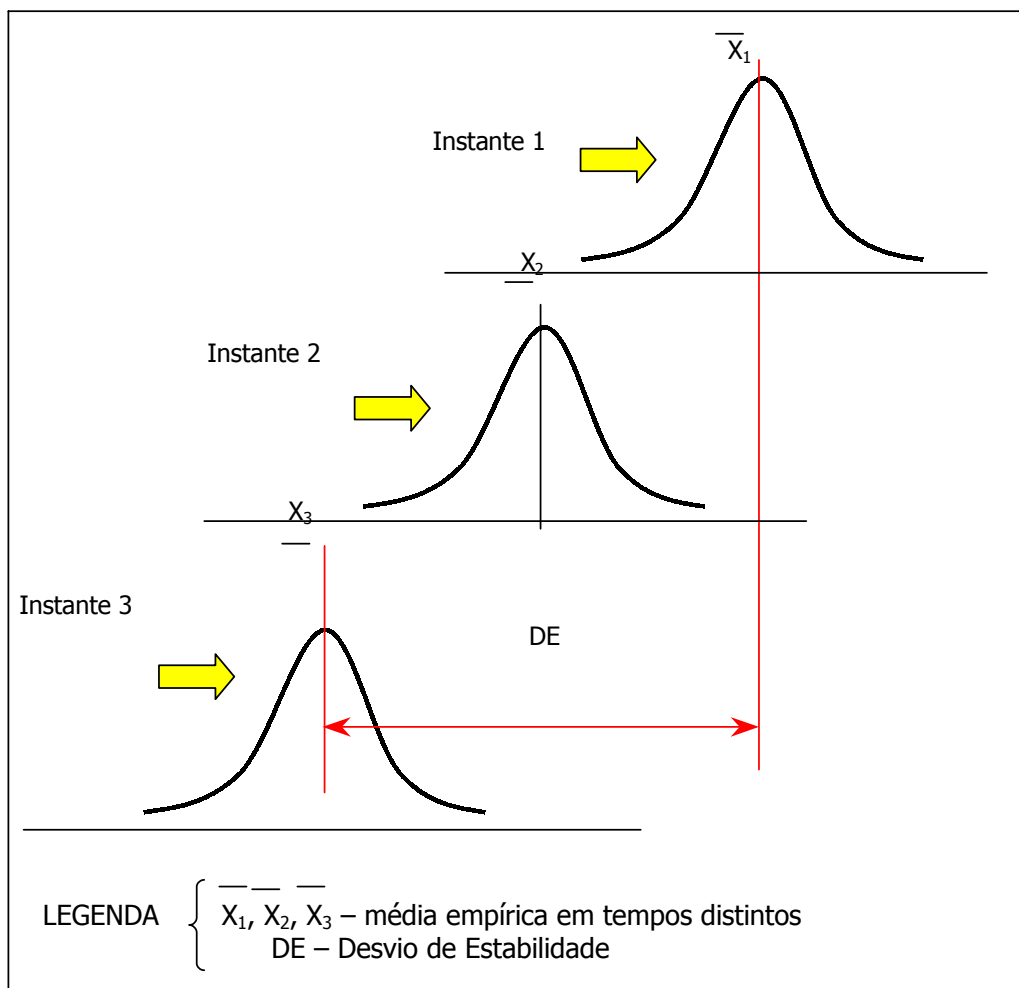


Figura 2.3 – Variação na Localização – Estabilidade [7].

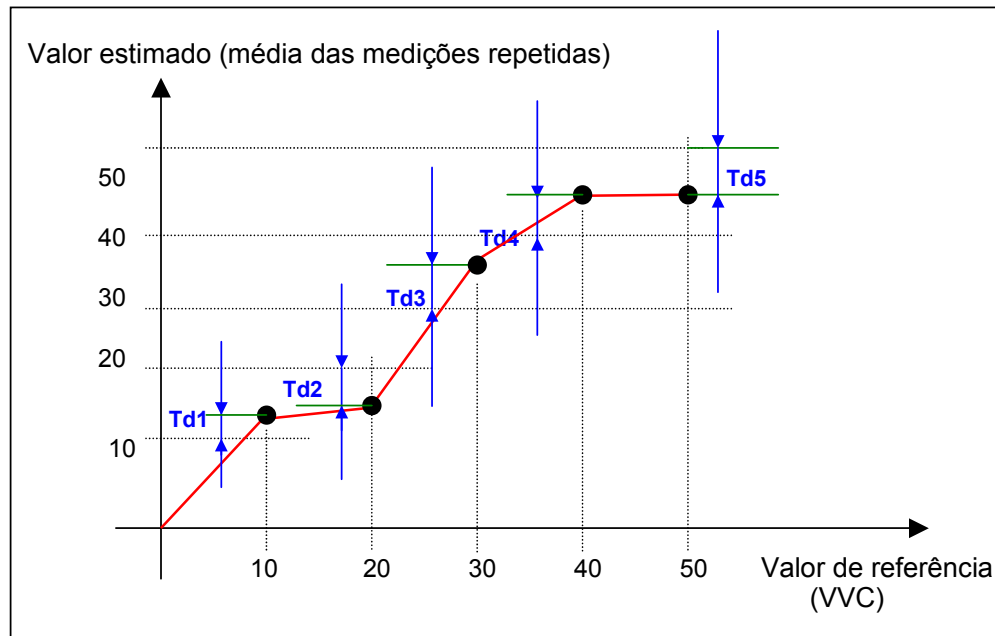


Figura 2.4 – Variação na Localização – Linearidade

**b) Desvios na largura ou Dispersão são caracterizados através de:**

- *Repetitividade* [7]: Este conceito é melhor compreendido com a definição da propriedade: "Aptidão de um instrumento de medição em fornecer indicações muito próximas, em repetidas aplicações do mesmo mensurando, sob as mesmas condições de medições" [10,17]. Consiste na variação nas medidas obtidas com um dispositivo de medição quando usado várias vezes por um operador medindo a mesma característica na mesma peça. Estas condições incluem: o mesmo operador (observador), mesmo procedimento de medição, mesmo instrumento de medição, mesmo local; sendo as medições efetuadas em um curto período de tempo. A figura 2.5, abaixo, ilustra este conceito.

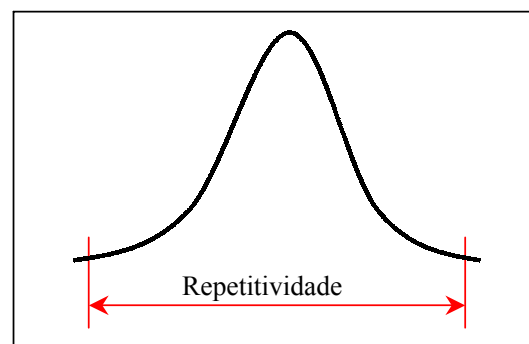


Figura 2.5 – Variação na Dispersão – Repetitividade .[7]

- *Reprodutibilidade* [7]: Uma outra interpretação desta propriedade é dada em [10] como “Grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, efetuadas sob condições variadas de medição”. Representa a variação na média das medidas feitas por diferentes operadores, utilizando o mesmo dispositivo de medição, medindo característica idêntica nas mesmas peças. As condições variadas podem incluir o: princípio ou método de medição, observador (operador), instrumento de medição, padrão de referência, local, condições de utilização, tempo [17]. Visualiza-se a variação de reprodutibilidade na figura 2.6.

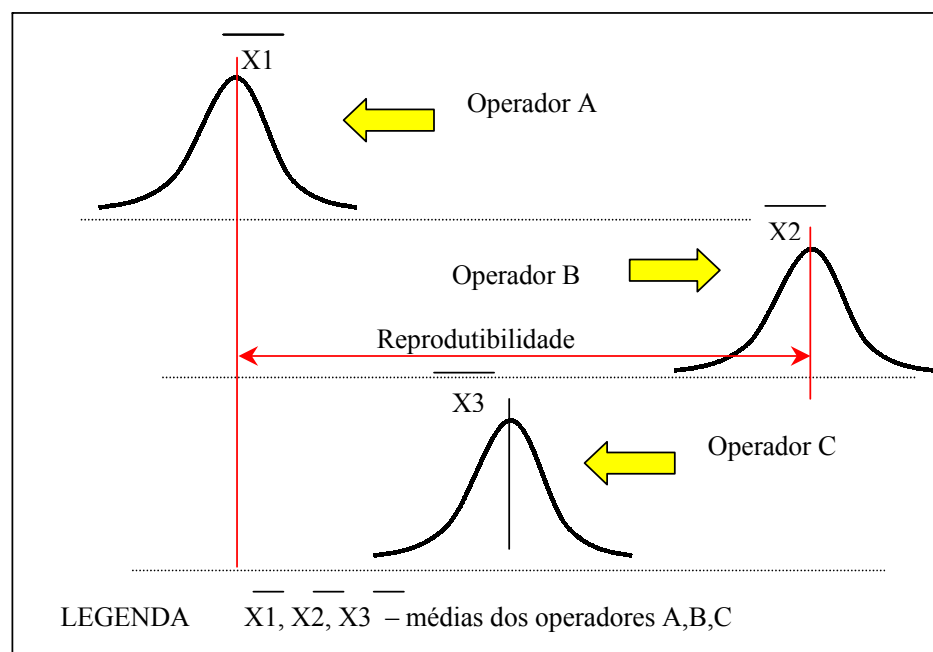


Figura 2.6 – Variação na Dispersão – Reprodutibilidade [7].

### 2.1.2 Conjunção necessária para a qualidade e confiança no processo de medição

A qualidade do resultado de uma medição está relacionada com as propriedades estatísticas apresentadas pelo processo de medição que o originou, quando operando sob condições estáveis [7].

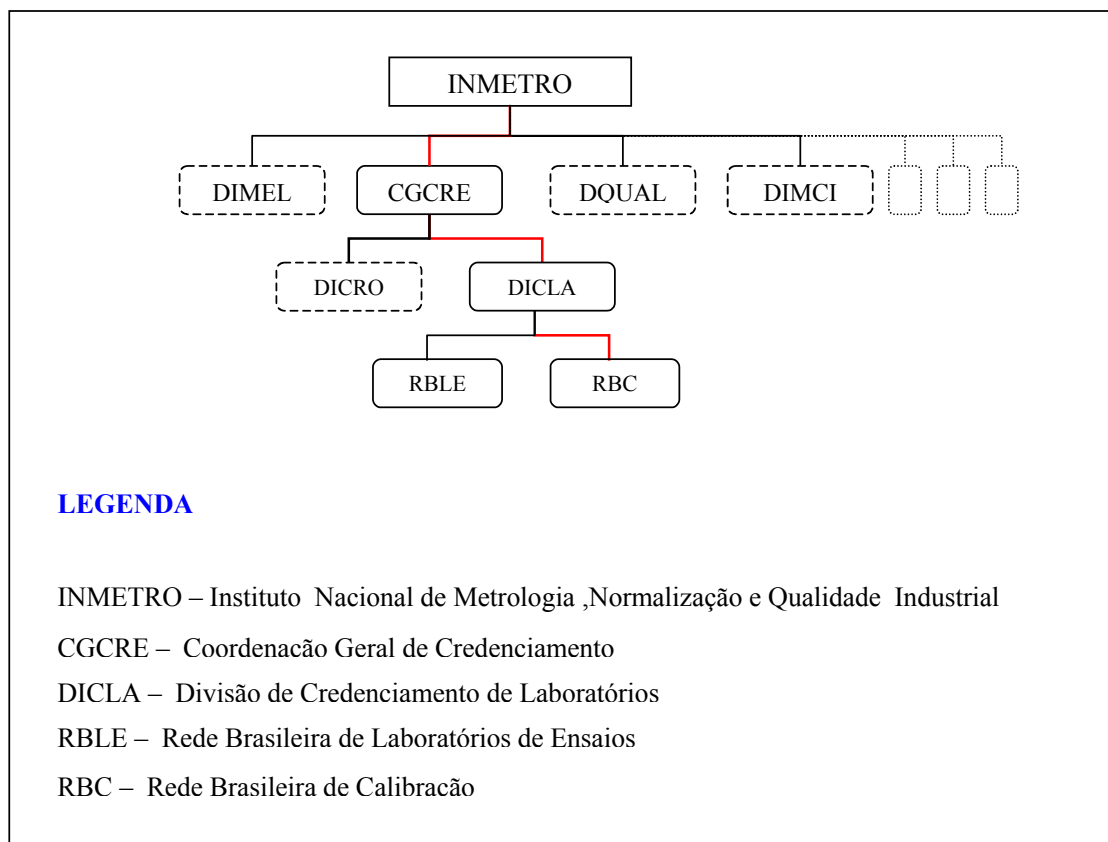
Para se determinar a capacidade de um processo de medição é necessário o conhecimento das propriedades expostas anteriormente em relação à sua aplicação. Um processo de medição com qualidade e capacidade é resultado de um conjunto de

atividades que ocorrem em vários níveis de gestão da empresa, as quais são [17,18, 19,20,21]:

- Seleção e aquisição correta dos Sistemas de Medição (adequados à : Ambiente, Tolerância, Divisão de Escala, Resolução, Faixa de Operação, Condições de Utilização, etc);
- Calibração dos sistemas de medição com rastreabilidade nacional ou internacional e com frequência apropriada;
- Gestão e controle dos instrumentos de medição;
- Avaliação e melhoria do processo de medição com padrões rastreáveis e por métodos adequados;
- Métodos e procedimentos definidos e claros orientando o processo de medição;
- Competência adequada do operador (formação, habilidade, experiência e treinamento);
- Ambiente adequado ou sistema de medição robusto às suas influências;
- Processo de medição não influencia, altera ou destrói o mensurando;
- Possibilidade de ajuste [10] dos instrumentos de medição no local de uso;
- Proteção dos instrumentos de medição no manuseio, armazenagem e uso;
- Proteção ou lacre de calibração, evitar sua alteração;
- Validação do software de medição e cálculos;
- Conhecimento sobre o comportamento do mensurando.

### **2.1.3 Sistema Metrológico Brasileiro**

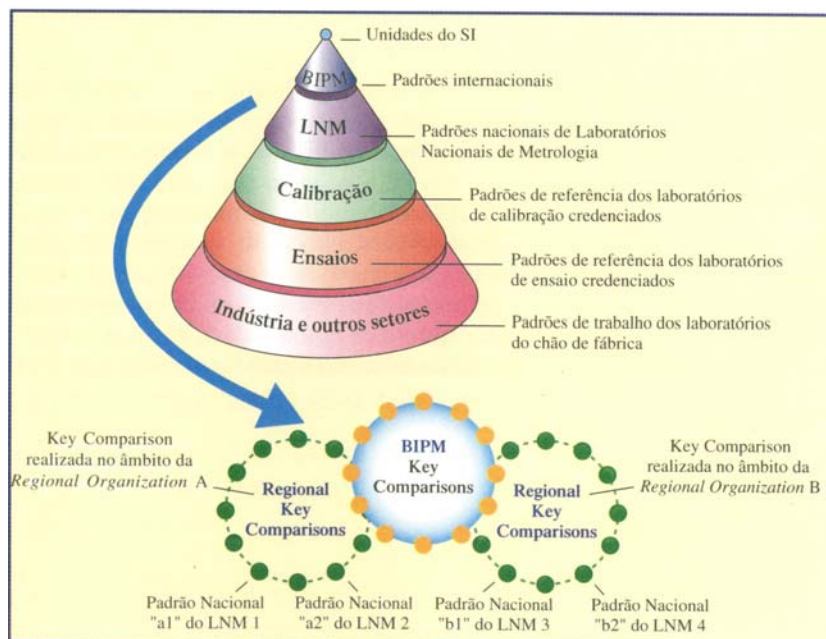
Dando suporte às atividades que envolvem a Metrologia, Normalização, Credenciamento, Avaliação da Conformidade, o Brasil dispõe do INMETRO [22], Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Este é o órgão executivo do SINMETRO [4], [22]. A figura 2.7 evidencia as áreas do INMETRO ligadas à metrologia.



*Figura 2.7 – Destaque das áreas do INMETRO ligadas à metrologia.*

Dentro da área metrologia, a atividade de calibração é a que garante a rastreabilidade do resultado da medição de um produto, sendo um elemento fundamental da qualidade e confiança de um processo de medição. Entretanto, a confiança na calibração só é possível se for respeitada a hierarquia e rastreabilidade dos padrões [22]. Ou seja, o resultado da medição de um processo de medição no chão de fábrica está relacionado a referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas [10]. A figura 2.8 mostra a hierarquia dos padrões em forma de cone. Os padrões da base da pirâmide tem maior incerteza de medição que os padrões situados no ápice. Na base desta pirâmide encontram-se os padrões das empresas, usados na calibração dos sistemas de medição da área produtiva (chão de fábrica). Estes padrões devem ser calibrados por padrões de hierarquia superior ou seja com uma incerteza de medição menor.

A calibração segue esta hierarquia até chegar nas “*Key comparisons*” regionais e mundial (BIPM).



*Figura 2.8 – Hierarquia e rastreabilidade das medições a nível mundial até o chão de fábrica [4]*

## 2.2 O PROCESSO DE MEDIÇÃO E A PRÁTICA INDUSTRIAL OBSERVADA

Cabe aqui distinguir as diferentes interpretações para os termos “sistema de medição” e “processo de medição” que causam erros de interpretação e aplicação na Avaliação e Melhoria do Processo de Medição - AMPM. O processo de medição é um conceito amplo, sendo este o adotado neste trabalho e significa: “Conjunto de recursos, atividades e influência inter-relacionadas que produzem uma medição” [17].

O sistema de medição sob o ponto de vista do Manual MSA da norma QS9000 é “Conjunto de operações, procedimentos, dispositivos de medição e outros equipamentos, software e pessoal usado para atribuir um número à característica que está sendo medida; o processo completo usado para obter medidas” [7].

Percebe-se em uma análise mais detalhada que não existe distinção conceitual entre eles. Entretanto em todas as empresas visitadas e conhecidas, o sistema de medição é interpretado como o “instrumento de medição” e não como “processo” o qual rege o MSA. Este é uma fonte de erros na avaliação dos processos de medição.

O processo de medição é caracterizado [24] pelos elementos:

**Operador** : Componente principal do processo, deve ter competência baseada em “educação (formação), treinamento, habilidade e experiência apropriadas” [8]. Orientado por uma instrução de trabalho e um plano de inspeção, realiza a avaliação da conformidade das peças em relação às suas especificações. Constitui-se em uma das fontes de variação do processo, entretanto possibilita sua redução através do treinamento e procedimentos adequados.

**Meio Ambiente** : O chão de fábrica está sujeito a influências da temperatura, vibração, interferências eletromagnéticas, umidade, névoa de óleo, impurezas no ar, pressão atmosférica. Dentre estas a temperatura é a mais crítica para a medição dimensional. Quando o coeficiente de dilatação da peça a ser medida e do instrumento são os iguais ou muito próximos, este efeito é nulo ou insignificante. Na medição de uma peça em alumínio, por exemplo, sendo o instrumento de aço, o efeito da temperatura pode acarretar em erros de classificação (aprovar peças fora da especificação ou reprovar peças dentro), gerando custos desnecessários. Na Avaliação e Melhoria do Processo de Medição - AMPM deve-se observar e identificar estas influências procurando quantificar seus efeitos e minimiza-los.

**Sistema de Medição** : Consiste em um “conjunto completo de instrumentos de medição e outros equipamentos acoplados para executar uma medição específica” [10]. Possui algumas características metrológicas, que devem ser observadas na sua aquisição e estarem adequadas ao uso pretendido, as quais são: divisão de escala, resolução, faixa de medição, faixa de indicação e condições de utilização. Também devem ser consideradas as especificações técnicas do fabricante relacionadas aos erros de medição como por exemplo: Exatidão, Repetitividade, Erro Máximo, Histerese, Tendência. Se as características metrológicas e as especificações técnicas do fabricante não forem adequadas ao processo de medição (uso pretendido) haverá variações demasiadas (além das admissíveis), implicando na necessidade de substituição do sistema de medição, fato comum observado em empresas.

Igualmente importante para o bom desempenho do sistema de medição no processo, relaciona-se as atividades de calibração, regulagem e ajuste.

A calibração permite conhecer os erros do sistema de medição, possibilitando à empresa compará-los com os limites aceitáveis ou compensá-los na sua utilização.

A regulagem segundo [10] “Ajuste empregando somente os recursos disponíveis no instrumento para o usuário”, isto é zerar o instrumento, mudar de escala ou faixa, inserir limites de controle. O ajuste consiste em uma operação destinada a fazer com que o sistema de medição tenha desempenho compatível com seu uso [10,17].

Esta operação altera o ganho ou linearidade do equipamento e deve ser realizada por empresas e pessoas capacitadas para tal. Para evitar que pessoas não habilitadas a realizem (usuários), utiliza-se um lacre contra violação. O ajuste é realizado em laboratório especializado, devendo ser seguido de uma "calibração" para registrar sua eficácia.

A empresa deve dispor de um sistema para garantir e gerenciar os sistemas de medição [24], que contemple as atividades de :

- a) calibração e verificação periódica;
- b) ajuste quando necessário;
- c) identificação da situação de calibração;
- d) proteção contra ajustes;
- e) proteção de dano e deterioração durante o manuseio, manutenção.

***Procedimento de Medição:*** Definido como "Conjunto de operações, descritas especificamente, usadas na execução de medições particulares, de acordo com um dado método" [17].

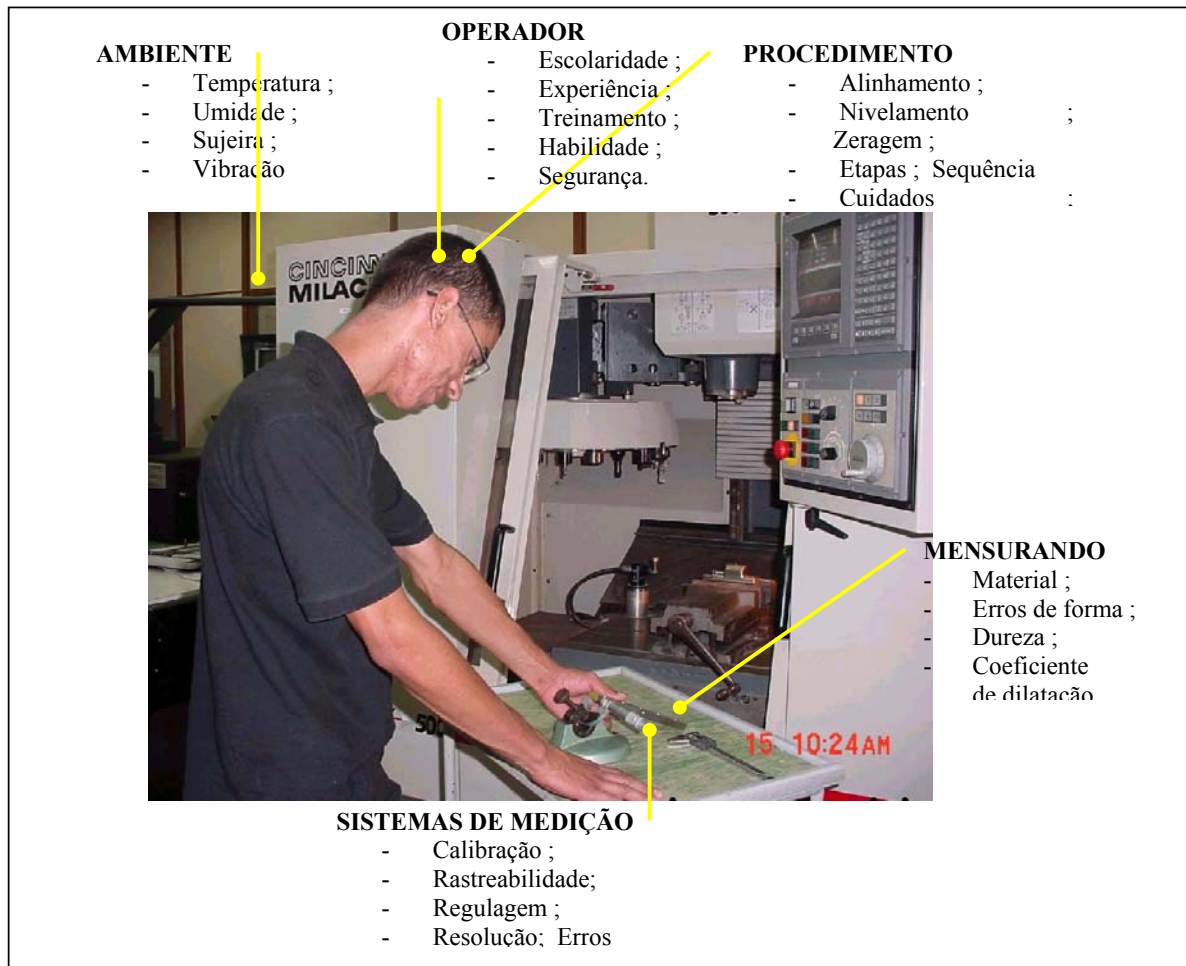
Registrado em um documento, contém todas as informações necessárias para o operador executar a medição, minimizando erros. Informações como: alinhamento da peça/ instrumento, número de medições, o método a ser seguido, seqüência lógica de operações, fixação da peça, estratégia e força de apalpação, tipo e formato da ponta de apalpação. São estas algumas das informações importantes a serem definidas no procedimento. Baseado em normas, recomendações bibliográficas e ou experiência dos responsáveis pela medição, objetiva otimizar o tempo e incerteza dos resultados alcançados no processo de medição.

É um dos principais fatores que causam variação no processo de medição, porque normalmente não existe um procedimento padronizado e documentado (escrito), permitindo que os operadores adotam procedimentos diferentes para o mesmo processo de medição causando desvio de Reprodutibilidade.

***Mensurando*** : "Objeto de Medição. Grandeza específica submetida à medição" [10,17]. Existe uma certa confusão na interpretação deste conceito. Muitas pessoas atribuem como "mensurando" a peça ou produto a ser medido. Entretanto uma peça ou um produto possui muitos mensurandos. Por exemplo: comprimento, diâmetro, rugosidade e todas as tolerâncias de forma são mensurandos possíveis de se obter em uma peça cilíndrica.

Todos os elementos que caracterizam o processo de medição são esquematizados na figura 2.9.





*Figura 2.9 – Caracterização do Processo de Medição*

Para o processo de medição é fundamental identificar claramente qual é o “objeto de medição” que está sendo avaliado, para não cair no erro de medir o mensurando errado. O conhecimento das propriedades, geometria e forma da peça, na qual está contido o mensurando é importante para determinar o “princípio de medição” [10] mais adequado no projeto e no uso de um sistema de medição. Dureza do material, rugosidade, coeficiente de dilatação são outros fatores que influem no comportamento do mensurando sendo muitas vezes as causas da variação no processo de medição. Existem mensurando que são alterados pela medição, por exemplo: dureza, limite de resistência à tração, análise da estrutura do material. O torque dinâmico é um exemplo onde o mensurando muda em função da lubrificação, temperatura e acabamento superficial. Após a primeira medição, estas propriedades alteram-se, alterando por consequência o mensurando.

A prática industrial na Avaliação e Melhoria do Processo de Medição - AMPM evidenciou-se por meio de visitas técnicas realizadas a três empresas, selecionadas previamente [15], cujo perfil de atuação enquadra-se nas condições de contorno estabelecidas para o LASAR. O objetivo era determinar:

- Os métodos usados na AMPM ;
- Finalidades almejadas;
- Áreas e funções da empresa realizavam a AMPM ;
- Quando e em quais situações realizava-se a AMPM ;
- Quais recursos, meios, normas, procedimentos utilizavam-se (sistemática).

O relato descrito a seguir, obteve-se através de depoimentos recolhidos, documentos, fatos e evidências observadas, todos os registrados constam no Relatório de Acompanhamento de Visita Técnica [16]. Optou-se por duas empresas de pequeno e médio porte e adicionalmente uma empresa de grande porte.

a) Empresa de Grande Porte

- A avaliação do processo de medição executada por família de instrumentos (Ex: paquímetros, súbitos, etc);
- O estudo de R&R (Repetitividade e Reprodutibilidade) realizado em todos os características (mensurandos) indicados no plano de controle;
- Grande investimento em material, tempo, recursos humanos, infra-estrutura na avaliação dos processos de medição dos ensaios destrutivos, não indicado pelo manual MSA [7].
- A reavaliação do processo de medição é feito eventualmente quando é percebida uma modificação nos resultados da calibração;
- Otimização ou melhoria do processo só quando  $R\&R \geq 30\%$  do admissível.
- Utiliza-se o MSA [7] para processos de medição no ambiente industrial e no laboratório de metrologia, sendo este último usado como forma de Validação de métodos de medição, ensaios e calibração exigidos pela norma TS16949 [19].
- Grande quantidade (aproximadamente 80000) de sistemas de medição, envolvendo instrumentos, calibradores passa não-passa, rosca e dispositivos. Este fato torna inviável administrativa e economicamente a avaliação por processo de medição, adotando-se por família de instrumentos;
- Utilizam-se planilhas *Exce/* para avaliação.

## b) Empresa de Médio Porte

- Dificuldade de conscientização no nível de chão de fábrica em relação ao uso, manuseio e conservação dos sistemas de medição;
- Utiliza-se, para avaliação, o método MSA , da norma QS9000 [7];
- Os processos de medição avaliados são os referentes à medição de características críticas definidas pelo cliente ou relativas ao produto final, monitoramento ou CEP;
- O setor de metrologia é responsável por todas as atividades e ações na Avaliação e Melhoria do Processo de Medição - AMPM ;
- A melhoria dos processos são ocorre quando a dispersão de R&R  $\geq 30\%$  do campo de tolerância;
- Utilizam-se para o cáculo, planilhas do aplicativo *Excel*, sendo validado o funcionamento;
- Aplica-se erroneamente para a característica (mensurando) não homog nea como dureza em peças de borracha;
- Grande quantidade de processos de medi o que requerem avalia o em contrapartida aos recursos humanos disponíveis;
- Não existe sistemática para estabelecer freq ncia de reavalia o dos processos de medi o;
- Avalia o por família de instrumentos (micr metros, paquímetros etc).

## c) Empresa de Pequeno Porte

- Utiliza planilha *Excel* para os c culos da dispersão dos processos de medi o, porém sem sua valida o [8];
- Avalia os processos de medi o por família de instrumentos;
- Os recursos humanos envolvidos com metrologia não possuem clareza sobre qual método usar. Aplica-se todos os métodos sem explica o lógica;
- A Avalia o e Melhoria do Processo de Medi o - AMPM   realizada em ambiente e por operadores diferentes do processo de medi o real (chão de fábrica);
- Avalia o e Melhoria do Processo de Medi o - AMPM   posta em prática para atender a auditoria de certifica o QS9000, porém sem a percep o dos benefícios possíveis.
- A atividade de aquisi o dos instrumentos de medi o não prevê a sua correta adequa o ao uso. Exemplo observado: Medi o da característica diâmetro

$$\begin{array}{c} +0,03 \\ \text{Ø}36,85 \text{ }_{-0,01} \text{ mm} \\ T = 0,04 \text{ mm} \end{array}$$

Instrumento usado:  
Micrômetro DE = 0,01mm

T – campo de tolerância                      DE – Divisão de escala  
Divisão de escala não é adequado, quanto a DE.

- Planilha de cálculos *Excel*, não permite avaliar o processo de medição com 3 ciclos de medição e 2 operadores;
- Não é efetuada análise crítica dos resultados. Estes são arquivados;
- Não é realizada reavaliação no processo de medição.

A situação relatada, baseada numa amostra representativa das condições de contorno, se repete de forma mais ou menos semelhante e pode ser observada nas empresas em geral.

## 2.3 RECOMENDAÇÕES E REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Uma análise detalhada das recomendações normativas e das referências normativas da indústria automobilística, possibilita verificar os métodos, critérios e aspectos considerados atualmente na avaliação dos processos de medição.

### 2.3.1 Recomendações normativas

As principais e mais importantes normas, relacionadas à gestão da qualidade, gestão ambiental, gestão de competência de laboratório de ensaio e calibração e demais relacionadas à metrologia são apresentadas e analisadas a seguir.

a) *NBR ISO 9001:2000 – Sistemas de gestão da qualidade – requisitos* [26].

Revisada em 2000, tornou-se válida a partir de 29.01.2001 e substituiu as normas: NBR ISO9001; NBR ISO9002; NBR ISO9003, unificando-as. Destina-se a qualquer tipo de organização (pública ou privada, industrial ou de serviço) sem levar em consideração o tipo, tamanho e produto fornecido.

Especifica requisitos para um sistema de gestão da qualidade, quando uma organização necessita demonstrar sua capacidade de fornecer produtos que atendam aos requisitos do cliente e regulamentares ou quando pretende aumentar a satisfação do cliente através da melhoria contínua do sistema e a garantia da conformidade com os

requisitos. Tem foco no cliente, melhoria contínua, gestão de processos. Com relação aos requisitos metrológicos, específica dentro da seção "7. Realização do produto" a forma de controle de dispositivos de medição e monitoramento.

Orienta nesse item as atividades de calibração, ajuste, proteção, validação do software de medição, manuseio, manutenção e armazenamento dos sistemas de medição. Entretanto, não faz menção aos fatores do processo de medição. Indica como forma de orientação e complementação dos requisitos metrológicos as normas NBR ISO10012-1 [21] e NBR ISO10012-2[17].

*b) NBR ISO 10012-1 – Requisitos de garantia da qualidade para equipamento de medição. Parte 1: sistema de comprovação metrológica para equipamento de medição [21].*

Criada para orientar na implantação de um sistema que assegure que as medições sejam realizadas com a exatidão pretendida. A norma enfatiza o controle apenas sobre os sistemas de medição. Outros fatores que influenciam no processo de medição não são tratados. Quanto à terminologia, faz referências ao VIM [10], entretanto pela versão de 1993, desatualizada.

Um dos anexos da norma apresenta um guia para auxiliar na determinação do intervalo de calibração. Está em processo de revisão, devendo integrar a ISO19011:2002, que está na versão FDIS.

*c) NBR ISO 10012-2 – Garantia da qualidade para equipamentos de medição. Parte 2: diretrizes para controle de processos de medição [17].*

Orienta o estabelecimento de critérios e procedimentos específicos para o desempenho e controle dos processos de medição. Recomenda a criação de um sistema para o controle dos processos de medição, análise dos dados, supervisão e seus intervalos. Recomenda para a identificação das fontes e formas de variação de um processo de medição, porém não fornece de forma clara e objetiva métodos para Avaliação e Melhoria do Processo de Medição - AMPM .

Mostra no anexo A2, um método de controle do processo de medição através do uso de padrões de controle auxiliado por gráficos de controle por variáveis ( $\bar{X}$  e R), muito útil para o acompanhamento de um processo de medição durante os intervalos de calibração do instrumento, permitindo identificar tendência ou desvios ou dispersões no processo.

O VIM [10] é usado amplamente como esclarecedor dos termos e conceitos relativos ao processo de medição, sendo usado a última versão de 1995.

*d) NBR ISO 14001 – Sistemas de gestão ambiental – Especificações e diretrizes para o uso [27].*

Com foco mundial para gestão ambiental, exige a demonstração do comprometimento da alta direção para manter o cumprimento da legislação, considerando os aspectos ambientais, requerimentos legais e outros. A norma orienta a empresa para esta definir objetivos e traçar metas ambientais, disponibilizando os recursos necessários.

Solicita e recomenda a organização o estabelecimento e implementação de programas de gerenciamento ambiental, ações preventivas e corretivas para situações de emergências, definição de uma estrutura e responsabilidades, provisão de treinamento, conscientização e competência, a demonstração da realização da comunicação interna [28].

Com relação aos requisitos metrológicos, estabelece que a organização deve manter os equipamentos de monitoramento calibrados e os registros desse processo retidos, referenciados no item 4.5.1 de [27].

Não faz nenhuma menção ao “processo de medição” e suas influências.

*e) NBR ISO/IEC 17025 - Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração [29].*

A norma ISO/IEC 17025 surgiu da revisão do ISO/IEC Guia 25. É o principal documento de referência para o credenciamento de laboratórios de ensaio e calibração, pois contém todos os requisitos que os laboratórios devem atender se desejam demonstrar que têm implementado um sistema de gestão da qualidade e são tecnicamente competentes e capazes de produzir resultados válidos. Muitos trabalhos têm sido publicados no sentido de contribuir com a interpretação dos requisitos gerenciais e técnicos, bem como desenvolver roteiros práticos que contribuem com a implementação desta norma para os novos requisitos da ISO/IEC 17025. Percebe-se um consenso a respeito da contribuição desta norma para a garantia da credibilidade dos resultados das medições em todas as organizações que realizam ensaios e/ou calibrações, tanto em laboratórios de referência quanto em laboratórios em que o ensaio e/ou calibração são parte da inspeção e da certificação do produto [13].

O processo de medição não é avaliado, porém seus elementos (meio-ambiente, método, operador, mensurando, sistema de medição) são conhecidos, controlados e mantidos dentro de valores admissíveis. Esta situação é bem distinta do foco deste trabalho que é o ambiente industrial.

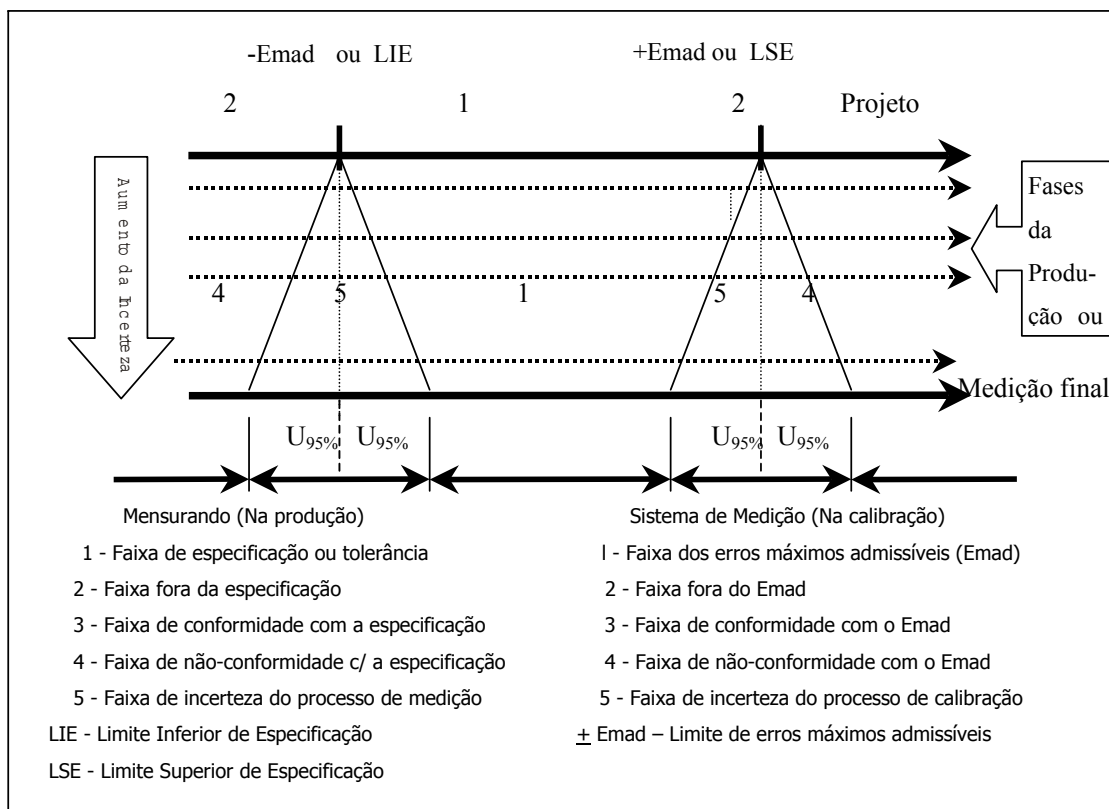


Figura 2.10 Comprovação da conformidade com a especificação, segundo a ISO 14253-1 [13].

f) ISO 14253-1 – Regras de decisão para comprovação de conformidade com especificações [30].

Embora não tendo *status* de norma é adotada como tal. Estabelece regras para os fornecedores provarem a conformidade ou não-conformidade do mensurando especificado, em uma peça ou sistema de medição, com uma tolerância especificada (para peça/produto) ou erro máximo permitido (para SM) considerando a incerteza de medição estimada na avaliação da conformidade [13], (figura 2.10).

Aborda as situações nas quais não se pode provar conformidade ou não-conformidade com a tolerância especificada (peça/produto) ou erro máximo permitido (SM) especificado. A norma não é aplicada quando a inspeção é feita utilizando-se gabaritos do tipo passa-não passa [31,32,33].

g) ISO 14253-2 – Procedimento para estimar a incerteza de medição do processo de medição indústria e aplicados ao controle de produtos com especificações geométricas [25].

Embora não tendo *status* de norma é adotada como tal. Estabelece um método simplificado, um procedimento iterativo e uma forma de avaliar e determinar incerteza

de medição, de acordo com especificações existentes no ISO GUM. Esse método é chamado de método PUMA (Procedimento de Gerenciamento de Incerteza) e é baseado num processo iterativo de redução da incerteza de medição [31,32,33]. A Figura 2.11 ilustra o PUMA. Com relação às decisões inseridas na metodologia, pode-se destacar:

- Se  $U_e \leq U_t$ : Procedimento de medição tecnicamente adequado;
- Se  $U_e \ll U_t$ : Procedimento tecnicamente adequado, porém a um custo elevado;
- Se  $U_e > U_t$ : Procedimento de medição tecnicamente inadequado nessas condições; ( $U_e$  é a incerteza estimada em cada iteração e  $U_t$  é a incerteza alvo).

O PUMA foi elaborado para estimar IM de [32,33]:

- Um resultado de medição (RM);
- Comparação entre dois ou mais RMs;
- Comparação de RMs e especificações, para comprovar a conformidade ou não-conformidade com uma especificação.

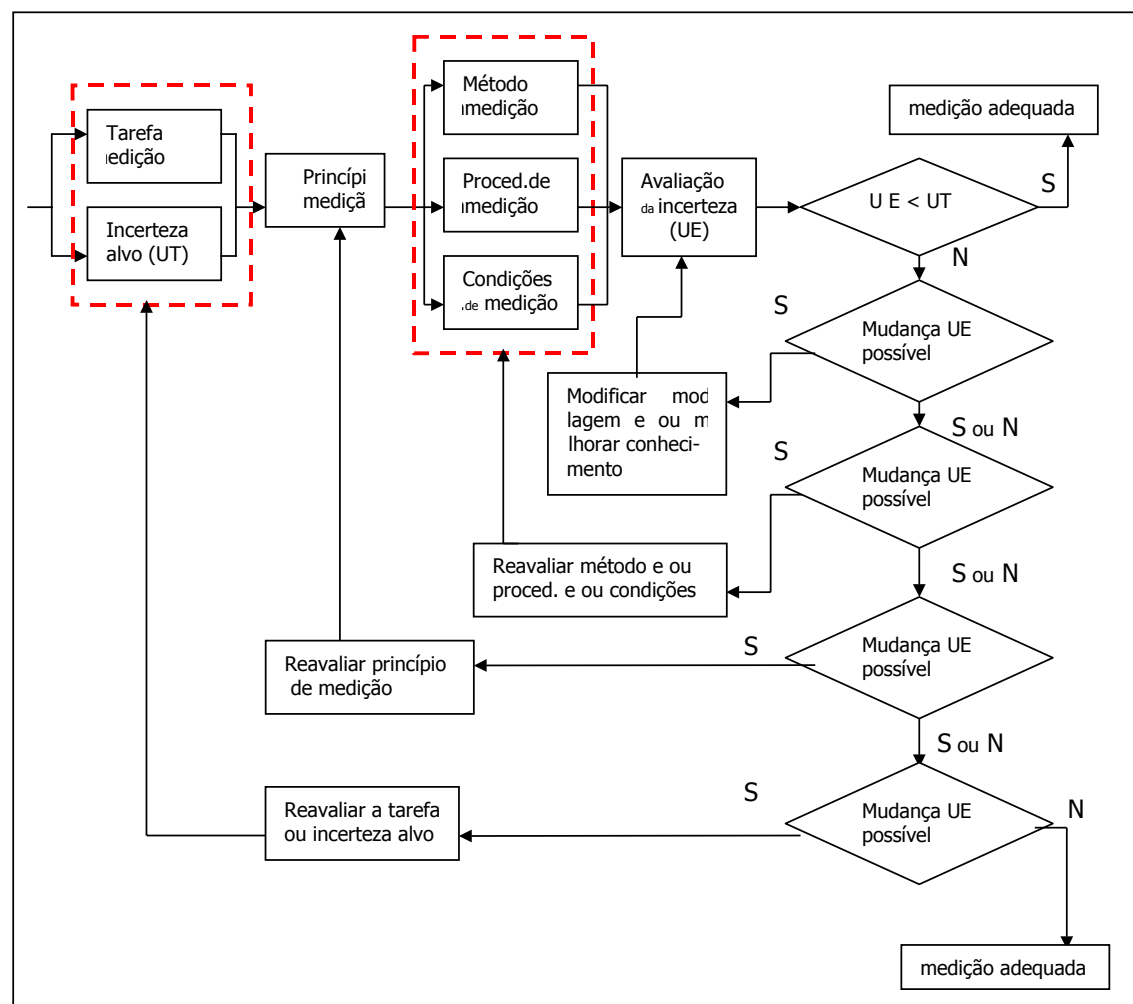


Figura 2.11. Procedimento de gerenciamento de incertezas (PUMA) [13] segundo ISO 14253-2 [24].



Embora apresente uma rotina que facilita a sua aplicação, este método não é muito utilizado pelas empresas, pois exige conhecimentos em estatística para determinar o tipo de distribuição que a fonte de influência atribui ao mensurando. Pode ser aplicado no chão de fábrica e avalia o processo de medição, porém a quantificação dos componentes de incerteza torna-o mais complexo, exigindo um especialista em metrologia/estatística.

*h) ISO GUM - Guia para a expressão da incerteza de medição [34].*

Estabelece regras gerais para avaliar e expressar a incerteza de medição (IM).

Em laboratórios de calibração, principalmente os pertencentes a RBC, a metodologia do ISO GUM foi bem disseminada, ao contrário do que ocorre no meio industrial. Em geral a estimativa da IM em medições em chão de fábrica não é realizada. Dentre os fatores que produzem a não aplicação do ISO GUM na indústria estão [32]:

- O método é recente se comparado aos métodos tradicionais;
- As normas de garantia da qualidade são lacônicas nos aspectos metrológicos por elas exigidos e não há recomendação sobre o método de avaliação de IM;
- A apresentação da ISO GUM contribui para uma falsa impressão de que a norma é direcionada apenas para aplicações em laboratórios de referência ou para a pesquisa científica.

Pela abrangência do ISO GUM, que preconiza os fundamentos metodológicos para a expressão da IM independentemente da área metrológica de sua aplicação, a comunidade internacional sentiu a necessidade de desenvolver outros documentos complementares para a aplicação dos preceitos conceituais do ISO GUM em áreas específicas. Dessa decisão derivam duas publicações especializadas para o setor de calibração:

- EA-4/02 - Expressão da Incerteza de Medição na Calibração. Objetiva harmonizar a expressão da IM na calibração, assim permitindo aos laboratórios emitirem certificados de calibração com credibilidade e facilitando aos organismos credenciadores estabelecerem a melhor capacidade de medição dos laboratórios que buscam o credenciamento [35].
- EA-4/02-S1 – Suplemento I ao EA-4/02: Expressão da Incerteza de Medição na Calibração – Exemplos. Foi desenvolvido para orientar os laboratórios de calibração na determinação da IM em diferentes áreas e especialidades da metrologia, objetivando promover o uso consistente dos procedimentos de calibração. Enquanto o documento básico possui o foco no laboratório e

no organismo credenciador, o suplemento foi desenvolvido com foco no cliente do laboratório, ou seja, no usuário da calibração [36].

A figura 2.12 propõe uma análise de todos os aspectos importantes para a confiabilidade metrológica, exigidos, recomendados e considerados nas recomendações normativas comentadas anteriormente.

Destaca-se na figura 2.12 que as mais importantes normas relativas à qualidade, metrologia e ambiental exigem a calibração dos sistemas de medição. Todavia, somente a norma ISO14253-2 exige avaliação dos elementos que compõem o processo de medição no chão de fábrica, os quais são: procedimento, ambiente, examinador e as características do mensurando. Por outro lado, a norma NBR ISO10012-1 recomenda a avaliação destes elementos, mas não fornece métodos para fazê-lo.

Percebe-se de uma maneira generalizada, que a ênfase recai sobre a gestão e controle dos instrumentos de medição, sendo poucas as referências que tem preocupação com o "processo de medição".

### **2.3.2 Referências normativas da indústria automobilística**

A indústria automobilística, ao lado da aeronáutica, é a que possui maior grau de exigência em relação à qualidade, normalização e metrologia, sendo somente superadas pelas indústrias militares, nucleares e aeroespaciais.

Existe na indústria automobilística, uma grande preocupação com a qualidade e segurança das peças, componentes e sistemas que compõem o produto final sem citar a necessidade de melhoria contínua e aumento de produtividade inerente do setor.

Por isso os métodos usados na Avaliação e Melhoria do Processo de Medição - AMPM, neste segmento, estão bem definidos e são referenciais para os demais, sendo portanto, nosso objeto de estudo a seguir.

*a) QS 9000 – Requisitos do Sistema da Qualidade [18]:* Estabelece um conjunto de requisitos para os sistemas de qualidade dos fornecedores das três grandes montadoras americanas: Chrysler Corporation, Ford Motor Company e General Motors Corporation. Editados em 1994, os requisitos de certificação adotam integralmente a norma ISO 9001:1994.

Incorpora ainda requisitos adicionais do setor automotivos, essenciais para o planejamento, garantia e melhoria contínua da qualidade de produtos e processos da cadeia produtiva. Especifica requisitos de cada montadora.

ELEMENTO DA CONFIABILIDADE METROLÓGICA		RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS							
		NBR ISO 9001:2000 [26]	NBR ISO 10012-1 [21]	NBR ISO 10012-2 [17]	NBR ISO 14001 [27]	NBR ISO/IEC 17025 [29]	ISO 14253-1 [30]	ISO 14253-2 [25]	GUIA EXPRESSÃO INCERTEZA MEDIÇÃO [34]
Calibração dos sistemas de medição		●	●	●	●	●	●	●	●
Ajuste dos sistemas de medição		○	○	◐	○	●	○	○	○
Regulagem dos sistemas de medição		●	●	●	○	●	○	○	○
Identificação dos sistemas de medição		●	●	○	○	●	○	○	○
Proteção contra ajustes nos SM		●	●	○	○	●	○	○	○
Proteção dos SM, manuseio e armazenagem		●	●	○	○	●	○	○	○
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA SOBRE O PROCESSO DE MEDIÇÃO NO CHÃO DE FÁBRICA	Procedimento de medição	○	○	◐	○	○	○	●	○
	Ambiente de medição	○	○	◐	○	○	○	●	○
	Examinador/ operador	○	○	◐	○	○	○	●	○
	Características do mensurando	○	○	◐	○	○	○	●	○
Validação das planilhas de cálculo de avaliação do Processo de medição		○	○	○	○	○	○	◐	○
Validação do software de medição		●	○	●	○	●	○	◐	○
Avaliação do processo de medição no chão de fábrica		○	○	○	○	○	○	●	○
Avaliação do processo de medição no laboratório		○	○	○	○	●	○	○	●
Incerteza de medição no chão de fábrica		○	○	◐	○	○	○	●	○
Incerteza de medição no laboratório		○	○	○	○	●	○	○	●
Rastreabilidade das medições		●	◐	◐	○	●	○	○	●
○ - Não exige comprovação ◐ - Recomendado, mas não exige comprovação ● - Exige comprovação									
LEGENDA									

Figura 2.12 – Análise da abordagem do processo de medição no chão de fábrica sob o ponto de vista das recomendações normativas.

O sistema compõe-se, também, por manuais de referência sobre algumas atividades básicas da qualidade, os quais são:

- CEP – Controle Estatístico do Processo
- FMEA – Análise de Modo e Efeitos de Falha
- PPAP – Processo de Aprovação de Peça de Produção
- APQP – Manual de Planejamento Avançado da Qualidade do Produto e Plano de Controle
- MSA – Análise dos Sistemas de Medição.

A QS9000 exige que o fornecedor “comprove a realização de estudos estatísticos para a análise da variação presente nos resultados de cada tipo de meio de medição e equipamento de ensaio. Este requisito aplica-se a todos os sistemas de medição referenciados no plano de controle aprovado pelo cliente. Os métodos analíticos e critérios de aceitação utilizados deveriam estar conforme os citados no manual de referência MSA” [7].

É uma ferramenta para analisar os processos de medição e não o sistema de medição como a tradução literal mostra. Entretanto no manual MSA, isto não está tão claro devido à terminologia usada não estar em concordância com o VIM [10], adotada neste trabalho.

A interpretação dos conceitos de “sistema de medição” e “processo de medição” já foi discutida no item 2.2 anteriormente.

Embora com todas as deficiências e dificuldades abordadas no item 1.2 do capítulo 1 deste, o MSA apresenta diretrizes para seleção de procedimentos para avaliar a qualidade de um processo de medição.

As variações (ou desvios) de um processo de medição são avaliados através da avaliação das propriedades estatísticas descritas no item 2.1.1 deste capítulo, as quais são :

- a) Tendência;
- b) Repetitividade;
- c) Reprodutibilidade;
- d) Estabilidade;
- e) Linearidade;
- f) Estudos de sistemas de medição por atributo.

O método de avaliação de um processo de medição que usa um sistema de medição por atributo, considera um ensaio onde 20 peças são medidas em dois ciclos, por dois operadores diferentes. O processo é apto quando todas as 20 peças medidas, 4 vezes cada, devem estar em concordância, ou seja, cada peça deve ser aprovada e reprovada

nas 4 medições. O MSA pode ser considerado um método muito robusto [9], pois leva em consideração todas as fontes de influência de um processo de medição.

*b) VDA6.1 – Gestão da Qualidade na Indústria Automobilística – Auditoria do Sistema de Gestão da Qualidade [37]:* O padrão da qualidade da indústria automobilística alemã (VDA6) é composto pelas seguintes partes integrantes:

- VDA6.1 – Auditoria do sistema de gestão da qualidade (produtos materiais);
- VDA6.2 – Auditoria do sistema de gestão da qualidade (produtos imateriais);
- VDA6.3 – Auditoria de processo/procedimentos;
- VDA6.5 – Auditoria de produtos;
- VDA6.6 – Auditoria de serviços;
- VDA6 – Parte A – Auditoria de qualidade – bases gerais;
- VDA6 – Parte B – Sinopses e instruções de aplicação.

Aplica-se a todos os fornecedores que queiram demonstrar sua capacidade em fornecer e produzir produtos e serviços de acordo com o padrão da indústria automobilística alemã. A mais definida e usada é a VDA6.1. Esta, incorpora requisitos das normas DIN EN ISO9001; DIN EN ISO9004 – parte 1, além dos específicos da indústria automobilística alemã. Na última edição (3ª), adicionou-se exigências impostas pelas fábricas em matéria de regulamento EAQF/94 (França) e QS-9000/95 (big three).

A VDA6.1, constitui-se em um questionário usado com o propósito de preparação e execução de auditorias internas, mas também como instrumento de avaliação e certificação.

Com relação aos requisitos metrológicos, possui o item 16 – Inspeção dos instrumentos de controle que trata de toda a extensão do tema. Neste, questiona-se a implementação e eficácia das atividades relativas à:

- 16.1 – Liberação, identificação, fiscalização, calibração e conservação dos instrumentos de controle;
- 16.2 – Garantia da rastreabilidade dos instrumentos de controle;
- 16.3 – Utilização de meios de controle com exatidão adequada;
- 16.4 – Capabilidade dos instrumentos de controle;
- 16.5 – Ações corretivas em caso de falha ou avaria dos instrumentos de controle.

O item 16.4 solicita a prova da avaliação estatística do processo de medição, através da capabilidade, repetitividade e reprodutibilidade. Ao contrário da QS9000, não estabelece métodos e critérios, através de um manual, de como realizar esta avaliação, deixando

que o fornecedor demonstre a capacidade dos seus instrumentos e do processo de medição.

*c) EAQF – Referencial de Avaliação de Aptidão da Qualidade de Fornecedores [38].*

Estabelece os requisitos para os fornecedores da indústria automobilística francesa, envolvendo as montadoras: Renault, Peugeot, Citroën, PSA.

O manual descreve para cada item um referencial único, aplicável a todos os fornecedores da indústria automotiva e um complemento do referencial através de um guia específico de utilização, particularmente adequado aos produtos, automóveis (peças, conjunto, subconjuntos ou veículos completos), sério, protótipos, sobressalentes e automóveis.

As exigências metrológicas, descritas no item 11, abrangem as tarefas de:

- 11.1 – Adequação e identificação dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios;
- 11.2 – Calibração dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios;
- 11.3 – Manutenção e proteção dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios;
- 11.4 – Adequação dos locais de inspeção, medição e ensaios;
- 11.5 – Capabilidade dos meios de inspeção, medição e ensaios e ações corretivas.

A avaliação da adequabilidade e capacidade do processo de medição, não é claramente explicitado desta forma, porém solicita no item 11.5 que “as capacidades dos seus meios de controle devem ser calculadas”. Além desta exigência, estabelece no item 9, especificamente 9.4 – Medida da capacidade da máquina, meios de controle e processo, que os meios de controle devem ser verificados com cálculos de repetitividade e reprodutibilidade sem citar a necessidade de avaliar outras propriedades estatísticas como: tendência, linearidade ou estabilidade.

“A empresa deve demonstrar que utiliza um ou vários métodos de cálculo da capacidade destes meios, tanto a nível da escolha como do seu seguimento”.

Entretanto, a exemplo da VDA6.1, não disponibiliza um manual com todos os métodos possíveis de se utilizar, deixando a critério da empresa a sua escolha, utilização e demonstração.

*d) Caderno Nr. 10 - BOSCH – Capabilidade dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios [39].*

O grupo BOSCH possui um manual específico para determinar a capacidade dos seus equipamentos de inspeção, medição e ensaios. Neste, são estabelecidos os métodos, critérios, para avaliação, análise e aceitação, usando para tal, as ferramentas; fluxograma e um check-list. As propriedades estatísticas do processo de medição são determinadas pelos métodos:

- Método 1 – Dispersão e posição do valor médio dos valores de medição.  
Calcula os índices  $C_g$  e  $C_{gk}$  – capacidade ou capabilidade de medição.

- Método 2 – Dispersão dos valores de medição devido à influência de diversos examinadores.

Calcula um índice de dispersão do processo de medição em percentual do campo de tolerância (SM%). Este envolve a reprodutibilidade e repetitividade para os casos onde os operadores têm influência sob o processo.

- Método 3 – Dispersão dos valores de medição devido à influência dos objetos de medição.

Calcula um índice (SM%) que avalia a dispersão do processo de medição para os casos onde os operadores não têm influência sob o processo (por exemplo: sistemas automáticos de medição). Considera só a repetitividade do processo de medição.

- Método 4 – Estabilidade das medições nos processos de medição

Ensaia e avalia a estabilidade (dispersão e desvio sistemático) por um período prolongado. Utiliza a carta da média ( $\bar{X}$ ) e um período inicial de uma semana para realizar esta avaliação. Os critérios para estabilidade, equação 2.1, são os limites de acesso, calculados por  $\pm 7,5\%$  da tolerância partindo dos valores do padrão (referência).

$$\boxed{LSC = X_r + 0,075T \text{ e } LIC = X_r - 0,075T}$$

eq.2.1

Onde:  $\left\{ \begin{array}{l} X_r - \text{valor do padrão} \\ T - \text{campo de tolerância} \\ LSC - \text{limite superior de controle} \\ LIC - \text{limite inferior de controle} \end{array} \right.$

- Método 5 – Processo de ensaio para características qualitativas. Avalia a capacidade de um meio de medição quando este é atributivo. É idêntico ao método curto do MSA para meios de medição atributivos.

O caderno nº 10 da Bosch diz estar em conformidade com os requisitos do MSA, todavia não realiza o estudo de avaliação da linearidade. Fornece como orientação ao usuário, um fluxograma apresentado na figura 2.13, conduzindo a seleção para os cinco métodos descritos anteriormente.

O caderno nº10 da Bosch apresenta-se abrangente e completo, sendo, entretanto o manual MSA bem mais objetivo e específico na aplicação.

*e) ISO/TS 16949 - Sistemas da Qualidade - Fornecedores Automotivos - Requisitos particulares para aplicação da ISO 9001:1994, [18].* Com o desenvolvimento da indústria automotiva, muitos fornecedores necessitam certificações baseadas em

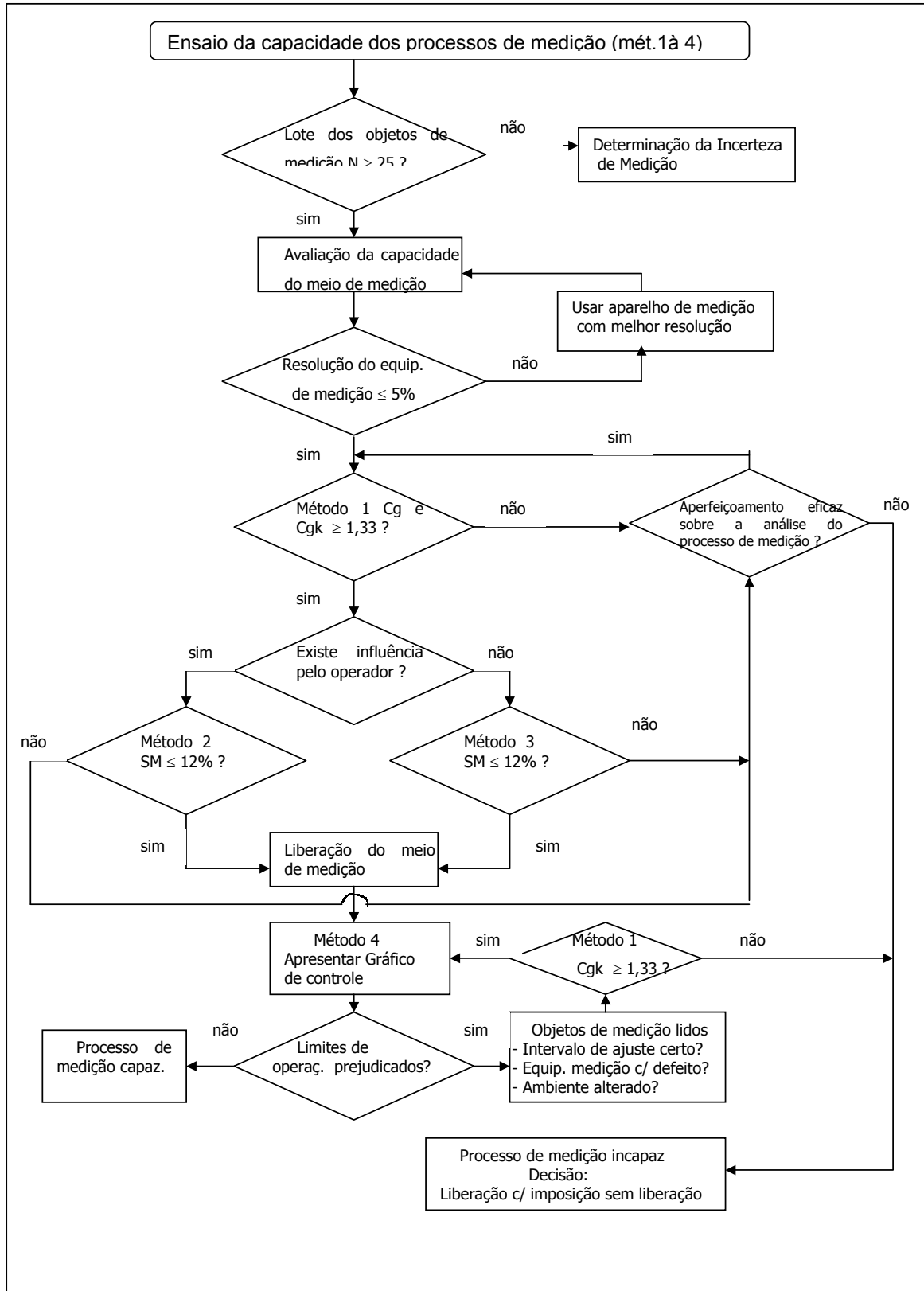


Figura 2.13 – Fluxograma orientativo – Caderno nº 10 – BOSCH [39].



diferentes normas automotivas. Algumas organizações mantêm certificações ISO9001, QS 9000, VDA 6.1 e EAQF. No final dos anos 90 tornou-se evidente a necessidade de uma norma automotiva harmonizada internacionalmente para os SQs dos fornecedores por questões de racionalização e redução de custo - a ISO/TS 16949. Essa norma foi desenvolvida com uma estreita colaboração entre a International Automotive Task Force (IATF), formado por representantes dos países das principais montadoras mundiais (Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido, Itália, França) e o Comitê Técnico TC 176 da ISO, que é responsável pela série ISO 9000 [8,19]. Este documento tem a maioria dos requisitos da QS 9000, assim como a maioria dos requisitos das normas européias. Alguns dos requisitos revisados da ISO 9001:2000 também estão incluídos na TS 16949. A meta desta especificação técnica é o desenvolvimento de SQs fundamentais para a melhoria contínua, enfatizando prevenção de defeitos e redução das variações e gargalos na cadeia de fornecimento. Enquanto a ISO 9001 é aplicável a qualquer organização, independente de setor ou tamanho, a TS 16949 é aplicável somente para fornecedores automotivos [13].

A análise dos processos de medição é prevista no item 4.11.1.2 e diz que “Os métodos analíticos e critérios de aceitação utilizados devem estar em conformidade com aqueles dos manuais de referência do cliente como apropriado, incluindo desvio, linearidade, estabilidade e estudos de repetitividade e reprodutibilidade do instrumento de medição. Outros métodos analíticos e critérios de aceitação podem ser utilizados se aprovados pelo cliente” [18].

Este texto atribui a responsabilidade da demonstração ao fornecedor, citando como referência bibliográfica o MSA [7].

A figura 2.14 analisa as semelhanças e discordâncias das referências normativas da indústria automobilística, usando além do descrito neste item (2.3.2) o artigo de Heldt e outros [40].

## **2.4 MÉTODOS PRATICADOS PARA AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE MEDIÇÃO**

A atividade de avaliar e otimizar os processo de medição são abordadas de formas distintas. Os métodos mais usuais atualmente [9], são:

- Método da Resolução;
- Método do Erro Máximo;
- Método da Incerteza do Sistema de Medição;

Propriedades estatísticas do processo de medição	REFERÊNCIAS NORMATIVAS DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA				
	BOSCH	VDA6.1	EAQF	TS 16949	QS 9000 (MSA)
Índice de capacidade Cg/Cgk	●	●	●	○	○
Tendência	◐	◐	◐	●	●
Linearidade	○	●	○	●	●
Estabilidade	●	●	○	●	●
Repetitividade	●	●	●	●	●
Reprodutibilidade	●	●	●	●	●
Medição por atributo método longo	●	●	●	●	●
<p>LEGENDA</p> <p>● - Considera e fornece método de avaliação</p> <p>○ - Não considera</p> <p>◐ - Considerado indiretamente, incluído em outro método</p>					

*Figura 2.14 – Convergência nas propriedades estatísticas para avaliação dos processos de medição da indústria automobilística.*

- Método da Incerteza do Processo de Medição;
- Método da Norma ISO 14253-1;
- Método MSA – Análise do Sistema de Medição.

A seguir ,estes serão avaliados em relação às vantagens e desvantagens.

### 2.4.1 Método da Resolução. [9]

Estabelece a resolução (Re) como critério de verificação de adequabilidade. Recomenda-se utilizar o sistema de medição com resolução entre um terço e um décimo do campo de tolerância(T), (equação 2.2) em função da importância do mensurando controlado e das conseqüências provenientes dos erros de classificação.

$$\frac{T}{3} \leq Re \leq \frac{T}{10} \quad \text{eq.2.2}$$

onde  $\left\{ \begin{array}{l} \text{T- Campo de tolerância} \\ \text{R – Resolução do sistema de medição} \end{array} \right.$

- Vantagens: Sendo uma característica do instrumento de fácil determinação normalmente igual para toda faixa de operação, apresenta simplicidade na aplicação.
- Desvantagens: Embora de fácil determinação, o conceito "resolução" é muitas vezes confundido com divisão de escala. Não avalia outras características do processo de medição.

Método não recomendado devido a não ser um critério abrangente do processo de medição, ficando restrito ao instrumento de medição.

#### 2.4.2 Método do Erro Máximo.

Este método postula utilizar a tendência máxima do SM (sem considerar incerteza associada) como critério de verificação da adequabilidade. Recomenda-se utilizar SM com erro máximo nominal de até a quarta parte da tolerância de projeto (equação 2.3). Sua aplicação tem sido usada no desenvolvimento de software de determinação de adequabilidade baseados neste método [9].

$$\boxed{\text{Erro máximo} \leq \frac{T}{4}} \quad \text{eq.2.3}$$

Onde T- Campo de tolerância

- Vantagens: Método relativamente simples. No caso de sistemas de medição novos, o erro máximo admissível (tolerado) é uma característica fácil de ser encontrada nos manuais do fabricante (tipicamente como accuracy). Fornece uma idéia do máximo erro que pode apresentar tal sistema de medição. Este é um método mais completo na medida que o erro máximo varia de SM para SM e de calibração para calibração. Considera o fato de que o desempenho metrológico do sistema de medição tem que ser avaliado, diferente da resolução que é uma característica fixa para cada um, e que sua qualidade metrológica varia entre Sistemas de medição da mesma família.
- Desvantagens: Método insuficiente, dado que não é sensível a muitas características de interesse, só considerando alguns aspectos relacionados com o SM. Muitas vezes

é usado o erro máximo admissível declarado pelo fabricante como indicador do comportamento do SM, sem avaliar o real estado de funcionamento do mesmo.

### 2.4.3 Método da Incerteza do Sistema de Medição

Este método considera a utilização da incerteza máxima do sistema de medição ( $U_{sm}$ ) obtida nas condições de calibração, como critério para verificação da adequabilidade. Recomenda-se utilizar sistemas de medição com incerteza entre, um terço e um décimo da tolerância de projeto (equações 2.4 e 2.5), dependendo da importância da grandeza controlada e das conseqüências derivadas de erros de classificação. Postula um terço para mensurando não crítico, um décimo quando o mensurando é crítico e um valor intermediário se o mensurando uma importância relativa. No caso de características (mensurandos) muito críticas, pode ser utilizada uma relação ainda mais exigente, por exemplo, de trinta vezes [9].

A  $U_{sm}$  corresponde àquela incerteza própria do SM determinada no laboratório de calibração. Representa o melhor desempenho que poderia apresentar o PM desde que sejam respeitadas na medição, as mesmas condições presentes na calibração (condições ambientais, capacitação técnica, método de uso, limpeza, etc.) [24].

$U_{sm} \leq \frac{T}{3}$	Relação menos exigente	eq.2.4
---------------------------	------------------------	--------

$U_{sm} \leq \frac{T}{10}$	Relação mais exigente	eq.2.5
----------------------------	-----------------------	--------

- Vantagens: Válido para qualquer SM, inclusive calibradores fixos. Considera mais características que os métodos anteriores (condições de calibração).
- Desvantagens: Requer a interpretação do certificado de calibração por parte do usuário, exigindo conhecimento mais aprofundado em metrologia, o que muitas vezes não é realidade em algumas empresas. Um pouco complexo e caro uma vez que requer a calibração periódica e que varia de SM para SM, inclusive de calibração para calibração de um mesmo sistema de medição. Muitas vezes esta informação não está disponível no momento da compra dos mesmos. Não considera os custos da qualidade.

#### 2.4.4 Método da Incerteza do Processo de Medição.

Este método postula a utilização da Incerteza do Processo de Medição ( $U_{pm}$ ), como critério para verificação de adequabilidade. Recomenda-se utilizar um Processo de medição com incerteza entre um terço e um décimo da tolerância do projeto (equações 2.6 e 2.7), dependendo da importância da grandeza controlada e das conseqüências derivadas de erros de classificação. Sendo de um terço no caso de grandezas não críticas, um décimo se a grandeza é crítica e um valor intermediário se a grandeza tem uma importância relativa [9].

A  $U_{pm}$  corresponde àquela incerteza obtida nas condições reais de medição e considera todas as fontes de incerteza presentes na medição.

$U_{pm} \leq \frac{T}{3}$	Relação menos exigente	eq.2.6
---------------------------	------------------------	--------

$U_{pm} \leq \frac{T}{10}$	Relação mais exigente	eq.2.7
----------------------------	-----------------------	--------

- Vantagens: Método robusto na medida que, em adição às vantagens do método anterior, considera todas as fontes de variação presentes durante a medição, tais como reprodutibilidade entre operadores, condições de medição.
- Desvantagens: Método complexo na medida que requer um estudo particular para cada aplicação do SM, avaliando todas as fontes de incerteza presentes (reprodutibilidade, condições durante as medições, estabilidade). Cada processo de medição que envolve o sistema de medição, operador, ambiente, mensurando e o método, tem sua própria incerteza, o que dificulta a intercambialidade. Dada sua complexidade são poucas as empresas que empregam este método. Entretanto, o trabalho de Neiva [12], propõe uma metodologia para torna-lo prático.

No processo de medição, existe uma infinidade de fontes de erro que podem afetar os resultados da medição, além do próprio SM. Muitas vezes, a incerteza herdada da calibração do sistema de medição é desprezível em relação a outras fontes como temperatura, operador, método de medição. Dessa forma, persiste-se na afirmação de não considerar somente o Sistema de Medição como estimador do comportamento metrológico do Processo de Medição. Da mesma forma que o método anterior, a

incerteza deve ser determinada de acordo com as recomendações da ISO GUM [34]. Este método mostra-se como uma alternativa dos requisitos de avaliação das normas ISO9000 e QS9000.

#### 2.4.5 Método da Norma ISO 14253-1 [9, 30]

Esta norma estabelece limitações à aceitação ou rejeição de peças dependendo da tolerância da grandeza a medir e da incerteza do processo de medição ( $U_{pm}$ ). Por exemplo, para o caso de inspeção com especificações geométricas bilaterais, aceita-se somente peças cujas medidas ( $M$ ) encontrem-se dentro da faixa indicada na equação 2.8, sendo LIA o limite inferior da aceitação (equação 2.9) e LSA o limite superior da aceitação (equação 2.10). Por sua vez, LIE e LSE representam respectivamente o limite inferior de especificação e limite superior de especificação [9] [30].

$$LIA \leq M \leq LSA$$

eq.2.8

$$\text{Onde } \begin{cases} LIA = LIE + U_{pm} \\ LSA = LS - U_{pm} \end{cases}$$

eq.2.9

eq.2.10

Esta norma já foi bastante discutida no item 2.3.1 anterior, inclusive com as figuras 2.10 e 2.11.

Na verdade não se constitui num método adequado para avaliação e melhoria do processo de medição, uma vez que não fornece uma metodologia clara de aplicação. Mas define a incerteza alvo para o método 2.4.4.

#### 2.4.6 Método: MSA – Análise dos Sistemas de Medição

Este método se baseia no documento MSA [7] da norma QS9000 [18]. As vantagens e abrangência da aplicação deste, foram abordados no item 2.3.2, assim como as deficiências e dificuldades da sua aplicação no item 1.2 do capítulo um.

### 2.5 ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS

Uma interpretação detalhada das recomendações, referências, normas e métodos mais utilizados na avaliação e melhoria do processo de medição, permitem realizar uma

análise comparativa visando sua utilização no desenvolvimento do módulo proposto. O estabelecimento dos critérios usados para esta seleção levou em consideração as fontes de variação do processo de medição: ambiente; operador (examinador); mensurando; procedimento de medição e sistema de medição e o grau de abrangência destes fatores no método.

A seguir, demonstra-se o quadro comparativo (figura 2.15).

Percebe-se no quadro comparativo que os métodos mais abrangentes são o da incerteza do processo de medição e do MSA. Sendo o último um pouco mais abrangente, visto que apresenta a vantagem em relação ao método da incerteza no aspecto da aplicabilidade, pois esta exige informações (dados) do processo que nem sempre são conhecidas ou quantificáveis. Além do grau de conhecimento em estatística e metrologia, exigido para sua aplicação.

FONTE DE VARIÇÃO DO PROCESSO DE MEDIÇÃO	MÉTODOS					
	Resolução	Erro Máximo	Incerteza do Sistema de Medição	Incerteza do Processo de Medição	ISO 14253-1	MSA QS9000
Ambiente de Medição	○	○	○	●	○	◐
Examinador (operador)	○	○	○	●	●	●
Mensurando (características)	○	○	○	●	◐	●
Procedimento de Medição	○	○	○	●	●	●
Sistema de Medição	◐	◐	●	●	●	●
LEGENDA	<p>● - Considera e quantifica a variação</p> <p>○ - Não considera</p> <p>◐ - Considera parcialmente, e quantifica indiretamente</p>					

Figura 2.15 – Grau de abrangência dos métodos atuais.

## Capítulo 3

# DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO DE AVALIAÇÃO E MELHORIA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO NO CONTEXTO DO LASAR

Fundamentado na análise comparativa, realizada no capítulo anterior, sobre os métodos disponíveis, o desenvolvimento do módulo tem como base o MSA – Análise de sistemas de medição [7]. Embora sendo o método mais eficaz usada atualmente para a avaliação de um processo de medição/inspeção, um estudo detalhado demonstrou a existência de pontos de melhoria neste método. As visitas técnicas realizadas às empresas usuárias do MSA, revelaram as dificuldades percebidas por estas durante sua aplicação. Pretendendo-se criar uma sistemática, capaz de superar as deficiências e dificuldades do MSA, foram então incorporadas soluções de caráter inovador que conjugaram diversas informações da literatura estudada, praticidade e objetividade, características estas, balizadoras deste trabalho. Além do MSA, utilizou-se também o caderno nr.10 da Bosch [39] como importante referência para o trabalho. A segurança nos resultados também foi considerada. Todos estes aspectos foram considerados e são descritos neste capítulo.

### 3.1 ESTABELECIMENTO DE OBJETIVOS

Objetivando incorporar melhorias e superar as dificuldades identificadas no MSA, o módulo AMPM - Avaliação e Melhoria dos Processos de Medição, deve constituir-se em uma ferramenta para seu usuário :



- Conduzir a seleção do(s) método(s) de avaliação mais indicado para uma determinada aplicação;
- Realizar a análise crítica dos resultados da avaliação e implementar ações de melhoria para o processo de medição/inspeção;
- Acessar critérios para a reavaliação do processo de medição/inspeção;
- Validar as planilhas usadas nos cálculos de Tendência, R&R, Linearidade, Estabilidade, Avaliação Atributiva.

Por meio da consagração destes objetivos proporcionar às empresas usuárias :

- Melhor aproveitamento do tempo, dos recursos humanos e da infra-estrutura;
- Reduzir custos devido a erro de classificação dos produtos[9], através da redução da margem de variação do processo de medição/inspeção;
- Redução da probabilidade de enviar peças fora das especificações aos clientes;
- Redução de ajustes e custos desnecessários no processo de fabricação devido a processos incapazes ( $\geq 20\%$  do campo de tolerância).

### **3.2 INTEGRAÇÃO DO MÓDULO NO CONTEXTO DO LASAR**

O módulo AMPM - Avaliação e Melhoria dos Processos de Medição, compõe o rol de módulos básicos da Assistência Metrológica Industrial do LASAR, conforme figura 3.1 e é integrado aos demais módulos já desenvolvidos. Pela característica modular apresentadas pelo LASAR, novas ferramentas podem ser agregadas à sua estrutura [12]. Analisando a figura 3.1, que o módulo de Gerenciamento de Sistema de Medição – GSM, sendo um módulo de gestão, envolve as atividades de supervisão e rastreabilidade, seleção e uso, aquisição e AMPM - Avaliação e Melhoria dos Processos de Medição. Tendo esta última , um grau de complexidade elevado envolvendo processos decisórios, métodos e cálculos estatísticos, requerendo portanto um módulo específico. O módulo “Melhoria da Confiabilidade Metrológica” [12] pode ser usado como apoio na aplicação do AMPM nos aspectos informativo e educativo.

O módulo “Avaliação Econômica das Atividades Metrológicas” [14] é uma poderosa ferramenta gerencial para junto com a AMPM, determinar os custos decorrentes de processos incapazes e orientar novos investimentos em processos de medição/inspeção, quantificando seus ganhos. Apesar da concepção integrada, o módulo AMPM constitui-se numa sistemática independente, com ferramentas que permitem seu funcionamento isolado.

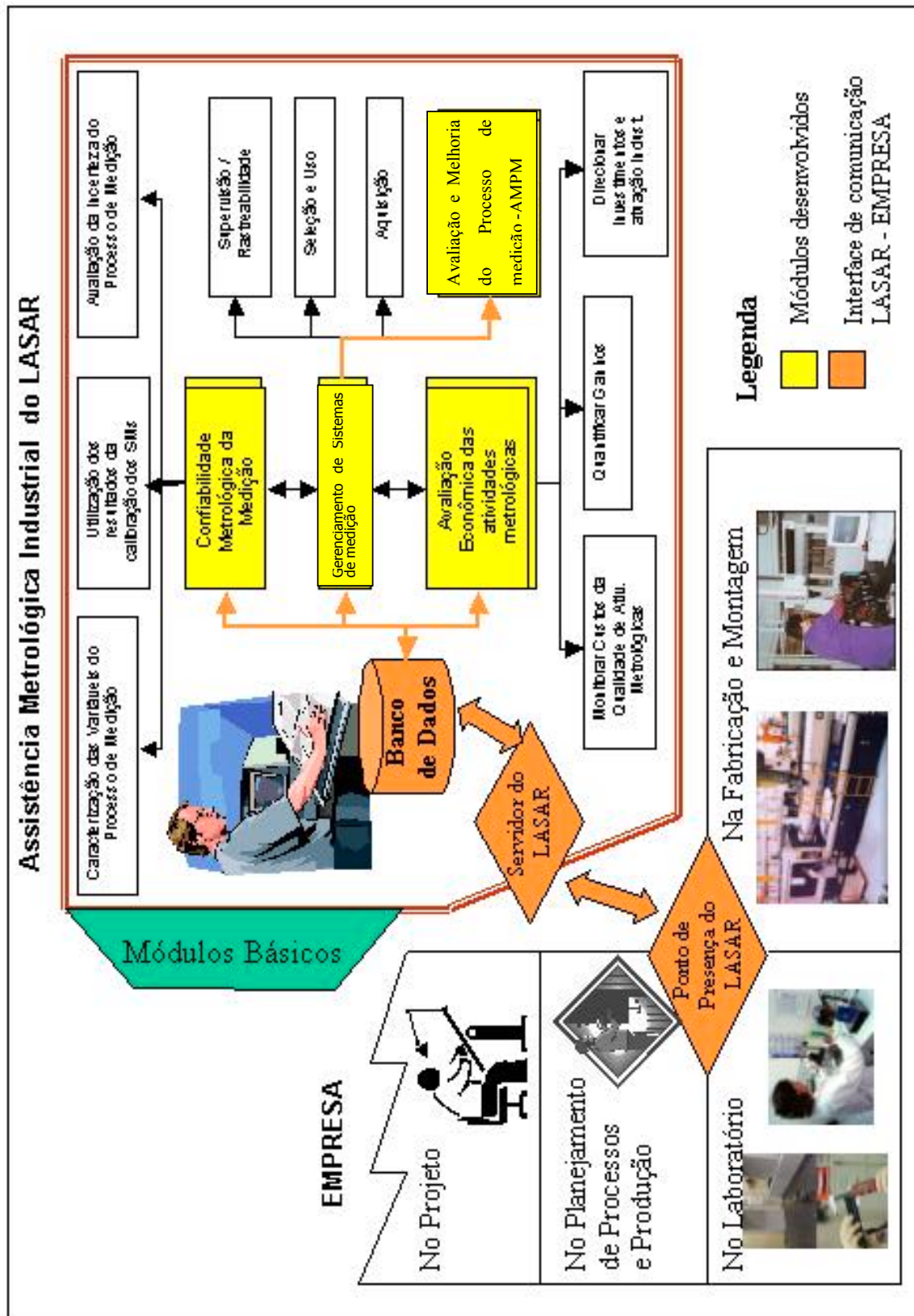


Figura 3.1 – Integração do Módulo no contexto LASAR [12]

### 3.3 A ESTRUTURA DO MÓDULO

A estrutura do módulo foi concebida para superar as deficiências na gestão e análise dos processos, identificadas nas visitas técnicas às empresas como nos exemplos a seguir:

- Os recursos humanos envolvidos com metrologia não dispõem de clareza sobre qual método usar. Aplica-se todos os métodos sem explicação lógica ;
- Dificuldade na interpretação do MSA;
- Não é efetuada análise crítica dos resultados. Estes são arquivados;
- A reavaliação do processo de medição/inspeção é feita eventualmente quando é percebida uma modificação nos resultados da calibração;
- Não existe sistemática para estabelecer frequência de reavaliação dos processos de medição/inspeção;
- Não é realizada reavaliação no processo de medição/inspeção.

Além destas, o estudo detalhado do Manual MSA[7], revelou algumas características descritas abaixo que dificultam a sua aplicação,:

- Terminologia e definições usadas conduzem a erros de interpretação, devido a não adoção do V.I.M. – Vocabulário Internacional de Metrologia [10]. Ex: Resolução, sistema de medição/inspeção;
- É bastante genérico, apresenta certa dificuldade para empresas passarem para o específico;
- Informações não sistematizadas (dispersas);
- Fluxograma orientativo só prevê o teste de Reprodutibilidade e Repetitividade ou o teste para processo de inspeção por atributo, não considerando os testes de Linearidade, Estabilidade e Tendência;
- Mostra só um exemplo para cada método;
- Deixa dúvidas quando realizar as avaliações de Linearidade, Tendência ou Estabilidade;
- Exige certo conhecimento em estatística do capital humano para implementá-lo.

Considerando os fatos relatados, estruturou-se o módulo através de três sub-módulos e cinco métodos. Os sub-módulos são: Seleção e aplicação de métodos para avaliação do processo de medição/inspeção; Análise e Melhoria dos processos de medição/inspeção; Orientações para reavaliação do processo de medição/inspeção. Estes serão detalhados nos itens 3.5, 3.6 e 3.7. Os métodos para avaliação e melhoria dos processos de medição/inspeção e suas respectivas siglas adotadas neste trabalho são:

- Método de avaliação do processo de inspeção por atributo - M. Atr;
- Método de avaliação da estabilidade do processo de medição - M.Est ;
- Método de avaliação da tendência do processo de medição - M.Tdc ;
- Método de avaliação da linearidade do processo de medição - M. Lin ;
- Método de avaliação da repetitividade e reprodutibilidade do processo de medição – M.R&R

Toda esta estrutura é visualizada na figura 3.2.

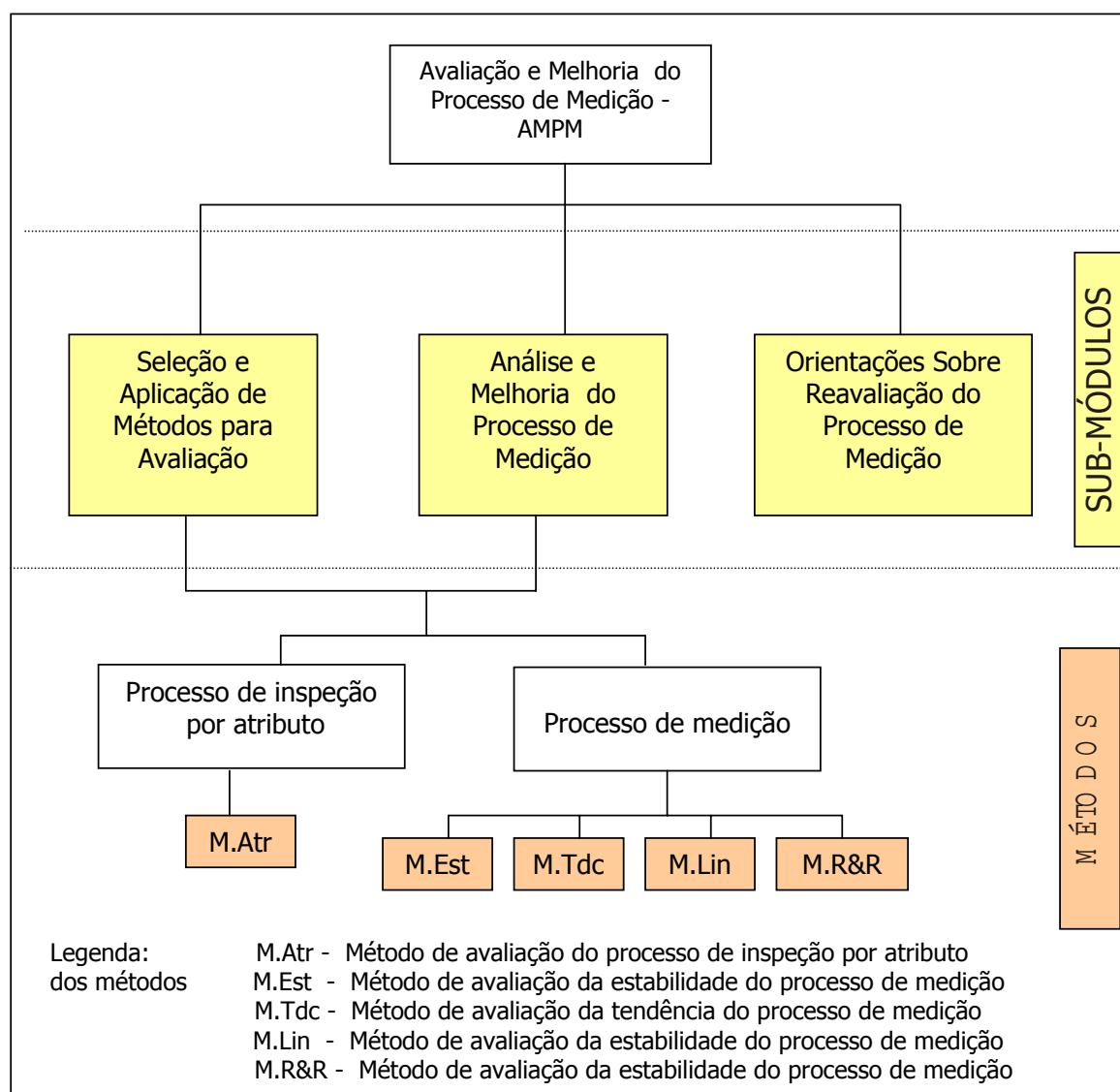


Figura 3.2 – Estrutura do Módulo AMPM

### **3.4 A FUNCIONALIDADE DO MÓDULO**

As funções preconizadas no módulo objetivam agilizar as tomadas de decisões, com otimização de recursos e segurança nos resultados para a empresa usuária.

Estas, funções são contempladas a seguir:

- a) Selecionar corretamente os métodos de avaliação mais adequados para AMPM;
- b) Realizar análise crítica dos resultados obtidos na aplicação dos métodos;
- c) Disponibilizar ferramentas para identificar as fontes de variação de um processo de medição/inspeção;
- d) Fornecer orientações e ferramentas para implementar ações de melhoria em processos de medições incapazes  $\geq 20\%$  do campo de tolerância;
- e) Oportunizar a validação das planilhas de cálculo usadas pela empresa na avaliação do processo de medição/inspeção
- f) Fornecer alternativas de ações definitivas ou temporárias quando um processo de medição/inspeção mostra-se incapaz;
- g) Esclarecer dúvidas de conceitos, termos e definições usadas na avaliação de processos;
- h) Propor orientações para definir em que situações um processo de medição/inspeção deve ser reavaliado.

A função a) é realizada por meio do sub-módulo "Seleção e Aplicação de Métodos para Avaliação". As funções b), c), d), e), f) são efetivadas com o sub-módulo "Análise e Melhoria do Processo de Medição/inspeção". A proposição orientativa para reavaliação do processo de medição/inspeção (função h) efetua-se através do sub-módulo "Orientações sobre Reavaliação do Processo de Medição/inspeção". Existe a função geral g) de caráter educativo "Esclarecer dúvidas de conceitos, termos e definições usadas na avaliação de processos" consagrada no uso contínuo do módulo por meio dos "links" explicativos. Na seqüência serão detalhados os desenvolvimentos dos sub-módulos propostos.

### **3.5 DESENVOLVIMENTO DO SUB-MÓDULO – SELEÇÃO E APLICAÇÃO DE MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO**

O objetivo principal deste sub-módulo é conduzir o usuário na seleção e aplicação de métodos de avaliação adequados para um determinado processo de medição/inspeção de modo a melhorar a eficiência desta atividade e reduzir desperdícios de tempo, uso de recursos e infra-estrutura.

Este sub-módulo permite identificar os métodos em operação mais adequados de avaliação para um processo de medição/inspeção. Por meio da aplicação dos métodos corretos, avalia-se a qualidade e segurança nos resultados das medições obtidas no chão-de-fábrica determinando o desempenho metrológico do processo de medição/inspeção. Os métodos aqui referidos são os citados anteriormente em 3.3.

### **3.5.1 Estrutura básica do sub-módulo**

O desempenho metrológico é determinado pelos denominados “métodos”. Desenvolveu-se uma lógica seqüencial de ações e questões a serem respondidas para a condução do processo de seleção e aplicação dos métodos mais adequados a uma situação específica. O fluxograma da figura 3.3 apresenta esta lógica.

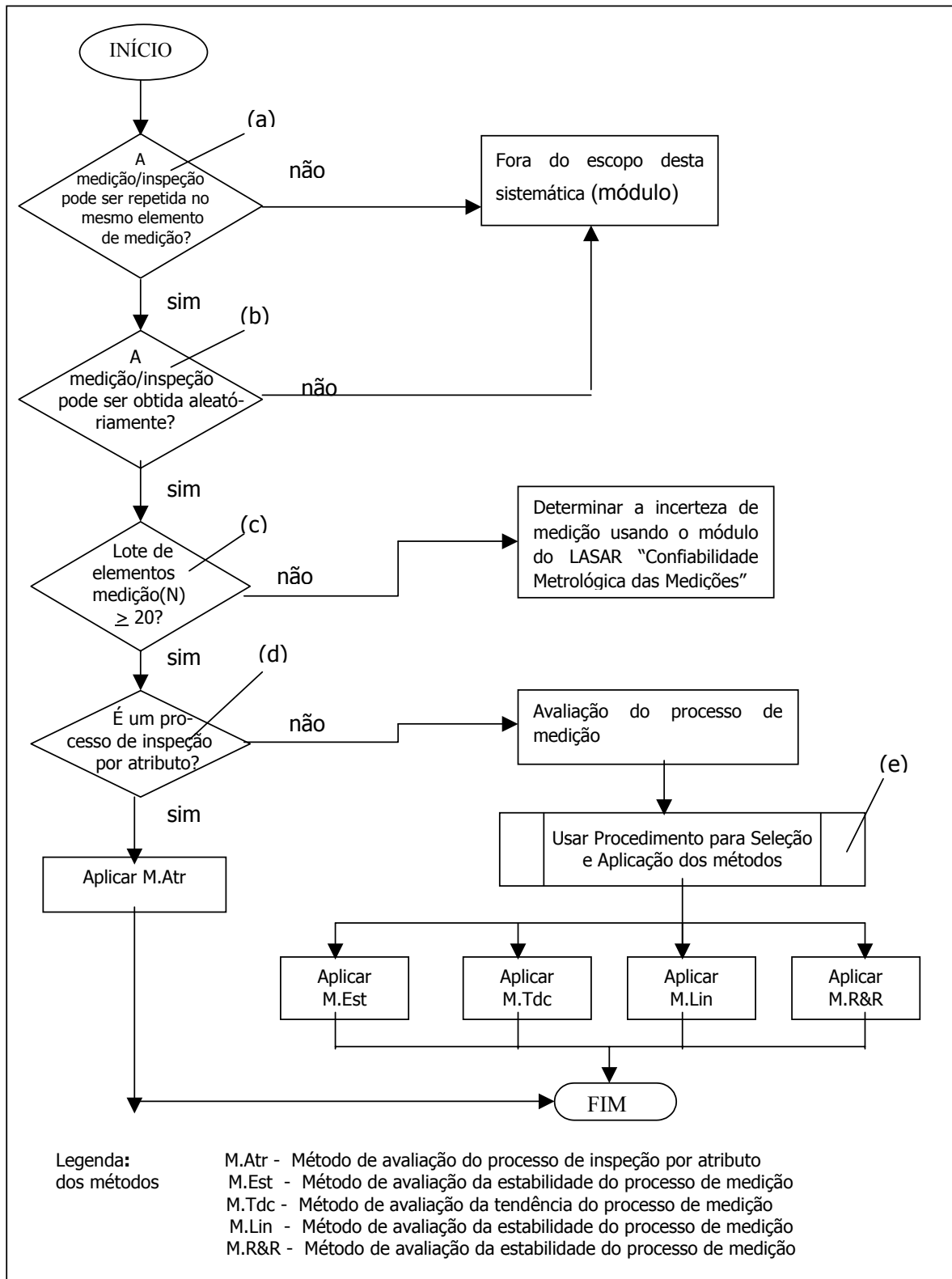
A questão decisória (a) da figura 3.3 é condicionante para aplicação dos métodos, pois é necessário que o processo de medição/inspeção possibilite leituras repetidas em cada peça (elemento de medição) e não destrua ou altere o mensurando ou ainda que estes sejam heterogêneos [7] [39].

Resistência à tração, resistência destes à ruptura, ensaio charpy e metalográfico são exemplos de mensurandos que não podem ser repetidos. Outro exemplo de um mensurando que não pode ser repetido é o torque dinâmico. Este é determinado pelo coeficiente de atrito que é função da lubrificação e do acabamento superficial (rugosidade). Após a primeira medição estas propriedades alteram-se, alterando por conseqüência o mensurando.

A questão decisória (b) orienta para que a medição/inspeção possa ser repetida de forma aleatória, sem uma influência tendenciosa por parte dos examinadores, ambiente, variações do mensurando, por exemplo erros de forma na medição do diâmetro, ou procedimento de dupla interpretação [7].

O fundamental para esta questão é que a amostra selecionada seja representativa do comportamento e das variações do processo de medição/inspeção.

O lote mínimo estipulado em (c) foi estipulado em 20 pois é número mínimo de elementos de medição (peças), necessário para avaliar o processo de inspeção por atributo, usando o método “M. Atr”. Na avaliação do processo de medição “sempre” se aplica o método de avaliação da repetitividade e reprodutibilidade do processo de medição – M.R&R, limitando também este número em 20.



*Figura 3.3 – Estrutura básica do Sub-módulo  
– Seleção e aplicação de métodos para avaliação -*

Processo de inspeção por atributo (questão (d)), é aquele onde o operador, utilizando geralmente um calibrador, compara cada elemento de medição, com um conjunto de limites específicos (determinados pelo calibrador) e verifica se o elemento de medição (peça) esta dentro destes limites. Se estiver, atribui a conformidade (aprovação) ao elemento de medição, caso contrário atribui a não-conformidade (rejeição). Diferente de um processo de medição, o processo de inspeção por atributo não pode indicar o valor do mensurando, mas somente atribuir se o elemento de medição está dentro dos limites ou fora deles, ou seja, conforme ou não-conforme [6].

Exemplos típicos de processo de inspeção por atributo: calibradores passa não-passa dos tipos tampão, boca, esfera, rosca e especiais (não normalizados).

A ação (e) da figura 3.3 indicada a existência de um procedimento que conduzirá o usuário na seleção dos métodos para avaliação de um processo de medição. Este procedimento é detalhado no item 3.5.4

Os métodos para avaliação do processo de inspeção e de medição são designados e daqui em diante identificados como:

- M. Atr - Método de avaliação do processo de inspeção por atributo ;
- M.Est - Método de avaliação da estabilidade do processo de medição ;
- M.Tdc - Método de avaliação da tendência do processo de medição ;
- M. Lin - Método de avaliação da linearidade do processo de medição ;
- M.R&R - Método de avaliação da repetitividade e reprodutibilidade do processo de medição.

### **3.5.2 Desenvolvimento e validação das planilhas de cálculo**

A aplicação dos métodos citada anteriormente requer cálculos estatísticos. Para tal foram desenvolvidas planilhas eletrônicas, usando o aplicativo "EXCEL". Estas planilhas são apresentadas nas figuras: 3.4 (método "M. Atr"); 3.5 (método "M. Est"); 3.6 (método "M. Tdc"); 3.7 (método "M. LIn") e 3.8 (método "M. R&R").

Além dos cálculos estatísticos, as planilhas realizam uma análise da capacidade, calculam os limites de controle, geram as cartas da amplitude, média, linearidade, marcando os valores medidos.

Essas planilhas, exigem um processo de "validação" [8], [19], ou seja, a comprovação através de evidência objetiva, de que os cálculos, gráficos e análises estejam corretos.



Data: _____ pag 1/1	<b>AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE INSPEÇÃO POR ATRIBUTO</b> Método " M.Atr."		Registro Nr. _____		
<b>LOCAL DE USO / POSTO DE TRABALHO:</b>					
<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO</b> Descrição: _____ Número/código: _____					
<b>MENSURANDO/ CARACTERÍSTICA</b> Descrição: _____ Nominal : _____ Tolerância: _____ Produto: _____ Desenho: _____					
<b>CONDIÇÕES AMBIENTAIS:</b> Temperatura inicial: _____ Temperatura final: _____ Outras fontes identificadas: _____					
<b>PROCEDIMENTO DE TESTE :</b> _____					
<b>OPERADORE(S):</b> Nome: _____ Número: _____ Turno: _____ Nome: _____ Número: _____ Turno: _____					
<b>LEGENDA ESTUDO</b> : BOM = + (conforme) RUIM = - (não-conforme)					
	Examinador 1		Examinador 2		Avaliação de acordo = 0 em desacordo=0
	Nome: _____		Nome: _____		
Peça Nr.	Série 1	Série 2	Série 1	Série 2	
1	-	-	-	-	0
2	+	+	+	+	0
3	+	+	+	+	0
4	+	+	+	+	0
5	+	+	+	+	0
6	+	+	+	+	0
7	-	-	-	-	0
8	+	+	+	+	0
9	+	+	+	+	0
10	+	+	+	+	0
11	+	+	+	+	0
12	+	+	+	+	0
13	+	+	+	+	0
14	+	+	+	+	0
15	+	+	+	+	0
16	+	+	+	+	0
17	+	+	+	+	0
18	+	-	+	+	1
19	+	+	+	+	0
20	+	+	+	+	0
	Total das não conformidades				1
<b>Processo de medição :</b>		<b>Capaz</b>	<input type="checkbox"/>	Total de não conformidades = 0	
		<b>Incapaz</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	Total de não conformidades > 0	
<b>Realizado por :</b> _____		<b>data:</b> ____/____/____			
<b>Aprovado por:</b> _____		<b>data:</b> ____/____/____			

Figura 3.4 – Planilha de cálculo do método "M.Atr"

Data: / /	<b>AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO PROCESSO</b>		Registro N.º	<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO</b> Descrição															
pag 1/1	<b>DE MEDIÇÃO Método "M. Est"</b>			Divisão de escala: _____	Faixa de operação: _____														
<b>LOCAL DE USO / POSTO DE TRABALHO:</b>			Número/código: _____	Faixa de utilização: _____															
<b>PADRÃO ou PEÇA PADRÃO</b> Descrição			<b>CARACTERÍSTICA / MENSURANDO</b>		VP (6xS)														
Valor de referência (valor da calibração): 48,5000			Descrição: _____		Nominal: _____ Tolerância: 0,0600														
Número/código: _____			Produto: _____		Código: _____ Desenho: _____														
<b>CONDIÇÕES AMBIENTAIS:</b>			<b>PROCEDIMENTO DE TESTE :</b>																
Temperatura inicial: _____ Temperatura final: _____			_____																
Outras fontes: _____			_____																
<b>OPERADOR:</b>																			
Nome: _____		Número: _____		Lumo: _____															
Data:	15/04/02	15/04/02	15/04/02	15/04/02	15/04/02	16/04/02	16/04/02	16/04/02	16/04/02	#####	17/04/02	17/04/02	17/04/02	17/04/02	17/04/02	18/04/02	18/04/02	18/04/02	
Horário:	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	13:30	8:00	10:00	
<b>CICLOS</b>																			
1	48,600	48,400	48,900	48,900	48,900	48,500	48,400	48,700	47,800	47,900	48,100	48,200	48,100	48,300	48,000	47,900	48,100	48,300	
2	48,700	48,800	48,600	47,900	50,100	49,000	48,200	49,000	48,600	48,300	48,600	48,500	48,700	48,900	48,700	48,300	48,400	48,600	
3	48,300	48,000	48,900	48,000	49,200	49,000	48,300	47,700	48,700	48,400	48,700	48,900	48,500	48,600	48,700	48,700	48,500	48,300	
Data:	18/04/02	18/04/02	19/04/02	19/04/02	19/04/02	19/04/02	19/04/02												
Horário:	14:00	16:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00												
<b>CICLOS</b>																			
1	48,100	48,000	48,200	47,900	48,000	48,100	47,900												
2	48,600	48,600	48,400	48,300	48,400	48,600	48,300												
3	48,700	48,700	48,900	48,700	48,800	48,900	48,400												

Linha Central
CARTA DAS MÉDIAS

AMOSTRA
LSC
Linha Central
LIC

CARTAS DAS AMPLITUDES

AMOSTRA
LSC
Linha Central
LIC

Estabilidade do Processo de medição :      Estável

   Não est.       Otimizar processo de medição

Realizado por: \_\_\_\_\_      data: / / \_\_\_\_\_

Aprovado por: \_\_\_\_\_      data: / / \_\_\_\_\_

Figura 3.5 – Planilha de cálculo do método "M.Est"

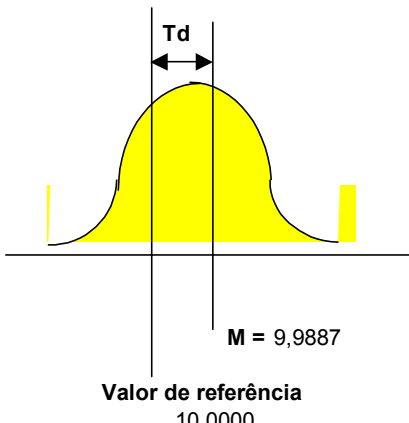
Data: <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>	<b>AVALIAÇÃO TENDÊNCIA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO</b>	Registro Nr. <input type="text"/>																																		
pag 1/1	<b>Método "M. Tdc"</b>																																			
<b>LOCAL DE USO / POSTO DE TRABALHO:</b>																																				
<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO</b>																																				
Divisão de escala: <input type="text"/>	Descrição: <input type="text"/>																																			
Número/código: <input type="text"/>	Faixa de operação: <input type="text"/>																																			
	Faixa de utilização: <input type="text"/>																																			
<b>PADRÃO ou PEÇA PADRÃO</b>																																				
Valor de referência (valor da calibração): <input type="text"/>	Descrição: <input type="text"/>																																			
Número/código: <input type="text"/>	10,0000																																			
<b>MENSURANDO/ CARACTERÍSTICA</b>																																				
Descrição: <input type="text"/>	Nominal: <input type="text"/>	VP (6xS) 0,500																																		
Produto: <input type="text"/>	Código: <input type="text"/>	Tolerância 0,0200																																		
		Desenho: <input type="text"/>																																		
<b>CONDIÇÕES AMBIENTAIS:</b>																																				
Temperatura inicial: <input type="text"/>	Temperatura final: <input type="text"/>																																			
Outras fontes: <input type="text"/>																																				
<b>PROCEDIMENTO DE TESTE :</b>																																				
<input type="text"/>																																				
<input type="text"/>																																				
<b>OPERADOR:</b>																																				
Nome: <input type="text"/>	Número: <input type="text"/>	Turno: <input type="text"/>																																		
<b>DADOS / CÁLCULOS:</b>																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Série 1</th> <th>Valor Efetivo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>9,99</td></tr> <tr><td>2</td><td>10,00</td></tr> <tr><td>3</td><td>9,98</td></tr> <tr><td>4</td><td>9,99</td></tr> <tr><td>5</td><td>10,00</td></tr> <tr><td>6</td><td>9,98</td></tr> <tr><td>7</td><td>9,99</td></tr> <tr><td>8</td><td>9,99</td></tr> <tr><td>9</td><td>10,00</td></tr> <tr><td>10</td><td>9,98</td></tr> <tr><td>11</td><td>9,98</td></tr> <tr><td>12</td><td>10,00</td></tr> <tr><td>13</td><td>9,97</td></tr> <tr><td>14</td><td>9,99</td></tr> <tr><td>15</td><td>9,99</td></tr> <tr> <td><b>Média (M) =</b></td> <td>9,9887</td> </tr> </tbody> </table>	Série 1	Valor Efetivo	1	9,99	2	10,00	3	9,98	4	9,99	5	10,00	6	9,98	7	9,99	8	9,99	9	10,00	10	9,98	11	9,98	12	10,00	13	9,97	14	9,99	15	9,99	<b>Média (M) =</b>	9,9887	unidade : <input type="text"/>  <p>M = 9,9887</p> <p>Valor de referência 10,0000</p>
Série 1	Valor Efetivo																																			
1	9,99																																			
2	10,00																																			
3	9,98																																			
4	9,99																																			
5	10,00																																			
6	9,98																																			
7	9,99																																			
8	9,99																																			
9	10,00																																			
10	9,98																																			
11	9,98																																			
12	10,00																																			
13	9,97																																			
14	9,99																																			
15	9,99																																			
<b>Média (M) =</b>	9,9887																																			
<b>TENDÊNCIA (Td) =</b>	-0,0113																																			
<b>% TENDÊNCIA (%Td) =</b>	56,67	<b>% TENDÊNCIA (%Td) =</b> 2,27																																		
<b>Em relação à % TOLERÂNCIA</b>		<b>% Variação do Processo Fabril (VP)</b>																																		
<b>Tendência do Processo de medição :</b>	Capaz <input type="checkbox"/>	Avaliar R&R - método 4																																		
	Incapaz <input checked="" type="checkbox"/>	Otimizar processo de medição																																		
Realizado por : <input type="text"/>	data <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>																																			
Aprovado por: <input type="text"/>	data <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>																																			

Figura 3.6 – Planilha de cálculo do método "M. Tdc"

Data: ___/___/___	<b>AVALIAÇÃO DA LINEARIDADE DO PROCESSO DE</b>					Registro Nr. _____
pag 1/1	<b>MEDIÇÃO Método "M. Lin"</b>					
<b>LOCAL DE USO / POSTO DE TRABALHO:</b>						
<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO</b> Descrição: _____						
Divisão de escala: _____		Faixa de operação: _____				
Número/código: _____		Faixa de utilização: _____				
<b>PADRÕES ou PEÇAS-PADRÃO</b> unidade: _____						
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	Valor de referênc	12,850	68,350	125,150	166,750	179,950
	Código / número					
<b>MENSURANDO/ CARACTERÍSTICA</b>						
Descrição: _____		Nominal: _____		Tolerância: 0,050		
Produto: _____		Código: _____		Desenho: _____		
<b>CONDIÇÕES AMBIENTAIS:</b>						
Temperatura inicial: _____		Temperatura final: _____				
Outras fontes: _____						
<b>PROCEDIMENTO DE TESTE :</b> _____						
<b>OPERADOR:</b>						
Nome: _____		Número: _____		Turno: _____		
<b>DADOS / CÁLCULOS</b>						
	<b>PADRÃO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	Valor de Referência	12,85	68,35	125,15	166,75	179,95
<b>SÉRIES DE MEDIÇÃO</b>	1	12,85	68,35	125,20	166,75	180,00
	2	12,80	68,35	125,20	166,80	179,95
	3	12,80	68,35	125,20	166,80	180,00
	4	12,80	68,35	125,20	166,80	180,00
	5	12,80	68,35	125,20	166,80	180,00
	6	12,80	68,35	125,20	166,80	180,00
	7	12,80	68,35	125,20	166,80	180,00
	8	12,80	68,35	125,20	166,80	180,00
	9	12,80	68,35	125,20	166,80	180,00
	10	12,80	68,35	125,20	166,80	180,00
	11	12,80	68,35	125,20	166,80	180,00
	12	12,80	68,35	125,20	166,80	180,00
	MÉDIA	12,8042	68,3500	125,2000	166,7958	179,9958
	TENDÊNCIA	-0,0458	0,0000	0,0500	0,0458	0,0458
	% TENDÊNCIA	91,7%	0,0%	100,0%	91,7%	91,7%
	AMPLITUDE	0,050	0,000	0,000	0,050	0,050
						Td = b + a (valor de referência) a = 0,000562 b = -0,0430
						GRAU DE AJUSTE R <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,88
<b>Linearidade do Processo de medição :</b> Capaz <input type="checkbox"/> Avaliar R&R - método 4 Incapaz <input checked="" type="checkbox"/> Otimizar processo de medição						
<b>Realizado por :</b> _____ <b>data:</b> ___/___/___ <b>Aprovado por:</b> _____ <b>data:</b> ___/___/___						

Figura 3.7 – Planilha de cálculo do método "M.Lin"

Data: ___/___/___ pag 1/1	<b>AVALIAÇÃO DA R&amp;R (Média e Amplitude) DO PROCESSO DE MEDIÇÃO</b> Método "M. R&R"	Registro Nr. _____																																																																																																																																																																																														
<b>LOCAL DE USO / POSTO DE TRABALHO:</b>																																																																																																																																																																																																
<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO</b> Descrição: Exemplo apostila MSA pag 57 58 Número/código: _____																																																																																																																																																																																																
<b>MENSURANDO/CARACTERÍSTICA</b> Descrição: Espessura junta Produto: junta		Nominal: ___ 0,6 -1 mm Desenho: _____																																																																																																																																																																																														
		6°S (processo fabril): _____ mm Tolerância: 1,500 mm																																																																																																																																																																																														
<b>CONDIÇÕES AMBIENTAIS:</b> Temperatura inicial: _____ Temperatura final: _____ Outras fontes: _____																																																																																																																																																																																																
<b>PROCEDIMENTO DE TESTE :</b> _____																																																																																																																																																																																																
<b>OPERADORE(S):</b>																																																																																																																																																																																																
Nome: _____ Número: _____ Turno: _____	Nome: _____ Número: _____ Turno: _____	Nome: _____ Número: _____ Turno: _____																																																																																																																																																																																														
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Peça</th> <th colspan="4">Operador A</th> <th colspan="4">Operador B</th> <th colspan="4">Operador C</th> </tr> <tr> <th>Série 1</th> <th>Série 2</th> <th>Série 3</th> <th>R</th> <th>Série 1</th> <th>Série 2</th> <th>Série 3</th> <th>R</th> <th>Série 1</th> <th>Série 2</th> <th>Série 3</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,650</td><td>0,600</td><td></td><td>0,050</td><td>0,550</td><td>0,550</td><td></td><td>0,000</td><td>0,500</td><td>0,550</td><td></td><td>0,050</td></tr> <tr><td>2</td><td>1,000</td><td>1,000</td><td></td><td>0,000</td><td>1,050</td><td>0,950</td><td></td><td>0,100</td><td>1,050</td><td>1,000</td><td></td><td>0,050</td></tr> <tr><td>3</td><td>0,850</td><td>0,800</td><td></td><td>0,050</td><td>0,800</td><td>0,750</td><td></td><td>0,050</td><td>0,800</td><td>0,800</td><td></td><td>0,000</td></tr> <tr><td>4</td><td>0,850</td><td>0,950</td><td></td><td>0,100</td><td>0,800</td><td>0,750</td><td></td><td>0,050</td><td>0,800</td><td>0,800</td><td></td><td>0,000</td></tr> <tr><td>5</td><td>0,550</td><td>0,450</td><td></td><td>0,100</td><td>0,400</td><td>0,400</td><td></td><td>0,000</td><td>0,450</td><td>0,500</td><td></td><td>0,050</td></tr> <tr><td>6</td><td>1,000</td><td>1,000</td><td></td><td>0,000</td><td>1,000</td><td>1,050</td><td></td><td>0,050</td><td>1,000</td><td>1,050</td><td></td><td>0,050</td></tr> <tr><td>7</td><td>0,950</td><td>0,950</td><td></td><td>0,000</td><td>0,950</td><td>0,900</td><td></td><td>0,050</td><td>0,950</td><td>0,950</td><td></td><td>0,000</td></tr> <tr><td>8</td><td>0,850</td><td>0,800</td><td></td><td>0,050</td><td>0,750</td><td>0,700</td><td></td><td>0,050</td><td>0,800</td><td>0,800</td><td></td><td>0,000</td></tr> <tr><td>9</td><td>1,000</td><td>1,000</td><td></td><td>0,000</td><td>1,000</td><td>0,950</td><td></td><td>0,050</td><td>1,050</td><td>1,050</td><td></td><td>0,000</td></tr> <tr><td>10</td><td>0,600</td><td>0,700</td><td></td><td>0,100</td><td>0,550</td><td>0,500</td><td></td><td>0,050</td><td>0,850</td><td>0,800</td><td></td><td>0,050</td></tr> <tr> <td></td> <td colspan="3">média (Xa) =</td> <td>0,8275</td> <td colspan="3">média (Xb) =</td> <td>0,7675</td> <td colspan="3">média (Xc) =</td> <td>0,8275</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="3">amplitude média (Ra) =</td> <td>0,045</td> <td colspan="3">amplitude média (Rb) =</td> <td>0,045</td> <td colspan="3">amplitude média (Rc) =</td> <td>0,025</td> </tr> </tbody> </table>												Peça	Operador A				Operador B				Operador C				Série 1	Série 2	Série 3	R	Série 1	Série 2	Série 3	R	Série 1	Série 2	Série 3	R	1	0,650	0,600		0,050	0,550	0,550		0,000	0,500	0,550		0,050	2	1,000	1,000		0,000	1,050	0,950		0,100	1,050	1,000		0,050	3	0,850	0,800		0,050	0,800	0,750		0,050	0,800	0,800		0,000	4	0,850	0,950		0,100	0,800	0,750		0,050	0,800	0,800		0,000	5	0,550	0,450		0,100	0,400	0,400		0,000	0,450	0,500		0,050	6	1,000	1,000		0,000	1,000	1,050		0,050	1,000	1,050		0,050	7	0,950	0,950		0,000	0,950	0,900		0,050	0,950	0,950		0,000	8	0,850	0,800		0,050	0,750	0,700		0,050	0,800	0,800		0,000	9	1,000	1,000		0,000	1,000	0,950		0,050	1,050	1,050		0,000	10	0,600	0,700		0,100	0,550	0,500		0,050	0,850	0,800		0,050		média (Xa) =			0,8275	média (Xb) =			0,7675	média (Xc) =			0,8275		amplitude média (Ra) =			0,045	amplitude média (Rb) =			0,045	amplitude média (Rc) =			0,025
Peça	Operador A				Operador B				Operador C																																																																																																																																																																																							
	Série 1	Série 2	Série 3	R	Série 1	Série 2	Série 3	R	Série 1	Série 2	Série 3	R																																																																																																																																																																																				
1	0,650	0,600		0,050	0,550	0,550		0,000	0,500	0,550		0,050																																																																																																																																																																																				
2	1,000	1,000		0,000	1,050	0,950		0,100	1,050	1,000		0,050																																																																																																																																																																																				
3	0,850	0,800		0,050	0,800	0,750		0,050	0,800	0,800		0,000																																																																																																																																																																																				
4	0,850	0,950		0,100	0,800	0,750		0,050	0,800	0,800		0,000																																																																																																																																																																																				
5	0,550	0,450		0,100	0,400	0,400		0,000	0,450	0,500		0,050																																																																																																																																																																																				
6	1,000	1,000		0,000	1,000	1,050		0,050	1,000	1,050		0,050																																																																																																																																																																																				
7	0,950	0,950		0,000	0,950	0,900		0,050	0,950	0,950		0,000																																																																																																																																																																																				
8	0,850	0,800		0,050	0,750	0,700		0,050	0,800	0,800		0,000																																																																																																																																																																																				
9	1,000	1,000		0,000	1,000	0,950		0,050	1,050	1,050		0,000																																																																																																																																																																																				
10	0,600	0,700		0,100	0,550	0,500		0,050	0,850	0,800		0,050																																																																																																																																																																																				
	média (Xa) =			0,8275	média (Xb) =			0,7675	média (Xc) =			0,8275																																																																																																																																																																																				
	amplitude média (Ra) =			0,045	amplitude média (Rb) =			0,045	amplitude média (Rc) =			0,025																																																																																																																																																																																				
<b>Repetitividade - Variação do Equipamento (VE)</b> VE = 0				<b>Critério da VT</b>		<b>Tolerância T</b>																																																																																																																																																																																										
<b>Reprodutibilidade- Variação entre operadores (VO)</b> VO = #REF!				% VE =		#REF! 0,00%																																																																																																																																																																																										
<b>Repetitividade / Reprodutibilidade (R&amp;R)</b> R&R = #REF!				% VO =		#REF! #REF!																																																																																																																																																																																										
<b>Variação Peça a Peça (VP)</b> (VP) = 0,0000000				% R&R =		#REF! #REF!																																																																																																																																																																																										
<b>Variação Total (VT)</b> (VT) = #REF!				% VP =		#REF! 0,0%																																																																																																																																																																																										
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>CARTA DE AMPLITUDES</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>CARTA DAS MÉDIAS</b></p> </div> </div>																																																																																																																																																																																																
R & R do Processo de medição :				#REF! Capaz		Ver próximas ações na Metodologia																																																																																																																																																																																										
				#REF! Incapaz		Otimizar processo de medição																																																																																																																																																																																										
Realizado por : _____ data: ___/___/___				Aprovado por: _____ data: ___/___/___																																																																																																																																																																																												

Figura 3.8 – Planilha de cálculo do método "M.R&R"

PLANILHA DE CÁLCULO AVALIADA	CONDIÇÃO A - 2 OPERADORES - 2 CICLOS		CONDIÇÃO B - 2 OPERADORES - 3 CICLOS		CONDIÇÃO C - 3 OPERADORES - 2 CICLOS		CONDIÇÃO D - 3 OPERADORES - 3 CICLOS	
	Resultados	Avaliação	Resultados	Avaliação	Resultados	Avaliação	Resultados	Avaliação
MÉTODOS - R&R -	%VE = 33 %VO = 69 %R&R = 77 %VP = 64	●	= 43 = 0 = 43 = 90	●	= 19 = 17 = 25 = 97	●	= 12 = 19 = 23 = 97	●
EMPRESA "A"	NÃO CALCULA ESTA CONDIÇÃO	○	NÃO CALCULA ESTA CONDIÇÃO	○	= 19 = 17 = 25 = 97	●	= 19 = 17 = 25 = 97	○
EMPRESA "B"	%VE = 33 %VO = 69 %R&R = 77 %VP = 64	●	= 43 = 0 = 43 = 90	●	= 19 = 17 = 25 = 97	●	= 12 = 19 = 23 = 97	●
LEGENDA	% VE= % Repetitividade em relação à variação total % VO = % Reprodutibilidade em relação à variação total % R&R = % Repetitividade e Reprodutibilidade em relação à variação total % VP = % Variação elemento de medição a elemento de medição em relação à variação total ○ Planilha não atende esta condição ou os resultados e gráficos em discordância com MINITAB ● Resultados e gráficos em concordância com MINITAB							

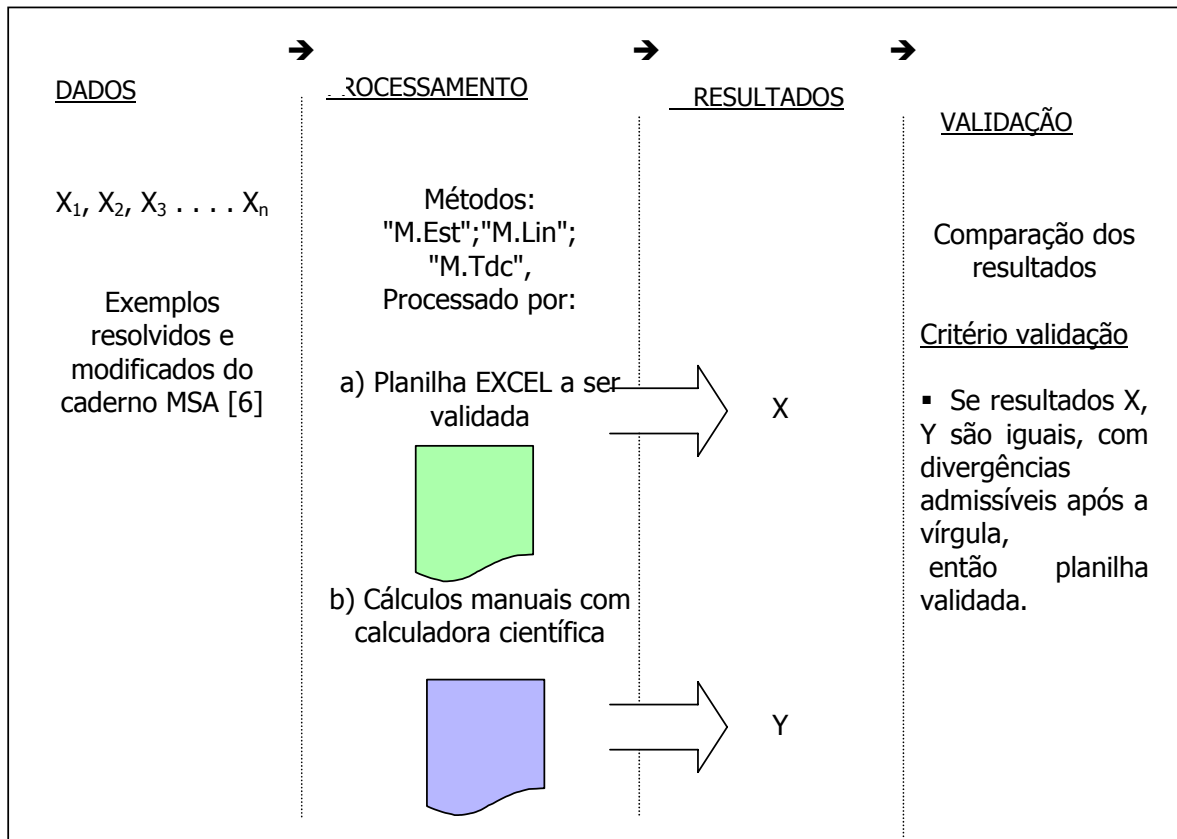
*Figura 3.9 – Processo de validação M R&R – Resultados e análise –*

Esse processo permite garantir confiabilidade nos resultados durante a realização dos estudos de casos. Optou-se por utilizar o software "MINITAB" [41], específico para aplicações estatísticas e duas planilhas desenvolvidas pelas empresas "A" e "B". O método "M. R&R", sendo o mais complexo, foi usado na atividade de validação nas seguintes condições:

- A – Dois operadores medindo em dois ciclos de medição;
- B – Dois operadores medindo em três ciclos de medição;
- C – Três operadores medindo em dois ciclos de medição;
- D – Três operadores medindo em três ciclos de medição;

Os resultados e a análise do processo de validação são apresentados na figura 3.9.

Para os métodos: "M. Est"; "M. Tdc"; "M. LIn", a validação foi efetivada com o procedimento desenvolvido, representado na figura 3.10. O método "M. Atr.", devido a sua simplicidade foi validado através de simulações de entrada e análise dos resultados.



*Figura 3.10 – Procedimento de validação das planilhas de cálculos para métodos: "M. Est"; "M. Tdc"; "M. LIn".*

### 3.5.3 Processo de inspeção por atributo – Seleção e aplicação de métodos para avaliação

Existe somente um método usado para avaliação deste processo, sendo aceito e citado pela maior parcela das normas da indústria automobilística: VDA6.1- Gestão da qualidade na indústria automobilística alemã [37], EAQF- Referencial de aptidão de da qualidade fornecedores,(indústria automobilística francesa) [38]; QS9000- Requisitos do sistema da qualidade,(indústria automobilística americana)[17]; TS16949- Quality management systems- Particular requirements for application of ISO90001:2000 for automotive production and relevant service part (unificação de todas indústria automobilística mundiais) [18] e caderno nº 10 BOSCH - Capability of measurement and test processes [39]. Para a correta aplicação do método "M.Atr." ,estabeleceu-se um procedimento descrevendo as atividades e ferramentas necessárias. A figura 3.11 apresenta este procedimento.

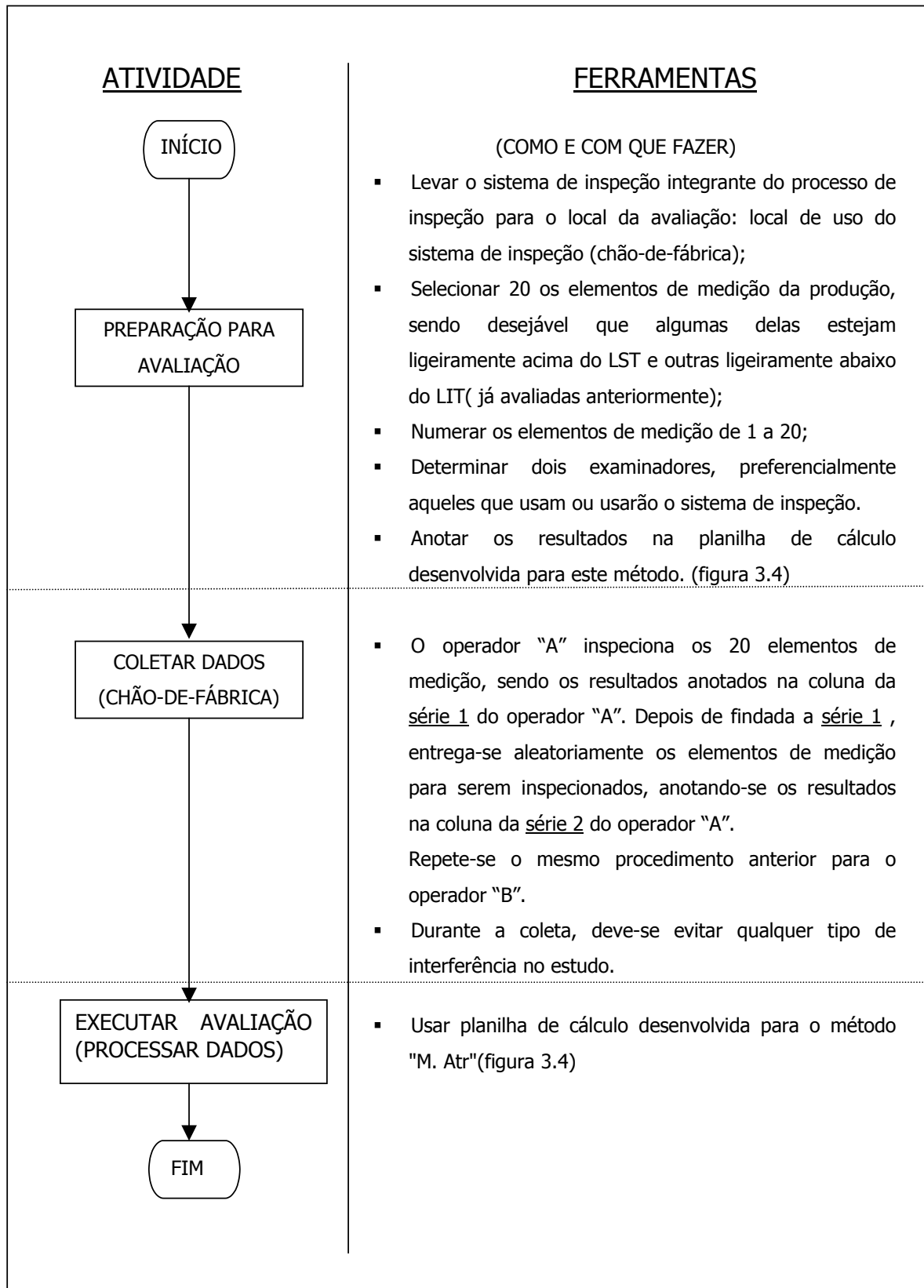


Figura 3.11 – Metodologia de aplicação do método "M.Atr".



### 3.5.4 Processo de medição – Seleção e aplicação de métodos para avaliação

O desempenho metrológico do processo de medição é avaliado por meio da: estabilidade, linearidade, tendência, repetitividade e reprodutibilidade. Estes parâmetros de desempenho são obtidos por meio dos métodos comentados a seguir :

- M Est– Estabilidade: Permite avaliar a estabilidade estatística do processo considerando todas as fontes de influência no processo de medição (Repetitividade, Reprodutibilidade, Tendência) ao longo do tempo. Sua análise é realizada com o uso de cartas de controle e segue os mesmos critérios de avaliação do CEP – Controle Estatístico do Processo. As cartas usuais são as da média ( $\bar{X}$ ) e da amplitude (R). O objetivo da determinação da estabilidade é identificar as causas especiais do processo e através de ações de melhorias, tornar o processo estável, ou seja presença de causas comuns [44], [45], [46].
- M Tdc – Tendência: O desvio da localização devido a influências sistemáticas em relação ao valor de referência pode ser estimada pela equação [7], [19], [22], [39]:

$$\text{eq. 3.1} \quad \boxed{Td = \bar{X} - VVC} \quad \text{onde} \quad \left\{ \begin{array}{l} Td - \text{Tendência do processo} \\ \bar{X} - \text{Média de "n" medições} \\ VVC - \text{Valor verdadeiro convencional} \end{array} \right.$$

A tendência é determinada num ponto específico dentro da faixa de indicação, devendo dispor de padrão. Na falta deste, usa-se um elemento de medição (peça) cujo valor (valor de referência ou VVC) é obtido com um sistema de medição com incerteza 10 vezes menor que o campo de tolerância do mensurando avaliado.

- M Lin – Linearidade: Avalia o desvio da localização de Tendência ao longo da faixa de indicação. Um conjunto de padrões que cubram esta faixa é necessário para avalia-la. Sua aplicação é indicada quando o sistema de medição é usado numa faixa dentro da faixa de indicação. Esta indicação é explicada adiante.
- M R&R – Repetitividade e Reprodutibilidade (Média e Amplitude): Demonstra os desvios decorrentes das influências dos operadores que executam a medição

(Reprodutibilidade) e do sistema de medição (Repetitividade). Neste método é possível separar a influência da variação elemento de medição a elemento de medição.

A seleção dos métodos mais indicados, para o processo de medição é posta em prática por meio do procedimento desenvolvido e apresentado na figura 3.12. Este é estruturado em forma de fluxograma e envolve uma lógica seqüencial. A fundamentação para as atividades que o compõem é a seguinte:

**(A)** – O desempenho de um processo de medição é definido, aplicando-se os métodos descritos anteriormente. Para tal é necessário adotar um critério de comparação dos resultados. Pode-se usar um dos critérios comparativos a seguir enunciados [7]:

Critério 1: Campo de tolerância (T).

Critério 2: Variação do processo de fabricação (VP) =  $6x \sigma$  (variação total 99,74%). Se um deles for conhecido, este será o utilizado.

A variação do processo de fabricação deve ser conhecida e obtida por uma avaliação independente do processo de medição. A BOSCH [37] adota o critério 1 (Campo de Tolerância). Entretanto existe a possibilidade de ter-se um processo de fabricação com variação menor que campo de tolerância.

**(B)** – Optou-se pelo critério da resolução do sistema de medição, indo contra a prática das empresas de usar a divisão de escala. Pois esta influenciará fortemente nos resultados obtidos e conseqüentemente na avaliação do processo de medição.

De acordo com o MSA- Análise de sistemas de medição [7], a resolução (Re) adequada quando é pequena em relação à variação do processo de fabricação (VP) ou em relação ao campo de tolerância (T) . Esta referência recomenda:

- Se a variação do processo de fabricação (VP) e o campo de tolerância de fabricação são conhecidos utilizar o menor valor resultante da aplicação das equações 3.2 e 3.3:

$$\text{eq.3.2} \quad \boxed{Re \leq \frac{T}{10}} \quad \text{eq.3.3} \quad \boxed{Re \leq \frac{6x \sigma}{10}}$$

- Se variação do processo de fabricação é desconhecido ou difícil de se obter, utilizar a equação 3.2.

De acordo com o caderno nr. 10 da BOSCH [39] , a resolução (Re) do sistema de medição deve ser  $\leq 5\%$  de T. Adotou-se neste trabalho uma combinação entre as duas referências. Ou seja:

- Menor entre  $Re \leq 0,05x T$  e  $Re \leq 0,05x (6x \sigma) = \leq 0,05x(VP)$

O número de categorias de dados ou quantas classificações podem ser obtidas dentro do intervalo de Tolerância (T) ou Variação do processo (VP) é função da resolução adotada. Se a Re adotada for  $0,05x T$ , teremos 20 categorias.

Se a resolução não for adequada, esta sistemática não terá confiabilidade nenhuma.

A variação do processo de fabricação deve ser obtida por uma avaliação independente do processo de medição que se está avaliando.

**(C)** – Neste trabalho adotou-se como o primeiro método de avaliação do Processo de Medição, a estabilidade pois, sendo fundamentado no texto do MSA [7]:

*“A estabilidade estatística do processo (ou sistema), combinada com o conhecimento técnico nos permite prever o desempenho futuro de um processo. Sem o conhecimento, baseado em dados, do estado de controle de um processo de medição, os valores para “repetitividade”, “reprodutibilidade”, etc., são somente descrições dos dados obtidos durante o estudo. Eles não têm significado para o desempenho futuro. Avaliar a repetitividade, a reprodutibilidade, etc., de um sistema de medição, para o qual o estado de estabilidade é desconhecido, pode causar mais prejuízos que benefícios. Se qualquer ação for tomada como resultado da análise, o resultado final pode ser que a variação do sistema de medição aumente, devido à intervenção indevida”.*

Qualquer processo, seja de fabricação ou medição deve ser estável antes da sua aplicação [43,44,46]. Foi adotado um período menor que o praticado pelas empresas visitadas e admitidas como referência amostral, pois conforme sugerido pelo caderno nº10 – BOSCH [39] pode-se usar um período de uma semana (estabilidade de curto prazo).

Este critério é um grande diferencial em relação ao MSA [7], uma vez que não deixa claro qual período usar. O MSA [7], demonstra um exemplo de análise da estabilidade utilizando um período de um ano (estabilidade de longo prazo).

A realização da estabilidade foi estabelecida por meio das etapas:

#### *1. Preparação para avaliação*

- Levar o sistema de medição integrante do processo de medição a ser avaliado para o local da avaliação: local de uso do sistema de medição (chão de fábrica) ;
- Selecionar um padrão calibrado, cujo valor de calibração (valor de referência) deve se estar próximo ao meio da faixa de tolerância da característica a ser medida. Caso não seja possível ter-se um padrão calibrado, medir um elemento de medição da produção com um sistema de medição que proporcione uma incerteza de medição aproximadamente 10% da tolerância do mensurando a ser

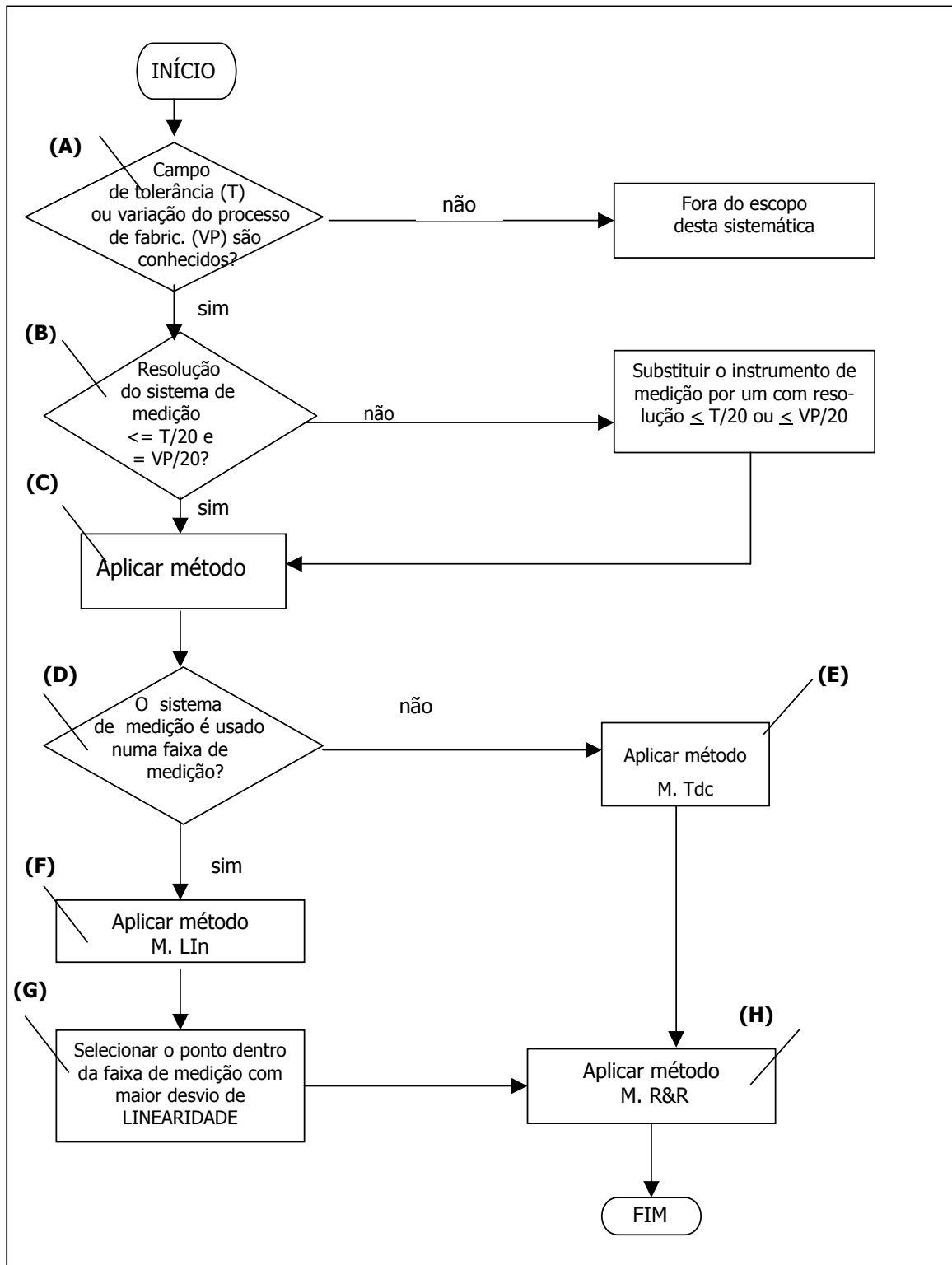


Figura 3.12 – Processo de Medição – Metodologia para Seleção dos métodos.

medido. Usar este resultado da medição como valor de referência.

- Determinar um examinador, preferencialmente aquele que usa ou usará o sistema de medição.

## 2. Coleta dos dados

- Antes de iniciar a avaliação, o sistema de medição deve ser regulado e ajustado conforme instrução.

Regulagens durante a avaliação são inadmissíveis.

- O padrão deve ser retirado da posição de medição e recolocado entre as medições individuais;
- Um operador mede 3 vezes o mesmo padrão ou elemento de medição-padrão compondo uma amostra;
- Devem ser obtidas 5 amostras diárias. Ao longo de uma semana serão obtidas 25 amostras ;
- O intervalo temporal entre as amostras diárias varia entre 1,5 a 3 horas dependendo do número de turnos de trabalho.

## 3. Execução da avaliação da Estabilidade do processo de medição.

- Usar planilha desenvolvida para este fim (figura 3.5)

**(D)** – Outra melhoria incorporada ao módulo desenvolvido é o esclarecimento e orientação ao usuário quando avaliar a Tendência (M.Tdc) e quando avaliar Linearidade (M.Lin). O MSA [7] não explicita esta diferença.

Se o sistema de medição é usado somente num ponto dentro da faixa de indicação, então o método mais adequado é a tendência. Porém se é usado numa faixa dentro da indicação a avaliação de linearidade (M.Lin) permite avaliar os desvios ao longo desta faixa. Abaixo se apresenta um caso exemplificando esta questão decisória inserida no módulo.:

Situação	Sistema de medição	Faixa de Indicação	Faixa de Operação	Método a aplicar
A	Manômetro Analógico	0 – 10 bar	3 a 8 bar	Linearidade
B	Manômetro Analógico	0 – 10 bar	$5 \pm 0,5$ bar	Tendência

**(E)** – A avaliação da Tendência é realizada com o método “M. Tdc” sendo aplicado de acordo com as etapas:

### 1. Preparação para avaliação

- Levar o sistema de medição integrante do processo de medição a ser avaliado para o local da avaliação: local de uso do sistema de medição (chão de fábrica);
- Selecionar um padrão calibrado, cujo valor da calibração (valor de referência) deve se estar próximo ao meio da faixa de tolerância da característica a ser medida. Caso não seja possível ter-se um padrão calibrado, medir um elemento de medição da produção com um sistema de medição que proporcione uma incerteza de medição aproximadamente 10% da tolerância da característica a ser medida. Usar este resultado de medição com valor de referência (VVC).
- Determinar um examinador, preferencialmente aquele que usa ou usará o sistema de medição.

## *2. Coleta dos dados*

- Registrar os dados coletados na planilha desenvolvida para este fim (figura 3.6).
- Regular o sistema de medição antes de iniciar a avaliação, conforme instrução. Regulagens durante a avaliação são inadmissíveis.
- Determinar um examinador, preferencialmente aquele que usa ou usará o sistema de medição.
- Retirar e colocar o elemento de medição/ padrão da posição de medição entre as medições individuais
- Um operador mede de 10 à 15 vezes o mesmo padrão ou elemento de medição-padrão, anotando-se os resultados. Adotou-se como referência [7]

## *3. Execução da avaliação da Tendência do processo de medição.*

- Usar planilha desenvolvida para este fim (figura 3.6)

**(F)** – A avaliação da linearidade é realizada com o método “M. Lin” sendo aplicado de acordo com as etapas:

### *1. Preparação para avaliação*

- Levar o sistema de medição integrante do processo de medição a ser avaliado para o local da avaliação: local de uso do sistema de medição (chão de fábrica);
- Selecionar 5 (cinco) padrões calibrados, com valores da calibração (valores de referência) distribuídos ao longo da faixa de utilização do sistema de medição. Caso não seja possível ter-se 5 padrões calibrados, mede-se 5 elementos de medição (peças) da produção com um sistema de medição que proporcione uma incerteza de medição aproximadamente 10% da tolerância da

característica a ser medida. Deve-se usar estes resultados da medição como valores de referência.

- Determinar um examinador, preferencialmente aquele que usa ou usará o sistema de medição.

## *2. Coleta dos dados*

- Registrar os dados coletados na planilha desenvolvida para este fim (figura 3.7).
- Regular o sistema de medição antes de iniciar a avaliação, conforme instrução. Regulagens durante a avaliação são inadmissíveis.
- O elemento de medição/ padrão deve ser retirada da posição de medição e recolocada entre as medições individuais.
- O examinador mede 12 vezes (conforme indicado no MSA [7]) cada padrão ou elemento de medição-padrão, anotando-se os resultados .

## *3. Execução da avaliação da Linearidade do processo de medição.*

- Usar planilha desenvolvida para este fim (figura 3.7)

**(G)** – O maior desvio identificado na avaliação de linearidade, será o ponto de dentro da faixa de operação selecionado para a avaliação do R&R. Este critério foi adotado nesta sistemática como forma de cobrir uma lacuna no método MSA [7], o qual não esclarece qual o ponto dentro da faixa deve ser avaliado.

**(H)** – A Repetitividade e Reprodutibilidade de um processo de medição avaliam as influências dos operadores, sistema de medição e variação elemento de medição a elemento de medição através da seqüência:

### *1. Preparação para avaliação*

- Levar o sistema de medição integrante do processo de medição a ser avaliado para o local da avaliação: local de uso do sistema de medição (chão de fábrica);
- Selecionar 10 elementos de medição da produção distribuídos dentro da amplitude da tolerância ou variação do processo;
- Numerar os elementos de medição de 1 a 10;
- Determinar três examinadores, preferencialmente aqueles que usam o sistema de medição e pertencem a turnos de trabalho diferentes.

### *2. Coleta de dados*

- Regular o sistema de medição antes de iniciar a avaliação, conforme instrução. Regulagens durante a avaliação são inadmissíveis.
- Registrar os dados coletados na planilha desenvolvida para este fim (figura 3.8).

- O elemento de medição/ padrão deve ser retirado da posição de medição e recolocado entre as medições individuais.
  - O examinador "A" mede (no ponto de medição definido) 2 ou 3 vezes a mesma elemento de medição, sendo os resultados anotados nas colunas: série 1, série 2, série 3 do operador "A". Na seqüência, entregam-se aleatoriamente os elementos de medição para serem medidos, anotando-se os resultados na coluna da do operador "A". Repete-se o mesmo processo anterior para os operadores "B" e "C".
  - A medição tripla (três ciclos) do mesmo elemento de medição fornecerá menor desvio de repetitividade.
  - A avaliação realizada por três operadores fornecerá menor desvio de reprodutibilidade devido influência dos operadores.
    - Durante a coleta dos dados deve-se evitar interferir no estudo.
3. Execução da avaliação da Repetitividade e Reprodutibilidade do processo de medição.
- Usar planilha desenvolvida para este fim (figura 3.8).

### **3.6 DESENVOLVIMENTO DO SUB-MÓDULO – ANÁLISE E MELHORIA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO/ INSPEÇÃO**

A tomada de ações, observada nas empresas , quando as variações dos processos de medição/inspeção, são acima das admissíveis é muitas vezes inócua ou inexistente. Por outro lado, o manual MSA [7] apresenta-se genérico, com as informações dispersas, não provisionando uma metodologia clara e definida para o tema.

Muitas empresas não traçam planos de ação para a redução das variações ou melhoria porque não conseguem interpretar e analisar os resultados dos estudos aplicados.

O MSA [7] adota os seguintes limites de aceitação:

- *Processo de medição aceitável* - Abaixo de 10% de erro
- *Processo de medição pode ser aceitável baseado na importância da aplicação, custo, etc.* – Entre 10% à 30% de erro
- *Processo de medição precisa ser melhorado* – Acima 30% de erro.

O erro acima mencionado esta estabelecido em relação ao campo de tolerância da fabricação ou da Variação do processo considerando  $6\sigma$  .



Os limites de aceitação adotados pelo MSA [7], deixa a critério das empresas a tomada de ações para a faixa entre 10% à 30%, o que na prática verifica-se em falta de ações. Com a pretensão de preencher esta lacuna verificada nas visitas [16], melhorando o processo de medição, através da redução da margem de erro e ao mesmo tempo atender o mínimo estabelecido pelas normas QS9000- Requisitos do sistema da qualidade, (indústria automobilística americana) [17] e TS16949- Quality management systems- Particular requirements for application of ISO90001:2000 for automotive production and relevant service part (unificação de todas indústria automobilística mundiais) [18], estabeleceu-se então neste trabalho em concordância com a metodologia BOSCH[39], o limite máximo de 20% de erro para os desvios de Tendência do processo de medição (M.Tdc.) e para os desvios da Repetitividade e Reprodutibilidade do processo de medição(M.R&R). Acima deste limite (20% de erro) é proposta uma metodologia para melhoria do processo de medição. O propósito deste sub-módulo é:

- Sistematizar informações;
- Estabelecer uma sistemática que incorpora fluxograma de ações e ferramentas para análise, como *check-list* e diagrama causa-efeito. Esta sistemática conduzirá a:
  - a) Identificar as fontes de variação;
  - b) Implementar ações para redução das variações;
  - c) Reduzir as variações a limites aceitáveis;
  - d) Propor ações quando a redução das variações não é possível.

### **3.6.1 Processo de inspeção por atributo – Análise e melhoria**

As atividades para a realização deste processo são sistematizadas na metodologia apresentada na figura 3.13.

As causas potenciais de variação [7], [17], [33], [34], [39] foram organizadas em forma de *check-list* conforme figura 3.14.

### **3.6.2 Processo de medição – Análise e melhoria**

Para cada método de avaliação do processo de medição, é proposta uma metodologia de análise e melhoria, descritas a seguir em: *A) Análise e Melhoria da Estabilidade; B) Análise e Melhoria da Tendência; C) Análise e Melhoria da Linearidade; D) Análise e Melhoria da Repetitividade e Reprodutibilidade do processo de medição.*

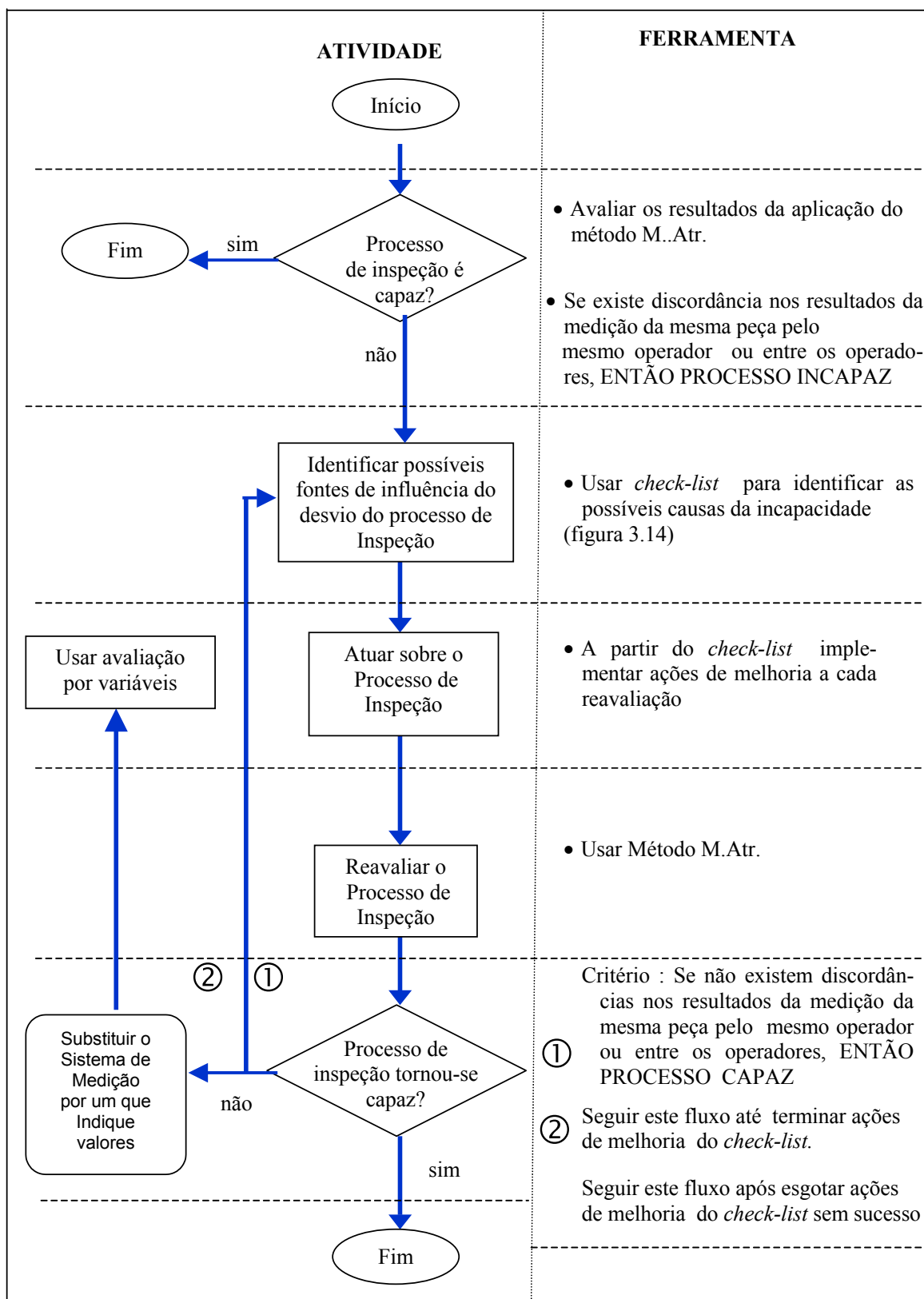


Figura 3.13 – Metodologia para análise e melhoria do processo de inspeção por atributo

### A) Análise e Melhoria da Estabilidade

Realizada com o emprego da metodologia descrita na figura 3.15.

Os critérios de avaliação da estabilidade, são: I) Pontos fora dos limites de controle; II) Seqüência ;III) Proximidades dos limites de controle; IV) Proximidades da linha central. Estes são comentados a seguir e foram extraídos das referências [43], [44], [45], [46]:

<b>Fonte de Influência : Operador</b>	
▪ Se existe diferença entre as séries de inspeção do mesmo operador .....	<input type="checkbox"/>
⇒ divergência no método de inspeção do operador	
▪ Se existe diferença entre as séries de inspeção dos dois operadores.....	<input type="checkbox"/>
⇒ divergência no método de inspeção entre operadores	
Ambos casos acima definir <u>método de inspeção padrão</u> , documentar e treinar operadores	
▪ Limpeza das mãos.....	<input type="checkbox"/>
▪ Transmissão de calor das mãos.....	<input type="checkbox"/>
▪ Capacitação, experiência, habilidade.....	<input type="checkbox"/>
▪ Força excessiva no uso do calibrador.....	<input type="checkbox"/>
<b>Fonte de Influência: Mensurando e elemento de medição</b>	
▪ Limpeza, resíduos da limpeza .....	<input type="checkbox"/>
▪ Acabamento superficial, rebarbas .....	<input type="checkbox"/>
▪ Erros de forma do elemento de medição que afetam o mensurando.....	<input type="checkbox"/>
▪ Propriedades do material (P. ex .coeficiente de dilatação.dureza).....	<input type="checkbox"/>
▪ Propriedades da geometria da peça ( Rigidez) .....	<input type="checkbox"/>
<b>Fonte de Influência: Sistema de inspeção</b>	
▪ Calibrador danificado .....	<input type="checkbox"/>
▪ Desgaste acima do limite permissível.....	<input type="checkbox"/>
▪ Verificar validade da calibração .....	<input type="checkbox"/>
▪ Analisar certificado da última calibração e comparar.....	<input type="checkbox"/>
com desvios admissíveis por norma, procedimento, especificação. (Por exemplo NBR 6406)	

Figura 3.14 – Check-list para análise e melhoria do processo de inspeção por atributo

I) Pontos fora dos limites de controle.

Pontos além dos limites (LSC e LIC) representam instabilidade do processo.

Onde LSC – Limite superior de controle e LIC – Limite inferior de controle, calculados conforme padrões CEP.

II) Seqüência

Seqüência é a situação em que pontos consecutivos incidem em um dos lados da linha central e o número de pontos é chamado de *comprimento* da seqüência.

Um comprimento de seqüência de até 7 pontos é considerado anormal. Além deste, os seguintes casos são considerados anormais: Ver figura 3.16

- Pelo menos 10 de 11 pontos consecutivos incidem num mesmo lado da linha central.
- Pelo menos 12 de 14 pontos consecutivos incidem num mesmo lado da linha central.
- Pelo menos 16 de 20 pontos consecutivos incidem num mesmo lado da linha central.

III) Proximidade dos Limites de Controle

Observando pontos que estão próximos dos limites de controle de  $3\sigma$ , se 2 em 3 pontos consecutivos incidem além das linhas  $2\sigma$  este caso é considerado anormal. Exemplos de proximidade dos limites são visualizados na figura 3.17 .

IV) Proximidade da Linha Central

Quando a maioria dos pontos estão posicionados entre as linhas  $1,5\sigma$ , isto deve-se a uma maneira inadequada de formação da amostra (subgrupos). A proximidade da linha central não significa um processo sob controle, mas uma mistura de dados de diferentes populações em um mesmo subgrupo (amostra), o que torna o intervalo muito amplo. Nesta situação é necessário mudar a maneira de formar a amostra. Exemplos deste critério, são representados na figura 3.18.

Como ferramenta para identificar qualquer fonte de variação no processo de medição, inclusive as causas especiais citadas nas referências [44,45,46], desenvolveu-se um *check-list* (figura 3.19), contendo fatos comuns e potenciais [7,30,39], que podem estar causando a instabilidade do processo de medição. A avaliação do "diário de bordo" [45],[46] de acompanhamento da análise da estabilidade junto com *check-list*, permite identificar as causas especiais com maior segurança, partindo para as ações de melhoria.

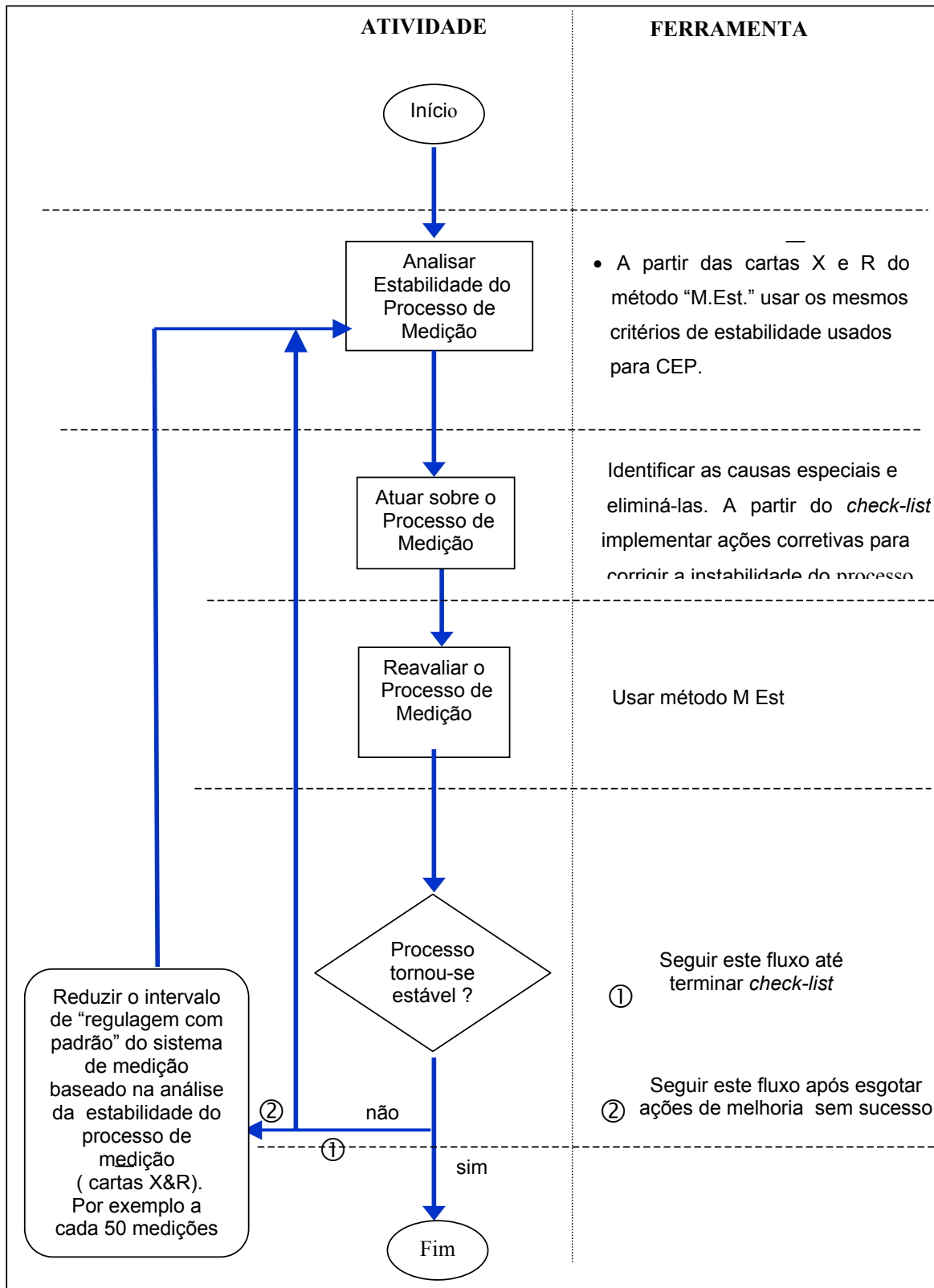


Figura 3.15 – Metodologia de Análise e Melhoria da Estabilidade do Processo de Inspeção.

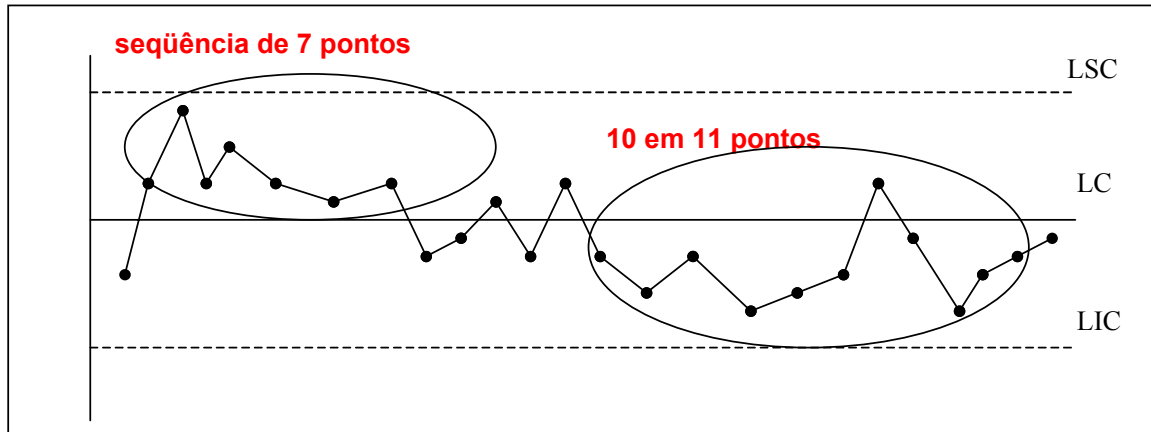


Figura 3.16 – Critérios de Fora de controle – como: seqüência

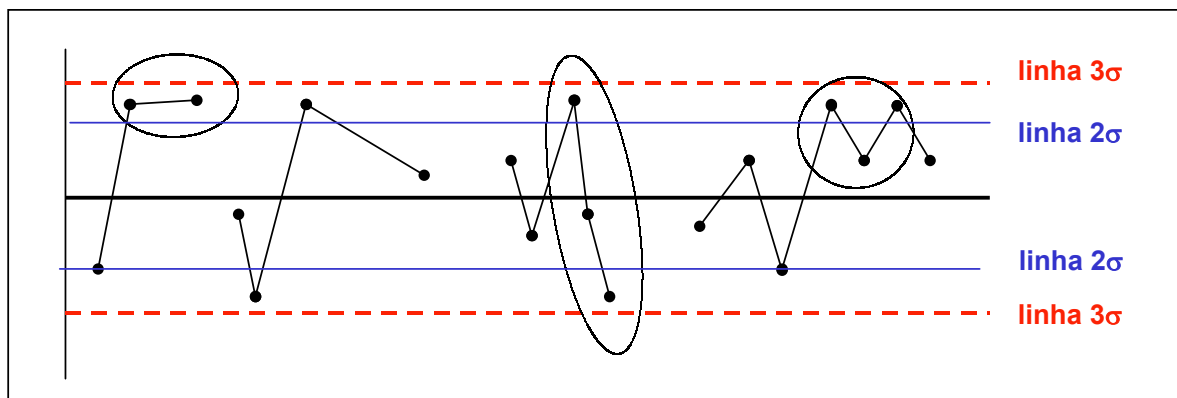


Figura 3.17 – Critérios de Fora de controle – como: Proximidades Limites de Controle.

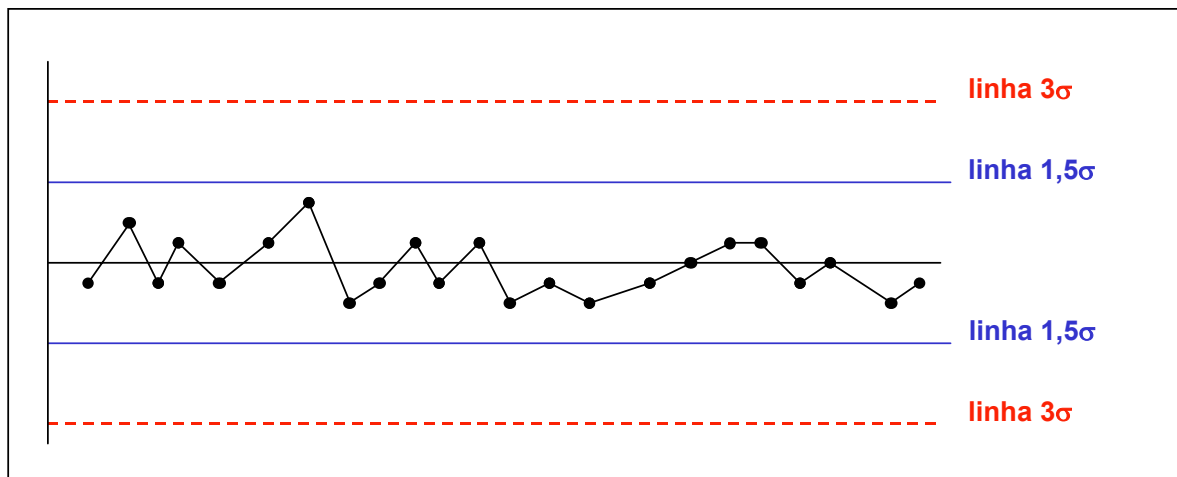


Figura 3.18 – Critérios de Fora de controle – como: Proximidade Central

### B) *Análise e Melhoria da Tendência*

Efetivada aplicando-se a metodologia descrita na figura 3.20, usando as ferramentas propostas: diagrama causa-efeito – figura 3.21; *check-list* – figura 3.19 apresentada para identificar as possíveis fontes de influência e sistematizar as ações de melhoria. Se após três ciclos de análise e otimização não resultarem em êxito, deve-se substituir o sistema de medição por um melhor, com as seguintes características metrológicas [7,39] :

- Resolução menor que a do sistema que está se usando;
- Sistema de medição digital ou analógico indutivo;
- Sistema de medição robusto: (guias, alavanca de medição, elementos de transmissão, armazenagem);
- Sistema de medição independente do operador;
- Novo princípio de medição (por ex: sem contato).

### C) *Análise e Melhoria da Linearidade do Processo*

Concretizada por meio da metodologia apresentada na figura 3.22.

Como ferramenta para identificar as possíveis causas de variação, usar o diagrama Ishikawa já proposto na figura 3.21. Analogamente ao processo de melhoria da tendência e estabilidade, propõe-se usar o *check-list* da figura 3.19 para ações de melhoria .

### D) *Análise e Melhoria da Repetitividade e Reprodutibilidade*

Realiza-se com o emprego da metodologia representada na figura 3.23.

Como ferramenta para análise e melhoria do R&R, recomenda-se o diagrama da figura 3.21 e o *check-list* da figura 3.19 e principalmente a Análise das Cartas ou Ações Temporárias descritas a seguir.

#### d1) Análise das cartas

Através da análise das cartas da amplitude -(R) e das médias-(X) é possível identificar as causas de inconsistência ou tendência no processo de medição [7,43,44,45,46,47]. A metodologia utilizada nesta análise é idêntica à usada no controle estatístico do processo.

Carta das Amplitudes – Análise da REPETITIVIDADE (Influência do Sistema de Medição):

- Se todas as amplitudes estão sob controle, os operadores apresentam divergências semelhantes.

<b><u>Fonte de Influência : Operador</u></b>		<b><u>Fonte de Influência : Mensurando e</u></b>	
• Limpeza das mãos	<input type="checkbox"/>	• Limpeza, resíduos da limpeza	<input type="checkbox"/>
• Transmissão de calor das mãos	<input type="checkbox"/>	• Acabamento superficial, rebarbas	<input type="checkbox"/>
• Capacitação, experiência, habilidade	<input type="checkbox"/>	• Erros de forma da peça que afetam o mensurando	<input type="checkbox"/>
• Força excessiva no uso do Sist.Medição	<input type="checkbox"/>	• Propriedades do material (P.ex.coeficiente de dilatação,dureza)	<input type="checkbox"/>
• Acuidade visual, erro paralaxe	<input type="checkbox"/>		
<b><u>Fonte de Influência : Sistema de medição</u></b>		<b><u>Fonte de Influência : Meio ambiente</u></b>	
• Erro nas medidas dos padrões	<input type="checkbox"/>	• Variações energéticas (ar corrente)	<input type="checkbox"/>
• Componentes gastos	<input type="checkbox"/>	• Variações de temperatura ,insolação	<input type="checkbox"/>
• Projeto inadequado (P. Ex. mensurando errado ) (Ex.perpendicularidade em vez de batimento)	<input type="checkbox"/>	• Pó, névoa óleo	<input type="checkbox"/>
• Força de medição e fixação da peça	<input type="checkbox"/>	• Outras grandezas de influência	<input type="checkbox"/>
• Manutenção ou regulagem inadequada	<input type="checkbox"/>		
• Erro de fabricação ou projeto do sistemas de medição	<input type="checkbox"/>		
• Tipo de medição, definição dos pontos de medição.	<input type="checkbox"/>		
• Alinhamento da peça e sensor de medição	<input type="checkbox"/>		
• Guias, atrito e desgaste	<input type="checkbox"/>		
• Posicionamento da peça	<input type="checkbox"/>		
• Fluxo de medição, fase aquecimento	<input type="checkbox"/>		
• Ponta de analbacão	<input type="checkbox"/>		
<b><u>Fonte de Influência : Método /Procedimento</u></b>			
• Alinhamento peça, sensor	<input type="checkbox"/>		
• Nivelamento peça	<input type="checkbox"/>		
• Referência da medição errada	<input type="checkbox"/>		
• Método de ajuste , zeragem	<input type="checkbox"/>		
• Planilha de cálculos, modelo matemático	<input type="checkbox"/>		
• Número pontos e estratégia de apalpação	<input type="checkbox"/>		
• Velocidade apalpação e medição	<input type="checkbox"/>		

*Figura 3.19 – Check-list para Análise do Processo de Medição*



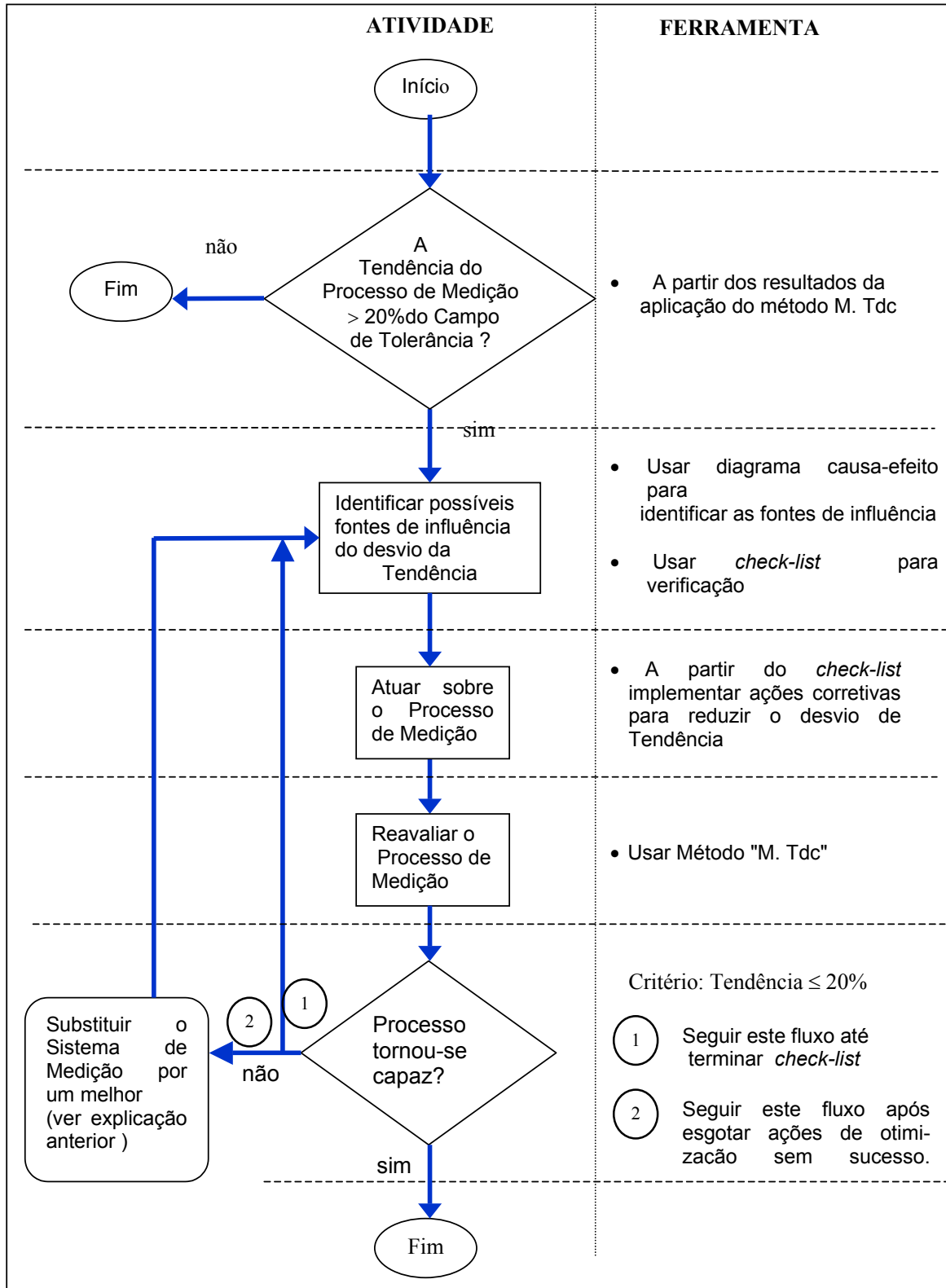


Figura 3.20 – Metodologia de Análise e Melhoria da Tendência do Processo de Medição

- Se um operador apresenta medições fora de controle, seu método (procedimento) de medição difere dos outros e deve ser treinado e requalificado para então aplicar novamente a avaliação de R&R (método M. R&R) e analisar os resultados.
- Se todos os operadores têm algumas amplitudes fora de controle, o processo de medição é sensível à técnica (método, procedimento) do operador. Deve-se então, estudar e implementar ações para eliminar a "sensibilidade" do processo de medição quanto ao operador.
- Se a carta das amplitudes esta sob controle, a variação do sistema de medição e do processo de medição são consistentes ao longo do período de tempo estudado.

Carta das Médias – Análise da REPRODUTIBILIDADE (Influência dos Operadores)

- A reprodutibilidade é estimada pelo seu desvio padrão-  $\sigma = R_o/d_2$   
onde  $R_o$  = Maior diferença entre as médias dos operadores,  $d_2$  = constante que é função (número de ciclos, número de operadores) portanto quanto maior a diferença nas médias dos operadores, maior será a reprodutibilidade do processo.
- Analisando as médias dos operadores para cada elemento de medição é possível identificar se existe diferenças significativas entre elas.  
Se este fato for verificado é necessário realizar um novo treinamento do operador que apresenta maior desvio da média e após reaplicar o método M. R&R.

d2) Ações Temporárias

A medição múltipla (I) e o Estabelecimento e uso de novos limites de aceitação (II) são ações aqui sugeridas para reduzir a variação do R&R (método M. R&R) a um nível aceitável, até que melhorias definitivas possam ser implementadas no processo de medição, ou até mesmo a substituição do sistema de medição por um melhor.

I – Medição Múltipla

A variação inaceitável pode ser reduzida tomando-se leituras múltiplas de medições estatisticamente independentes (não-correlacionadas) do mensu-

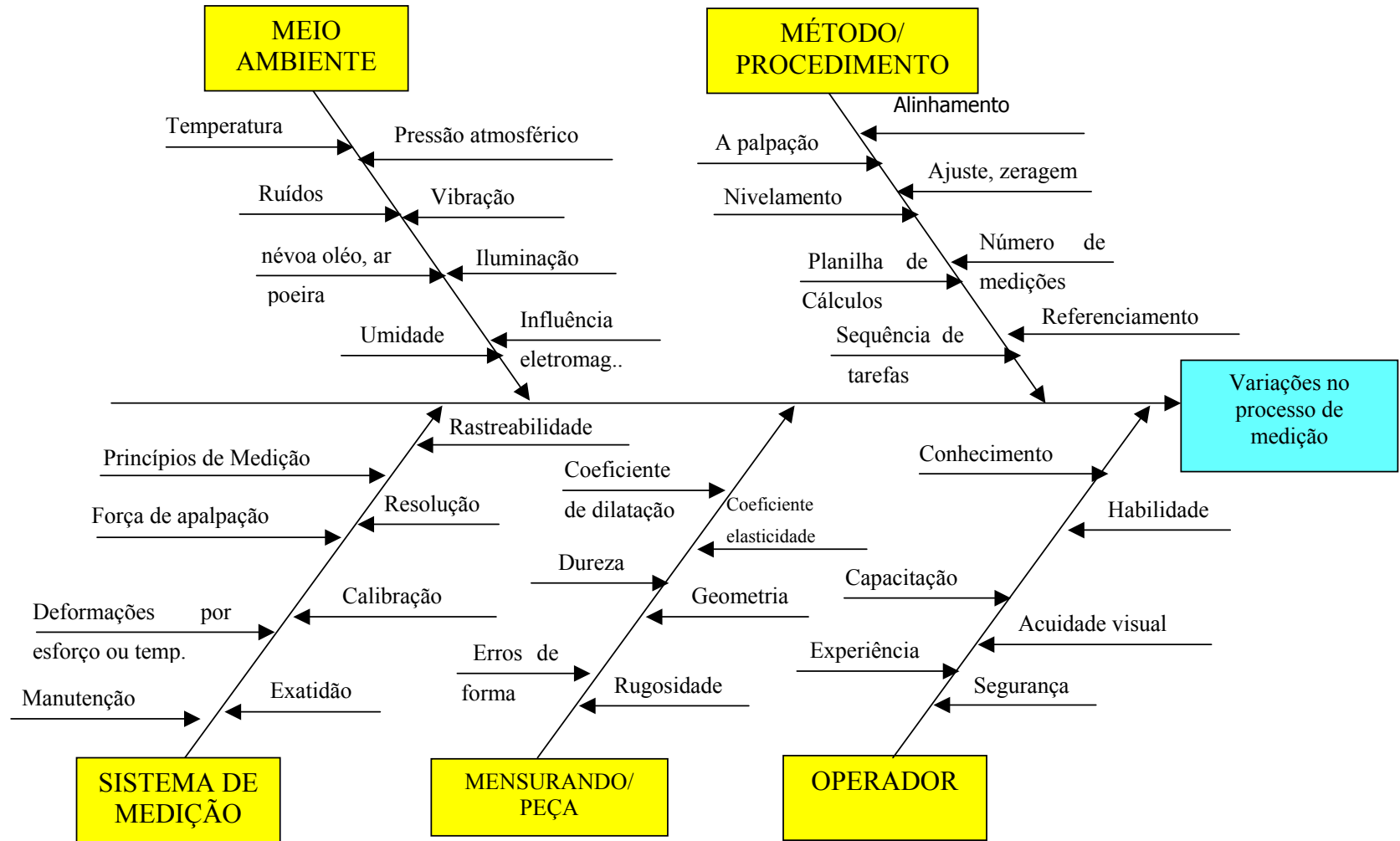


Figura 3.21 – Diagrama Ishikawa – Ferramenta para identificar as fontes de influência do processo de medição

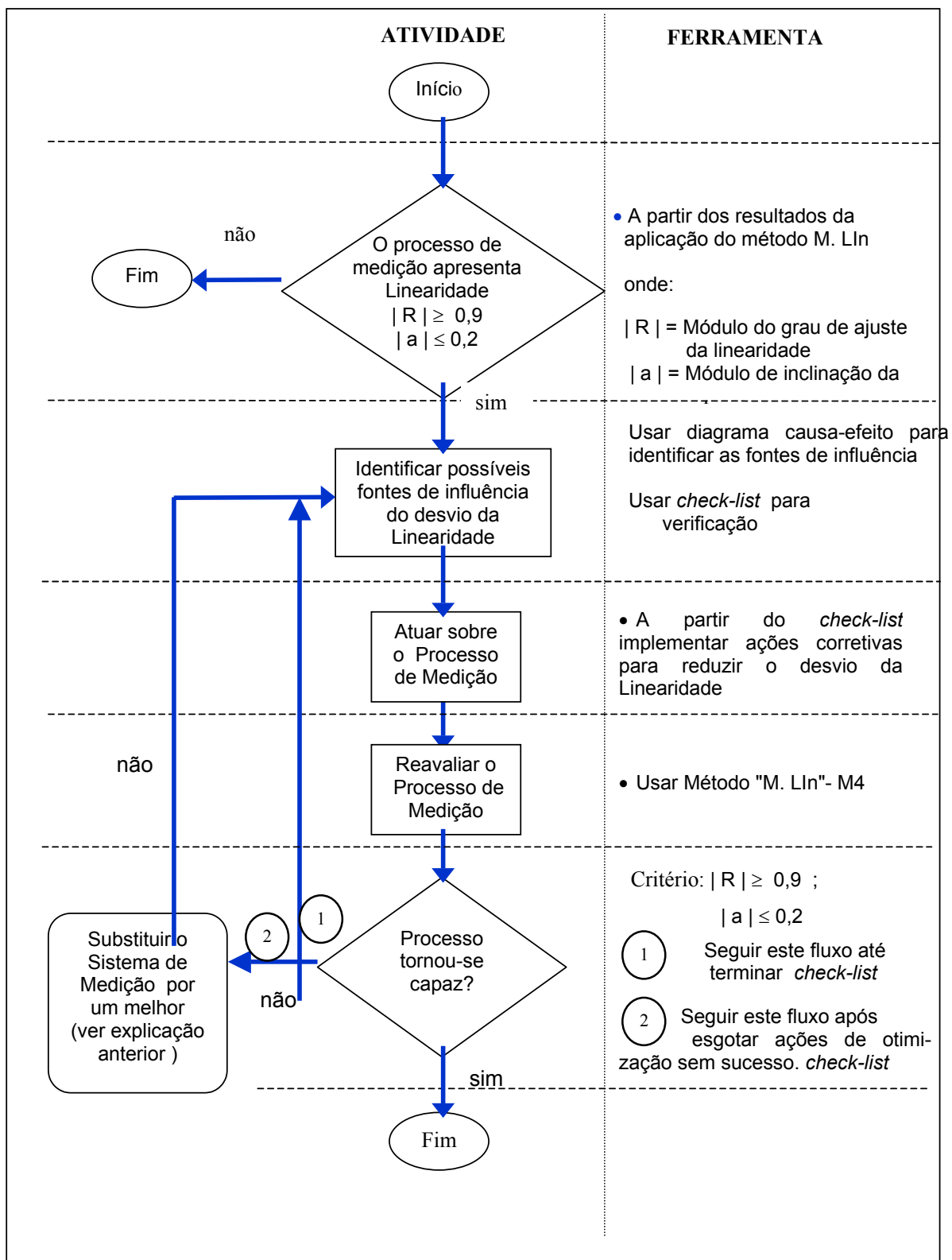


Figura 3.22 – Metodologia de Análise e Melhoria da Linearidade do Processo de Medição.

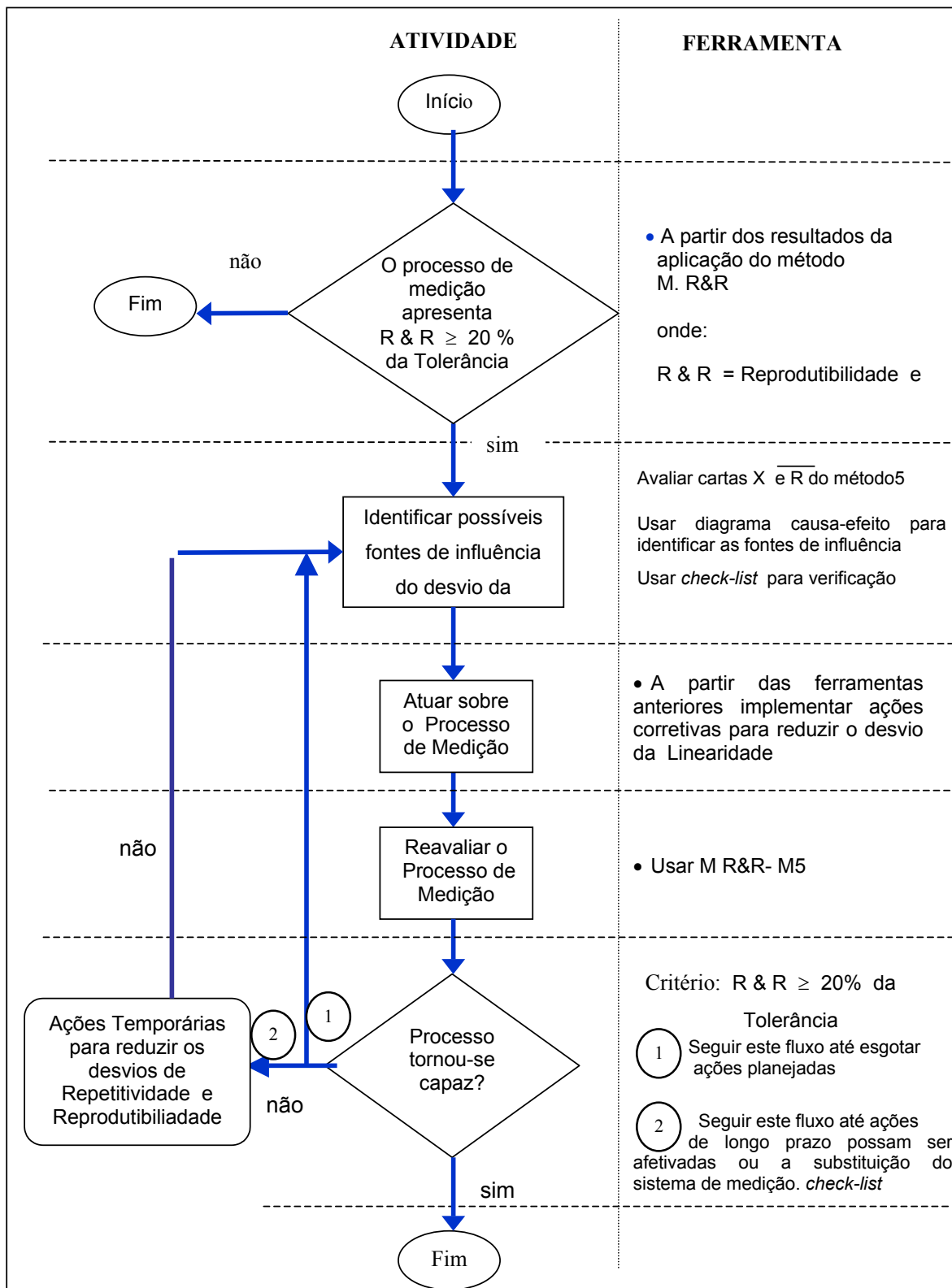


Figura 3.23 – Metodologia de Análise e Melhoria da Repetitividade e Reprodutibilidade do Processo de Medição.

rando do elemento de medição sendo avaliado, determinando-se a média destas medições e usando-se o valor numérico resultante em lugar da medição individual (única). Este método acarreta mais tempo no processo de medição que o convencional, mas é uma alternativa temporária.

#### Procedimento

Determinar o número mínimo de leituras múltiplas para redução a níveis aceitáveis (%R&R = 20 neste trabalho), usando a equação 3.4.

$$R\&R_{\text{desejado}} = \frac{R\&R_{\text{atual}}}{\sqrt{n}} \rightarrow \sqrt{n} = \frac{R\&R_{\text{atual}}}{R\&R_{\text{desejado}}} \quad \text{eq. 3.4}$$

$$n = \left[ \frac{R\&R_{\text{atual}}}{R\&R_{\text{desejado}}} \right]$$

onde n = número de medições necessárias

$R\&R_{\text{atual}}$  = valor absoluto (sem %) que corresponde a %R&R acima 20%

$R\&R_{\text{desejado}}$  = valor absoluto que corresponde a níveis desejados

Exemplo:

$\%R\&R_{\text{atual}} = 25,5\%$  que corresponde  $R\&R = 0,24$  (absoluto)

$\%R\&R_{\text{desejado}} = 15\%$  que corresponde  $R\&R = 0,14$  (absoluto)

Aplicando equação 3.2 tem-se,  $N = \left[ \frac{0,24}{0,14} \right] = 2,938 \rightarrow$  arredonda-se para inteiro mais próximo = 3.

Após determinar "n" utiliza-o no lugar de uma medição, o que resultará na variação total de R&R ao nível desejado.

## II – Estabelecimento e uso de novos limites de aceitação (baseado na norma ISO14253-1 [30])

Considerando que a variação do processo de medição devido a repetitividade e reprodutibilidade possui uma distribuição normal, cujos cálculos são efetuados com 5,15 desvios – padrões correspondentes à 99% da área da curva normal (pode-se avaliar) a sua influência sobre os limites de tolerância, figura 3.24.

A partir da análise anterior pode-se estabelecer novos limites de aceitação descontando a variação de R&R, conforme se visualiza na figura 3.25 e cujo procedimento de cálculo apresenta-se na seqüência.

#### Procedimento

Os novos limites de aceitação são calculados por pelas equações :

$$\text{eq. 3.5} \quad \boxed{LIA = LIT + 0,5 R\&R}$$

$$\text{eq. 3.6} \quad \boxed{LSA = LST - 0,5 R\&R}$$

Os elementos de medição cujos valores do mensurando se encontram entre LIA e LSA estão aprovadas (conforme) independente do valor de % R&R (variação).

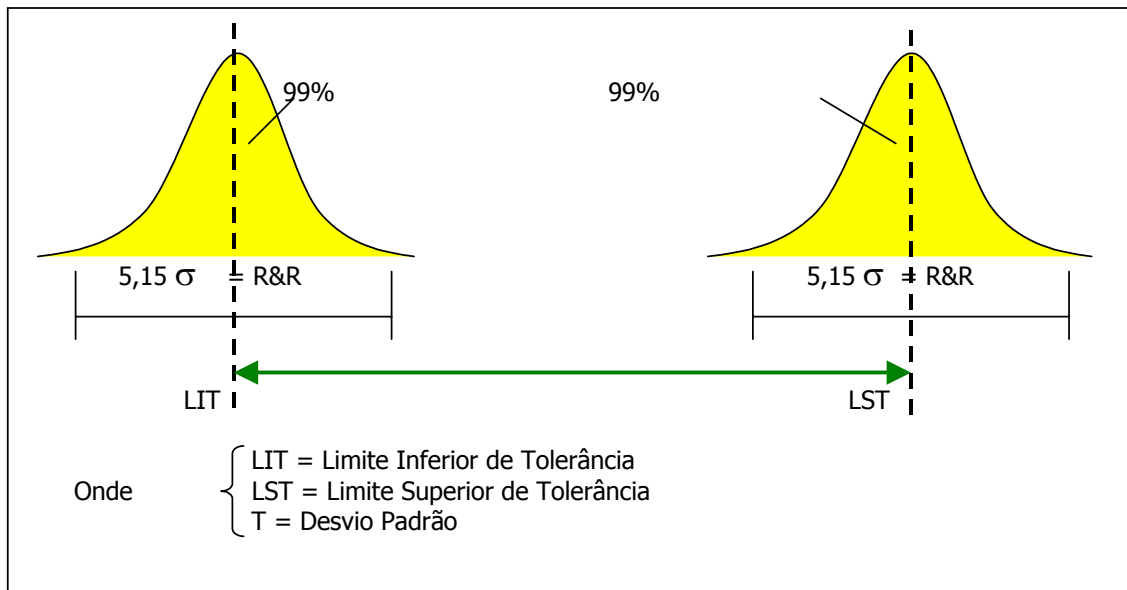


Figura 3.24 – Análise da Variação R&R sobre os Limites de Tolerância

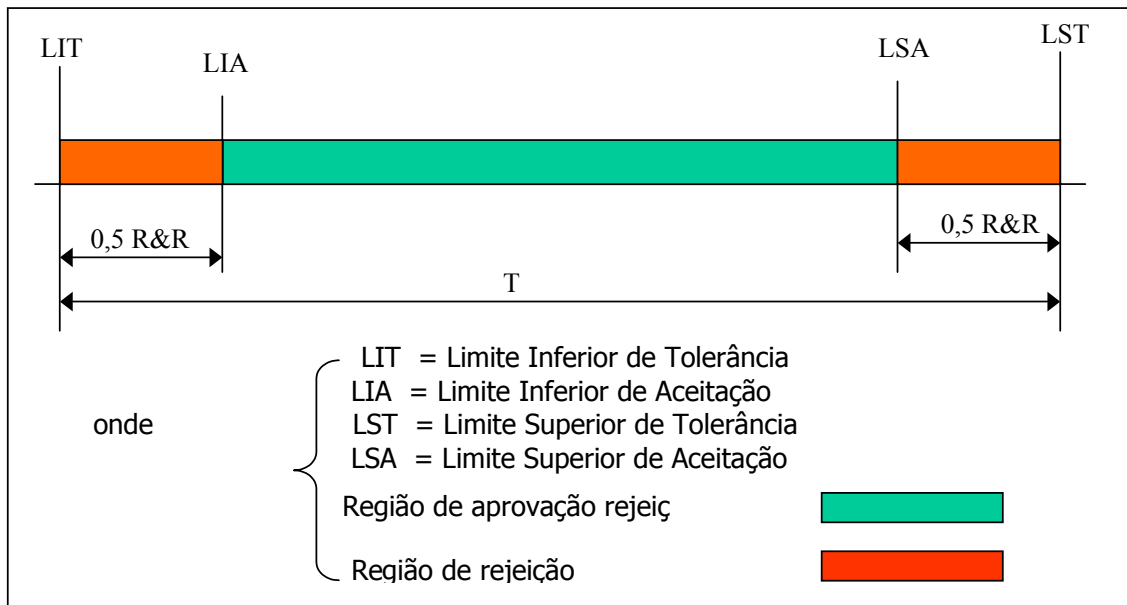


Figura 3.25 – Estabelecimento de Novos Limites de Aceitação

### **3.7 DESENVOLVIMENTO DO SUB-MÓDULO – ORIENTAÇÕES PARA REAVALIAÇÃO DO PROCESSO DE MEDIÇÃO/INSPEÇÃO**

Estritamente de caráter educativo, tem o propósito de conscientizar e esclarecer que ocorrem variações no desempenho metrológico do processo de medição/inspeção quando se altera um ou mais elementos de um processo de medição/inspeção.

- A avaliação/melhoria de um processo de medição/inspeção deve ser repetida sempre que houver alteração ou modificação em um dos seus componentes, os quais são: Meio Ambiente, Procedimento ou Método de Medição/inspeção, Sistema de Medição/inspeção, Mensurando ou Elemento de medição, Operador.
- A Avaliação/Melhoria de um processo de medição/inspeção deve ser repetida sempre que o sistema de medição/inspeção: sofrer reparo, conserto, queda, avaria, manutenção ou calibração.
- Quando o campo de tolerância é alterado.
- Sugere-se o estabelecimento de um período de reavaliação (independente dos dois itens citados acima) de acordo com o conhecimento técnico das variáveis do processo de medição/inspeção e sua influência na estabilidade do processo de medição/inspeção.



## Capítulo 4

# APLICAÇÕES DO MÓDULO DESENVOLVIDO EM AMBIENTE INDUSTRIAL

Como forma de validação do módulo desenvolvido, realizaram-se estudos de casos em duas empresas previamente selecionadas de acordo com o plano de trabalho para o Laboratório Associado de Serviços e Assessoramento Remoto - LASAR, concretizado em [15]. Os objetivos estabelecidos nesta etapa do trabalho foram:

- Praticar a funcionalidade do módulo;
- Comprovar a viabilidade da sistemática, procedimentos e ferramentas integrantes do módulo;
- Simular a futura operacionalização em forma de módulo do LASAR;
- Identificar pontos para aperfeiçoamento e modificações necessárias, registradas durante a aplicação;
- Medir o grau de importância e o grau de atendimento em alguns aspectos da sistemática de Avaliação e Melhoria do processo de Medição utilizada pela empresa;
- Medir o grau de importância e o grau de atendimento atribuídos pela empresa usuária aos recursos disponibilizados pelo módulo após sua aplicação;
- Comparar os resultados das medições anteriores e analisar a eficiência do módulo.

## 4.1 PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO MÓDULO

Esta fase constitui-se com a caracterização das empresas para os estudos de casos; o programa de computador desenvolvido para simular a funcionalidade do módulo no LASAR e o plano de trabalho empregado no estudo.

### 4.1.1 Caracterização das empresas selecionadas para a validação

As empresas selecionadas para os estudos, atendem as condições de contorno estabelecidas para o LASAR [12][13][14]. As quais são:

- Empresa industrial;
- Preferencialmente de pequeno e médio porte;
- Ramo metal-mecânico;
- Produção seriada;
- Sistema de Qualidade implantado ou com decisão de implantá-lo;
- Demandas por soluções metrológicas.

Estas empresas, já haviam sido visitadas no estudo preliminar realizado. Selecionaram-se então duas destas empresas como uma amostra representativa para o estudo.

- *Caracterização da empresa A:* A empresa A atua no ramo metal-mecânico, produzindo macacos, prensas e guinchos hidráulicos. Seus principais clientes pertencem à indústria automobilística como Volkswagen, Ford, Mercedes-Benz, International, Agrale entre outros. Possui sistema de qualidade de acordo com a QS9000. Sendo uma empresa de pequeno porte não possui laboratório de metrologia interno à empresa, o que faz com que todas as calibrações sejam realizadas em laboratórios de metrologia externos. A empresa conta com aproximadamente 150 sistemas de medição, os quais são utilizados no ambiente fabril.
- *Caracterização da empresa B:* Atua no ramo metal-mecânico com uma linha principal de produtos de impulsadores de partida. São mais de 800 tipos diferentes, utilizados no mundo inteiro em diversas aplicações como automóveis, caminhonetes, tratores, motocicletas e embarcações. Também no mercado de autopeças, fabrica produtos como mancais de alternadores, polias, porta escovas, retificadores e reguladores de tensão. É uma empresa de médio porte, a qual possui um laboratório de metrologia que realiza internamente 90% das calibrações dos sistemas de medição da empresa, em torno de 1.100

instrumentos e 3500 entre calibradores e gabaritos. O sistema de qualidade implantado está de acordo com a QS9000 e pretende implantar a ISO/TS 16949.

#### 4.1.2 Programa de computador desenvolvido para a validação

Para evitar a influência do pesquisador durante os estudos e simular a futura aplicação do módulo no ambiente LASAR, desenvolveu-se um programa de computador empregando os aplicativos *Power Point* [48] e *Excel* [49].

##### a) Recursos do programa

A tela principal (apresentada na figura 4.1) possibilita o acesso a outras telas, contendo: Conceitos e terminologia; Objetivos da sistemática; Área de abrangência. Permite ainda, selecionar os sub-módulos, os quais são: Seleção e aplicação de métodos para Avaliação; Análise e Melhoria do Processo de Medição /Inspeção; Orientações sobre reavaliação do Processo de medição/inspeção.

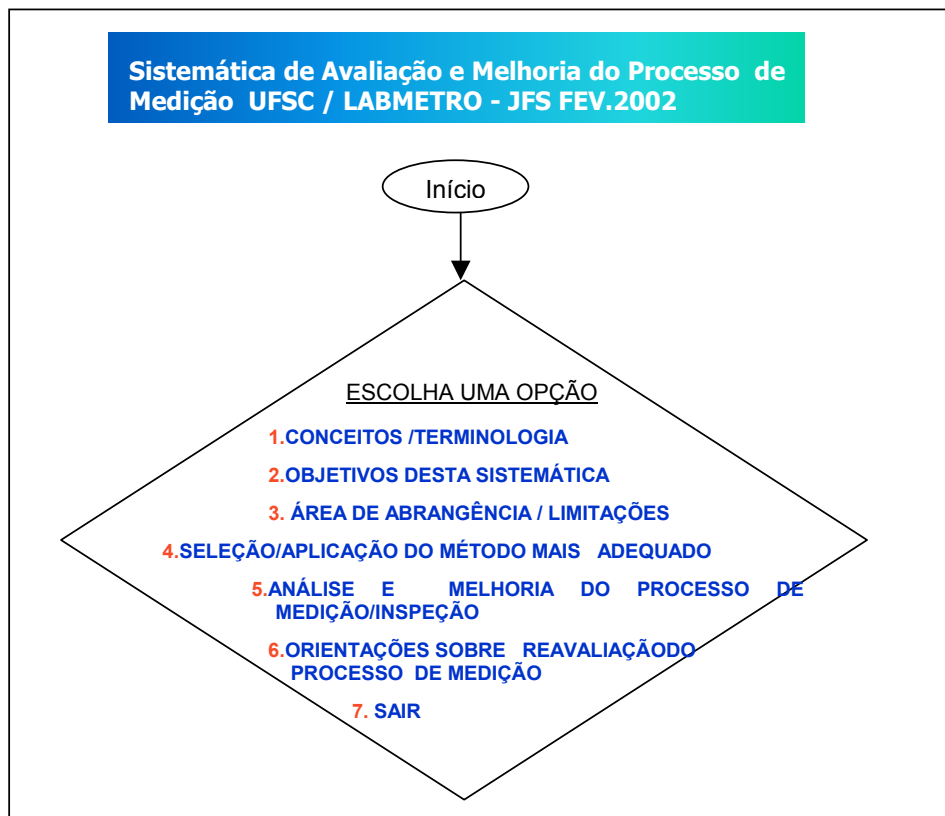


Figura 4.1 – Tela principal do programa - Opções do módulo

#### b) Funcionamento do programa

O uso do recurso de *hiperlink* disponível no aplicativo *Power point* [48], possibilita ao usuário transitar entre as opções do programa. A figura 4.2 mostra o funcionamento esquemático para as opções 1, 2 e 3.

Por meio das opções 4, 5 e 6 tem-se acesso aos três sub-módulos: Seleção e Aplicação; Análise e Melhoria e Orientações sobre reavaliação. A título de demonstração a figura 4.3 esclarece a funcionalidade da opção 4 "Seleção e aplicação de métodos para avaliação do processo de medição".

### **4.1.3 Plano de trabalho para a validação**

Objetivando conduzir os estudos de casos de modo organizado e sistemático, atingindo os objetivos enunciados no início deste capítulo, desenvolveu-se um plano de trabalho detalhado na figura 4.4, contemplando as atividades e ferramentas necessárias.

O relato da aplicação deste plano e os resultados advindos são apresentados nos estudos de caso 1 e estudo de caso 2. Durante a execução do plano, elaborou-se um relatório de acompanhamento [50], para registrar as oportunidades de melhoria do módulo.

## **4.2 ESTUDO DE CASO 1 – EMPRESA A**

Realizado nas instalações da empresa "A", caracterizada anteriormente, contempla a aplicação das atividades descritas no plano de trabalho e a suas conclusões.

### **4.2.1 Análise da sistemática atual de avaliação e melhoria do processo de medição**

Nos estudos de casos, definiu-se o termo sistemática como sendo o conjunto de meios, recursos e métodos utilizados pela empresa na avaliação e melhoria do processo de medição/inspeção. Estabeleceu-se como primeira atividade do estudo de caso a identificação da sistemática atual utilizada pela empresa "A". O objetivo foi determinar o grau de atendimento desta sistemática em relação às necessidades da empresa e a respectiva importância atribuída. O conhecimento da sistemática permite comparar o estado atual com o estado após a aplicação do módulo.

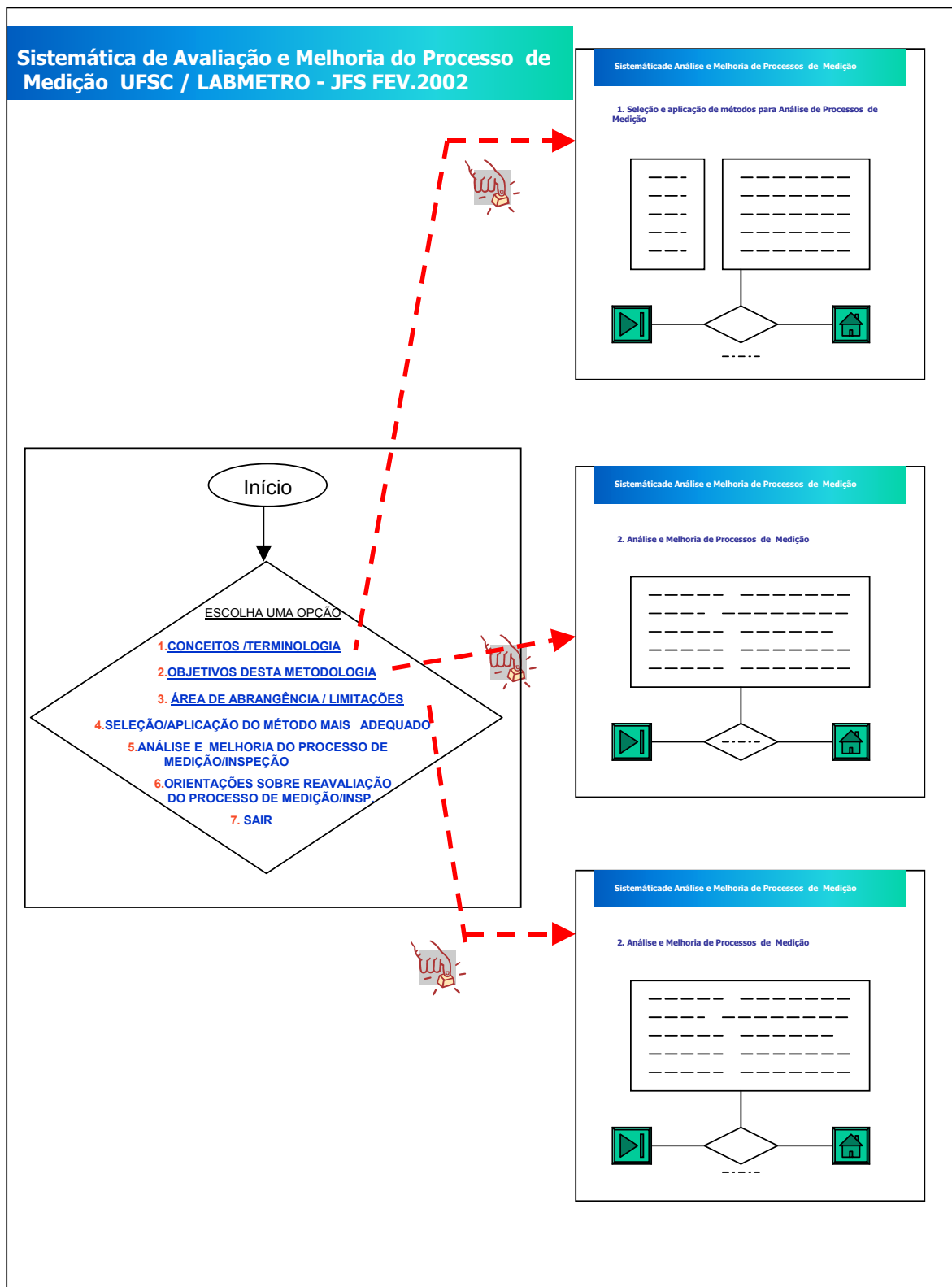


Figura 4.2 – Esquema de funcionamento das opções 1,2 e 3 do programa.

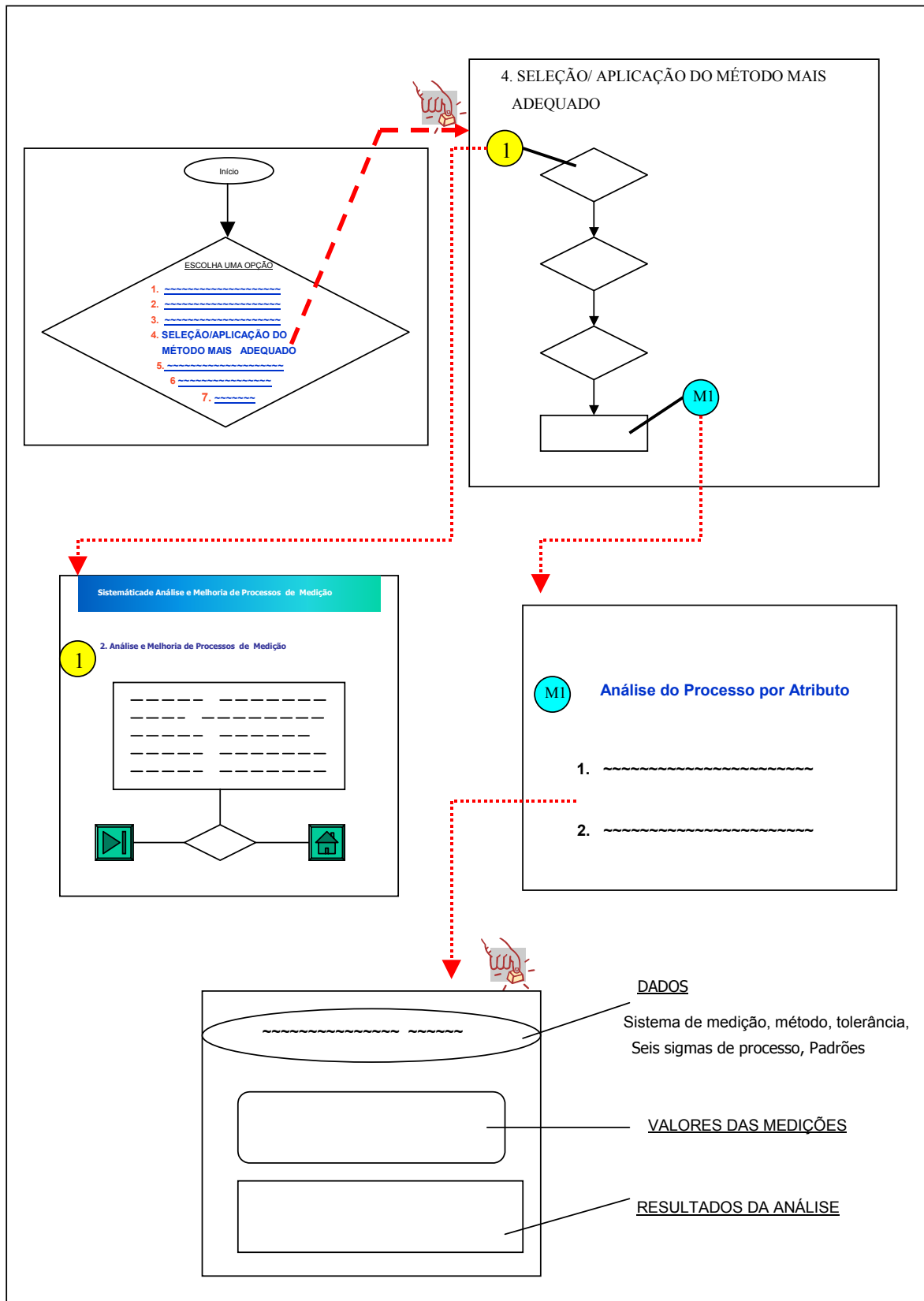
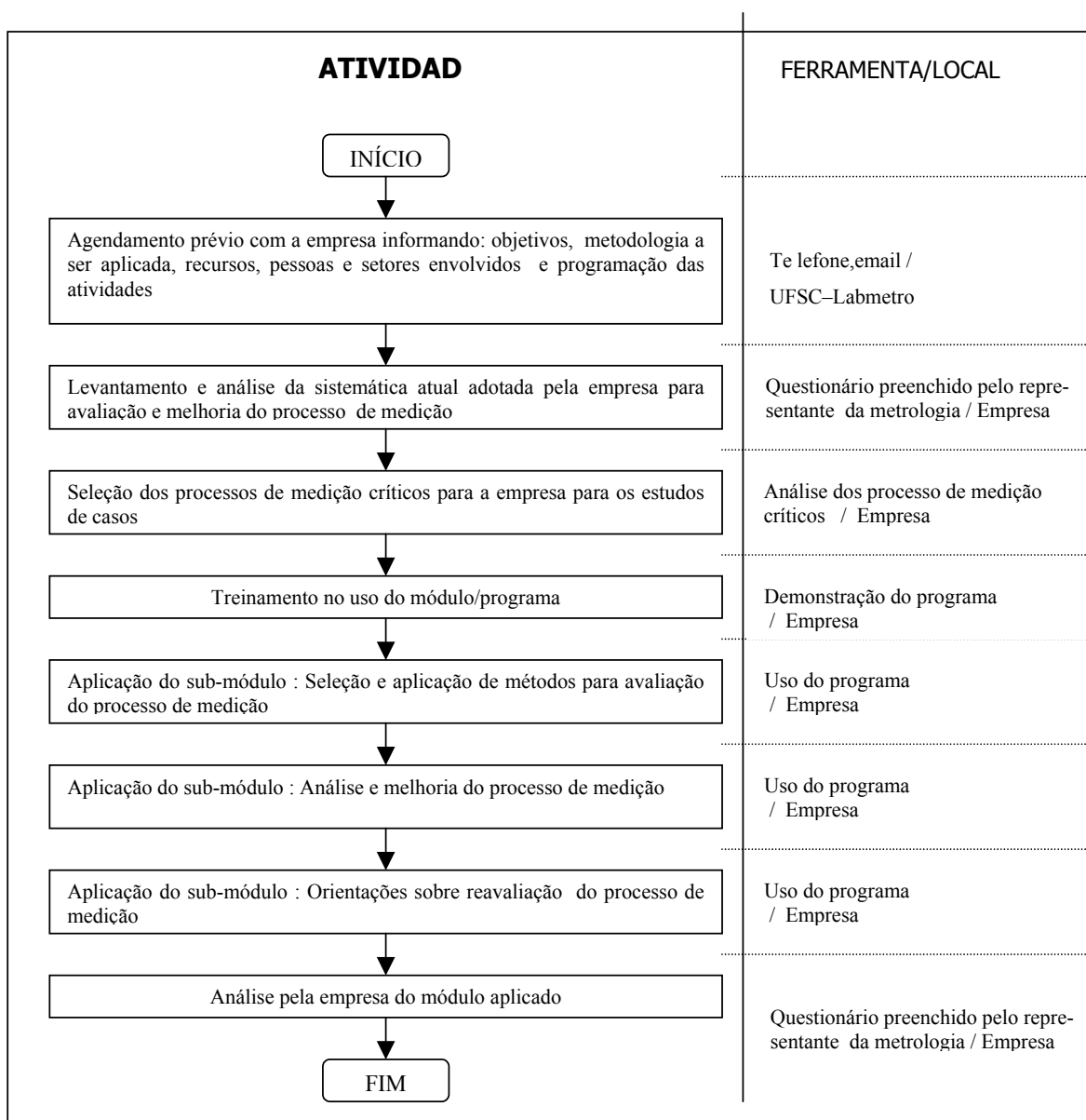


Figura 4.3 – Esquema de funcionamento da opção 4 do programa.



*Figura 4.4 – Plano de trabalho para estudos de casos*

A técnica adotada foi um questionário preenchido pelo responsável da metrologia na empresa que apreciou os seguintes aspectos:

- Seleção correta de métodos de avaliação para um processo de medição/inspeção;
- Análise crítica dos resultados da aplicação dos métodos;
- Disponibilização de ferramentas para identificação das fontes de variação no processo de medição/inspeção;
- Fornecimento de alternativas de ações quando o processo de medição/inspeção não é capaz;

- Fornecimento de orientações e ferramentas para implementar ações de melhoria em processos de medição incapazes (> que 20% do campo de tolerância);
- Validação das planilhas de cálculos usadas pela empresa na análise do processo de medição;
- Orientações sobre reavaliação do processo de medição/inspeção;
- Esclarecimento de dúvidas de conceitos, termos e definições empregadas na análise do processo de medição/inspeção.

Para cada aspecto avaliado foram respondidas duas questões:

- Qual o grau de importância associado ao aspecto avaliado (0 à 100%).
- Qual o grau de atendimento da sistemática disponível na empresa (0 à 100%). A figura 4.5 apresenta o primeiro aspecto avaliado no questionário.

Após o processamento do questionário respondido, gerou-se um gráfico radar ilustrado na figura 4.6. Analisando este gráfico, percebe-se que o grau de atendimento da sistemática adotada pela empresa A é muito menor que a importância atribuída por ela. Isto demonstra a incapacidade da sistemática adotada em atender as necessidades da empresa.

<b><u>QUESTIONÁRIO PARA ANÁLISE DA SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO</u></b>																									
<b>DO PROCESSO DE MEDIÇÃO ADOTADA PELA EMPRESA</b>																									
<b>ASPECTO:</b> Selecionar para um determinado Processo de Medição, os métodos de avaliação mais adequados (corretos). Métodos: (R/R atributo), R/R (média/amplitude), Linearidade, Estabilidade, Tendência)																									
<p>Qual o grau de importância associado a este aspecto :</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Fundamental</td> <td style="text-align: right;">- 100%</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Muito importante</td> <td style="text-align: right;">- 80%</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Importante</td> <td style="text-align: right;">- 60%</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Pouco importante</td> <td style="text-align: right;">- 40%</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Quase sem importância</td> <td style="text-align: right;">- 20%</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Irrelevante</td> <td style="text-align: right;">- 0%</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Fundamental	- 100%	<input type="checkbox"/> Muito importante	- 80%	<input type="checkbox"/> Importante	- 60%	<input type="checkbox"/> Pouco importante	- 40%	<input type="checkbox"/> Quase sem importância	- 20%	<input type="checkbox"/> Irrelevante	- 0%	<p style="text-align: center;"><b><u>Grau de Atendimento da Sistemática disponível na empresa</u></b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Atende plenamente</td> <td style="text-align: right;">(100%)</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Atende parcialmente</td> <td style="text-align: right;">(80%)</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Atende parcialmente</td> <td style="text-align: right;">(60%)</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Atende parcialmente</td> <td style="text-align: right;">(40%)</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Atende parcialmente</td> <td style="text-align: right;">(20%)</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Não atende</td> <td style="text-align: right;">(0%)</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Atende plenamente	(100%)	<input type="checkbox"/> Atende parcialmente	(80%)	<input type="checkbox"/> Atende parcialmente	(60%)	<input type="checkbox"/> Atende parcialmente	(40%)	<input type="checkbox"/> Atende parcialmente	(20%)	<input type="checkbox"/> Não atende	(0%)
<input type="checkbox"/> Fundamental	- 100%																								
<input type="checkbox"/> Muito importante	- 80%																								
<input type="checkbox"/> Importante	- 60%																								
<input type="checkbox"/> Pouco importante	- 40%																								
<input type="checkbox"/> Quase sem importância	- 20%																								
<input type="checkbox"/> Irrelevante	- 0%																								
<input type="checkbox"/> Atende plenamente	(100%)																								
<input type="checkbox"/> Atende parcialmente	(80%)																								
<input type="checkbox"/> Atende parcialmente	(60%)																								
<input type="checkbox"/> Atende parcialmente	(40%)																								
<input type="checkbox"/> Atende parcialmente	(20%)																								
<input type="checkbox"/> Não atende	(0%)																								

*Figura 4.5 – Questionário parcial respondido pela empresa.*



#### 4.2.2 Seleção dos processos de medição críticos

Estabeleceu-se como critério para seleção dos processos, o impacto causado pelo mensurando em termos de qualidade, custo ou atendimento ao cliente [18]. Ou seja, um processo de medição/inspeção é considerado crítico quando mede uma característica crítica do produto, que afeta a qualidade, o custo de fabricação ou é uma exigência do cliente. Obedecendo este critério, selecionou-se dois processos de medição críticos: um processo de inspeção e um processo de medição. Estes dois permitiram testar a funcionalidade do módulo.

##### a) Processo de inspeção crítico :

- Produto: Macaco hidráulico 2 toneladas - MT- 2T
- Componente avaliado: Cilindro mestre código desenho 2129
- Mensurando (característica) avaliado: rosca M33 x 1,5
- Sistema de medição: Calibrador de rosca M33x1,5 lado passa-6G
- Método de medição: Não definido, somente plano de inspeção com as características críticas a serem avaliadas.
- Examinadores: Jairo , Michael
- Ambiente: chão de fábrica, posto de trabalho torno CNC.

##### b) Processo de medição crítico :

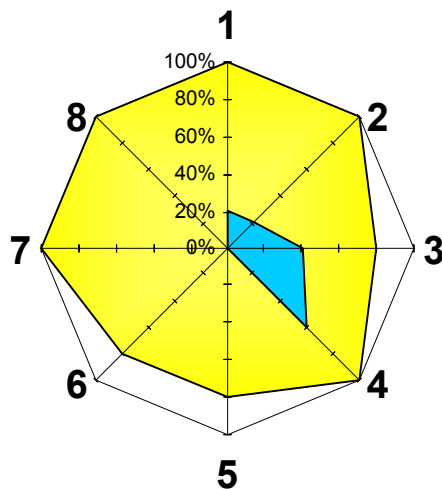
- Produto: Macaco hidráulico 4/8 toneladas - EF- 4 ton
- Componente avaliado: Porca guia código desenho 2527
- Mensurando (característica) avaliado: diâmetro  $\varnothing 68,2 \pm 0,1$  mm
- Sistema de medição: Micrômetro analógico, faixa de medição, 50 - 75 mm, divisão de escala 0,01 mm , identificação MTB 0011.
- Método de medição: Não definido, somente plano de inspeção com as características críticas a serem avaliadas.
- Examinadores: Rodrigo, Jairo, Vanderlei
- Ambiente: chão de fábrica, posto de trabalho 03 torno CNC.

#### 4.2.3 Treinamento no uso do módulo/ programa

Uma das atividades previstas no plano de trabalho foi um treinamento visando a habilitação dos envolvidos na análise dos processos de medição/inspeção da empresa. Realizado por meio de demonstração, permitiu explicar o acesso e uso dos sub-módulos, dos recursos e ferramentas disponíveis no módulo (programa). Esta etapa constituiu-se numa oportunidade para esclarecer dúvidas e capacitar os usuários na aplicação do módulo.

### SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO/ MELHORIA DOS PROCESSOS DE MEDIÇÃO ADOTADA PELA EMPRESA "A"

Sistemática= conjunto de meios, recursos e métodos utilizados.



- Grau de importância associado ao aspecto
- Grau de atendimento da sistemática atual

#### ASPECTOS AVALIADOS

- 1- Selecionar corretamente os métodos de avaliação mais adequados para um determinado processo de medição/inspeção
- 2- Realizar análise crítica dos resultados.
- 3- Fornecer orientações e ferramentas para implementar ações de melhoria em processos de medição incapazes (>20% do campo de tolerância).
- 4- Validar as planilhas de cálculos usadas pela empresa na análise de processos de medição.
- 5- Propor orientações para definir em que situações um processo de medição/inspeção deve ser reavaliado
- 6- Disponibilizar ferramentas para identificar as fontes de variação de um processo de medição/inspeção.
- 7- Fornecer alternativas de ações quando um processo de medição/inspeção não é capaz.
- 8- Esclarecer dúvidas de conceitos, termos e definições usadas na análise de processos de medição

*Figura 4.6 – Síntese da Sistemática usada pela empresa A na Análise e Melhoria do processo de medição*

#### 4.2.4 Aplicação do sub-módulo: Seleção e aplicação de métodos para a avaliação

Estando os colaboradores que atuam no setor de metrologia treinados e aptos para usar o programa desenvolvido (módulo), experimentaram sozinhos (sem a influência do pesquisador) este e os demais sub-módulos, nos processos de inspeção e medição críticos.

a) Processo de inspeção crítico:

I) Seleção do método: Através do fluxograma orientativo disponível no programa, o usuário, Sr. Lorimar foi conduzido à seleção do método "M. Atr." - Avaliação do processo de inspeção, indicando ser este o método mais adequado para avaliar o processo de inspeção crítico.

II) Aplicação do método selecionado: O programa orientou o usuário na condução das etapas da aplicação do método M.Atr., as quais foram: Preparação, Coleta de dados, Execução do método, Impressão dos resultados.

*Preparação:* Seguindo as orientações do programa foram selecionadas 20 amostras do componente do processo de inspeção e levados ao chão de fábrica. Nesta ocasião, o usuário percebeu que a avaliação deveria ser realizada no ambiente do processo de inspeção, prática até então não realizada pela empresa.

*Coleta dos dados:* Realizado no chão de fábrica pelos operadores, registrou-se os resultados numa cópia impressa da planilha. Foram anotadas também as observações percebidas durante a execução, que pudessem contribuir na análise e melhoria posterior. Como por exemplo, a força excessiva aplicada pelo operador 2 no calibrador.

*Execução:* Por meio de um *hiperlink* criado, teve-se acesso ao arquivo com a planilha de cálculos desenvolvido para este fim, já validada anteriormente. Nesta foram digitados os dados coletados, realizados os cálculos estatísticos e a análise da capacidade do processo de inspeção.

*Impressão dos resultados:* Imprimiu-se os resultados da avaliação para posterior análise, visualizada na figura 4.7.

b) Processo de medição crítico :

I) Seleção do método: Através do fluxograma orientativo disponível no programa, o usuário, Sr. Lindomar, foi conduzido à seleção do método M.Est.– (Estabilidade do processo de medição), indicando ser este o 1<sup>o</sup>. Método adequado para avaliar o

Data: 15/08/02 pag 1/1	<b>AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE INSPEÇÃO</b> <b>Método M.Atr.</b>		Registro Nr. 1																																																																																																																																										
<b>LOCAL DE USO / POSTO DE TRABALHO:</b>																																																																																																																																													
<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO</b> Descrição: Calibrador de rosca - lado passa Número/código: ___ M33 X 1,5 LP - 6G																																																																																																																																													
<b>CARACTERÍSTICA / MENSURANDO</b> Descrição: Rosca M33 x 1,5      Nominal : M33      Tolerância: _____ Produto: CILINDRO      Desenho: 2129																																																																																																																																													
<b>CONDIÇÕES AMBIENTAIS:</b> Temperatura inicial: _____ Temperatura final: _____ Outras fontes: _____																																																																																																																																													
<b>PROCEDIMENTO DE TESTE :</b> _____ Inexistente																																																																																																																																													
<b>OPERADORE(S):</b> Nome: Jairo      Nome: Michael Número: _____      Número: _____ Turno: primeiro      Turno: primeiro																																																																																																																																													
<b>LEGENDA ENSAIO:</b> : BOM = + (conforme)      RUIM = - (não-conforme)																																																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Peça Nr.</th> <th colspan="2">Examinador 1</th> <th colspan="2">Examinador 2</th> <th rowspan="2">Avaliação de acordo = 0 em desacordo=0</th> </tr> <tr> <th>Série 1</th> <th>Série 2</th> <th>Série 1</th> <th>Série 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>1</td></tr> <tr><td>7</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>1</td></tr> <tr><td>9</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>11</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>12</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>13</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>14</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>15</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>16</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>17</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>18</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>19</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>20</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr> <td colspan="5">Total das não conformidades</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>						Peça Nr.	Examinador 1		Examinador 2		Avaliação de acordo = 0 em desacordo=0	Série 1	Série 2	Série 1	Série 2	1	-	-	-	-	0	2	+	+	+	+	0	3	+	+	+	+	0	4	+	+	+	+	0	5	+	+	+	+	0	6	+	+	+	-	1	7	-	-	-	-	0	8	-	-	+	+	1	9	+	+	+	+	0	10	+	+	+	+	0	11	+	+	+	+	0	12	+	+	+	+	0	13	+	+	+	+	0	14	+	+	+	+	0	15	+	+	+	+	0	16	+	+	+	+	0	17	+	+	+	+	0	18	+	+	+	+	0	19	+	+	+	+	0	20	+	+	+	+	0	Total das não conformidades					2
Peça Nr.	Examinador 1		Examinador 2		Avaliação de acordo = 0 em desacordo=0																																																																																																																																								
	Série 1	Série 2	Série 1	Série 2																																																																																																																																									
1	-	-	-	-	0																																																																																																																																								
2	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
3	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
4	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
5	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
6	+	+	+	-	1																																																																																																																																								
7	-	-	-	-	0																																																																																																																																								
8	-	-	+	+	1																																																																																																																																								
9	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
10	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
11	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
12	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
13	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
14	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
15	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
16	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
17	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
18	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
19	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
20	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
Total das não conformidades					2																																																																																																																																								
Processo de medição :		Capaz <input type="checkbox"/>	Total de não conformidades = 0																																																																																																																																										
		Incapaz <input checked="" type="checkbox"/>	Total de não conformidades > 0																																																																																																																																										
Realizado por : _____ Adilson		data: 15/ 08 /2002																																																																																																																																											
Aprovado por: _____ Adilson		data: 15/ 08 /2002																																																																																																																																											

Figura 4.7 – Empresa A- Processo de inspeção crítica - Resultado do emprego do sub-Módulo: Seleção e Aplicação de métodos para a avaliação.

processo de medição crítico . Para aplicá-lo a empresa A identificou o seguinte pré-requisito : "Possuir um padrão calibrado, com rastreabilidade, cujo valor da calibração (valor de referência) deve se estar próximo ao meio da faixa de tolerância da característica a ser medida. Caso não seja possível ter-se um padrão calibrado, medir um elemento de medição (elemento de medição) da produção com um sistema de medição que proporcione uma incerteza de medição aproximadamente 10% da tolerância da característica a ser medida". Em virtude do não atendimento a este pré-requisito não se aplicou o método M.Est.. O próximo método sugerido para a avaliação do processo de medição 2 foi o método M.Tdc – Tendência do processo de medição). Analogamente ao método M.Est., exigiu-se um padrão calibrado para aplicar este método. Não dispondo deste recurso, este método não pode ser aplicado.

O terceiro método de avaliação recomendado foi o método M.R&R- Reprodutibilidade e Repetitividade do processo de medição.

II) Aplicação do método M.R&R: O programa orientou o usuário na condução das etapas da aplicação do método M.R&R, as quais foram: Preparação, Coleta de dados, Execução do método, Impressão dos resultados.

*Preparação:* Seguindo as orientações do programa foram selecionados 10 elementos de medição da produção distribuídos dentro da amplitude da tolerância ou variação do processo. Numeradas as elemento de medição de 1 á 10 e marcados os pontos de apalpação /medição (para evitar erro de forma). Determinados os três examinadores que usam o sistema de medição e pertencem a dois turnos de trabalhos diferentes.

*Coleta dos dados:* Realizado no chão de fábrica pelos operadores. Durante as medições observou-se que: O micrômetro não dispunha de suporte, dificultando a fixação do elemento de medição, leitura, alinhamento elemento de medição-tambor e causando a dilatação no arco do micrômetro, pois o mesmo não possuía isolante contra a temperatura da mão do examinador. O operador "A", após encostar as pontas de medição do micrômetro no elemento de medição, aplicava número de voltas no tambor muito além do recomendado ( 3 à 5 ) antes de realizar a leitura. O operador "B" demonstrou dificuldade no alinhamento entre elemento de medição e instrumento. O operador "C" fez as leituras enquanto girava a catraca. Todas estas observações foram registradas para posterior análise.

*Execução:* Por meio de um *hiperlink* criado, teve-se acesso ao arquivo com a planilha "Avaliação da R&R do processo de medição – método M.R&R". Nesta

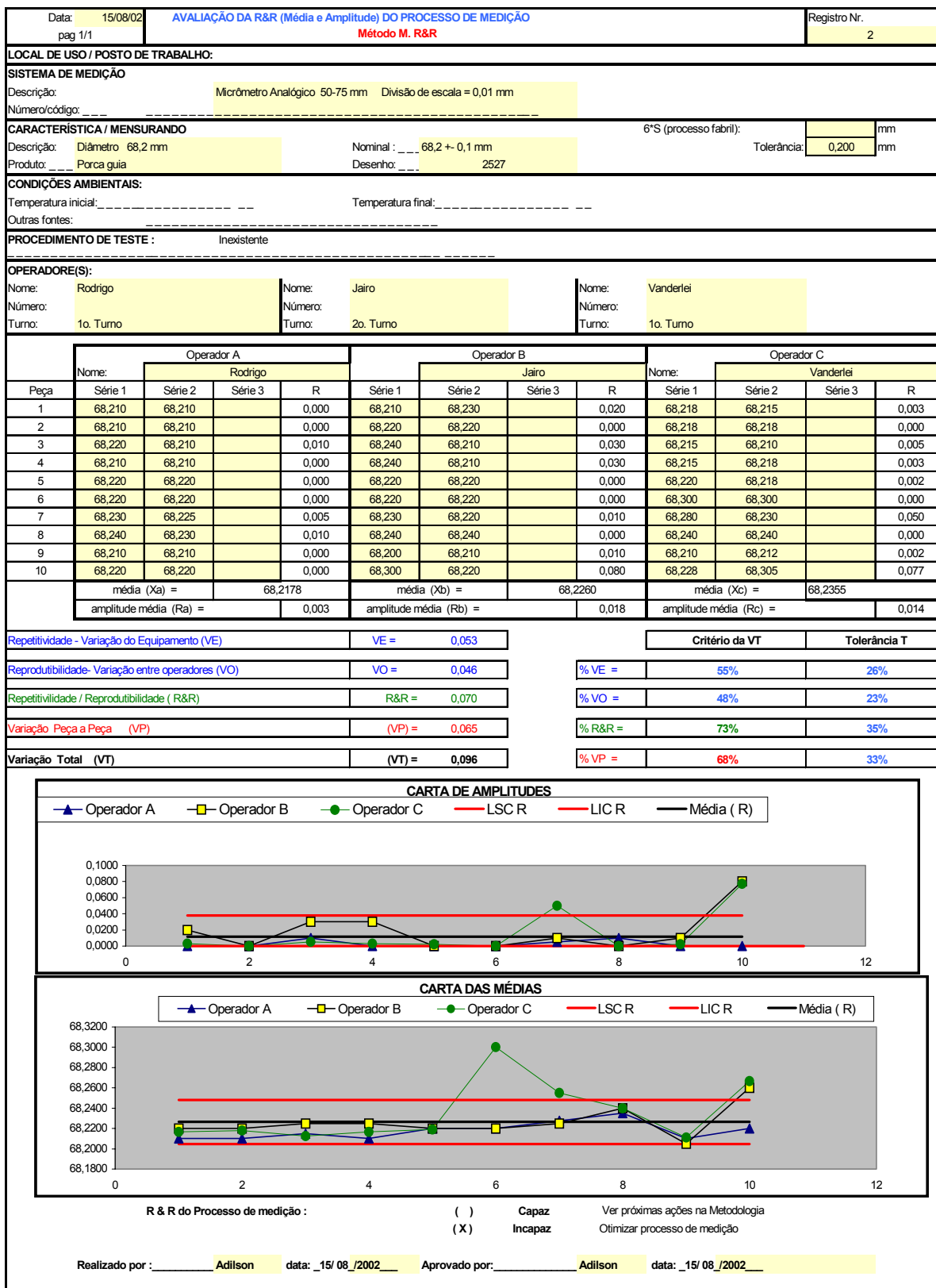


Figura 4.8 – Empresa A- Processo de medição crítico - Resultado do emprego do sub-módulo Seleção e Aplicação de métodos para a avaliação.

foram digitados os dados coletados e realizada a análise da capacidade do processo de medição quanto a Repetitividade e Reprodutibilidade.

*Impressão dos resultados:* Imprimiu-se os resultados da avaliação para posterior análise, visualizada na figura 4.8.

#### **4.2.5 Aplicação do sub-módulo: Análise e melhoria do processo de medição/inspeção**

Após o emprego do sub-módulo “Seleção e aplicação de métodos para avaliação” realizaram-se então as análises e melhorias necessárias aos processos de inspeção e medição críticos, usando as metodologias para análise e melhoria do processo de inspeção, figura 4.9 e processo de medição figura 4.12 disponibilizadas neste sub-módulo.

a) Processo de inspeção crítico:

*Análise dos resultados:* Os resultados da aplicação do método M.Atr., (figura 4.8), foram analisados, demonstrando que o processo é incapaz, pois existem divergências entre as séries de medição no mesmo operador (examinador 2, elemento de medição 6) e entre os examinadores elemento de medição 6 e 7.

*Identificação das possíveis causas de variação:* Usando o *check-list* sugerido, aliado as anotações durante a coleta de dados, o responsável pela análise, identificou como possíveis causas (figura 4.10):

- Divergência no método de medição do mesmo operador, observado no elemento de medição 6 - operador 2;
- Divergências nos métodos de medição entre operadores, observado no elemento de medição 6 e 7;
- Força excessiva no uso do calibrador pelo operador 2 caracterizada na elemento de medição 7.

*Atuação sobre o processo:* Foi elaborada uma instrução de exame estabelecendo um método de inspeção padrão incluindo a informação: “Os lados do calibrador devem entrar livremente sem forçar sua entrada”. Outra ação efetivada foi o treinamento dos operadores no método definido.

*Reavaliação do processo:* Após treinamento com método padrão, a reavaliação do processo demonstrou a eficácia da análise e melhoria, conforme resultados apresentados (figura 4.11).

b) Processo de medição crítico :

Análise dos resultados: Foram analisados com a metodologia criada para análise e melhoria da Repetitividade e Reprodutibilidade do processo de medição (figura 4.12). Os resultados da aplicação do método M.R&R, (figura 4.8), demonstraram que o processo é incapaz com  $R\&R = 35,14\%$  do campo de tolerância.

Identificação das fontes de influência: A metodologia desenvolvida propõe três ferramentas para esta atividade : Análise das cartas descrita na figura 4.13, diagrama *Ishikawa* (causa-efeito) representado na figura 4.14, e *check-list* apresentado na figura 4.15.

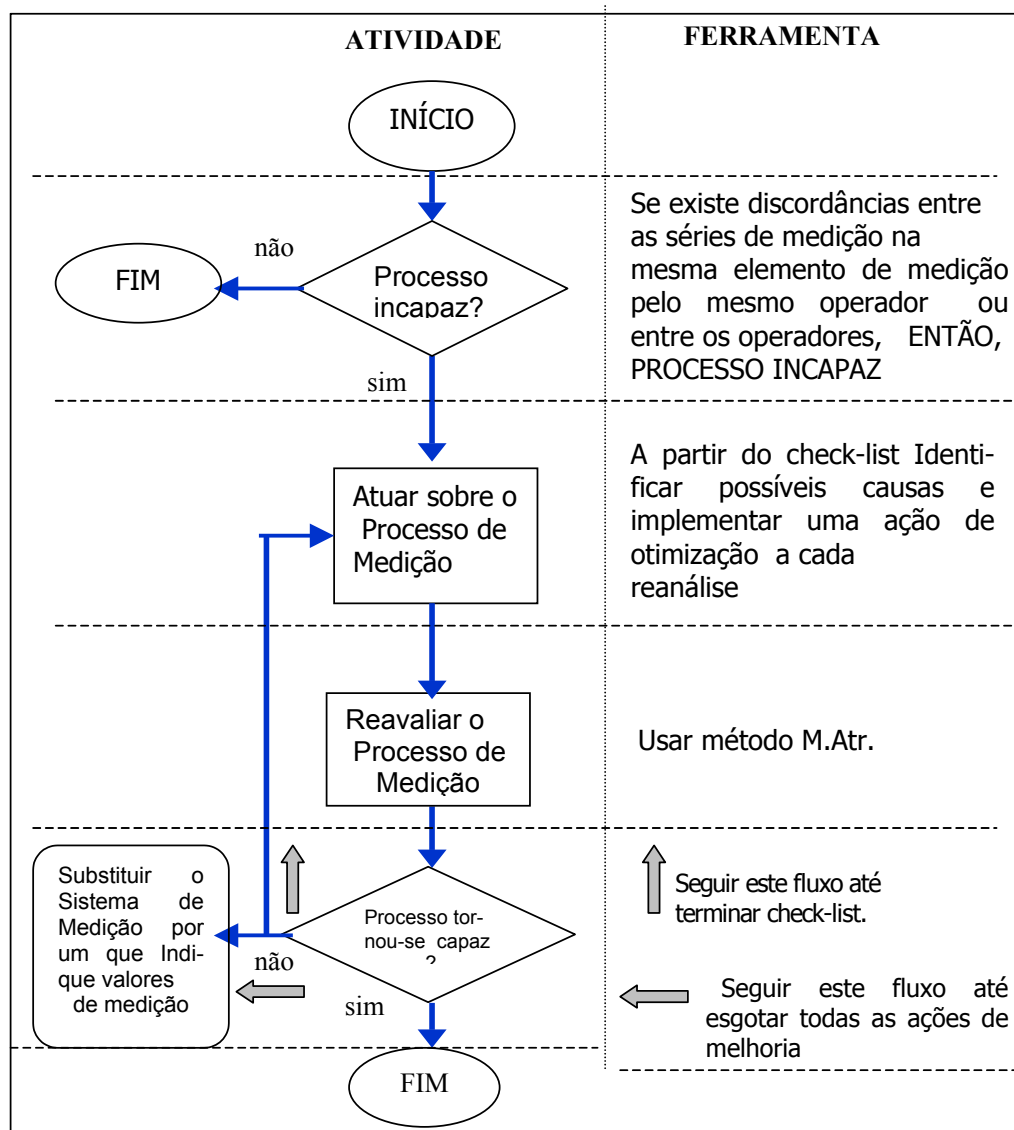


Figura 4.9 – Metodologia usada na análise e melhoria do



*Processo de inspeção crítico*

<b>Fonte de Influência : Operador</b>	
Se existe diferença entre as séries de medição do mesmo operador.....	<input type="checkbox"/>
⇒ Divergência no método de medição do operador	
Se existe diferença entre as séries de medição dos dois operadores.....	<input type="checkbox"/>
⇒ Divergência no método de medição entre operadores	
Ambos casos acima definir <u>método de medição padrão</u> , documentar e treinar operadores	
▪ Limpeza das mãos .....	<input type="checkbox"/>
▪ Transmissão de calor das mãos .....	<input type="checkbox"/>
▪ Capacitação, experiência, habilidade .....	<input type="checkbox"/>
▪ Força excessiva no uso do calibrador .....	<input type="checkbox"/>
<b>Fonte de Influência: Mensurando e elemento de medição</b>	
Limpeza, resíduos da limpeza .....	<input type="checkbox"/>
Acabamento superficial, rebarbas .....	<input type="checkbox"/>
Erros de forma da elemento de medição que afeiam o mensurando.....	<input type="checkbox"/>
Propriedades do material (P.ex.coeficiente de dilatação.dureza) .....	<input type="checkbox"/>
<b>Fonte de Influência: Sistema de inspeção</b>	
▪ Calibrador danificado .....	<input type="checkbox"/>
▪ Desgaste acima do limite permissível .....	<input type="checkbox"/>
▪ Verificar validade da calibração .....	<input type="checkbox"/>
▪ Analisar certificado da última calibração e comparar com desvios admissíveis por norma, procedimento, especificação. (Por exemplo NBR 6406) .....	<input type="checkbox"/>

*Figura 4.10 – Destaque das causas de variação do Processo de inspeção crítico*

Aplicando a ferramenta de Análise das cartas de amplitude (R) e médias ( $\bar{X}$ ) percebe-se que existem dois pontos fora dos limites: no elemento de medição 6 operador C e na elemento de medição 10 operadores C e B.

Os pontos identificados como fora de controle, na carta de amplitude, conduziram a conclusão que o método do operador C difere dos outros. Este portanto, deve ser treinado, requalificando-o para aplicar novamente o método M.R&R (R&R).

A carta das médias revela uma divergência significativa na sua média do elemento de medição 6 e 7 do operador C, conduzindo a mesma conclusão anterior quando se analisou a carta das amplitudes.

Data: 16/08/02 pag 1/1	<b>AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE INSPEÇÃO</b> <b>Método M. Atr.</b>		Registro Nr. 1																																																																																																																																										
<b>LOCAL DE USO / POSTO DE TRABALHO:</b>																																																																																																																																													
<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO</b> Descrição: Calibrador de rosca - lado passa Número/código: ___ M33 X 1,5 LP - 6G																																																																																																																																													
<b>CARACTERÍSTICA / MENSURANDO</b> Descrição: Rosca M33 x 1,5      Nominal : M33      Tolerância: _____ Produto: CILINDRO      Desenho: 2129																																																																																																																																													
<b>CONDIÇÕES AMBIENTAIS:</b> Temperatura inicial: _____ Temperatura final: _____ Outras fontes: _____																																																																																																																																													
<b>PROCEDIMENTO DE TESTE :</b> _____ Inexistente																																																																																																																																													
<b>OPERADORE(S):</b> Nome: Jairo      Nome: Michael Número: _____      Número: _____ Turno: primeiro      Turno: primeiro																																																																																																																																													
<b>LEGENDA ENSAIO:</b> : BOM = + (conforme)      RUIM = - (não-conforme)																																																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Peça Nr.</th> <th colspan="2">Examinador 1</th> <th colspan="2">Examinador 2</th> <th rowspan="2">Avaliação de acordo = 0 em desacordo=0</th> </tr> <tr> <th>Série 1</th> <th>Série 2</th> <th>Série 1</th> <th>Série 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0</td></tr> <tr><td>9</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>11</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>12</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>13</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>14</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>15</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>16</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>17</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>18</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>19</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>20</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr> <td colspan="5">Total das não conformidades</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>						Peça Nr.	Examinador 1		Examinador 2		Avaliação de acordo = 0 em desacordo=0	Série 1	Série 2	Série 1	Série 2	1	-	-	-	-	0	2	+	+	+	+	0	3	+	+	+	+	0	4	+	+	+	+	0	5	+	+	+	+	0	6	+	+	+	+	0	7	-	-	-	-	0	8	-	-	-	-	0	9	+	+	+	+	0	10	+	+	+	+	0	11	+	+	+	+	0	12	+	+	+	+	0	13	+	+	+	+	0	14	+	+	+	+	0	15	+	+	+	+	0	16	+	+	+	+	0	17	+	+	+	+	0	18	+	+	+	+	0	19	+	+	+	+	0	20	+	+	+	+	0	Total das não conformidades					0
Peça Nr.	Examinador 1		Examinador 2		Avaliação de acordo = 0 em desacordo=0																																																																																																																																								
	Série 1	Série 2	Série 1	Série 2																																																																																																																																									
1	-	-	-	-	0																																																																																																																																								
2	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
3	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
4	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
5	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
6	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
7	-	-	-	-	0																																																																																																																																								
8	-	-	-	-	0																																																																																																																																								
9	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
10	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
11	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
12	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
13	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
14	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
15	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
16	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
17	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
18	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
19	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
20	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
Total das não conformidades					0																																																																																																																																								
Processo de medição :		Capaz <input checked="" type="checkbox"/>	Total de não conformidades = 0																																																																																																																																										
		Incapaz <input type="checkbox"/>	Total de não conformidades > 0																																																																																																																																										
Realizado por : ___ Adilson		data: 16/ 08 /2002																																																																																																																																											
Aprovado por: ___ Adilson		data: 16/ 08 /2002																																																																																																																																											

Figura 4.11 – Empresa A – Processo de inspeção crítica – Resultado do emprego do sub-módulo Análise e Melhoria.

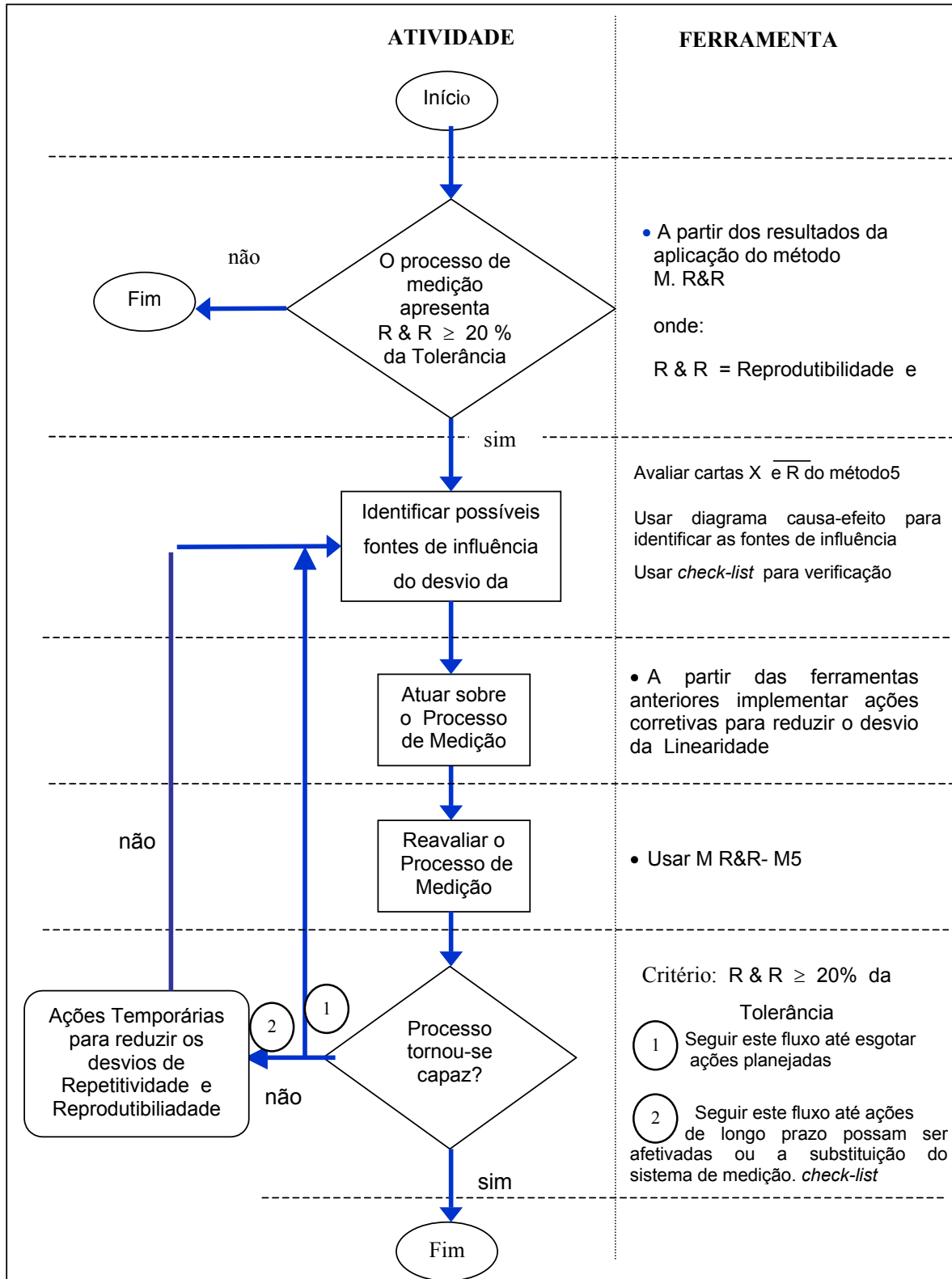


Figura 4.12 – Metodologia usada na análise e melhoria do Processo de medição crítico

## 1. ANÁLISE DAS CARTAS DE CONTROLE:

Através da análise das cartas (gráficos) de controle: “Amplitudes (R)” e “Médias (X)” é possível identificar as fontes de influência do processo de medição. A metodologia utilizada nesta análise é idêntica à usada no Controle Estatística do Processo.

### 1.1. Carta das Amplitudes

#### **REPETITIVIDADE (influência do sistema de Medição):**

- Se a carta das amplitudes esta fora de controle existe geralmente um problema com a consistência do processo de medição. Os pontos identificados como fora de controle devem ser investigados, buscando sua causa especial de inconsistência e corrigindo-a.
- Se a carta das amplitudes esta sob controle, a variação do sistema de medição e do processo de medição são consistentes ao longo do período de tempo estudado.
- Se todas as amplitudes estão sob controle, os operadores apresentam dispersões semelhantes.
- Se um operador apresenta medições fora de controle, seu método (procedimento) de medição difere dos outros e deve ser treinado e requalificando para então aplicar novamente a análise de R&R (método M.R&R) e analisar os resultados.
- Se todos os operadores tem algumas amplitudes fora de controle, o processo de medição é sensível à técnica (método. procedimento) do operador . Deve-se. então estudado e

### 1.2. Carta das Médias

#### **REPRODUTIBILIDADE (influência dos Operadores):**

- A reprodutibilidade é estimada pelo seu desvio padrão  
 $\sigma = R_0/d_2$  onde  $R_0 = \text{Maior média} - \text{Menor Média dos operadores}$ ,  $d_2 =$  constante que é função (número de ciclos, número de operadores) portanto quanto maior a diferença nas médias dos operadores, maior será a reprodutibilidade do processo.
- Analisando as médias dos operadores para cada elemento de medição é possível identificar se existe diferenças significativas (em relação a tolerância) entre elas. Se este fato for verificado é necessário realizar um novo treinamento do operador que apresenta maior desvio da média e após reanalisar o método 5 (R&R Média -Amplitude)

*Figura 4.13 – Ferramenta usada na análise das cartas  
Processo de medição crítico*

Com base no relatório de acompanhamento [50], descrevendo os fatos observados durante a coleta de dados, e no uso da ferramenta do *check-list* foi possível identificar os elementos que contribuíram para os desvios verificados.

Atuação sobre o processo: A síntese de todas as análises levou a conclusão que os principais elementos contribuintes para a dispersão do processo foram: falta de padronização no método de medição decorrente da sua inexistência,

inexistência de suporte para micrômetro. Estabeleceu-se então, um plano de ação para minimizar estes efeitos dispersivos:

- Determinação de um método de medição padrão incluindo: Número de voltas a ser dada na catraca do micrômetro; Girar lentamente a catraca até aproximar a elemento de medição; Foto mostrando como alinhar corretamente a elemento de medição em relação ao micrômetro.
- Introdução de um suporte para micrômetro para facilitar o alinhamento e a leitura e evitar a dilatação do arco do micrômetro.
- Treinamento dos operadores no método definido.

Reavaliação do processo: Após efetivação do plano de ação, uma nova reavaliação foi executada, mostrando que os desvios de R&R foram reduzidos de 35 % para 24 % do campo de tolerância conforme resultados apresentados na figura 4.16.

O resultado obtido não atingiu a meta estipulada em 20%. Entretanto a empresa considerou a redução um ótimo resultado e não deseja realizar a ações para reduzir ainda mais este índice.

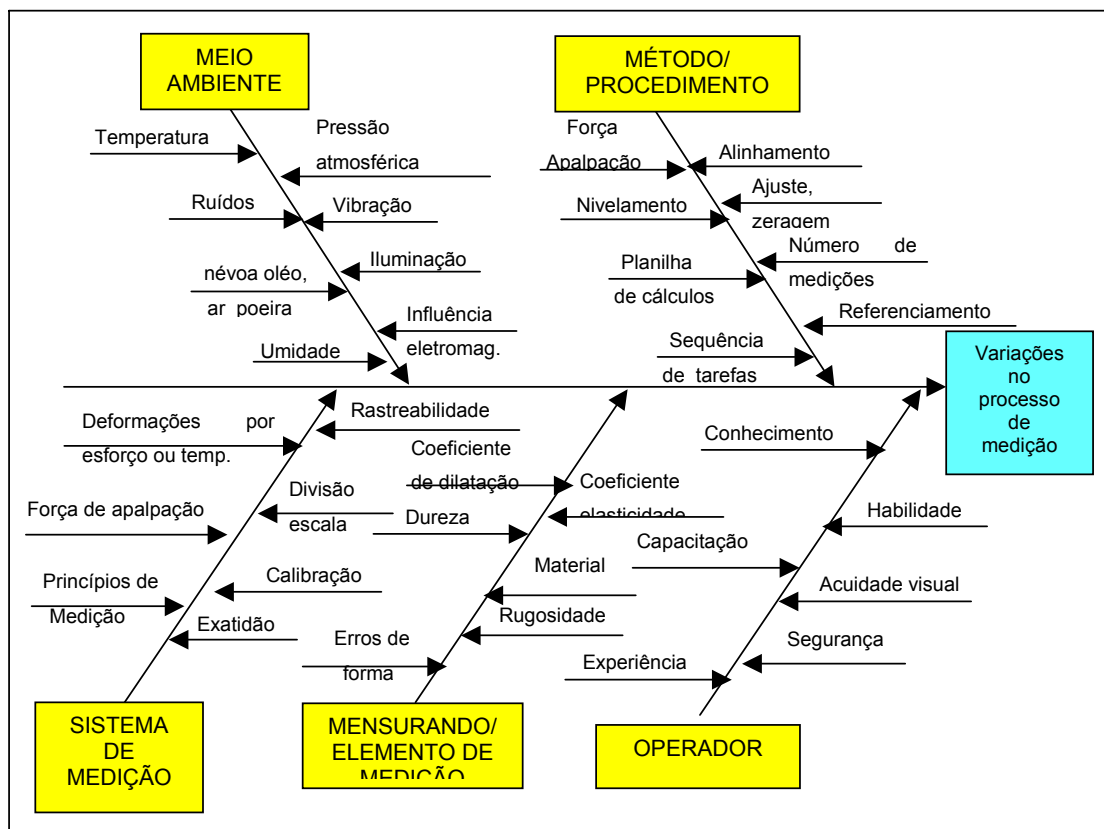


Figura 4.14 – Diagrama Ishikawa – Usada na identificação das fontes de influência Repetitividade e reprodutibilidade do processo de medição

<b>Fonte de Influência : <u>Operador</u></b>		<b>Fonte de Influência : <u>Mensurando e</u></b>	
• Limpeza das mãos	<input type="checkbox"/>	• Limpeza, resíduos da limpeza	<input type="checkbox"/>
• Transmissão de calor das mãos	<input type="checkbox"/>	• Acabamento superficial, rebarbas	<input type="checkbox"/>
• Capacitação, experiência, habilidade	<input type="checkbox"/>	• Erros de forma da elemento de medição que afetam o mensurando	<input type="checkbox"/>
• Força excessiva no uso do sistema de medição	<input type="checkbox"/>	• Propriedades do material (P.ex.coeficiente de dilatação,dureza)	<input type="checkbox"/>
• Acuidade visual, erro paralaxe	<input type="checkbox"/>		
<b>Fonte de Influência : <u>Meio ambiente</u></b>		<b>Fonte de Influência : <u>Método /Procedimento</u></b>	
• Variações energéticas (ar corrente)	<input type="checkbox"/>	• Alinhamento elemento de medição, sensor	<input type="checkbox"/>
• Variações de temperatura ,insolação	<input type="checkbox"/>	• Nivelamento elemento de medição	<input type="checkbox"/>
• Pó, névoa óleo	<input type="checkbox"/>	• Referência da medição errada	<input type="checkbox"/>
• Interferências Eletromag.	<input type="checkbox"/>	• Método de ajuste , zeragem	<input type="checkbox"/>
• Grandezas de influência	<input type="checkbox"/>	• Planilha de cálculos, modelo matemático	<input type="checkbox"/>
		• Número pontos e estratégia de apalpação	<input type="checkbox"/>
		• Velocidade apalpação e medição	<input type="checkbox"/>
<b>Fonte de Influência : <u>Sistema de medição</u></b>			
• Erro nas medidas dos padrões	<input type="checkbox"/>		
• Componentes gastos	<input type="checkbox"/>		
• Mede o mensurando errado (Ex.perpendicularidade em vez de batimento)	<input type="checkbox"/>		
• Força de medição e fixação da elemento de medição	<input type="checkbox"/>		
• Manutenção ou regulagem inadequada	<input type="checkbox"/>		
• Erro de fabricação ou projeto do sistemas de medição	<input type="checkbox"/>		
• Tipo de medição, definição dos pontos de medição.	<input type="checkbox"/>		
• Alinhamento da elemento de medição e sensor de medição	<input type="checkbox"/>		
• Guias, atrito e desgaste	<input type="checkbox"/>		
• Posicionamento da elemento de medição	<input type="checkbox"/>		
• Fluxo de medição, fase aquecimento	<input type="checkbox"/>		
• Ponta de apalpação	<input type="checkbox"/>		

*Figura 4.15 – Destaque para os elementos contribuintes da dispersão da Repetitividade e Reprodutibilidade do Processo de medição crítico*

Data: ___/___/___ pag 1/1	<b>AVALIAÇÃO DA R&amp;R DO PROCESSO DE MEDIÇÃO</b> <b>Método M.R&amp;R</b>	Registro Nr.																																																																																																																																																																																																		
<b>LOCAL DE USO / POSTO DE TRABALHO:</b>																																																																																																																																																																																																				
<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO</b>																																																																																																																																																																																																				
Descrição: Micrômetro analógico 50 -75 mm CENTESIMAL																																																																																																																																																																																																				
Número/código: MTB-0011/																																																																																																																																																																																																				
<b>CARACTERÍSTICA / MENSURANDO</b>																																																																																																																																																																																																				
Descrição: diâmetro		6°S (processo fabril): mm																																																																																																																																																																																																		
Produto: Porca guia		Tolerância: 0,200 mm																																																																																																																																																																																																		
Nominal: 68,2																																																																																																																																																																																																				
Desenho: 2527																																																																																																																																																																																																				
<b>CONDIÇÕES AMBIENTAIS:</b>																																																																																																																																																																																																				
Temperatura inicial: _____		Temperatura final: _____																																																																																																																																																																																																		
Outras fontes: _____																																																																																																																																																																																																				
<b>PROCEDIMENTO DE TESTE :</b>																																																																																																																																																																																																				
<b>OPERADORE(S):</b>																																																																																																																																																																																																				
Nome: Rodrigo	Nome: Jairo	Nome: Vanderlei																																																																																																																																																																																																		
Número: _____	Número: _____	Número: _____																																																																																																																																																																																																		
Turno: primeiro	Turno: segundo	Turno: primeiro																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Peça</th> <th colspan="4">Operador A</th> <th colspan="4">Operador B</th> <th colspan="4">Operador C</th> </tr> <tr> <th colspan="4">Nome: Rodrigo</th> <th colspan="4">Nome: Jairo</th> <th colspan="4">Nome: Vanderlei</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Série 1</th> <th>Série 2</th> <th>Série 3</th> <th>R</th> <th>Série 1</th> <th>Série 2</th> <th>Série 3</th> <th>R</th> <th>Série 1</th> <th>Série 2</th> <th>Série 3</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>68,210</td><td>68,210</td><td></td><td>0,000</td><td>68,210</td><td>68,230</td><td></td><td>0,020</td><td>68,220</td><td>68,210</td><td></td><td>0,010</td></tr> <tr><td>2</td><td>68,220</td><td>68,210</td><td></td><td>0,010</td><td>68,220</td><td>68,220</td><td></td><td>0,000</td><td>68,220</td><td>68,220</td><td></td><td>0,000</td></tr> <tr><td>3</td><td>68,220</td><td>68,210</td><td></td><td>0,010</td><td>68,240</td><td>68,210</td><td></td><td>0,030</td><td>68,210</td><td>68,210</td><td></td><td>0,000</td></tr> <tr><td>4</td><td>68,210</td><td>68,230</td><td></td><td>0,020</td><td>68,220</td><td>68,210</td><td></td><td>0,010</td><td>68,210</td><td>68,210</td><td></td><td>0,000</td></tr> <tr><td>5</td><td>68,220</td><td>68,230</td><td></td><td>0,010</td><td>68,220</td><td>68,240</td><td></td><td>0,020</td><td>68,220</td><td>68,230</td><td></td><td>0,010</td></tr> <tr><td>6</td><td>68,220</td><td>68,210</td><td></td><td>0,010</td><td>68,220</td><td>68,210</td><td></td><td>0,010</td><td>68,280</td><td>68,260</td><td></td><td>0,020</td></tr> <tr><td>7</td><td>68,230</td><td>68,240</td><td></td><td>0,010</td><td>68,230</td><td>68,210</td><td></td><td>0,020</td><td>68,240</td><td>68,230</td><td></td><td>0,010</td></tr> <tr><td>8</td><td>68,240</td><td>68,230</td><td></td><td>0,010</td><td>68,240</td><td>68,240</td><td></td><td>0,000</td><td>68,240</td><td>68,240</td><td></td><td>0,000</td></tr> <tr><td>9</td><td>68,210</td><td>68,220</td><td></td><td>0,010</td><td>68,200</td><td>68,210</td><td></td><td>0,010</td><td>68,210</td><td>68,212</td><td></td><td>0,002</td></tr> <tr><td>10</td><td>68,220</td><td>68,210</td><td></td><td>0,010</td><td>68,240</td><td>68,220</td><td></td><td>0,020</td><td>68,210</td><td>68,230</td><td></td><td>0,020</td></tr> <tr> <td></td> <td colspan="4">média (Xa) = 68,2200</td> <td colspan="4">média (Xb) = 68,2220</td> <td colspan="4">média (Xc) = 68,2256</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="4">amplitude média (Ra) = 0,010</td> <td colspan="4">amplitude média (Rb) = 0,014</td> <td colspan="4">amplitude média (Rc) = 0,007</td> </tr> </tbody> </table>			Peça	Operador A				Operador B				Operador C				Nome: Rodrigo				Nome: Jairo				Nome: Vanderlei					Série 1	Série 2	Série 3	R	Série 1	Série 2	Série 3	R	Série 1	Série 2	Série 3	R	1	68,210	68,210		0,000	68,210	68,230		0,020	68,220	68,210		0,010	2	68,220	68,210		0,010	68,220	68,220		0,000	68,220	68,220		0,000	3	68,220	68,210		0,010	68,240	68,210		0,030	68,210	68,210		0,000	4	68,210	68,230		0,020	68,220	68,210		0,010	68,210	68,210		0,000	5	68,220	68,230		0,010	68,220	68,240		0,020	68,220	68,230		0,010	6	68,220	68,210		0,010	68,220	68,210		0,010	68,280	68,260		0,020	7	68,230	68,240		0,010	68,230	68,210		0,020	68,240	68,230		0,010	8	68,240	68,230		0,010	68,240	68,240		0,000	68,240	68,240		0,000	9	68,210	68,220		0,010	68,200	68,210		0,010	68,210	68,212		0,002	10	68,220	68,210		0,010	68,240	68,220		0,020	68,210	68,230		0,020		média (Xa) = 68,2200				média (Xb) = 68,2220				média (Xc) = 68,2256					amplitude média (Ra) = 0,010				amplitude média (Rb) = 0,014				amplitude média (Rc) = 0,007			
Peça	Operador A				Operador B				Operador C																																																																																																																																																																																											
	Nome: Rodrigo				Nome: Jairo				Nome: Vanderlei																																																																																																																																																																																											
	Série 1	Série 2	Série 3	R	Série 1	Série 2	Série 3	R	Série 1	Série 2	Série 3	R																																																																																																																																																																																								
1	68,210	68,210		0,000	68,210	68,230		0,020	68,220	68,210		0,010																																																																																																																																																																																								
2	68,220	68,210		0,010	68,220	68,220		0,000	68,220	68,220		0,000																																																																																																																																																																																								
3	68,220	68,210		0,010	68,240	68,210		0,030	68,210	68,210		0,000																																																																																																																																																																																								
4	68,210	68,230		0,020	68,220	68,210		0,010	68,210	68,210		0,000																																																																																																																																																																																								
5	68,220	68,230		0,010	68,220	68,240		0,020	68,220	68,230		0,010																																																																																																																																																																																								
6	68,220	68,210		0,010	68,220	68,210		0,010	68,280	68,260		0,020																																																																																																																																																																																								
7	68,230	68,240		0,010	68,230	68,210		0,020	68,240	68,230		0,010																																																																																																																																																																																								
8	68,240	68,230		0,010	68,240	68,240		0,000	68,240	68,240		0,000																																																																																																																																																																																								
9	68,210	68,220		0,010	68,200	68,210		0,010	68,210	68,212		0,002																																																																																																																																																																																								
10	68,220	68,210		0,010	68,240	68,220		0,020	68,210	68,230		0,020																																																																																																																																																																																								
	média (Xa) = 68,2200				média (Xb) = 68,2220				média (Xc) = 68,2256																																																																																																																																																																																											
	amplitude média (Ra) = 0,010				amplitude média (Rb) = 0,014				amplitude média (Rc) = 0,007																																																																																																																																																																																											
Repetitividade - Variação do Equipamento (VE)		VE = 0,047																																																																																																																																																																																																		
Reprodutibilidade- Variação entre operadores (VO)		VO = 0,01																																																																																																																																																																																																		
Repetitividade / Reprodutibilidade (R&R)		R&R = 0,049																																																																																																																																																																																																		
Variação Peça a Peça (VP)		(VP) = 0,045																																																																																																																																																																																																		
Variação Total (VT)		(VT) = 0,067																																																																																																																																																																																																		
		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Critério da VT</th> <th>Tolerância T</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% VE =</td> <td>71%</td> </tr> <tr> <td>% VO =</td> <td>16%</td> </tr> <tr> <td>% R&amp;R =</td> <td>73%</td> </tr> <tr> <td>% VP =</td> <td>68%</td> </tr> </tbody> </table>	Critério da VT	Tolerância T	% VE =	71%	% VO =	16%	% R&R =	73%	% VP =	68%																																																																																																																																																																																								
Critério da VT	Tolerância T																																																																																																																																																																																																			
% VE =	71%																																																																																																																																																																																																			
% VO =	16%																																																																																																																																																																																																			
% R&R =	73%																																																																																																																																																																																																			
% VP =	68%																																																																																																																																																																																																			
<b>CARTA DE AMPLITUDES</b>																																																																																																																																																																																																				
<b>CARTA DAS MÉDIAS</b>																																																																																																																																																																																																				
<b>R &amp; R do Processo de medição :</b>																																																																																																																																																																																																				
		( ) Capaz																																																																																																																																																																																																		
		(X) Incapaz																																																																																																																																																																																																		
		Ver próximas ações na Metodologia																																																																																																																																																																																																		
		Otimizar processo de medição																																																																																																																																																																																																		
Realizado por : Adilson		data: ___/___/16/08/02																																																																																																																																																																																																		
Aprovado por : Lorimar		data: ___/___/16/08/02																																																																																																																																																																																																		

Figura 4.16 – Resultados da Melhoria de Repetitividade e Reprodutibilidade do Processo de medição crítico

#### **4.2.6 Aplicação do sub-módulo: Orientações sobre Reavaliação do processo de medição/inspeção**

De caráter educativo este sub-módulo disponibiliza-se como meio de leitura e reflexão, permitindo a empresa ter informações confiáveis para realizar um planejamento. Aplicando-o a empresa iria estudar e estabelecer um plano de reavaliações dos processos de medição, como forma de redução das variações dos processos.

#### **4.2.7 Análise pela empresa A do módulo aplicado**

A eficácia do módulo para a empresa A, foi determinada pelo confronto do atendimento da sistemática adotada pela empresa antes do início do estudo de caso, com o atendimento do módulo proposto após sua aplicação, resultando no gráfico da figura 4.17. Para a determinação da situação antes e após a aplicação do módulo foi adotada a mesma técnica, que consistiu de um questionário, avaliando os aspectos desejados no módulo. Os questionários foram respondidos pelo responsável da metrologia e seu auxiliar imediato ambos com cinco anos de experiência.

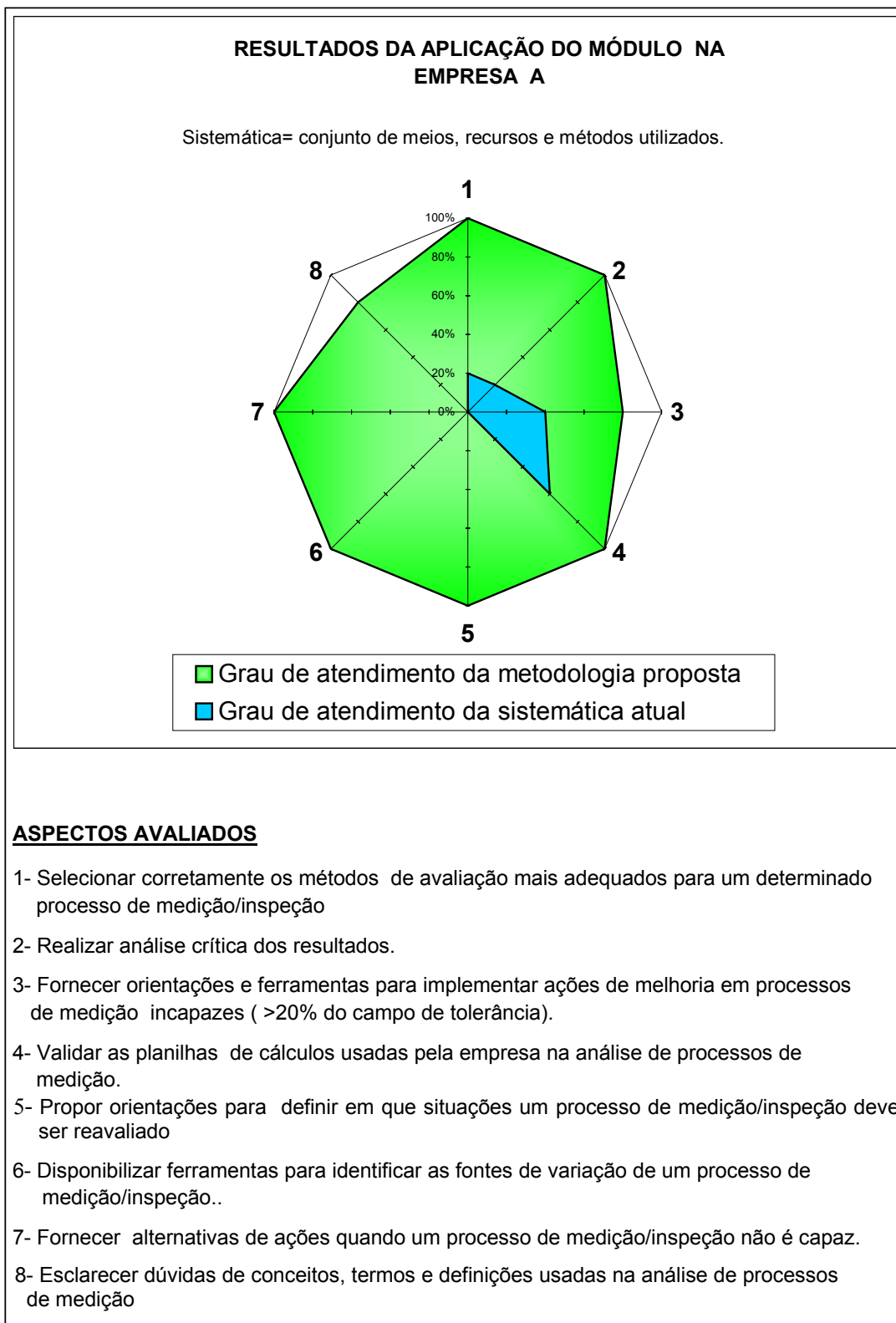
#### **4.2.8 Conclusões do estudo de caso 1**

Os resultados obtidos com a aplicação da sistemática na empresa A, demonstraram que esta possibilitou ao seu usuário :

- Selecionar os métodos mais adequados para os processos de inspeção e medição;
- Aplicar corretamente a avaliação, pois a empresa realizava a avaliação no setor de metrologia;
- Analisar os resultados dos processos usando a sistemática disponibilizada;
- Identificar as causas dos desvios e implementar ações para redução das variações dos processos.

Embora a empresa seja certificada de acordo com as normas NBR ISO 9001 e QS 9000 e com isso tenha sofrido várias auditorias, aplicava erroneamente os métodos de avaliação da Estabilidade, Linearidade e Tendência, pois usava elementos de medição da produção cujo valor de referência (padrão) considerado nos cálculos dos desvios era o valor nominal do produto.





*Figura 4.17 – Análise crítica pela empresa A do módulo Aplicado*

Utilizando o módulo a empresa percebeu a necessidade de usar padrões calibrados com certificado de calibração ou usar elemento de medição da produção cujo valor efetivo seja obtido por um sistema de medição que forneça uma incerteza de 10% do campo de tolerância do mensurando do processo de medição/inspeção pertinente.

Outra prática da empresa, questionada com o uso do módulo foi a avaliação por família de instrumentos, ou seja, de uma categoria de instrumentos, por exemplo paquímetros, retira-se uma amostra do lote e faz-se a avaliação do com um processo de medição/inspeção.

Ficou evidenciado para a empresa que esta prática não representa a realidade, pois cada processo de medição varia de acordo com o sistema de medição, ambiente, operador, mensurando e método, além da exigência de aplicação (campo de tolerância).

Analisando a figura 4.6, verifica-se que a empresa A atribuiu um alto grau de importância aos aspectos contemplados nesta sistemática. Avaliando a eficácia do módulo (figura 4.17) conclui-se que:

- A sistemática atual não atende a necessidade atual da empresa em relação aos aspectos importantes.
- O módulo desenvolvido revelou um grau de eficácia entre 80 a 100%.

## **4.3 ESTUDO DE CASO 2 – EMPRESA B**

O estudo de caso na empresa B foi conduzido utilizando a mesma metodologia adotada na Empresa A.

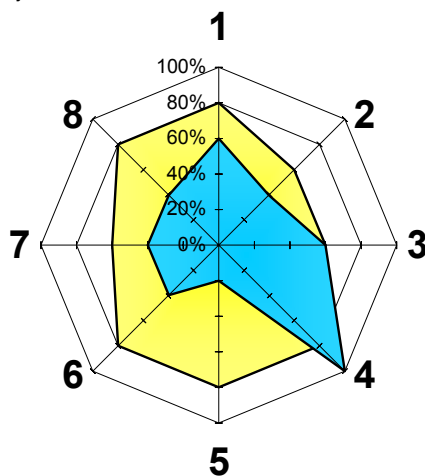
### **4.3.1 Análise da sistemática atual de avaliação e melhoria do processo de medição**

A determinação da sistemática do tratamento de análise e melhoria do processo de medição baseou-se no mesmo questionário aplicado à empresa A.

Os resultados desta etapa visualizados na figura 4.18.

### ANÁLISE DA SISTEMÁTICA DE AVALIAÇÃO/MELHORIA DOS PROCESSOS DE MEDIÇÃO ADOTADA PELA EMPRESA B

Sistemática= conjunto de meios, recursos e métodos utilizados.



- Grau de importância associado ao aspecto
- Grau de atendimento da sistemática atual

#### ASPECTOS AVALIADOS

- 1- Selecionar corretamente os métodos de avaliação mais adequados para um determinado processo de medição/inspeção
- 2- Realizar análise crítica dos resultados.
- 3- Fornecer orientações e ferramentas para implementar ações de melhoria em processos de medição incapazes (>20% do campo de tolerância).
- 4- Validar as planilhas de cálculos usadas pela empresa na análise de processos de medição.
- 5- Propor orientações para definir em que situações um processo de medição/inspeção deve ser reavaliado
- 6- Disponibilizar ferramentas para identificar as fontes de variação de um processo de medição/inspeção..
- 7- Fornecer alternativas de ações quando um processo de medição/inspeção não é capaz.
- 8- Esclarecer dúvidas de conceitos, termos e definições usadas na análise de processos de medição

*Figura 4.18 – Síntese da Sistemática usada pela empresa B na Análise e Melhoria do processo de medição.*

### 4.3.2 Seleção dos processos de medição críticos

Seguindo o mesmo critério de criticidade adotado na empresa A, selecionou-se dois processos de medição críticos: um processo de inspeção e outro de medição. Estes dois permitiram testar a funcionalidade do módulo.

a) Processo de inspeção crítico

- Produto: Alternador
- Mensurando: diâmetro interno do furo  $\varnothing$  18H8
- Sistema de Medição: gabarito 06.0893 - calibrador Passa/não-passa
- Método de medição: Não definido. Somente plano de medição com características a serem avaliadas.
- Examinadores: Fernando e Valdecir
- Ambiente: área produtiva, posto 03.42
- Desenho produto: 639.0704.0

b) Processo de medição crítico :

- Produto: Arraste do alternador
- Mensurando/característica:  $\varnothing$  menor do envolvente 37,4 mm
- Sistema de medição: Dispositivo com relógio comparador digital milesimal número 1635.
- Método de medição: não definido. Com plano de controle indicando cotas críticas.
- Examinadores: Jerônimo, Edílson.
- Ambiente: área produtiva
- Desenho: 012.0154.1

### 4.3.3 Treinamento no uso de módulo/programa

Analogamente ao treinamento realizado na empresa A, efetuou-se na empresa B a demonstração da funcionalidade, ferramentas e recursos do módulo/programa.

### 4.3.4 Aplicação do sub-módulo: Seleção e aplicação de métodos para avaliação

Após o treinamento o responsável pela metrologia conduziu o estudo de caso, manipulando o programa desenvolvido para avaliação dos processos de inspeção e medição críticos.

a) Processo de inspeção crítico:

I) Seleção do método: Obedecendo ao fluxograma orientativo disponível no programa, o responsável pelo estudo Sr. Jairo, foi conduzido à seleção do método M.Atr.- Avaliação do processo de inspeção, indicando ser este o método mais adequado para avaliar o processo de inspeção crítico.

II) Aplicação do método selecionado: O programa orientou o usuário na condução das etapas da aplicação do método M.Atr., as quais foram: Preparação, Coleta de dados, Execução do método, Impressão dos resultados.

*Preparação:* Seguindo as orientações do programa foram selecionadas 20 amostras do componente do processo de inspeção e levados ao chão de fábrica. Nesta ocasião, o usuário percebeu que a avaliação deveria ser realizada no ambiente do processo de inspeção, prática até então não realizada pela empresa.

*Coleta dos dados:* Realizado no chão de fábrica pelos operadores, registrou-se os resultados numa cópia impressa da planilha. Foram anotadas também as observações percebidas durante a execução, que pudessem contribuir na análise e melhoria posterior foram registrados. Como por exemplo, a força excessiva aplicada pelo operador 2 no calibrador.

*Execução:* Por meio de um *hiperlink* criado, teve-se acesso ao arquivo com a planilha de cálculos desenvolvido para este fim, já validada anteriormente. Os cálculos estatísticos das dispersões concluíram-se nesta etapa.

*Impressão dos resultados:* Imprimiu-se os resultados da avaliação para posterior análise, visualizada na figura 4.19.

b) Processo de medição crítico :

I) Seleção do método: Por meio do fluxograma orientativo disponível no programa, o usuário, Sr. Jairo, selecionou o método M.Est. – (Estabilidade do processo de medição), por ser o indicado como o primeiro método adequado para avaliar o processo de medição crítico. Este sub-módulo propõe um período de avaliação para a Estabilidade de cinco amostras por dia, com intervalo temporal de 1,5 a 3,0 horas, distribuídas ao longo de uma semana. Devido ao tempo necessário para realizar este estudo, aliado à necessidade de disponibilização do sistema de medição para tal, a avaliação da estabilidade do processo de medição não foi realizada por opção da empresa.

Data: 29/08/02 pag 1/1	<b>AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE INSPEÇÃO</b> Método M.Atr.		Registro Nr. 1																																																																																																																																										
<b>LOCAL DE USO / POSTO DE TRABALHO:</b>																																																																																																																																													
<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO</b> Descrição: Gabarito - Calibrador de boca Passa não passa Número/código: 60.893																																																																																																																																													
<b>CARACTERÍSTICA / MENSURANDO</b> Descrição: Diâmetro interno Nominal : $\varnothing$ 18H8 Tolerância: _____ Produto: 639.0704.C Desenho: _____																																																																																																																																													
<b>CONDIÇÕES AMBIENTAIS:</b> Temperatura inicial: _____ Temperatura final: _____ Outras fontes: _____																																																																																																																																													
<b>PROCEDIMENTO DE TESTE :</b> _____ Inexistente																																																																																																																																													
<b>OPERADORE(S):</b> Nome: Fernando Nome: Valdecir Número: _____ Número: _____ Turno: primeiro Turno: primeiro																																																																																																																																													
<b>LEGENDA ENSAIO:</b> : BOM = + (conforme) RUIM = - (não-conforme)																																																																																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Peça Nr.</th> <th colspan="2">Examinador 1</th> <th colspan="2">Examinador 2</th> <th rowspan="2">Avaliação de acordo = 0 em desacordo=0</th> </tr> <tr> <th>Série 1</th> <th>Série 2</th> <th>Série 1</th> <th>Série 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>9</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0</td></tr> <tr><td>11</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>12</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>13</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>14</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0</td></tr> <tr><td>15</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>16</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>17</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>18</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0</td></tr> <tr><td>19</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr><td>20</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>0</td></tr> <tr> <td colspan="5">Total das não conformidades</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>						Peça Nr.	Examinador 1		Examinador 2		Avaliação de acordo = 0 em desacordo=0	Série 1	Série 2	Série 1	Série 2	1	+	+	+	+	0	2	+	+	+	+	0	3	+	+	+	+	0	4	-	-	-	-	0	5	+	+	+	+	0	6	+	+	+	+	0	7	-	-	-	-	0	8	+	+	+	+	0	9	+	+	+	+	0	10	-	-	-	-	0	11	+	+	+	+	0	12	+	+	+	+	0	13	+	+	+	+	0	14	-	-	-	-	0	15	+	+	+	+	0	16	+	+	+	+	0	17	+	+	+	+	0	18	-	-	-	-	0	19	+	+	+	+	0	20	+	+	+	+	0	Total das não conformidades					0
Peça Nr.	Examinador 1		Examinador 2		Avaliação de acordo = 0 em desacordo=0																																																																																																																																								
	Série 1	Série 2	Série 1	Série 2																																																																																																																																									
1	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
2	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
3	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
4	-	-	-	-	0																																																																																																																																								
5	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
6	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
7	-	-	-	-	0																																																																																																																																								
8	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
9	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
10	-	-	-	-	0																																																																																																																																								
11	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
12	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
13	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
14	-	-	-	-	0																																																																																																																																								
15	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
16	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
17	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
18	-	-	-	-	0																																																																																																																																								
19	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
20	+	+	+	+	0																																																																																																																																								
Total das não conformidades					0																																																																																																																																								
<b>Processo de medição :</b>		Capaz <input checked="" type="checkbox"/>	Total de não conformidades = 0																																																																																																																																										
		Incapaz <input type="checkbox"/>	Total de não conformidades > 0																																																																																																																																										
Realizado por : _____ Jairo Marques		data: 29/ 08 /2002																																																																																																																																											
Aprovado por: _____ Jairo Marques		data: 29/ 08 /2002																																																																																																																																											

Figura 4.19 – Empresa B- Processo de inspeção crítico - Resultado do emprego do sub-Módulo: Seleção e Aplicação de métodos para a avaliação.

Como o sistema de medição do processo de medição crítico é usado somente em um ponto dentro da faixa de operação, foi indicado a avaliação da Tendência -método M.Tdc. Após a avaliação da Tendência , este sub-módulo indicou o estudo da repetitividade e reprodutividade. R&R – método M.R&R. A aplicação destes dois métodos é descrita a seguir.

II) Aplicação do Método M.Tdc – Tendência: As etapas da aplicação do método M.Tdc, foram: Preparação, Coleta de dados, Execução do método, Impressão dos resultados.

*Preparação:* O padrão calibrado com rastreabilidade e o sistema de medição foram levados à área produtiva. Identificou-se também o operador do processo.

*Coleta dos dados:* Realizado no chão de fábrica pelo operador, registraram-se os resultados numa cópia impressa da planilha. Foram anotadas também as observações percebidas durante a execução, que pudessem contribuir na análise e melhoria posterior.

*Execução:* Usando a planilha de cálculos desenvolvida para este fim, já validada anteriormente, o cálculo da dispersão na localização do processo de medição foi realizado.

*Impressão dos resultados:* Imprimiu-se os resultados da avaliação para posterior análise, visualizada na figura 4.20.

III) Aplicação do Método M. R&R: Realizada de acordo com orientação do sub-módulo cumpriu-se as fases de preparação, coleta de dados, execução do método e impressão dos resultados, este último apresentado na figura 4.21.

#### 4.3.5 Aplicação do sub-módulo: Análise e melhoria do processo de medição.

a) Processo de inspeção crítico:

*Análise dos resultados:* Aplicando-se a mesma metodologia de análise e melhoria usada no estudo de caso 1, conclui-se que o processo é capaz, pois não existem divergências entre as series de medições dos operadores. Uma vez sendo capaz, não são necessárias ações para melhoria do processo.

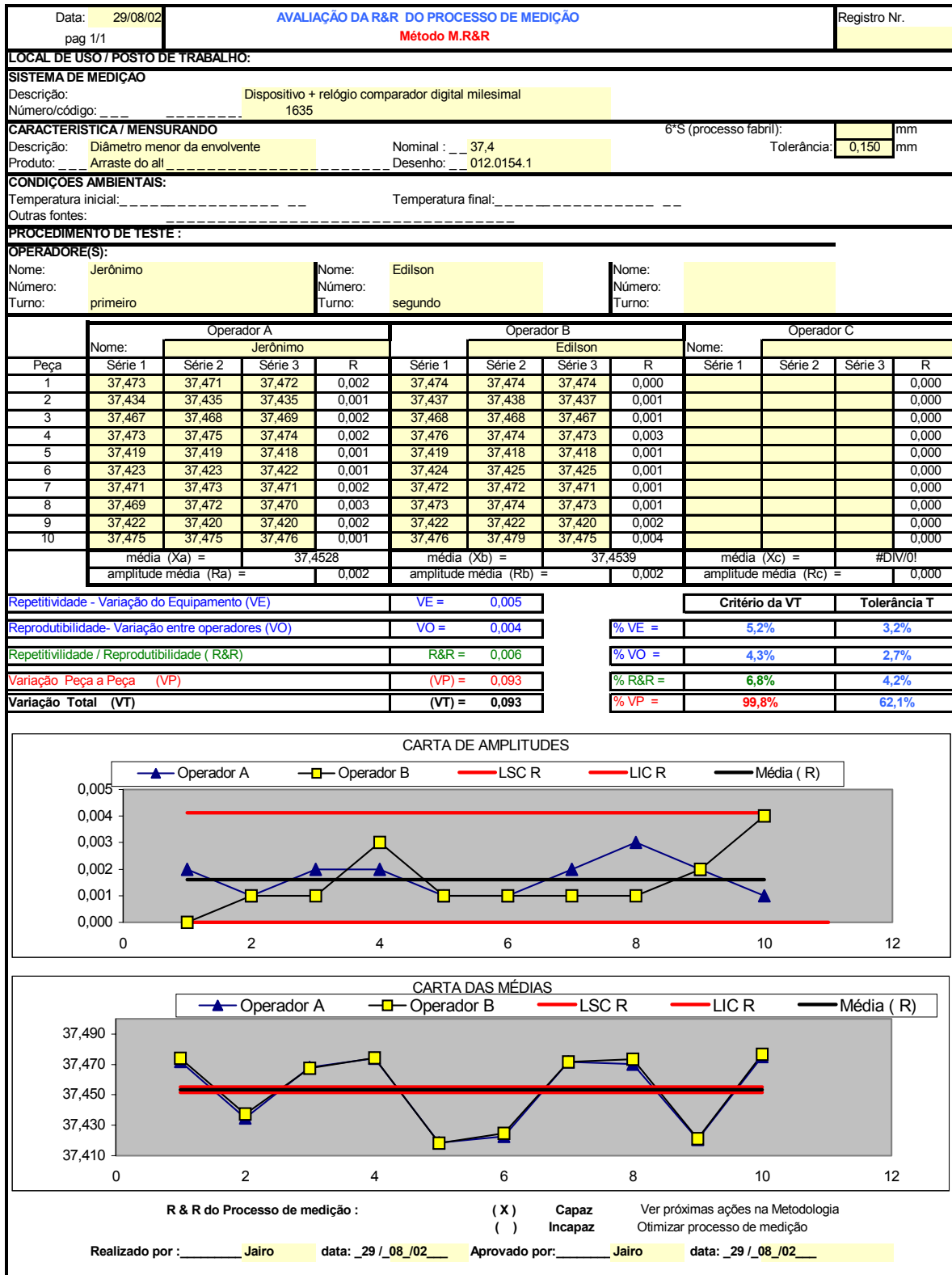
---

---

Data:	29/08/02	<b>AVALIAÇÃO TENDÊNCIA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO</b>	Registro Nr.
pag 1/1	<b>Método M.Tdc</b>		
<b>LOCAL DE USO / POSTO DE TRABALHO:</b>			
<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO</b>		Descrição: _____	Dispositivo + relógip comparador
Divisão de escala:	0,001 mm	Faixa de operação :	0 -10 mm
Número/código: _____	1635	Faixa de utilização: _____	37,4 mm
<b>PADRÃO ou PEÇA PADRÃO</b>		Descrição: Anel padrão	
Valor de referência (valor da calibração):	37,4155 mm		
Número/código: _____	MMC 0079( - Máquina de Medir por coordenadas		
<b>CARACTERÍSTICA / MENSURANDO</b>		VP (6xS)	
Descrição: Diâmetro Menor da envolve	Nominal : _____	Tolerância:	0,1500 mm
Produto: 012.0154.	Código : _____	Desenho: _____	
<b>CONDIÇÕES AMBIENTAIS:</b>			
Temperatura inicial: _____	Temperatura final: _____		
Outras fontes: _____			
<b>PROCEDIMENTO DE TESTE :</b>			
_____ Inexistente			
<b>OPERADOR:</b>			
Nome: Junior	Número: _____	Turno: _____	
<b>DADOS /</b>			
<b>CÁLCULOS:</b>			
	Série 1	Valor Efetivo	
	1	37,434	
	2	37,434	
	3	37,434	
	4	37,435	
	5	37,435	
	6	37,435	
	7	37,434	
	8	37,435	
	9	37,434	
	10	37,435	
	11		
	12		
	13		
	14		
	15		
	Média (M) =	37,4345	
	TENDÊNCIA (Td) =	0,0190	
	% TENDÊNCIA (%Td) =	12,7	
	Em relação à % TOLERÂNCIA		
	Tendência do Processo de medição :	Capaz	<input checked="" type="checkbox"/> Avaliar R&R - método 5
		Incapaz	<input type="checkbox"/> Otimizar processo de medição
			unidade : _____
		<p>M = 37,435</p> <p>Valor de referência 37,4155</p>	
		% TENDÊNCIA (%Td) =	#####
		% Variação do Processo Fabril (VP)	

Figura 4.20 – Resultado da avaliação da Tendência do Processo de Medição





*Figura 4.21 – Resultado da avaliação da R&R do Processo de medição crítico – empresa B*

#### b) Processo de medição crítico

*Análise dos resultados:* O estudo da tendência – método M.Tdc do processo de medição evidenciou que o desvio na localização [7] [33] consome 13% do campo de tolerância. A avaliação da Repetitividade e Reprodutividade – método M.Tdc demonstrou que o desvio na dispersão [7] [33] consome apenas 4% do campo de tolerância. Portanto, ambos os métodos demonstram a capacidade do processo atendendo o limite de 20%, uma vez sendo capaz não foram implementadas ações de melhoria processo de medição.

A capacidade do processo pode ser justificada por meio de alguns fatores comprovados durante o estudo os quais foram:

- Robustez do dispositivo;
- Alinhamento automático entre elemento de medição e ponta do relógio comparador;
- Relógio comparador com divisão de escala de 0,001 mm, e erro máximo de catálogo de 0,003 mm, ambos relativamente pequenos em relação ao campo de tolerância;
- Relógio digital e com possibilidade de zeramento automático, minimizando o erro de leitura e regulagem;
- Padrão de zeragem com pequeno desvio de forma e valor de referência confiável, conforme observado no certificado de calibração;
- Operadores A e B apresentam segurança e domínio no processo de medição.

#### **4.3.6 Aplicação do sub-módulo: Orientações sobre reavaliação do processo de medição/Inspeção**

Conforme relato do responsável pelo setor de metrologia da empresa B este sub-módulo mostra-se como uma ferramenta de caráter educativo, sendo útil para conscientização da necessidade de reavaliação, esclarecendo os fatores que afetam ou alteram os desvios e dispersões do processo de medição/inspeção. A prática de reavaliação não era uma preocupação até então pela empresa B.

#### **4.3.7 Análise pela empresa B do módulo aplicado**

Finalizando os trabalhos de estudo de casos, determinou-se a percepção do módulo pela empresa B por meio de um questionário respondido pelo responsável da metrologia. A síntese da análise empresa da aplicação do módulo é verificada na figura 4.22

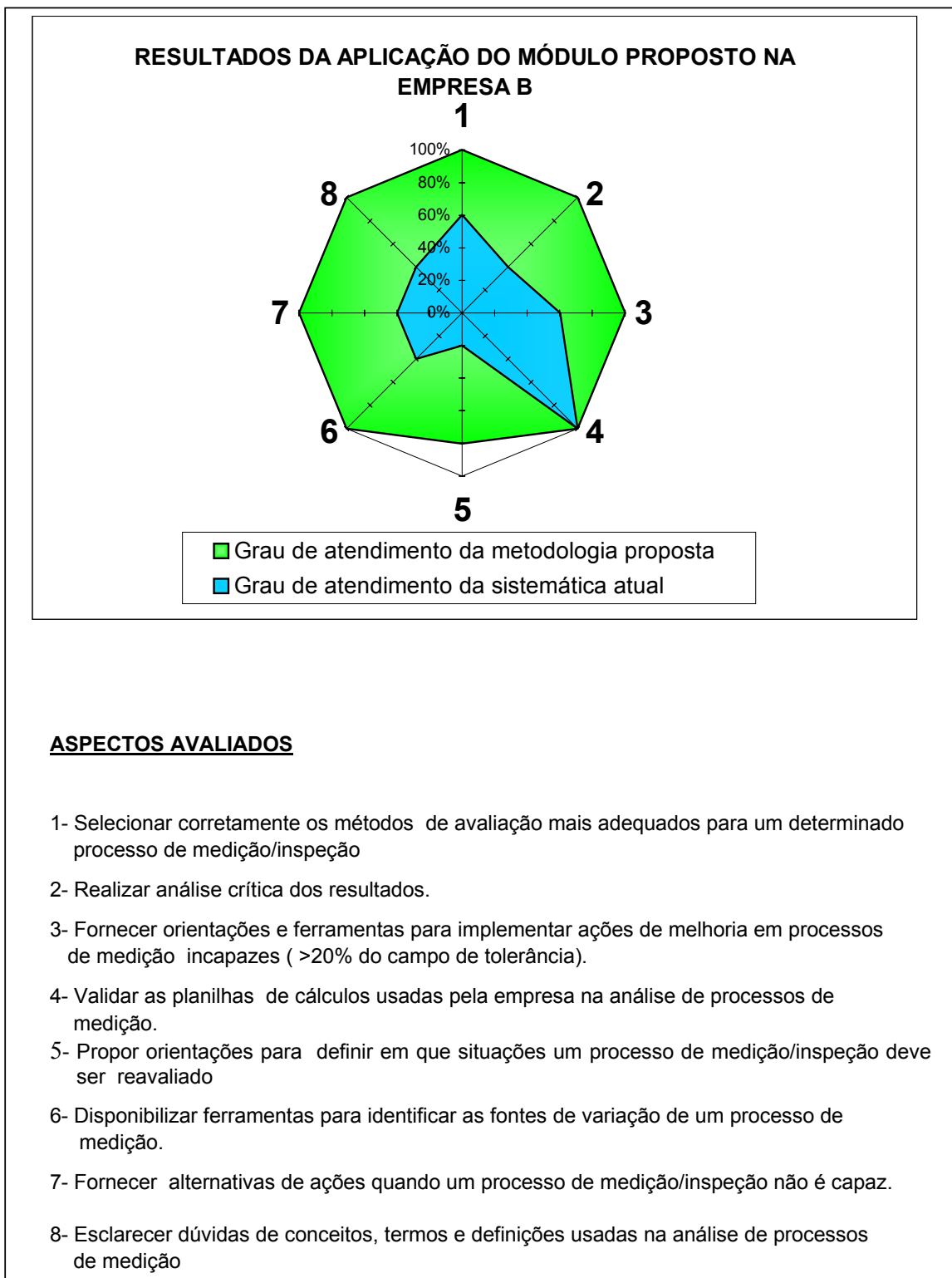
#### **4.3.8 Conclusões do estudo de caso 2**

Resultados obtidos tanto no processo de inspeção como no processo de medição revelaram a eficácia do módulo para selecionar os métodos mais adequados para os processos de inspeção 1 e 2. Embora não tenha sido realizada a avaliação da estabilidade, usando o módulo, a empresa percebeu que o tempo por ela estipulado para este estudo era demasiadamente grande: uma medição por semana durante 13 meses, não sendo capaz de identificar as "causas especiais" [7] [46] ocorridas durante o dia a semana e o mês. Em virtude deste período estipulado, realizaram-se poucos estudos de estabilidade, somente três. Estes não demonstravam as variações do processo de medição. O módulo proporcionou à empresa a análise de acordo com um procedimento padrão, que fornece detalhes sobre a preparação, coleta de dados no chão de fábrica, execução usando planilhas validadas.

Outra prática da empresa, questionada com o uso do módulo foi a avaliação por família de instrumentos, ou seja, retirar uma amostra do lote de cada categoria de instrumentos de medição e fazer a avaliação de um instrumento valendo para toda a categoria.

Ficou evidenciado para a empresa que esta prática não reproduz a realidade, pois cada processo de medição/inspeção varia de acordo com o sistema de medição, ambiente, operador, mensurando e método, além da exigência de aplicação (campo de tolerância).

Os resultados conclusivos do estudo de caso 2 são evidenciados pelo confronto da eficácia da sistemática de análise e melhoria adotada pela empresa B demonstrada na figura 4.18 com a eficácia do módulo proposto e ilustrada na figura 4.22.



*Figura 4.22 – Análise crítica pela empresa B do módulo Aplicado*

Percebe-se nesta análise que:

- A sistemática atual contempla entre 20 a 100% da necessidade da empresa, sendo o aspecto menos favorável "Orientações para reavaliação do processo de medição/inspeção" e o mais favorável "validar as planilhas de cálculos usados pela empresa" (figura 4.18).
- Com exceção do aspecto 3 e 4, a sistemática atual não cobre a importância atribuída aos aspectos avaliados (figura 4.18).
- A empresa considera os aspectos contemplados neste módulo importantes (60 à 80%) na avaliação dos processos de medição" (figura 4.22).

Quanto ao atendimento destes aspectos do módulo testado (figura 4.22) conclui-se que o módulo desenvolvido revelou um grau de eficácia entre 80 a 100%, revelando sua funcionalidade.

## Capítulo 5

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ponto de partida, motivador do desenvolvimento deste trabalho, foi a constatação da realidade praticada na Avaliação e Melhoria do processo de medição do ambiente industrial. A partir do conhecimento das deficiências nos métodos existentes para avaliação e das dificuldades percebidas pelas empresas na sua aplicação, propõe-se uma sistemática que pudesse utilizar a Tecnologia da Informação valendo-se dos seus recursos e vantagens competitivas para suprir tais carências.

Em sinergia com o projeto LASAR- Laboratório Associado de Serviços e Assessoramento Remoto em desenvolvimento no Labmetro – UFSC com parceria da Fundação CERTI, introduziu-se a sistemática proposta de forma modular e integrada ao contexto do LASAR. O módulo desenvolvido foi então aplicado em uma média e uma pequena empresa como forma de validação.

As conclusões deste trabalho apresentam-se sob vários pontos de vista: Desenvolvimento do trabalho; Eficácia da sistemática; Resultados estudos de casos; Ganhos competitivos para empresa e Aplicabilidade e Oportunidades de novos trabalhos.

O desenvolvimento do módulo AMPM – Análise e Melhoria dos Processo de Medição agregou valor nos seguintes aspectos:

- O trabalho com a equipe do projeto LASAR, propiciou discussões, decisões e planejamento do trabalho, integração dos módulos e otimização de recursos, minimizando esforços. A troca de experiências profissionais e contribuições dos membros, possibilita agregar valor aos trabalhos individuais.

- O conhecimento da prática metrológica de algumas empresas, levantada por meio das visitas técnicas, permitiu traçar objetivos e metas para o desenvolvimento de um trabalho acadêmico e técnico-científico, porém focado no atendimento das necessidades do meio empresarial.
- A criação de um programa de computador contendo a sistemática desenvolvida, demonstrou que com aplicativos usuais e comuns é possível “informatizar” a análise e melhoria do processo de medição, transformando-a numa ferramenta poderosa para a tomada de decisão.

A sistemática desenvolvida concebida em forma de Módulo do Sistema LASAR, mostrou-se adequada para seu usuário:

- Selecionar os métodos de avaliação mais adequados para um determinado processo de medição;
- Aplicar corretamente os métodos selecionados com detalhes e cuidados pertinentes, no chão-de-fábrica;
- Analisar criticamente os resultados;
- Identificar as possíveis causas de variação do processo de medição;
- Fornecer orientações e ferramentas para implementar ações de melhoria.

Os estudos de caso demonstraram que:

- A sistemática atual adotada pelas empresas não envolve todos os aspectos relevantes por elas identificadas;
- A sistemática desenvolvida mostrou-se eficiente entre 80 a 100% dos aspectos relevantes na avaliação e melhoria do processo de medição;
- Os maiores benefícios apontados pelas empresas, no uso desta sistemática estão relacionados à “clareza nas informações e resultados” e “confiabilidade nos resultados obtidos”, demonstrando a praticidade e viabilidade do módulo.

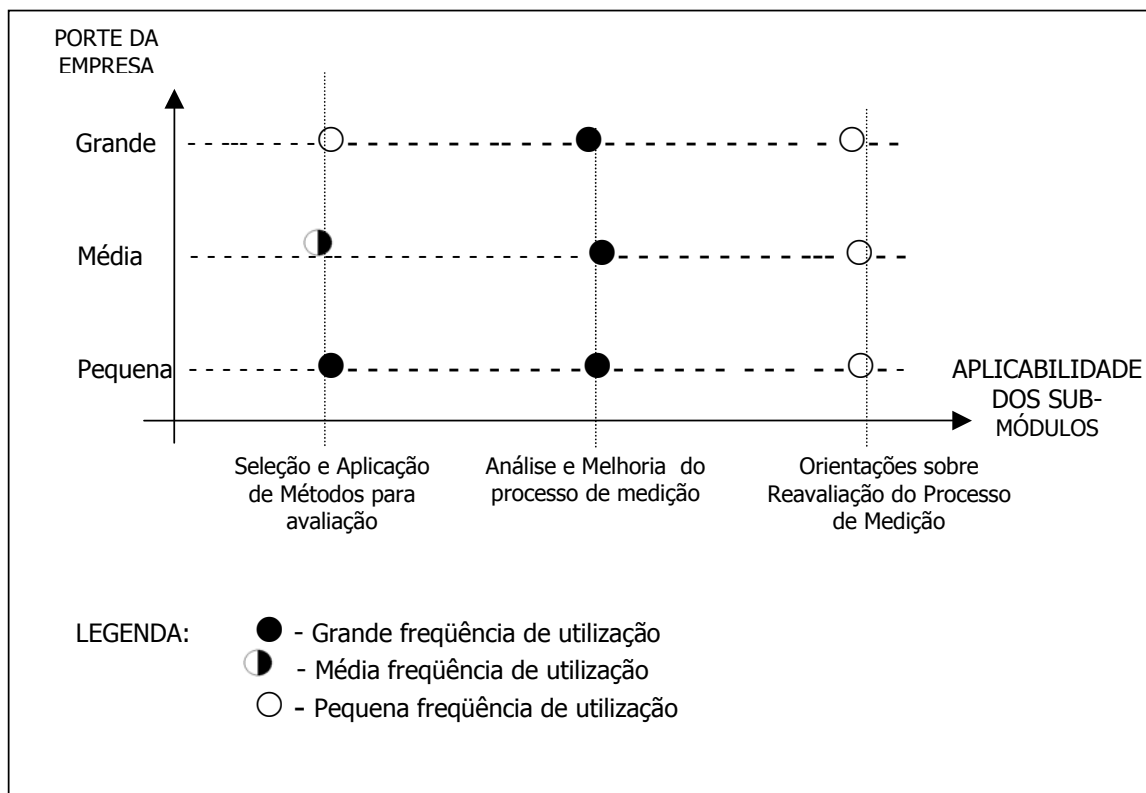
Os ganhos competitivos para as empresas, embora não evidenciados nos estudos de casos, porém conseqüentes da aplicação da sistemática são:

- Otimização de recursos (humanos, infraestrutura, tempo) com a aplicação correta dos métodos adequados na avaliação e melhoria dos processos de medição;
- Redução de custos devido a produtos não-conforme classificados erroneamente, por meio da redução da margem de variação (desvios de localização e dispersão) do processo de medição uma vez que se atribuiu um desvio admissível em 20% do Campo de Tolerância, menor que o praticado pelas empresas;

- Redução de ajuste desnecessários no processo de fabricação, devido à processos de medição incapazes;
- Agilização na tomada de decisão;
- Aprendizado contínuo dos usuários pela interação com o programa.

Em referência a aplicabilidade destaca-se que:

- Embora desenvolvida em forma modular para o LASAR, esta sistemática pode ser aplicada de modo autônomo;
- Atende as exigências das normas TS16949 (unificação intencional das normas automobilísticas) e ISO9001:2000, indo além, nos aspectos de análise e melhoria dos processos de medição;
- A partir dos resultados dos estudos de casos, infere-se que o sub-módulo de análise e melhoria dos processos, aplica-se a qualquer empresa, independente do porte, pois sistematiza a análise e melhoria dos processos;



*Figura 5.1 – Aplicabilidade e frequência de uso dos sub-módulos em função do porte empresarial*



- A partir dos resultados dos estudos de casos, infere-se que o sub-módulo de seleção e aplicação de métodos para avaliação serão utilizadas com maior frequência na pequena empresa devido a maior carência de recursos humanos qualificados e informações. Na média com menor frequência e na grande com pequena utilização;
- A partir dos resultados dos estudos de casos, infere-se que o sub-módulo de orientações sobre reavaliação do processo de medição, uma aplicação maior para o futuro, uma vez que o reconhecimento do impacto dos processos de medição na gestão empresarial, trata-se de um processo educativo e evolutivo no qual as empresas brasileiras estão iniciando.

Identificou-se nas visitas e aplicação do módulo em empresas que, existem oportunidades para desenvolver trabalhos com a avaliação do processo de medição, onde o mensurando não é homogêneo. Por exemplo a dureza e rugosidade ou ainda onde a medição não pode ser repetida como ensaios destrutivos e torque.

Este módulo desenvolvido, salienta e orienta a sua não abrangência nestes casos.

Estes casos, mostram-se excelente temas para mestrado ou doutorado, uma vez também que a revisão bibliográfica não revelou

u haver vastos estudos sobre o tema.

## Referências Bibliográficas

- [1] JURAN, J.M.  
GRYNA, Frank M. **Métodos estatísticos clássicos aplicados à qualidade** – 4ª Edição brasileira, tradução de Maria Cláudia de Oliveira Santos ; revisão técnica TQS Engenharia, Prof. Gregório Bouer, Prof. José Joaquim do Amaral Ferreira – Makron Books, São Paulo – SP, 1992.
- [2] ALGARTE, Waldir  
QUINTANILHA, Delma **A história da qualidade e o programa brasileiro da qualidade e produtividade** – 1ª Edição, – INMETRO/SENAI, Rio de Janeiro, 2000, 143p.
- [3] MICT / CBM **Plano Nacional de Metrologia: sumário executivo.** Novembro de 1999.
- [4] INMETRO/SBM **Padrões e unidades de medida : Referências da França e do Brasil** – 1ª Edição, – INMETRO, Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1999, 120p.
- [5] ALBURQUERQUE, Mário J. de  
GIÁGIO, Marco A. **Tecnologias Básicas para a Qualidade e a Inovação nas Micro e Pequenas Empresas - SEBRAEtib.** Florianópolis: Fundação CERTI, Apostila do curso da Capacitação de Agentes TIB - Lages SC, 270p. 25 e26/01/2001.
- [6] THEISEN, Álvaro de M.F. **Fundamentos da metrologia industrial: aplicação no processo de certificação ISO 9000.** Porto Alegre: Programa RH Metrologia, Rede Metrológica RS, FIERGS, SEBRAE-RS, 205p. 1997.
- [7] QS9000 / MSA **MSA - Análise dos sistemas de medição: manual de referência.** 1ª ed. brasileira. Tradução da 2ª ed. americana. São Paulo: IQA - Instituto de Qualidade Automotiva. 126p. Junho de 1994.
- [8] NBR ISO 9000:2000 **Sistema de gestão da qualidade – Fundamentos e vocabulário.** Rio de Janeiro: ABNT. 26p. 2000.
- [9] URRUTIA, José I. Donoso **Avaliação dos processos de medição na indústria, baseada no impacto econômico da operação de controle geométrico.** Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, UFSC. 87p. Florianópolis, Agosto de 2000.

- [10] INMETRO **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia.** Duque de Caxias: INMETRO/DMCI. 52p.199.
- [11] LINK, Walter **Análise de sistemas de medição.** Anais do I Seminário Internacional de Metrologia na Indústria Automobilística – Metrosul III. Curitiba , Brasil, 30 de setembro a 03 de Outubro 2002. Palestra 007.
- [12] NEIVA , Frederico M. **Concepção do módulo de melhoria da confiabilidade metrológica, inserido no âmbito de serviços e assessoramento remoto.** Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, UFSC. 85p. Florianópolis, outubro de 2002.
- [13] RIBEIRO, Luis F.M. **Inovação da assistência metrológica industrial através de serviços e assessoramento remoto.** Qualificação de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, área de concentração em Metrologia e Instrumentação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, outubro de 2002.
- [14] LEAL, José G.M. **Impacto econômico das atividades metrológicas influenciadas pela contratação de serviços e assessoramento remoto.** Dissertação de mestrado em desenvolvimento do Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Setembro de 2002.
- [15] NEIVA, Frederico  
M. LEAL, José G.M.  
SALGADO, João V.F.  
RIBEIRO, Luis F.M.
- [16] SALGADO, João V.F. **Visita de estudos em empresas: Planejamento de trabalho.** Documento interno da EQLMA do Projeto LASAR. Florianópolis. UFSC: Labmetro/EMC. Ver. 5 de Março de 2002.
- [16] SALGADO, João V.F. **Relatório de acompanhamento de visita técnica de estudos em empresas:** Documento interno da EQLMA do Projeto LASAR. Florianópolis. UFSC: Labmetro/EMC. Ver. 1 de abril de 2002.
- [17] NBR ISO 10012-2 **Garantia da qualidade para equipamentos de medição, Parte 2: Diretrizes para controle de processo de medição.** Rio de Janeiro: ABNT. 15p. 1999.
- [18] QS 9000 **Requisitos do sistema da qualidade.** Tradução da 3ª ed. Americana. São Paulo: IQA – Instituto de Qualidade Automotiva, 113p. Março de 1998.
- [19] ISO/TS 16949 **Quality management systems – Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations.** Second edition. 34p. Março de 2002.

- [20] CERTI **Gerenciamento de instrumentos de medição segundo a ISO 9000 e QS 9000.** Apostila de curso. Florianópolis, 09 e 10 de novembro de 1999.
- [21] NBR ISO 10012-1 **Requisitos de garantia da qualidade para equipamentos de medição, Parte 1: Sistema de comprovação metrológica para equipamentos de medição.** Rio de Janeiro: ABNT. 14p. 1993.
- [22] CERTI **Requisitos de garantia da qualidade para equipamentos de medição.** Apostila de curso. Florianópolis, 09 e 10 de novembro de 1999.
- [23] INMETRO **O que é o INMETRO.**  
<http://www.inmetro.gov.br/inmetro/oque.asp>
- [24] LABMETRO **Sistema metrológico/rastreabilidade.** Apostila do curso de mestrado em Metrologia Científica e Industrial. Florianópolis, Julho de 2000.
- [25] ISO/TS 14253-2 **Geometrical product specifications (GPS) inspection by measurement of workpieces and measuring equipment, Part 2: Guide of the estimation in GPS measurements, in calibration of measuring equipment and in product verification.** Genève, Switzerland: ISO, 1999. 73p.
- [26] NBR ISO 9001:2000 **Sistema de gestão da qualidade – Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT. 21p. 2000.
- [27] NBR ISO 14001 **Sistemas de gestão ambiental – Especificação e diretrizes para uso.** Rio de Janeiro: ABNT. 14p. 1996.
- [28] CAMPOS, Lucila M. de Souza **Gestão e políticas ambientais.** Apostila do curso de Especialização em Gestão da Qualidade Ambiental. Grupo de Engenharia e Análise de Valor. UFSC. Florianópolis, 1999.
- [29] NBR ISO/IEC 17025 **Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração.** Rio de Janeiro: ABNT. 20p. 2001.

- [30] ISO14253-1 **Geometrical product specifications (GPS) inspection by measurement of workpieces and measuring equipment, Part 1: Decision rules for proving conformance or nonconformance with specifications.** Genève, Switzerland: ISO, 1998. 15p.
- [31] SILVA, Alexandre C. **Desenvolvimento de uma metodologia para reduzir os custos da qualidade através de atividades metrológicas.** Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, UFSC. 80p. Florianópolis, abril de 2001.
- [32] SOARES Júnior, L. **Confiabilidade metrológica no contexto da garantia da qualidade industrial: Diagnóstico e sistematização de procedimentos.** Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, UFSC. Florianópolis, Abril de 1999. 111p.
- [33] LISKA, A.F. **Controle estatístico de componentes da incerteza em processos de medição de parâmetros geométricos.** Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, UFSC. Florianópolis, Dezembro de 1999. 85p.
- [34] ISO GUM **Guia para expressão da incerteza de medição.** Segunda Edição Brasileira do "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement". ISBN 85-86768-03-0. Rio de Janeiro: INMETRO, ABNT, SBM. 1998. 121p.
- [35] EA-4/02 **Expressão da incerteza de medição na calibração. Referência original do editor EAL-R2, Expression of the Uncertainty of Measurements in Calibration.** ISBN 85-86768-04-9. Rio de Janeiro: INMETRO, ABNT, SBM. 1999. 34p.

- [36] EA-4/02-S1 **Expressão da incerteza de medição na calibração, Exemplos. Suplemento 1 ao EA-4/02.** ISBN 85-86768-02-2. Rio de Janeiro: INMETRO, SBM. 1999. 35p.
- [37] VDA 6.1 **Gestão da qualidade na indústria automobilística. Parte 1: Auditoria do sistema do sistema de gestão da qualidade.** 3ª edição,VDA - Associação de Fabricantes para Indústria Automobilística , Frankfurt, 1996. 170p.
- [38] RENAULT **Referencial de avaliação de aptidão qualidade de fornecedores.** Apostila do curso Auditoria EAQF 94 . Curitiba, agosto de 1999. Renault. 300p.
- [39] BOSCH **Capability of measurement and test processes.** Quality Assurance in the Bosch Group.Technical Statistics.Vol.10. Robert Bosch GmbH.Edition 09.2000
- [40] HELDT, E.  
MEYER, M.  
WEITLAUFF, F. **Estudos R&R em forma /superfície medição para tolerâncias pequenas.** Taylor Hobson GmbH, Kreuzberger, Ring6, D-65201 Wiesbaden, Germany. Tradução Eng. Lincoln j.Milani,
- [41] MINITAB <http://www.minitab.com.br>
- [42] DONATELLI, Gustavo Daniel **Capacidade dos sistemas de medição para inspeção 100%.** Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, área de concentração em Metrologia e Instrumentação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, maio de 1999.
- [43] DGQ/CEFET-PR. **Métodos estatísticos para tomada de decisão .** Apostila do curso de Formação de Gerentes e Auditores da Qualidade ,1ª. edição. DGQ - Deutsche Gesellschaft für Qualität e. V. , convênio com CEFET-PR, , Curitiba, setembro 1999.
- [44] DONATELLI, Gustavo Daniel **Controle estatístico do processo.** Apostila do curso.GMAC / Fundação CERTI, Florianópolis, 2001.
- [45] KUME,Hitoshi. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade.** Tradução de Dario Ikuo Miyake; revisão técnica de Alberto Wunderler Ramos. – São Paulo : Editora Gente ,1993.

- [46] QS 9000 / CEP **Fundamentos de controle estatístico do processo (CEP): manual de referência.** 1ª. ed. brasileira. Tradução da 2ª. ed. americana. São Paulo: IQA – Instituto de Qualidade Automotiva. 168p. Junho de 1995.
- [47] WHEELER,Donald J.  
LYDAY, Richard W. **Evaluating the measurement process.** Second Edition, Statistical Process Press, Knoxville, Tennessee,1989.
- [48] MICROSOFT CORPORATION **Power point for windows 98.** Versão 7:power point software , [S.I.]:Microsoft Corporation,2000.Conjunto de programas.1 CD-ROM.
- [49] MICROSOFT CORPORATION **Excel for windows 98.** Versão 7:power point software , [S.I.]:Microsoft Corporation,2000.Conjunto de programas.1 CD-ROM.
- [50] SALGADO, João V.F. **Relatório de acompanhamento de estudos de casos em empresas:** Documento interno da EqLMA do Projeto LASAR. Florianópolis. UFSC: Labmetro/EMC. Ver. 10 de outubro de 2002.