

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA
INFORMATIZADO PARA SUPORTE À
GARANTIA DA QUALIDADE COM FOCO NA
PEQUENA EMPRESA**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para
obtenção do grau de Mestre em Metrologia

Marcus Rodrigo Coelho

Florianópolis, 15 de Dezembro de 2006

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INFORMATIZADO PARA SUPORTE À GARANTIA DA QUALIDADE COM FOCO NA PEQUENA EMPRESA

Marcus Rodrigo Coelho

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

“MESTRE EM METROLOGIA”

e aprovada na sua forma final pelo

Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial

Prof. Gustavo Daniel Donatelli, Dr. Eng.

ORIENTADOR

Prof. Marco Antônio Martins Cavaco, Ph. D

COORDENADOR DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Carlos Alberto Schneider, Dr.-Ing.

Prof. Robert Wayne Samohyl, Ph.D.

Prof. Rolf Bertrand Schroeter, Dr. Eng.

André Luiz Meira de Oliveira, M. Eng.

“Estudante, eis um título que apenas abandonamos no túmulo”

Jean Guilton

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, a todos os professores, Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Carlos Alberto Flesch, Carlos Alberto Schneider e Marco Antônio Martins Cavaco, alunos e colaboradores que sempre me ajudaram e acreditaram em meu trabalho.

Ao Prof. Gustavo Donatelli, orientador em todos os sentidos, tanto para o trabalho de mestrado quanto em situações de dúvidas, grande amigo e sábio conselheiro.

A toda a minha família que sempre me incentivaram no caminho do saber, em especial minha mãe, meu pai e minhas irmãs.

Para todas as pessoas que dão suporte ao Labmetro, secretárias, em especial a Rosana, por todo apoio, sempre prestativa e disposta a ajudar.

A todos os amigos do mestrado, mestrandos, doutorandos, estagiários, pelo excelente ambiente de trabalho e pelo convívio fora do Labmetro, em especial para os integrantes das turmas 2005 e 2006.

Por fim, agradeço especialmente a todos os amigos que fiz da turma 2004, os que ainda permanecem e os que já passaram, pelos grandes momentos que passamos juntos, tendo a certeza que não são somente amigos de mestrado, e sim amigos para toda a vida.

RESUMO

Em muitos países, as pequenas empresas de manufatura são responsáveis por uma relevante parcela da produção nacional. Na maioria dos casos, estas empresas são continuamente pressionadas pelo mercado e competidores para melhorar a qualidade dos seus produtos e reduzir os custos de fabricação. Engenharia da qualidade é o fator chave para garantia da competitividade destas empresas. O uso das ferramentas preventivas da qualidade durante o desenvolvimento do produto e processo tem um impacto considerável na qualidade percebida pelo cliente. Em contrapartida, métodos *on-line* são essenciais para manter o processo operando no alvo com a mínima variação, e gerar os dados necessários para aplicação dos métodos preventivos da qualidade. Infelizmente, a aplicação destas ferramentas não é difundida ou inexistente em muitas pequenas empresas. Elas não têm condições de manter profissionais exclusivamente dedicados para a análise dos dados e para propor as ações de melhoria contínua no produto e processo. Outra razão é que o conjunto de soluções de *software* disponíveis no mercado são excessivamente caros, dimensionados para grandes empresas, com um conjunto de potencialidades que são pagas, mas raramente são usadas. Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma solução baseada em tecnologias da informação que facilite a aplicação de estratégias e métodos de garantia da qualidade. A solução foi dimensionada para pequenas empresas, pois busca implementar um modelo mínimo para garantia da qualidade. Espera-se assim, prover a informação adequada no tempo certo, para os profissionais envolvidos com a produção e metrologia, aumentando o foco destas empresas na melhoria da qualidade.

ABSTRACT

In many countries small manufacturing companies are responsible for a highly relevant part of the gross national product. In any case, these companies are continuously pressed by the market and competitors to improve the quality of their products and reduce the manufacturing costs. Quality engineering is a key-discipline for assuring the competitiveness of this company. The use of preventive quality tools during product and process development has considerable impact on the quality perceived by the customer. On the other hand, on-line quality tools are essential to maintain the processes operating on target with minimum variance and also to generate the data needed for applying preventive quality tools. Unfortunately, the application of these tools is inadequate or even inexistent in many small companies. They are usually not able to support highly qualified professionals exclusively dedicated to the analysis of quality data and to pursue the continual product and process improvement. Another reason is the lack of simple software solutions to implement a computer-aided quality system at a reasonable cost. Indeed, dimensioned for corporative use in big companies, providing hundreds of functionalities that have to be paid, but are rarely used. This work purposes the development of a solution based in information technology to help the application of quality assurance strategies and methods. The solution was dimensioned for small manufacturing companies, because it implements a "minimum quality assurance model". It spares the time of the professionals involved with production and metrology, providing them adequate information in the right format, so permitting them to focus on quality improvement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução das estratégias da qualidade ^[2]	16
Figura 2 – Fluxo de informação no contexto da engenharia da qualidade ^[3]	17
Figura 3 – Transformação dos dados brutos em informação para tomada de decisão na produção ^[11]	19
Figura 4 – Ciclos de controle da qualidade (adaptada de ^[3]).....	26
Figura 5 – Exemplo de atuação de ciclos da qualidade (adaptado de ^[25]).....	28
Figura 6 – A integração das zonas de atuação e os reguladores, através das bases de dados da qualidade (adaptado de ^[3]).....	30
Figura 7 – Esquema geral de um banco de dados distribuídos (adaptado de ^[28])....	33
Figura 8 – Visão do usuário e visão da realidade em um banco de dados distribuídos (adaptado de ^[29]).....	34
Figura 9 – A “alavanca da qualidade” com os principais métodos da engenharia da qualidade.....	35
Figura 10 – Evolução de um processo de usinagem real, mostrada através do gráfico de controle – à esquerda, o comportamento do processo antes da aplicação de CEP; à direita, o mesmo processo depois da aplicação de CEP ^[17]	38
Figura 11 – Principais fontes de erros encontrados em sistemas CEP convencionais.	40
Figura 12 – Componentes da variação observada nos dados (adaptada de ^[37]).....	44
Figura 13 – Carta de controle de PMAP mostrando os limites de controle e os limites de erro do sistema de medição ^[45]	47
Figura 14 – Ciclos de Informação da qualidade necessários para empresas de pequeno porte.	51
Figura 15 – Informações geradas em um processo de fabricação.	53
Figura 16 – Informações geradas em um processo de medição.	53
Figura 17 – Fundamentos da proposta de um sistema de informação para suporte à qualidade e produtividade em pequenas empresas.....	54
Figura 18 – Esquema geral do sistema de informação para suporte à qualidade e produtividade em pequenas empresas.	56
Figura 19 – Usuários do sistema.....	57
Figura 20 – Diagrama de casos de uso para o operador de máquinas.	60
Figura 21 – Diagrama de casos de uso para o preparador de máquinas.	61

Figura 22 – Diagrama de casos de uso para o analista.	62
Figura 23 – Estágios da automatização da coleta de dados do processo.	63
Figura 24 – Pré-processamento dos valores medidos.	65
Figura 25 – Algumas interfaces de comunicação disponíveis no mercado ^{[50],[51]}	66
Figura 26 – Concentração dos instrumentos necessários na célula numa única localização física: a “bancada de medição”.	67
Figura 27 – Configuração proposta evidenciando o uso de sistemas distribuídos. ..	69
Figura 28 – Diagrama ER para o sistema proposto	71
Figura 29 – Módulos que compõem o sistema.	76
Figura 30 – Tela principal de cadastro de planos de controle.....	77
Figura 31 – Tela de cadastro de sistemas de medição.....	78
Figura 32 – Tela novo lote.....	79
Figura 33 – Tela medir.	80
Figura 34 – Tela CEP.....	82
Figura 35 – Tela de R&R com dados reais da aplicação no engrenômetro descrita posteriormente.	83
Figura 36 – Página de acesso aos dados.	84
Figura 37 – Acesso aos relatórios criados.	85
Figura 38 – Princípio de funcionamento do engrenômetro ^[57]	87
Figura 39 – Curva característica medida em um engrenômetro.	87
Figura 40 – Engrenômetro utilizado.	89
Figura 41 – Rotina de aquisição e tratamento de dados.....	90
Figura 42 – Ciclos de controle da qualidade para o engrenômetro.....	91
Figura 43 – Tela principal do software para aplicação no engrenômetro.....	92
Figura 44 – Parte inferior da tela principal do programa onde aparecem os gráficos de CEP e as informações sobre o lote que está sendo medido.	92
Figura 45 – Estrutura do NEMI na Electro Aço Altona.	96
Figura 46 – Ciclos de informação da qualidade para o laboratório de areias.	97
Figura 47 – Corpos de prova e máquina de ensaio de tração	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo da aplicação dos estudos estatísticos nas diferentes etapas do ciclo de vida de um processo de medição ^[41]	46
Tabela 2 – Alguns símbolos utilizados em diagramas de casos de uso.	57
Tabela 3 – Símbolos mais utilizados na construção de esquemas ER.....	70
Tabela 4 – Comparação entre alguns tipos de sistemas de gerenciamento de banco de dados ^{[53],[54],[55]}	72
Tabela 5 – Informações que formam os distintos relatórios personalizados no caso do engrenômetro.....	93

LISTA DE ABREVIATURAS

BD	<i>Banco de Dados</i>
BDD	<i>Banco de Dados Distribuído</i>
BDQ	<i>Base de Dados da Qualidade</i>
CAD	<i>Desenho Assistido por Computador (Computer Aided Design)</i>
CAM	<i>Fabricação Assistida por Computador (Computer Aided Manufacturing)</i>
CAQ	<i>Qualidade Assistida por Computador (Computer Aided Quality)</i>
CEP	<i>Controle Estatístico do Processo</i>
CLP	<i>Controlador Lógico Programável</i>
CNC	<i>Comando Numérico Computadorizado (Computer Numerical Control)</i>
DER	<i>Diagrama Entidade-Relacionamento</i>
ER	<i>Entidade-Relacionamento</i>
FMEA	<i>Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos (Failure Modes and Effects Analysis)</i>
ISO	<i>Organização Internacional para Padronização (International Organization for Standardization)</i>
LIC	<i>Limite Inferior de Controle</i>
LIE	<i>Limite Inferior da Especificação</i>
LSC	<i>Limite Superior de Controle</i>
LSE	<i>Limite Superior da Especificação</i>
MSA	<i>Análise dos Sistemas de Medição (Measurement System Analysis)</i>
n.d.c.	<i>Número de categorias distintas (Number of Distinct Categories)</i>
NEMI	<i>Núcleo de Estatística e Metrologia Industrial</i>
PC	<i>Computador para uso pessoal (Personal Computer)</i>

PFMEA	<i>Análise dos Modos de Falhas do Processo e seus Efeitos (Process Failure Modes and Effects Analysis)</i>
PHP	<i>Linguagem de programação interpretada (Hypertext Preprocessor)</i>
PMAP	<i>Programa de Garantia do Processo de Medição (Process Measurement Assurance Program)</i>
PME	<i>Pequena e média empresa</i>
QFD	<i>Desdobramento da Função Qualidade (Quality Function Deployment)</i>
R&R	<i>Repetitividade e Reprodutibilidade</i>
SGBD	<i>Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados</i>
S2IQ	<i>Sistema Integrado de Informação da Qualidade</i>
UML	<i>Linguagem de Modelagem Unificada (Unified Modeling Language)</i>
VIM	<i>Vocabulário Internacional de Metrologia</i>
X-bar	<i>Média de um conjunto de valores</i>
$\bar{X} - R$	<i>Carta de médias e amplitudes</i>
$I - mR$	<i>Carta de indivíduos e amplitudes móveis</i>
$\bar{X} - S$	<i>Carta de médias e desvio padrão</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 GARANTIA DA QUALIDADE DE PRODUTO E PROCESSO.....	15
1.2 GARANTIA DA QUALIDADE DAS MEDIÇÕES.....	18
1.3 CARACTERÍSTICAS DAS PEQUENAS EMPRESAS REFERENTES À QUALIDADE E METROLOGIA	20
1.4 OBJETIVOS	23
1.4.1 Objetivo geral:	23
1.4.2 Objetivos específicos:	23
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	23
2 GERAÇÃO E PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO SOBRE QUALIDADE.....	25
2.1 CICLOS DE CONTROLE DA QUALIDADE	25
2.2 SISTEMAS INTEGRADOS DE INFORMAÇÃO DA QUALIDADE.....	29
2.2.1 Noções gerais sobre bancos de dados.....	30
2.2.2 Banco de dados distribuídos.....	32
2.3 MÉTODOS DA ENGENHARIA DA QUALIDADE.....	35
2.3.1 FMEA de processos - PFMEA	36
2.3.2 Controle estatístico de processos - CEP.....	38
2.3.3 Inspeção 100%	42
2.4 ASPECTOS DA METROLOGIA ASSOCIADA À PRODUÇÃO.....	43
2.4.1 Os estudos estatísticos do processo de medição.....	45
3 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA SUPORTE À QUALIDADE EM PEQUENAS EMPRESAS.....	49
3.1 MODELO MÍNIMO EFETIVO DE GESTÃO DA INFORMAÇÃO PARA QUALIDADE.....	49
3.1.1 Ciclos de controle e responsáveis pela sua operação.....	51
3.1.2 Informações geradas na produção.....	52
3.2 FUNDAMENTOS DA PROPOSTA.....	53

3.3 PROJETO CONCEITUAL DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO	56
3.3.1 Atores e suas atribuições	57
3.3.2 Diagrama de casos de uso do sistema de informação	59
3.4 COLETA DE DADOS	62
3.4.1 Graus de automação.....	62
3.4.2 Possibilidades de pré-processamento	64
3.4.3 Hardware de aquisição.....	66
3.5 BASE DE DADOS	67
3.5.1 Modelo conceitual da base de dados.....	69
3.5.2 Seleção do tipo banco de dados utilizado.....	72
4 APLICATIVO DESENVOLVIDO	74
4.1 CADASTRO	76
4.1.1 Cadastro de Planos de Controle	76
4.1.2 Cadastro de Instrumentos de Medição	77
4.2 LOTES	78
4.2.1 Criar e abrir de lotes.....	78
4.2.2 Configurar	79
4.3 MEDIÇÃO.....	80
4.3.1 Medir	80
4.3.2 CEP	81
4.3.3 R&R.....	82
4.4 ACESSO REMOTO.....	83
4.4.1 Acesso via Internet.....	83
4.4.2 Envio de Relatório	84
5 ESTUDOS DE CASO: IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO	86
5.1 ESTUDO DE CASO 1: AUTOMAÇÃO DE UM ENGRENÔMETRO.....	86
5.1.1 Dispositivo	88

5.1.2 Tratamento matemático	89
5.1.3 Ciclos de informação da qualidade	90
5.1.4 Detalhes da implementação.....	91
5.1.5 Resultados	93
5.2 ESTUDO DE CASO 2: LABORATÓRIO DE AREIAS	94
5.2.1 Fluxo de informações da qualidade	95
5.2.2 Ensaio de resistência à tração	97
5.2.3 Implementação do sistema	98
5.2.4 Resultados	99
5.3 DISCUSSÕES.....	99
6 CONCLUSÕES E OPORTUNIDADES FUTURAS	101
6.1 CONCLUSÕES	101
6.2 OPORTUNIDADES FUTURAS	103
REFERÊNCIAS.....	105

1 INTRODUÇÃO

1.1 GARANTIA DA QUALIDADE DE PRODUTO E PROCESSO

Com o aumento da concorrência pelos mercados, as empresas brasileiras viram-se diante da necessidade de fabricar produtos com maior qualidade, aliados a custos de fabricação reduzidos. Neste contexto, a certificação em conformidade com as normas da família ISO 9000:2000 tem se tornado um requisito indiscutível. Essa norma busca garantir que a empresa possua um sistema de gestão da qualidade implantado, objetivando reduzir continuamente as não-conformidades e aumentar a satisfação dos clientes ^[1].

Este sistema não pode ser puramente burocrático e centrado no atendimento dos requisitos da certificação, mas deve estar baseado na prática consciente das estratégias e métodos da qualidade, num contexto favorável para a melhoria contínua. Na figura 1 pode-se observar a evolução destas estratégias e seu efeito na qualidade, nos custos e no tempo de desenvolvimento dos produtos. Nela fica evidente que as exigências do mercado atual não podem ser satisfeitas recorrendo-se somente à inspeção seletiva, estratégia predominante nos primórdios da manufatura industrial. Resultados mais adequados são obtidos com a aplicação de técnicas de desenvolvimento integrado de produto processo, apoiadas pelo uso de ferramentas preventivas da engenharia da qualidade.

O uso de ferramentas preventivas da qualidade durante as etapas de desenvolvimento de produto e processo provoca um impacto positivo considerável na qualidade percebida pelo cliente. Dentre estas ferramentas destacam-se o desdobramento da função qualidade (QFD – *Quality Function Deployment*), o delineamento de experimentos (DOE – *Design of Experiments*), a análise da árvore

de falhas (FTA – *Fault Tree Analysis*) e a análise do modo de falhas e seus efeitos (FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*), particularmente aplicado à prevenção de falhas no processo de desenvolvimento (DFMEA) e no processo de fabricação (PFMEA). Essas ferramentas são conhecidas como métodos *off-line* da garantia da qualidade.

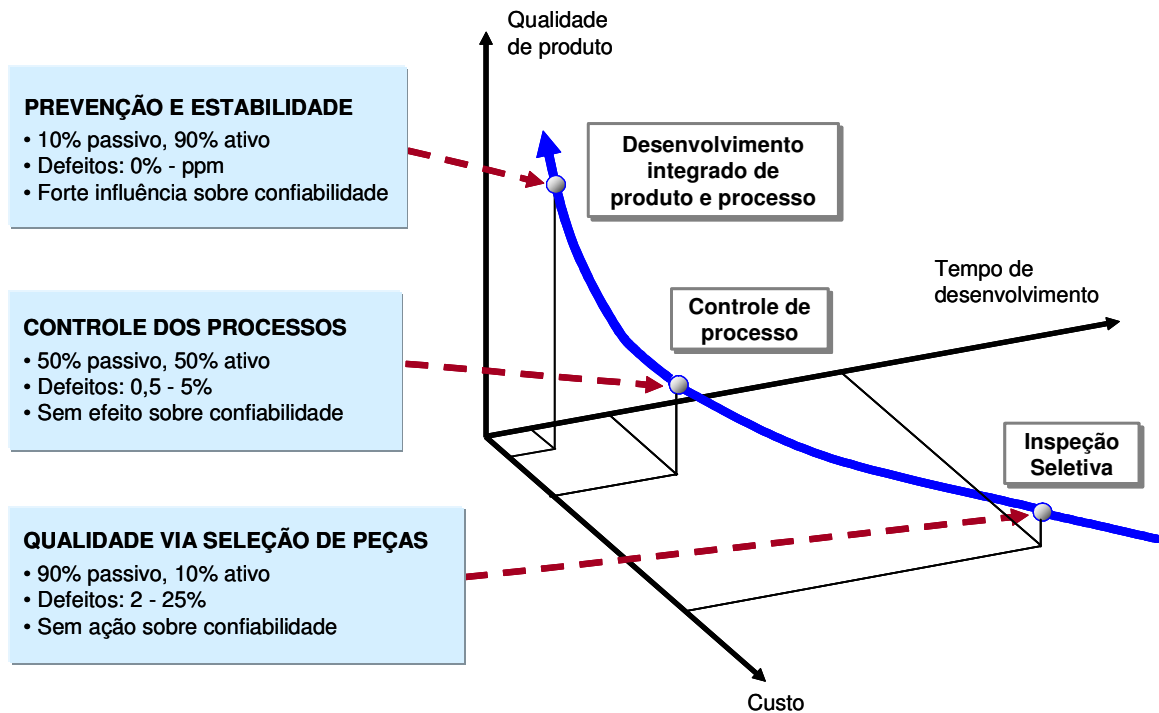


Figura 1 – Evolução das estratégias da qualidade ^[2].

O sucesso na aplicação destas ferramentas depende fortemente da qualidade e quantidade de informação disponível para processamento. A figura 2 mostra que esta informação se origina, principalmente, na inspeção de fabricação e no tratamento das reclamações dos clientes. Esta informação descreve não só o comportamento do produto durante o uso e a fabricação, mas também o desempenho dos processos de manufatura. Convenientemente armazenada em bases de dados da qualidade, fica disponível para ser usada pelos setores de Engenharia e Qualidade da empresa, para fins de solução de problemas e melhoria da qualidade.

Contudo, o uso de informação não se limita aos setores de Engenharia e Qualidade. O setor Produção também precisa de informação para gerenciar os

processos. De fato, operadores e preparadores necessitam de dados para ajustar os parâmetros de controle dos processos, visando garantir a conformidade do produto.

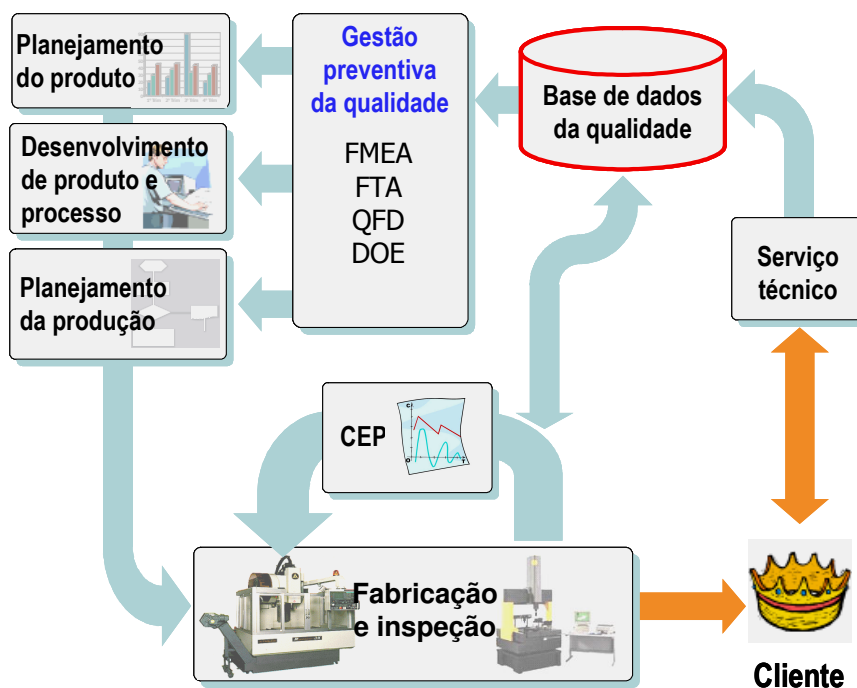


Figura 2 – Fluxo de informação no contexto da engenharia da qualidade ^[3].

Neste âmbito se destaca a aplicação de gráficos de controle, ferramenta principal do controle estatístico de processos (CEP), introduzidos por Walter Shewhart já em 1929 ^[4]. O CEP pode ser caracterizado como um método *on-line* da garantia da qualidade que permite manter o processo de produção operando no alvo, com a mínima variação. Os gráficos de controle são poderosas ferramentas para processar os dados brutos, fornecendo bases sólidas para atuar na regulação dos processos. A partir da evidência gerada pelo CEP é possível gerar, com relativamente pouco trabalho adicional, um conhecimento apurado sobre os processos de fabricação, que pode ser usado na aplicação das técnicas preventivas da engenharia da qualidade. Desta forma, fecha-se o circuito da informação ilustrado na figura 2, demonstrando-se, também, que não pode haver desenvolvimento integrado sem controle de processos.

1.2 GARANTIA DA QUALIDADE DAS MEDIÇÕES

A informação usada no gerenciamento dos processos de produção é gerada principalmente pela inspeção. A inspeção pode ser definida como "... o processo de medir, analisar, ensaiar ou comparar de qualquer forma uma unidade de produto com os requisitos aplicáveis" [5]. A inspeção pode ser classificada em inspeção por atributos ou atributiva e inspeção por variáveis. A primeira delas opera na detecção de eventos contáveis, isto é, a presença ou não de certo atributo do produto, geralmente uma falha ou defeito. Na maioria das vezes, a inspeção atributiva é baseada na comparação direta de certas características do produto com padrões físicos, por exemplo, na inspeção com calibradores P-NP (passa/não-passa). Esse tipo de inspeção já foi o alicerce do controle da qualidade no início da manufatura industrializada, mas apresenta fortes limitações na hora de aplicar técnicas de controle de processos. Por isso, mas também devido ao avanço tecnológico dos sistemas de medição, ela está sendo progressivamente substituída pela inspeção por variáveis.

A inspeção por variáveis é baseada em dados obtidos pela medição e a comparação com os limites de especificação se realiza de forma numérica. Pode ser aplicada às características da qualidade de produto, mas também aos parâmetros de controle dos processos de fabricação. Este tipo de inspeção é a que melhor se adapta às necessidades do controle de processos, permitindo alcançar o ideal de operar no alvo com variação mínima.

Desta forma, a medição torna-se imprescindível para o cumprimento dos objetivos da empresa no que diz respeito à qualidade. No entanto, ela também é um processo e, como tal, apresenta variação. Essa variação pode ser caracterizada a partir do desvio existente entre o resultado da medição e o valor verdadeiro da característica sob análise (valor do mensurando), denominada de erro de medição. Assim, os dados usados na garantia da qualidade de produto e processo não descrevem a qualidade produzida, mas fornecem uma imagem distorcida da mesma (figura 3).

Quanto maior seja o erro de medição com relação à variação do processo, menor será a efetividade das ações tomadas a partir dos dados. Esse efeito é diferente dependendo da técnica usada para pós-processamento dos dados brutos.

No caso da inspeção seletiva, pode-se esperar a aceitação de produto não-conforme e a rejeição de produto conforme [6]. No CEP, o erro de medição afeta a distância e posicionamento dos limites de controle, reduzindo a capacidade dos gráficos de controle para detectar mudanças no processo e alterando a probabilidade de alarmes falsos [7],[8]. A avaliação de capacidade dos processos também é afetada pela medição, através da mudança no valor estimado dos índices de capacidade [9], [10].

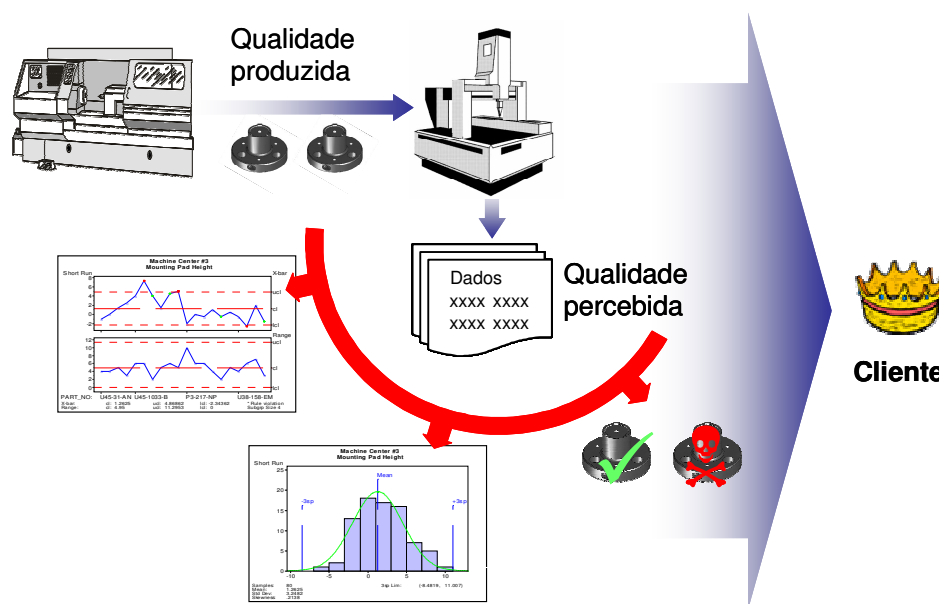


Figura 3 – Transformação dos dados brutos em informação para tomada de decisão na produção [11].

Por essa razão, a garantia da qualidade das medições deve dar suporte à garantia da qualidade de produto e processo de produção, visando evitar variações excessivas ou não controladas dos processos de medição que possam distorcer os dados de forma significativa. Isso é reconhecido no item 7.6 da ISO 9001:2000 [12], que determina:

“A organização deve estabelecer processos para assegurar que a medição e o monitoramento possam ser realizados e são executados de uma maneira coerente com os requisitos de medição e monitoramento.”

A especificação técnica ISO/TS 16949:2002 [13], que estabelece os requisitos particulares para aplicação da ISO 9001:2000 na produção de automóveis, acrescenta ainda ao item 7.6:

“Estudos estatísticos devem ser realizados para analisar a variação existente nos resultados de cada tipo de sistema de medição e equipamento de teste. Este requisito deve ser aplicado aos sistemas de medição referenciados no plano de controle.”

Os estudos a que se refere o parágrafo acima estão descritos em várias literaturas específicas, sendo a mais difundida o Manual de Referência de Análise dos Sistemas de Medição (MSA – *Measurement System Analysis*) ^[14], de uso recomendado na cadeia de fornecimento da indústria automotiva, mas adotado por empresas de diversos ramos.

1.3 CARACTERÍSTICAS DAS PEQUENAS EMPRESAS REFERENTES À QUALIDADE E METROLOGIA

Em muitos países, as pequenas empresas são responsáveis por uma parcela relevante do produto interno bruto. No Brasil há mais de 4,5 milhões de micro e pequenas empresas, que são responsáveis por 57,2% do total de empregos e 26% dos salários pagos ^[15]. Produzem para o consumidor final, mas também têm uma participação expressiva na cadeia de suprimentos de médias e grandes empresas nacionais ou até mesmo internacionais.

Segundo Oakland ^[16], firmas que empregam menos de cem pessoas podem ter problemas para implantar sistemas da qualidade formais. Elas podem:

- Desconhecer as implicações de um sistema de gestão da qualidade e ignorar como se podem satisfazer os requisitos de, por exemplo, uma certificação ISO 9000.
- Ser incapazes de defender-se e livrar-se das pressões dos clientes.
- Ser submetidas a solicitações crescentes para auditoria de fornecedor, uso de CEP, certificação etc.
- Ser sujeitas às demandas para verificação de seu sistema da qualidade, cujos custos não estão em proporção com o valor do contrato.
- Não ter condições para contratar um gerente da qualidade especializado.

- Ser orientada apenas para a inspeção no que se refere à qualidade, com pequeno *feedback* das informações obtidas.

Embora essa literatura tenha mais de 13 anos, descreve uma situação ainda existente na maioria das pequenas empresas brasileiras. Atender aos requisitos de uma norma internacional sobre gestão da qualidade pode ser um obstáculo enorme para organizações pequenas, por exigir da gerência uma apreciação das normas, motivação, competência técnica e recursos para fazer, implementar e manter as mudanças necessárias. A motivação pode originar-se de uma filosofia para melhorar o padrão de qualidade; porém, é mais provável que apareça quando as empresas enfrentam novos tipos de atividades e comportamentos dos clientes, envolvendo contratos que só puderem ser conseguidos através da certificação e demonstração objetiva de conformidade. Como consequência desta última opção, muitas pequenas empresas acabam implantando sistemas da qualidade eminentemente burocráticos, que agregam pouco ou nenhum valor à qualidade do produto e ao *know-how* da empresa. Esses sistemas podem se tornar uma ameaça para a competitividade, pelo elevado custo das atividades inerentes.

A situação não é diferente quando se analisa o grau de aplicação dos métodos da engenharia da qualidade. O conceito de “peças boas” e “peças ruins” domina o cenário e operadores são vangloriados pela quantidade de peças produzidas ^[17]. Métodos preventivos de garantia da qualidade não são utilizados e o CEP acaba sendo uma forma onerosa de coleta de dados e, às vezes, de ajuste de processos. Assim, dados de CEP não são analisados, causas especiais não são identificadas e não há uma preocupação efetiva com o controle e a melhoria do processo. Não existe o conceito de que a compreensão e redução da variabilidade são as chaves para o sucesso ^[18].

Por sua vez, a inexistência de um controle de processos efetivamente atuante tem efeito sobre o *status* da metrologia. Não se atribui relevância à qualidade da informação, porque esta não é usada para melhorar os produtos e processos e gerar prosperidade. Os investimentos em metrologia são limitados ao máximo, isso porque os gerentes que deveriam autorizá-los pensam que a melhoria das medições não necessariamente melhora os negócios. Dadas as habituais limitações no orçamento, preferem investir em equipamentos de fabricação, deixando os investimentos em metrologia para “melhores tempos”, que dificilmente chegam ^[19].

Assim, as melhorias na metrologia são puxadas pelos requisitos formais do sistema da qualidade ou pela pressão dos clientes. Calibrações periódicas são realizadas e, em alguns casos, aplicam-se estudos estatísticos como os previstos no MSA ^[14]. Entre calibrações, os sistemas de medição são regulados pelos metrologistas ou pelos próprios operadores, sem critérios consistentes que permitam evitar o sobre-ajuste. Os certificados de calibração e relatórios de estudos estatísticos são arquivados para fins de auditoria, mas não se produz a desejada reflexão sobre os resultados.

Desta forma, evidencia-se uma lacuna que abrange o tratamento da informação referente aos processos de fabricação e medição. Essa lacuna pode ser preenchida com a implantação de ferramentas informatizadas que permitam gerenciar as informações, disponibilizando-as na quantidade, qualidade e formato adequado para todos os atuantes na cadeia de formação da qualidade da empresa, desde o operador de máquina até os analistas e gerentes ^[20].

É fato que ferramentas computacionais que agilizam o processo de fabricação, inspeção e gerenciamento da informação estão sendo crescentemente utilizadas nas indústrias. O uso destas ferramentas significa menos tempo despendido em cálculos e análises, e conseqüentemente, numa maior disponibilidade para melhorar o produto e os processos ^[21]. O problema é que o conjunto de soluções computacionais disponíveis no mercado tem um custo relativamente elevado. Esses sistemas estão geralmente dimensionados para uso corporativo em grandes empresas, disponibilizando uma infinidade de potencialidades que aumentam o custo e a complexidade de operação, mas não agregam valor para uma pequena empresa.

Neste sentido, a criação de um sistema de baixo custo e fácil utilização, que forneça um ambiente unificado para gerenciar a qualidade de produto e a qualidade das medições, com pequeno impacto na estrutura física e cultural das pequenas empresas, seria de grande importância para o aumento da sua competitividade. Segundo afirmação do especialista Luiz Carlos de Assis, numa matéria publicada na revista B2B Magazine ^[22], as pequenas empresas:

“... precisam desesperadamente de soluções de gestão empresarial adaptadas à sua realidade e tamanho. Sem os recursos necessários para as

grandes soluções, aceitariam, e pagariam de bom grado soluções do seu tamanho.”

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral:

- Desenvolver uma solução baseada em tecnologias da informação que facilite a aplicação de estratégias e métodos de garantia da qualidade em pequenas empresas brasileiras, visando melhorar sua competitividade.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Criar um modelo mínimo de gestão da informação sobre qualidade em empresas de pequeno porte. O modelo deverá identificar as atividades e os responsáveis pelas mesmas, as necessidades de informação e os métodos para processamento e transformação da informação.
- Estruturar um ambiente unificado para controle e monitoramento dos processos de fabricação e medição na linha produção.
- Desenvolver um sistema informatizado de coleta e processamento de dados, que disponibilize a informação na quantidade e o formato certo para todos os responsáveis por atividades de controle e melhoria da qualidade da empresa.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para a realização deste trabalho, no capítulo 2 serão abordados assuntos relacionados à geração e processamento da informação sobre qualidade, através da utilização dos ciclos de controle da qualidade, base de dados e sua relação com os métodos da engenharia da qualidade. Ao final deste capítulo, foram levantados os aspectos da metrologia associados a este contexto.

No capítulo 3 é proposto um sistema de informação para suporte à qualidade em pequenas empresas, através da utilização de um modelo mínimo e efetivo e são apresentados os módulos necessários para sua implementação, através do projeto conceitual do sistema.

O capítulo 4 descreve a implementação da metodologia em um *software* específico para aplicação. Neste capítulo, são descritos os principais módulos que compõem o sistema, estrutura principal e será apresentado o *software* desenvolvido e suas características.

No capítulo 5 é descrita a aplicação da metodologia, inicialmente no ambiente fabril, com a utilização do *software* em um dispositivo de medição de engrenagens de uma empresa do setor metal-mecânico; e para gerar dados comparativos, a aplicação no laboratório de areias de uma fundição, com a avaliação da metodologia através dos resultados encontrados.

Finalmente, no capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões do trabalho e sugestões para estudos futuros.

No decorrer desta dissertação de mestrado são utilizadas algumas palavras, expressões ou siglas em inglês, pois a sua tradução para o português não é comumente empregada.

2 GERAÇÃO E PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO SOBRE QUALIDADE

Produtos manufaturados sem informação suficiente podem não chegar ao lugar certo, na hora certa e com as características de qualidade adequadas. Sem o requisito informação, o conhecimento necessário para a execução da tarefa não está disponível ^{[23],[24]}. Assim, no presente capítulo far-se-á uma revisão sobre como a informação sobre qualidade de produto e processo é gerada e processada nas empresas de médio e grande porte, visando identificar estratégias e métodos que possam ser usados com sucesso nas organizações de menor porte.

2.1 CICLOS DE CONTROLE DA QUALIDADE

Os ciclos de controle da qualidade são a base para tomar decisões em muitos níveis da empresa e introduzir ações preventivas e corretivas da qualidade sobre produtos e processos. Somente a integração dos métodos de engenharia da qualidade em ciclos de controle da qualidade possibilita uma reação eficiente e rápida na presença de desvios e falhas ^[3].

A figura 4 apresenta um modelo dos ciclos de controle em processos de gestão da qualidade. A seguir é explicado cada um dos tipos de ciclo detalhadamente, com exemplos práticos de suas aplicações e objetivos.

Os ciclos de controle na máquina realimentam diversas ações corretivas a partir de dados internos, coletados por sistemas de medição inseridos na própria máquina. Eles podem ser automatizados com facilidade, se existirem relações claras entre os objetivos e as ações. Os ajustes ou correções realizadas pelo próprio

CNC de um centro de usinagem, sem intervenções dos operadores, são um exemplo deste tipo de ciclo.

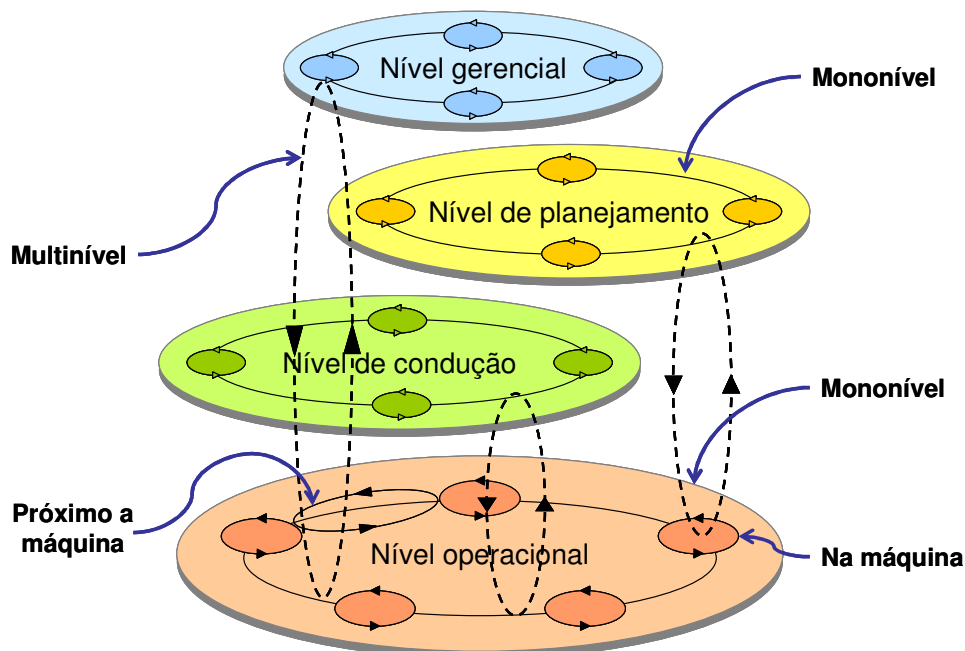


Figura 4 – Ciclos de controle da qualidade (adaptada de [3]).

Nos ciclos de controle próximos à máquina, a característica da qualidade é avaliada após a peça ser processada. A relação entre o objetivo desejado e a ação corretiva não é imediata, porque estes ciclos requerem conhecimentos especializados sobre o processo e devem envolver pessoal adequadamente treinado. Um exemplo deste tipo de ciclo é a aplicação de CEP, no qual uma ou mais peças processadas são medidas e gráficos de controle são “plotados” e verificados pelo operador, em busca de sinais que possam indicar que o processo está fora de controle. Se as houver, procede-se a identificar as causas especiais correspondentes e posteriormente ações corretivas são realizadas para eliminá-las e prevenir sua reincidência. Assim, as ações corretivas afetam as peças a serem produzidas na seqüência, mas não corrigem eventuais desvios da qualidade nas peças já avaliadas.

Os ciclos mononível permitem controlar unidades ou processos situados dentro de um determinado nível organizacional da empresa, focando no atendimento dos requisitos de interface entre clientes e fornecedores internos. Um exemplo de ciclo mononível é quando, numa determinada máquina pertencente a

uma célula de manufatura, a peça começa apresentar problemas em algumas características devido ao não cumprimento das especificações de processos anteriores. Assim, o processo que evidencia o problema comunica ao processo anterior que alguns requisitos da qualidade não estão sendo respeitados, e o ciclo se encerra quando a área prévia comunica, após as devidas correções, que o problema foi eliminado. Neste tipo de ciclo, cada processo é, em função das etapas de produção e do fluxo de materiais, fornecedor de informações para os processos posteriores.

Finalmente, os ciclos de controle multinível utilizam o mesmo conceito dos ciclos mononível, mas conectam vários níveis da empresa e se estendem desde os fornecedores externos até o cliente final. Os ciclos multiníveis vão desde a área comercial, com a identificação das necessidades do cliente, passam pela área de projetos, convertendo as exigências do cliente em características de produto, vão para o processo, definindo os planos de fabricação, e seguem para a fabricação propriamente dita, onde dados são coletados e armazenados em uma base de dados da qualidade. A área de análise de dados consulta esta base de dados e pode mudar algumas especificações do produto, e assim por diante com as devidas atualizações. Infelizmente, só poucas empresas que utilizam sistematicamente a gestão preventiva da qualidade conseguem implantar este tipo de ciclo de forma consistente.

A figura 5 ilustra um exemplo simulado da interação entre vários ciclos de controle da qualidade num processo de usinagem. Nesta figura, a medição gera informações que são utilizadas de duas formas diferentes:

- No ciclo próximo à máquina, onde os dados são analisados pelo operador para decidir sobre a necessidade de regular o processo de fabricação ou introduzir correções de escopo local;
- No ciclo multinível, realizado com intervenção de analistas de processos e da qualidade, cujo objetivo é introduzir ações de melhoria que podem afetar as instruções de trabalho, o plano de controle da peça ou mesmo as instruções de inspeção.

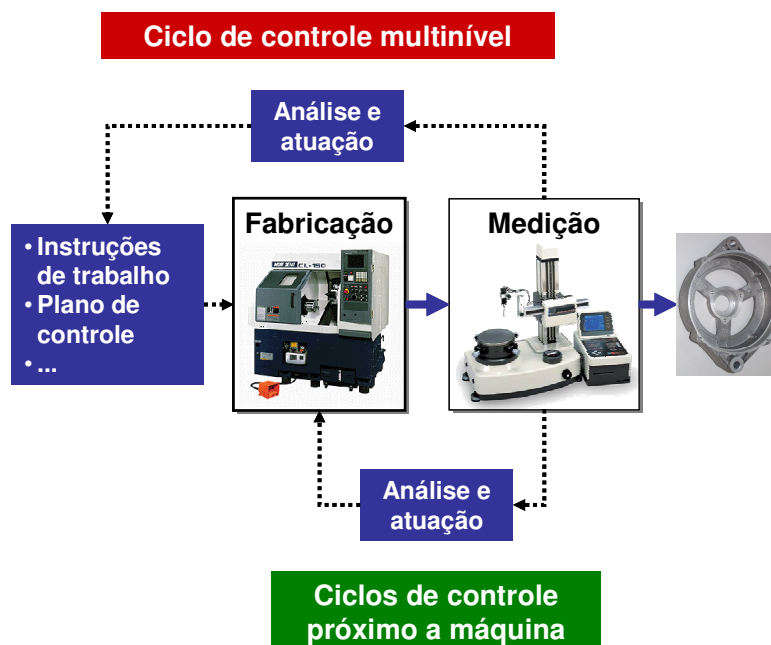


Figura 5 – Exemplo de atuação de ciclos da qualidade (adaptado de ^[25]).

De modo geral, pode-se afirmar que os ciclos da qualidade têm, como os circuitos de controle clássicos, zonas de atuação e reguladores. As zonas de atuação são as áreas funcionais da empresa. Podem ser departamentos completos (por exemplo, projeto ou fabricação) ou equipes montadas para executar atividades definidas de escopo restrito (por exemplo, preparar um trabalho ou projeto, ou melhorar a qualidade de uma característica de fabricação em uma determinada máquina). Sobre estas zonas de atuação incidem os reguladores, constituídos pelos métodos da engenharia da qualidade (CEP, DOE, QFD).

Para alcançar os objetivos de controle e melhoria da qualidade, os reguladores precisam ser alimentados com informação objetiva sobre a qualidade do produto e o desempenho dos processos. Essa informação deve estar acessível rapidamente e no formato certo nas diferentes zonas de atuação. A informação deve permanecer armazenada de forma segura e estar disponível durante um período suficientemente longo, para que sua eliminação não cause problemas à empresa, aos seus clientes ou, se for o caso, frente às agências de fiscalização. Essa é a função de uma base de dados da qualidade, componente essencial dos sistemas de informação da qualidade.

2.2 SISTEMAS INTEGRADOS DE INFORMAÇÃO DA QUALIDADE

Sistemas integrados de informação da qualidade (S2IQ) devem ser criados para diminuir a complexidade durante a execução dos ciclos da qualidade, facilitando a troca de informações. Um “modelo de dados” pode ser considerado parte fundamental do plano geral de construção de um S2IQ, já que este modelo define quais informações serão armazenadas, assumindo uma tarefa central de coordenação. Assim, um modelo de dados integra as informações presentes em diferentes lugares e instantes, sem que os subsistemas estejam vinculados a processos individuais. Este modelo alcançará o sucesso desejado se puder ser aplicado a todos os processos da empresa, sem se importar com sua dependência de departamentos, áreas ou funções.

Embora não seja tarefa simples, ao criar um modelo de dados a empresa obtém outros benefícios, além dos já citados acima ^[3]:

- Possibilita o ajuste e a otimização das diversas estruturas de dados existentes;
- Facilita a seleção e introdução de *softwares* em geral;
- Evita problemas de interfaces diferentes ao trocar dados entre diversas áreas;
- Facilita a emissão de relatórios, através da representação única e condensada de relações complexas.

Uma vez definido o modelo de dados, pode-se estruturar um banco ou base de dados da qualidade (BDQ), que permite armazenar e disponibilizar de modo transparente, centralizado ou descentralizado, as informações relevantes sobre a qualidade. Desta forma, a BDQ se converte em um elemento de fundamental importância na operação dos ciclos de controle da qualidade, atuando como vínculo na integração das zonas de atuação e os reguladores (figura 6).

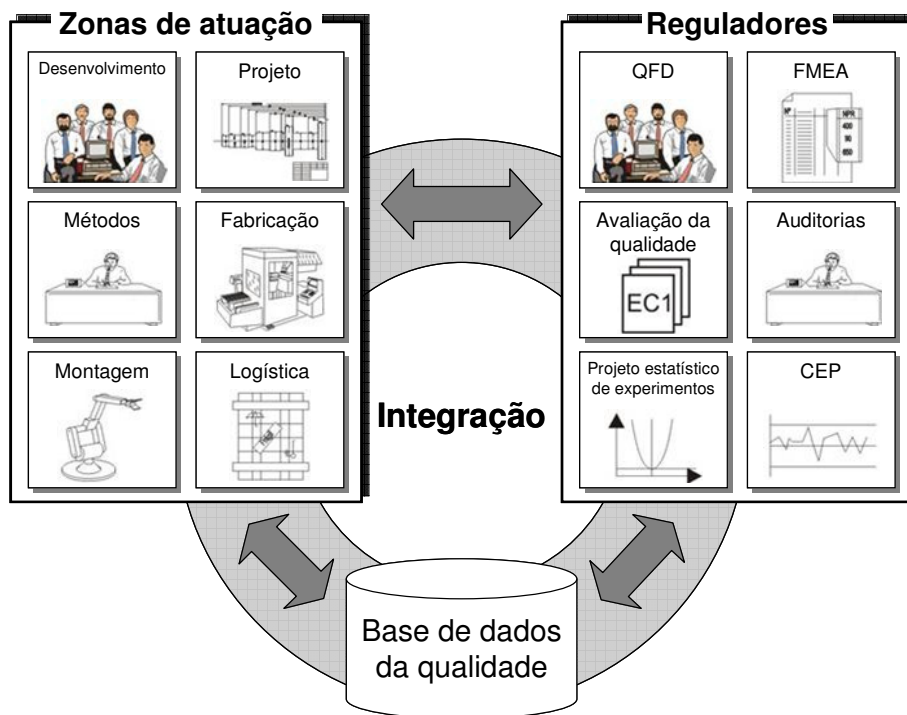


Figura 6 – A integração das zonas de atuação e os reguladores, através das bases de dados da qualidade (adaptado de ^[3]).

A seguir serão apresentadas considerações mais detalhadas sobre bancos de dados, para subsidiar na geração de uma proposta de S2IQ apropriada à realidade das pequenas empresas. Será dada uma ênfase especial às bases de dados distribuídas, por razões que ficarão claras no próximo capítulo.

2.2.1 Noções gerais sobre bancos de dados

Um banco de dados (BD) agrupa registros que antigamente eram armazenados em arquivos separados, em uma fonte comum de registros de dados, disponibilizando-os para muitas aplicações. Os dados armazenados em um banco de dados são independentes dos aplicativos que os utilizam e do tipo de dispositivos de armazenamento.

O desenvolvimento de bancos de dados e de *softwares* de gerenciamento de banco de dados é o fundamento dos métodos modernos para gerenciar dados organizacionais. A abordagem do gerenciamento de banco de dados consolida o fato de que os registros podem ser acessados por diferentes aplicativos. Além disso, um importante pacote de *software* chamado sistema de gerenciamento de banco de

dados (SGBD) funciona como interface do aplicativo e o banco de dados e ajuda os usuários a acessarem facilmente os registros. O SGBD permite controlar como os registros são criados, consultados e mantidos para fornecerem as informações necessárias aos usuários finais e suas organizações.

Avanços contínuos na informática e suas aplicações nas empresas têm resultado na evolução de diversas categorias conceituais importantes de BD ^[26]:

- Banco de dados operacionais – esses bancos de dados armazenam dados detalhados necessários para apoiar as operações da organização com um todo. Eles também são chamados “banco de dados de transação” e “banco de dados de produção”. São exemplos desse tipo: o banco de dados de clientes, banco de dados de pessoal, banco de dados de estoque etc.
- *Data Warehouse* – armazena dados do ano atual e anos anteriores que foram extraídos dos vários bancos de dados operacionais de uma organização. É uma fonte central de dados que foram classificados, editados, padronizados de tal forma que podem ser utilizados por gerentes e outros profissionais para uma multiplicidade de formas de análise empresarial, pesquisa de mercado e apoio à decisão. Os dados podem ser subdivididos em “mercados de dados”, que guardam subconjuntos específicos de dados. Um uso importante dos dados do *data warehouse* é o *data mining*. No *data mining*, os dados de um *data warehouse* são processados para identificar fatores e padrões das atividades de negócios.
- Banco de dados distribuído – muitas organizações reproduzem e distribuem cópias ou partes de bancos de dados para servidores de rede em uma multiplicidade de locais. Esses bancos de dados distribuídos podem residir em servidores na Internet ou Intranet. Os bancos de dados distribuídos podem ser cópias de bancos de dados operacionais ou qualquer outro tipo de base de dados. A reprodução e distribuição do banco de dados são feitas para melhorar o desempenho e a segurança.

- Banco de dados externos – o acesso a uma abundância de informações de bancos de dados externos é disponível em muitas fontes na Internet, mediante o pagamento de uma taxa em serviços comerciais *on-line* ou mesmo sem ônus. Os sites da rede fornecem uma variedade infinita de páginas de documentos interligadas por *hyperlinks*, podendo-se visualizar ou carregar para o computador resumos ou cópias completas de centenas de jornais, revistas, documentos de pesquisa e outros materiais publicados.

Dentre esses, os bancos de dados distribuídos são de especial importância para o desenvolvimento do trabalho e serão descritos com mais detalhes na seção a seguir.

2.2.2 Banco de dados distribuídos

Historicamente, observa-se que as organizações são cada vez mais pressionadas para obter informações de forma mais rápida e confiável para melhorar o processo de tomada de decisões. Nas últimas décadas, a Tecnologia da Informação (TI) evoluiu consideravelmente, desde os primeiros computadores centrais ou *mainframes* até os atuais sistemas distribuídos. Essa visão moderna busca obter vantagens principalmente em três aspectos: confiabilidade, disponibilidade e custo acessível. Um importante componente dos sistemas distribuídos é o banco de dados distribuído (BDD). Ele é o responsável pelo armazenamento e recuperação das informações de forma transparente para os clientes. Um BDD deve ter como características ^[27]:

- Autonomia para transações locais;
- Independência em relação a um *site* central;
- Confiabilidade (tolerância às falhas);
- Independência de localização;
- Independência de fragmentação (se os dados estiverem fragmentados em vários sites, isso deve ser imperceptível ao cliente);
- Independência de replicação;

- Processamento distribuído das consultas;
- Independência de *hardware*;
- Independência de sistemas operacional;
- Independência da rede;
- Independência do SGBD.

Definindo, o BDD é uma coleção de vários bancos de dados logicamente inter-relacionados, distribuídos por uma rede de computadores (figura 7). Existem dois tipos de banco de dados distribuídos, os homogêneos e os heterogêneos. Os homogêneos são compostos pelos mesmos bancos de dados; já os heterogêneos são aqueles que são compostos por mais de um tipo de banco de dados.

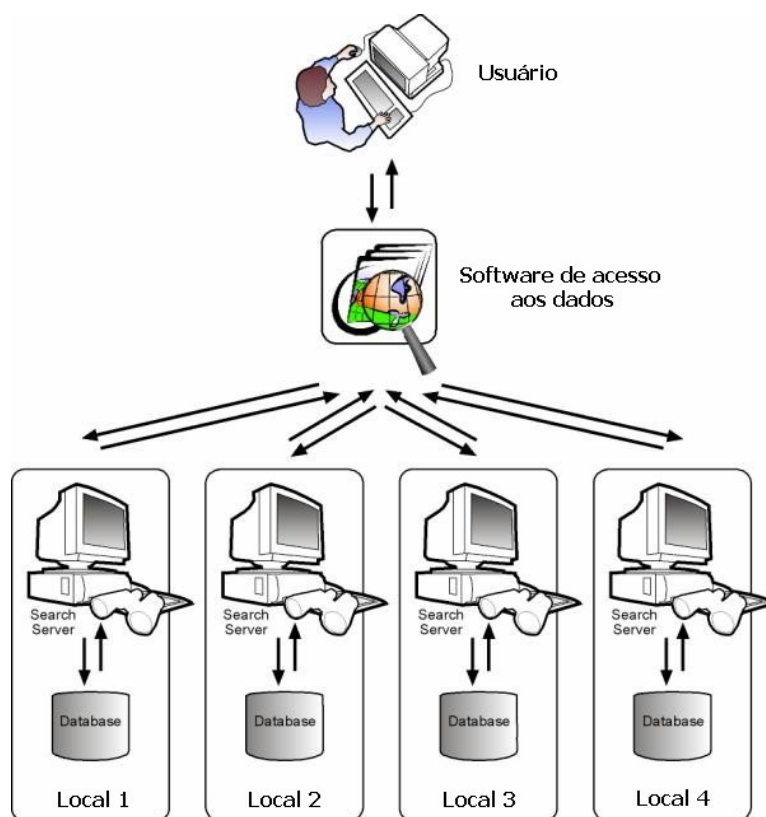


Figura 7 – Esquema geral de um banco de dados distribuídos (adaptado de ^[28]).

Num BDD os arquivos podem estar replicados ou fragmentados. Quando os dados se encontram replicados, existe uma cópia de cada um dos dados em cada nó, tornando as bases iguais (ex: tabela de produtos de uma grande loja). Já na fragmentação, os dados se encontram divididos ao longo do sistema, ou seja, a

cada nó existe uma base de dados diferente se for observado de uma forma local, mas se for analisado de uma forma global os dados são vistos de uma forma única, pois cada nó possui um catálogo que contém informação dos dados dos bancos adjacentes (figura 8).

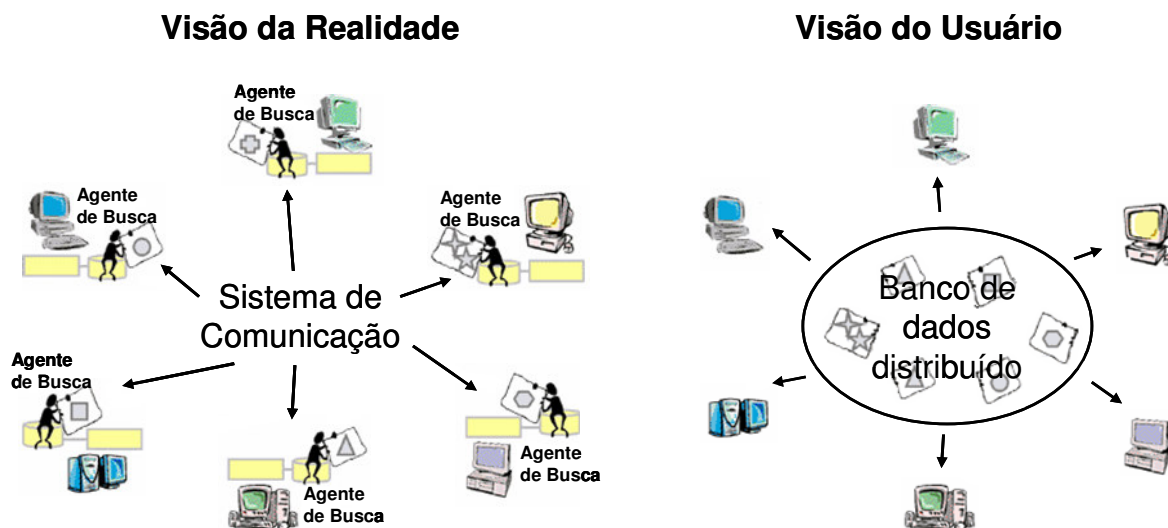


Figura 8 – Visão do usuário e visão da realidade em um banco de dados distribuídos (adaptado de ^[29]).

Porém, os BDD apresentam algumas desvantagens em relação à base de dados central, que são listadas abaixo:

- Custo do desenvolvimento do software,
- Sobrecarga no processamento;
- Aumento da complexidade para assegurar a coordenação adequada dos nós.
- Aumento do custo de manutenção;
- Maior complexidade no sistema de *backup*;
- Maior risco de ataque.

2.3 MÉTODOS DA ENGENHARIA DA QUALIDADE

Em princípio, qualquer método que, usado num contexto de gestão e melhoria da qualidade de produto e processo, colabore para transformar informação em conhecimento, pode ser chamado de método da engenharia da qualidade. A este conjunto pertencem, então, ferramentas simples para análises localizadas, tais como o histograma e o diagrama de dispersão, mas também métodos complexos de abrangência ampla, como o QFD e o FMEA. Cada um destes métodos afeta de forma distinta a qualidade percebida pelo cliente, conforme figura 9.

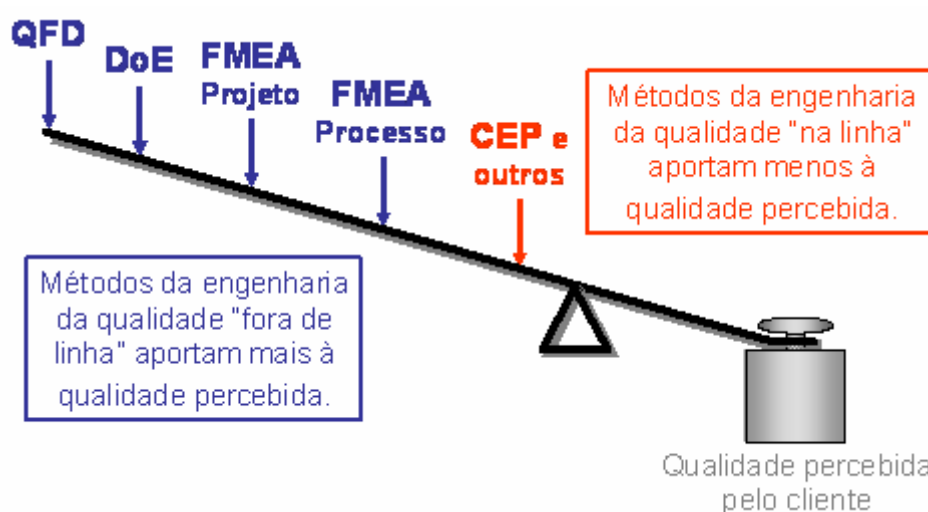


Figura 9 – A “alavanca da qualidade” com os principais métodos da engenharia da qualidade.

Dentre os métodos preventivos selecionou-se o PFMEA, ou FMEA de processos, por ser um método tipicamente aplicado por empresas que atuam na cadeia de fornecimento de grandes empresas, sobre as quais pesa a exigência de ter um sistema da qualidade documentado e tecnicamente evoluído, com foco na prevenção de falha. Esse método acontece tipicamente num ciclo multinível, que relaciona o nível operacional com o nível de planejamento. Dentre os métodos *on-line* da engenharia da qualidade, somente a inspeção 100% e o CEP serão brevemente apresentados e discutidos. Estes métodos são aplicados nos ciclos de controle da qualidade mononível e próximo à máquina.

Não será o objetivo desta apresentação descrever em detalhes os métodos e sua aplicação na indústria, mas somente estabelecer as bases para construir um

S2IQ que suporte a aplicação desses métodos nas empresas alvo desta dissertação.

2.3.1 FMEA de processos - PFMEA

Muitas pequenas empresas não possuem desenvolvimento de produto próprio, sendo que trabalham com especificações geradas pelos seus clientes. O foco destas empresas está no desenvolvimento de processos e na execução do produto, garantindo entregas com o prazo e a qualidade exigida pelo cliente.

O FMEA é um método sistemático cujo objetivo é aumentar a confiabilidade através da prevenção de falhas e não-conformidades. Em particular, o FMEA de processos se concentra nas falhas que possam decorrer de fragilidades no desenvolvimento e operação dos processos de fabricação. A execução do PFMEA é responsabilidade da equipe multifuncional constituída para o desenvolvimento do processo. Cronologicamente, ele é realizado principalmente durante o denominado Planejamento Avançado da Qualidade de Produto (PAQP) ^[30]. Contudo, seus resultados devem ser continuamente atualizados quando se produzam mudanças que possam afetar a confiabilidade do processo, acompanhando assim o histórico das melhorias.

O método consiste em identificar, em cada operação de manufatura, as possíveis falhas, suas conseqüências e suas causas. Para fins de avaliação do nível de risco estabelecem-se três indicadores, definidos numa escala de 1 para 10.

O primeiro indicador é a “*severidade*” (S), que descreve qual a importância das conseqüências da falha. O valor mais alto (S=10) corresponde às falhas que possam gerar acidentes com perdas de vidas humanas ou não atendimento de requisitos legais; o valor mais baixo (S=1) corresponde às falhas sem conseqüências aparentes.

O segundo indicador, a “*ocorrência*” (O) descreve a freqüência com que se apresentam as causas de falha durante a operação do processo, sendo que o valor do indicador aumenta na medida em que a freqüência é maior.

O terceiro é a “*detecção*” (D), que avalia a eficácia dos controles implantados para prever a falha ou limitar sua propagação. O valor do indicador aumenta de forma inversamente proporcional à eficácia dos controles instalados.

Uma vez atribuídos os valores dos três indicadores para cada uma das causas potenciais de falha, pode-se calcular o denominado “*nível de prioridade de risco*” (NPR), multiplicando entre si a *severidade*, a *ocorrência* e a *detecção* (SxOxD). Usualmente se considera que valores NPR>50 indicam risco inaceitável e ações corretivas devem ser iniciadas para aumentar a *detecção* e/ou diminuir a *ocorrência* das causas de falha.

Na literatura podem ser encontradas informações mais detalhadas sobre o PFMEA ^{[31].[32]}. Para fins deste trabalho é importante salientar a forte dependência que existe entre o PFMEA e o desempenho dos processos aos quais se refere. Um PFMEA bem executado terá um efeito benéfico na redução da taxa de falhas e não-conformidades. Porém, os resultados do PFMEA não serão confiáveis a menos que se disponha de informação objetiva sobre o desempenho do processo. No caso de processos novos, em implantação, a *ocorrência* e a *detecção* deverão ser obtidas por analogia, a partir da informação sobre desempenho de processos que possam ser considerados similares. Para processos em andamento, a informação sobre desempenho, obtida numa base contínua, permite avaliar o impacto das melhorias incrementais na redução do *nível de prioridade de risco*. Desta forma, os resultados das sucessivas revisões do PFMEA evidenciam o comprometimento da empresa com a melhoria contínua.

Assim, para fins das análises de confiabilidade, podem-se identificar algumas informações-chave a serem obtidas no ambiente de produção:

- Tipos de falhas e não-conformidades;
- Causas das falhas e não-conformidades;
- Freqüência de atuação das causas;
- Capacidade de detecção dos meios implementados para prevenção e segregação de falhas e não conformidades.

Essas informações devem estar armazenadas na BDQ para que a implementação da garantia preventiva da qualidade seja possível.

2.3.2 Controle estatístico de processos - CEP

O CEP é um método da engenharia da qualidade que, utilizando gráficos de controle, permite analisar a variação existente numa seqüência de dados gerados durante a operação de um processo, com o objetivo de atuar sobre o mesmo para alcançar e manter o estado de controle ou previsibilidade e reduzir continuamente sua variabilidade (figura 10).

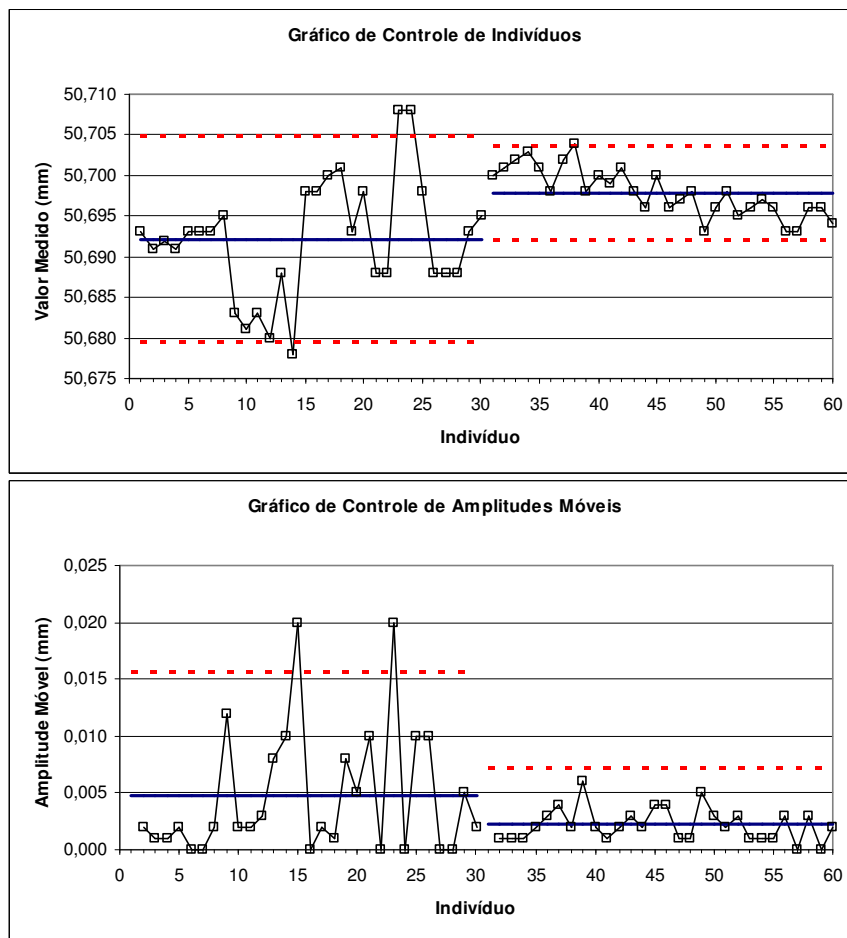


Figura 10 – Evolução de um processo de usinagem real, mostrada através do gráfico de controle – à esquerda, o comportamento do processo antes da aplicação de CEP; à direita, o mesmo processo depois da aplicação de CEP ^[17].

Na gestão dos processos de fabricação, o CEP é um elemento central do ciclo de controle da qualidade próximo à máquina. O operador é responsável por coletar os dados, plotar e analisar os gráficos de controle. Se houver sinais de que o processo está fora de controle, ele ou outras pessoas que se relacionam diretamente com o processo em questão (um preparador de máquina, o líder da

célula ou setor, ou um supervisor) deverão implementar ações corretivas para eliminar as causas do excesso de variação (causas especiais). Afirma-se que, na medida em que o processo sofre repetidas intervenções desse tipo, se produz uma redução da variabilidade sem necessidade de realizar mudanças nem investimentos adicionais ^[33]. Assim, o CEP é uma ferramenta de importância fundamental nas empresas que desejam operar seus processos “no alvo, com variação mínima” ⁽ⁱ⁾.

Ao mesmo tempo, o CEP é um fornecedor de informação de alta qualidade sobre o desempenho dos processos de fabricação. Essa informação pode e deve ser usada na aplicação dos métodos preventivos da engenharia da qualidade (e.g. PFMEA) para melhorar os processos de fabricação e inspeção. Como já foi mencionado, esse tipo de análise depende dos setores de planejamento, pelo qual se pode afirmar que o CEP também atua num ciclo de controle multinível.

Sistemas convencionais para realização do CEP em fabricação envolvem coleta manual de dados, registro e plotagem dos gráficos em papel, interpretação do gráfico e posterior tomada de decisão sobre a necessidade, ou não, de intervir no processo. A execução manual de todas as tarefas inerentes ao CEP pode não só estar sujeita a uma série considerável de erros, como também, implicar em atrasos nas ações corretivas, gerando um aumento da variabilidade e, eventualmente, a fabricação de produto fora das especificações.

As principais fontes de erros encontradas no controle estatístico manual são mostradas na figura 11 e comentadas nos parágrafos subseqüentes.

⁽ⁱ⁾ Afirmação atribuída ao Prof. G. Taguchi e que diz respeito à definição de “qualidade classe mundial”.

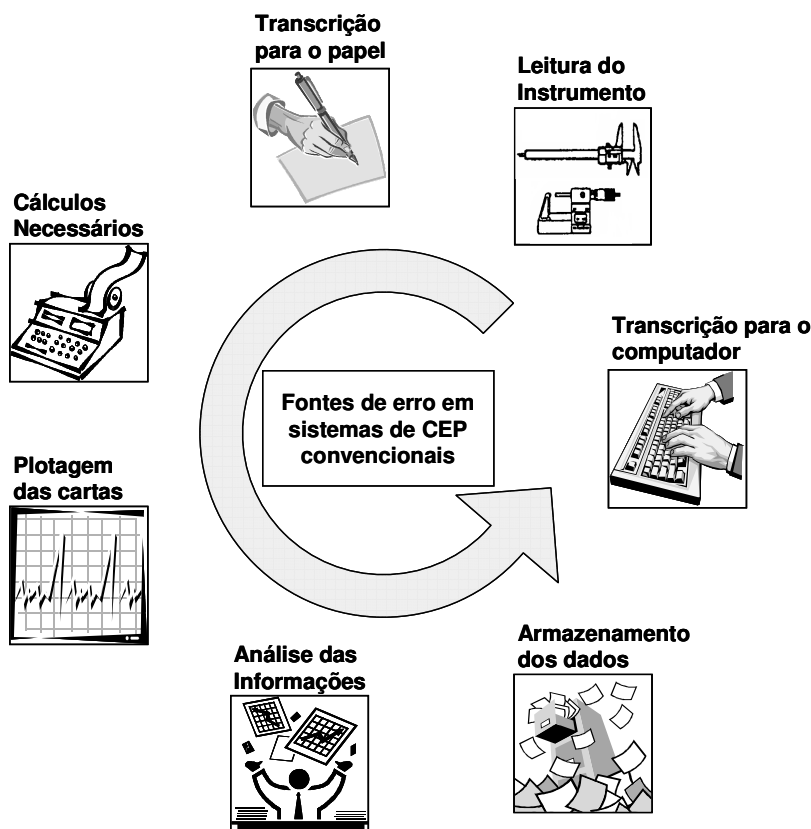


Figura 11 – Principais fontes de erros encontrados em sistemas CEP convencionais.

No ciclo de controle perto da máquina, ou no ciclo mononível que se realiza na produção, podem se introduzir os erros a seguir:

- Na coleta de dados o operador realiza a leitura de um ou vários sistemas de medição. Dependendo do tipo de indicador (mostrador analógico, mostrador digital, nônio etc.) será necessária uma maior ou menor atenção, podendo acarretar erros de leitura.
- Na transcrição das leituras para a planilha de levantamento de dados poderão ocorrer, na transposição de números, números incorretos e escrita ilegível.
- Após completar cada amostra, o operador deve calcular o valor das estatísticas de posição e dispersão, registrando os valores na planilha e localizando os pontos correspondentes no gráfico. Nesta seqüência podem se introduzir erros de cálculo, de registro e de plotagem.

- Após a plotagem, o operador deve verificar a existência de sinais de que o processo está fora de controle. Se as houver, deverá identificar as causas especiais de variação e proceder a sua eliminação. Os eventos ocorridos, tais como trocas de ferramentas, paradas de máquina, manutenções, problemas com as matérias-primas, entre outros, devem ser registrados no “diário de bordo” para auxiliar na avaliação posterior dos dados coletados. Tem-se comprovado que muitas vezes esses registros são errados, pouco claros ou não existem.

Nas outras zonas de atuação, tipicamente na Engenharia de Processos ou na Garantia da Qualidade, a informação contida nos gráficos de controle é pós-processada para identificar oportunidades de melhoria e criar registros mais duradouros e organizados. Frequentemente, é necessária a digitação dos dados brutos para seu processamento e armazenamento eletrônico. Eventualmente, relatórios de capacidade de processos podem ser gerados para os clientes. Neste processo novos erros podem ser introduzidos, devido ao tédio que a tarefa de digitação gera em quem a faz.

Pelo exposto acima, fica evidente a necessidade da automatização das etapas do CEP, como uma maneira de tornar o controle mais rápido e confiável, permitindo a realimentação do processo em tempo hábil. Segundo Hayakawa, as vantagens dos sistemas completamente automatizados para realização de CEP (incluindo coleta e processamento de dados) são as seguintes ^[34]:

- Eliminação da necessidade de o operador memorizar a leitura realizada no instrumento e depois transcrevê-la para o papel;
- Eliminação do erro de digitação, caso haja necessidade de armazenar e processar os dados em meio eletrônico;
- Gerenciamento da qualidade dos produtos em tempo real, o que acarreta um aumento da produtividade na ordem de 97%;
- Redução de 50%, em média, do tempo de treinamento dos operadores, pois se foca mais nas ações do que nos cálculos;
- Possibilidade de retroalimentação para um sistema com CLP para atuação automática no processo;

- Integração com diversos equipamentos que fornecem as leituras obtidas;
- Integração com coletores de dados, mas com coleta direta.

Há numerosas soluções comerciais para automação do CEP. Trata-se, na maioria dos casos, de sistemas para uso corporativo em empresas médias e grandes, que oferecem uma grande diversidade de opções no que diz respeito à coleta de dados, tipos de gráficos de controle e formas de armazenamento e recuperação da informação. Esses sistemas apresentam interfaces relativamente complexas, dificultando sua utilização por operadores pouco familiarizados com a informática. Estas características, somadas ao custo relativamente alto, os tornam uma opção pouco convidativa para pequenas empresas.

Contudo, essa diversidade não representa necessariamente uma vantagem para a aplicação industrial do CEP. De fato, é incomum encontrar empresas que apliquem gráficos de controle que não sejam os clássicos de Shewhart ($\bar{X} - R, I - mR, \bar{X} - S$). Essa situação já foi reportada por Woodall, que afirma que o nível das aplicações reais de CEP é muito inferior ao desenvolvimento acadêmico na temática ^[35]. Assim, desde o ponto de vista de uma pequena empresa, ou até mesmo para as grandes, as opções extras não parecem agregar valor suficiente para justificar custos maiores.

2.3.3 Inspeção 100%

A inspeção 100% é a avaliação de conformidade de cada unidade produzida. Usa-se esse tipo de inspeção quando características da qualidade que podem produzir falhas de alta severidade ou para as quais é exigido “zero defeito”, ou quando são produzidas por processos de fabricação instáveis ou que apresentam baixa capacidade ($C_p \leq 1,33$). Ela pode ser realizada manualmente, com intervenção do operador, ou de forma automática, em equipamentos especialmente projetados. A inspeção não agrega valor ao produto nem melhora o desempenho do processo, mas evita, dentro de certos limites, que unidades defeituosas cheguem às mãos dos clientes.

Infelizmente os erros de inspeção mencionados no Capítulo 1.2 são mais frequentes do que seria desejável. No caso da inspeção manual, a maioria destes

erros se deve ao tédio e cansaço do operador. Na inspeção automatizada o operador não tem influência relevante, mas há ainda os erros de inspeção de origem metrológica, decorrentes da repetitividade e tendência dos sistemas de medição envolvidos na avaliação de conformidade. Foi reportado que o efeito da tendência na probabilidade de aceitar produto não conforme é significativamente maior que o efeito da repetitividade ^[36]. Assim, a confiabilidade da inspeção 100% depende fortemente da gestão da medição no dia-a-dia da produção, particularmente da forma em que a zeragem dos instrumentos é realizada pelos operadores e outros atuantes no chão de fábrica.

Um aspecto que deve ser considerado é o fato de que a quantidade de erros de inspeção depende fortemente do comportamento estatístico do processo que fabrica as peças inspecionadas. Processos que trabalham fora do alvo ou que apresentam excessiva dispersão impactam sobre a inspeção de forma tal que a qualidade do produto após as medições fica prejudicada. Em geral, quanto menor é a capacidade de processo, maior será a contaminação do produto enviado ao cliente com unidades não conformes. Assim, mostra-se errada a estratégia de muitas empresas, que removem o CEP em processos submetidos a inspeção 100%.

Apesar de ser uma estratégia cara e não completamente confiável para obter qualidade no produto final, a inspeção 100% é amplamente praticada. Por essa razão, a automatização da aquisição e processamento dos dados gerados pela inspeção 100% é parte da solução proposta deste trabalho.

2.4 ASPECTOS DA METROLOGIA ASSOCIADA À PRODUÇÃO

A variação observada do processo (i.e. a variação dos valores adquiridos) é decorrente de duas fontes: variação do processo de fabricação do produto e a variação do processo de medição, sendo que estas duas fontes contêm ainda várias componentes (figura 12) ^[37].

As componentes de variação decorrentes do processo de medição podem ser analisadas e quantificadas para determinar a capacidade das medições. Para que essas componentes não afetem as decisões a serem tomadas no controle de produto e processo, o resultado dessas análises deve mostrar que a variação do

processo de medição é pequena frente à variação total presente nos dados e frente à tolerância do produto.

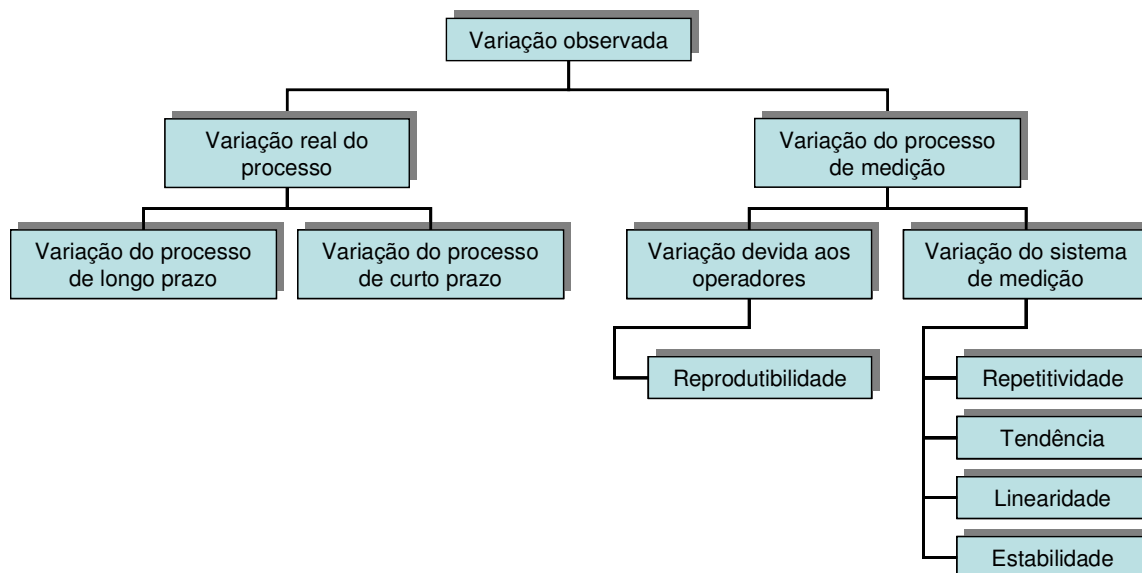


Figura 12 – Componentes da variação observada nos dados (adaptada de ^[37]).

Atualmente existe uma pressão crescente, por parte dos auditores de sistemas da qualidade, para que as empresas realizem estudos estatísticos dos processos de medição. No entanto, muitas empresas aplicam esses estudos de forma inapropriada e/ou não interpretam seus resultados para fins de melhoria contínua. Particularmente, as pequenas empresas têm dificuldades para executar e compreender os estudos estatísticos do processo de medição, operando sistemas de gestão da confiabilidade das medições baseados principalmente na calibração periódica dos sistemas de medição. Assim, uma parte significativa dos erros que podem se produzir na medição de produção fica oculta aos olhos de quem deve atuar na melhoria da qualidade do produto e do processo.

Além da seleção correta dos meios de medição a serem utilizados no processo produtivo, é necessário que as empresas tenham implantado um programa de calibração e garantia da qualidade das medições. Esse sistema deve considerar que as pessoas que irão operar o sistema de medição têm uma grande chance de medir de maneira diferente daquela para a qual o sistema foi concebido. De fato, a rotação interna e externa de operadores faz que os sistemas de medição estejam continuamente submetidos a modos de operação diferentes. Além disso, existe o problema da deterioração natural e dos incidentes, comuns no chão-de-fábrica, que

podem afetar o desempenho dos processos de medição. Qualquer distorção dos resultados será repassada como uma visão distorcida do processo produtivo. Por isso deve-se dispor de meios para garantir os resultados medidos numa base periódica e, mesmo assim, ser cauteloso ao analisá-los ^[38].

Todo este programa de gerenciamento dos meios de medição e garantia da qualidade dos resultados deve estar associado a um sistema de informação, no qual os dados gerados possam ser acessados e visualizados por todas as pessoas interessadas, no momento e formato necessários.

2.4.1 Os estudos estatísticos do processo de medição

Processos de medição de produção podem ser avaliados utilizando os estudos estatísticos descritos no MSA ^[14] e em outros manuais de referência do mesmo gênero ^{[39],[40]}. Estes estudos já foram analisados do ponto de vista técnico numa dissertação anterior ^[41]. Outras referências bibliográficas tratam também diversos aspectos da temática e podem ser consultadas por quem tiver interesse ^{[11],[17],[42],[43],[44]}. Conseqüentemente, não será necessário realizar descrições detalhadas dos aspectos estatísticos neste documento. Contudo, considerou-se necessário realizar uma breve discussão sobre aspectos de implementação dos estudos, bem como a gestão da informação sobre o desempenho dos processos de medição que possam impactar nas decisões do que é apropriado para as pequenas empresas.

A tabela 1 descreve brevemente quais estudos se recomendam realizar nos diferentes momentos do ciclo de vida de um sistema de medição e também características de amostragem recomendadas em cada caso ^[41]. Pode-se observar que os estudos de aceitação estão restritos ao ambiente controlado da planta do fornecedor e são realizados por operadores altamente qualificados. Após o sistema de medição ser instalado na planta, realizam-se os estudos de liberação, que avaliam o processo de medição nas condições ambientais da planta e com os operadores da produção. Finalmente, estabelecem-se requisitos de supervisão periódica durante a vida em serviço, para prever eventuais mudanças que possam afetar a confiabilidade das medições.

Tabela 1 – Resumo da aplicação dos estudos estatísticos nas diferentes etapas do ciclo de vida de um processo de medição ^[41].

	Aceitação	Liberação	Supervisão contínua
Repetitividade e tendência (<i>Cg</i> e <i>Cgk</i>)	Realizado preferencialmente na planta do fornecedor, antes de autorizar o transporte. Verificar estabilidade e capacidade potencial.		
Repetitividade e reprodutibilidade (R&R)	Realizado preferencialmente na planta do fornecedor, mas também para fins de teste de recepção do sistema de medição na fábrica, especialmente no caso em que a instalação no local de uso possa ser demorada.	Realizado no local de trabalho, envolvendo usuários reais do sistema de medição. Usar 10 peças, 3 operadores, 3 repetições. Sempre que possível, importar a VT de estudos de capacidade do processo de manufatura.	Realizado quando ocorre troca dos operadores da célula do setor. Neste caso predomina o valor de AV na composição do R&R. Usar 5 peças, 3 operadores, 2 repetições.
Repetitividade para sistemas automáticos (Re)	Substitui o estudo de R&R no caso de sistemas de medição automáticos ou dispositivos sem influência do operador. Condições e situações de aplicação são as mesmas. Usar de 20 a 25 peças e 2 repetições.		
Estabilidade		Realizado sempre que se trate de sistemas complexos, cuja instabilidade intrínseca não é bem conhecida, ou instalados em ambientes pouco controlados.	
Tendência		Realizado quando a calibração não garante a ausência de tendências significativas, particularmente em sistemas cuja tendência pode ser afetada pela montagem em dispositivos de controle ou pela ajustagem do zero. Pode ser substituído pelo estudo de linearidade (padrão central) ou pelo estudo de estabilidade quando se usa um padrão calibrado. Usar 1 peça ou padrão, 10 repetições.	Devem ser implementados meios e procedimentos para ajuste correto da tendência em sistemas com ajuste de zero. Ajustes periódicos de tendência são automaticamente controlados quando se implementa PMAP TM
Linearidade		Realizado quando a calibração não garante a ausência de erros de linearidade significativos, particularmente em sistemas de medição com escalas não lineares ou ganho ajustável. Usar 5 peças ou padrões, 10 repetições.	Devem ser implementados meios e procedimentos para reajuste correto de linearidade em sistemas de ganho variável. Nesse caso, deverá dispor de 3 padrões para supervisão de rotina.
PMAP TM			Realizado sempre que que seja possível, mas particularmente em sistemas de medição com características significativas e críticas. Deve ser acompanhado de uma verificação funcional periódica documentada e um diário de bordo.

Destaque especial merece o conceito de PMAPTM ou programa de garantia do processo de medição [45]. A utilização de um PMAPTM para controlar o sistema de medição de uma maneira contínua tem sido recomendada por vários especialistas, com o objetivo de determinar, monitorar, controlar e melhorar a capacidade de medição do sistema de medição. Através da aplicação de um PMAPTM pode-se garantir que um processo de medição continua a medir dentro de limites confiáveis de incerteza, utilizando-se para isso técnicas de controle estatístico de processo.

O PMAPTM é baseado na avaliação de um valor de referência, estabelecido medindo-se repetidas vezes um padrão de controle calibrado, que é escolhido ou manufaturado para representar as características do produto que será medido com o sistema de medição [46]. Entre 20 e 25 medições são realizadas no padrão de controle, sendo a média e o desvio padrão dessas medições calculados. Os limites de referência são estabelecidos como a média e os limites superior e inferior de controle correspondente a 99,73%, denotados respectivamente por X-bar, LSC e LIC (figura 13). Adicionalmente, os limites de especificação superior e inferior (LSE e LIE, respectivamente) e o valor do certificado de calibração para o padrão de controle (valor do padrão) podem ser plotados. A diferença entre a média das medições de controle e o valor do certificado de calibração fornece uma estimativa do erro sistemático do instrumento de medição. Caso seja viável, o erro sistemático pode ser corrigido após medições de controle.

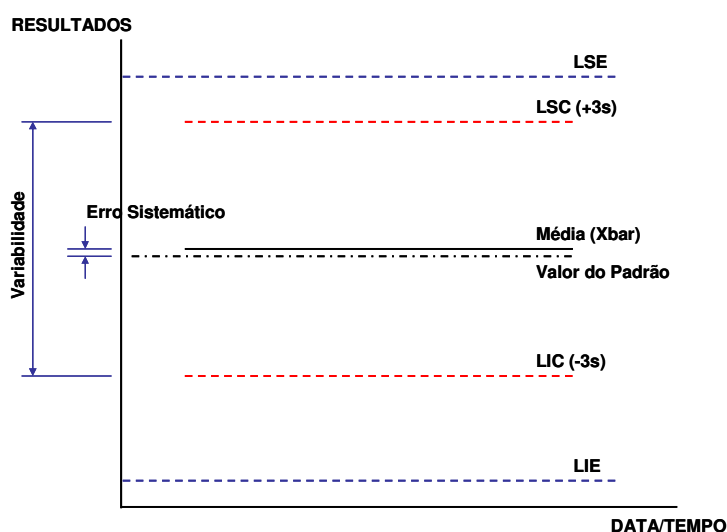


Figura 13 – Carta de controle de PMAP mostrando os limites de controle e os limites de erro do sistema de medição [45].

Algumas características do sistema de garantia da qualidade das medições precisam ser destacadas para possibilitar o projeto de um sistema de informação efetivo:

- Estudos estatísticos e um esquema de supervisão contínua baseado no conceito de PMAPTM deveriam ser implementados, minimamente, para todas as características críticas ou significativas de produto e processo contidas no plano de controle ^[47].
- O estudo de repetitividade e reprodutibilidade possui, entre todos, a mais ampla aplicação e maior aceitação na comunidade metrológica industrial.
- Há uma grande semelhança entre as técnicas estatísticas de controle do processo produtivo e do processo de medição. O PMAPTM utiliza os conceitos criados para o CEP, da mesma forma que o R&R utiliza conceitos da análise de variância (ANOVA) e pode ser usado para tratar os dados de experimentos que visem melhorar o desempenho dos processos de fabricação.
- Os estudos precisam ser feitos no local de uso do sistema de medição. A experiência mostra que muitas vezes dados atípicos aparecem durante a coleta de dados para o estudo de R&R, obrigando a repetir parcial ou totalmente o experimento. Caso os dados não possam ser processados na hora, ou seja, quando se faz coleta em papel, essa repetição pode demandar bastante tempo e causar transtornos na produção.

Desta forma pode-se enxergar claramente a vantagem em prover um suporte informático ao sistema de garantia da qualidade das medições, integrando-o num único sistema com a garantia da qualidade de produto e processo. Esse sistema integrado será descrito conceitualmente no próximo capítulo.

3 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA SUPORTE À QUALIDADE EM PEQUENAS EMPRESAS

O objetivo do presente capítulo é justificar e descrever conceitualmente um sistema de informação para suporte à qualidade de pequenas empresas. Para alcançá-lo, apresentam-se primeiramente as características destas empresas no que diz respeito à qualidade. A seguir descreve-se o modelo de um sistema mínimo e as soluções propostas para aquisição e tratamento da informação, assim como para a comunicação dentro e fora da empresa.

3.1 MODELO MÍNIMO EFETIVO DE GESTÃO DA INFORMAÇÃO PARA QUALIDADE

Um modelo para gestão da informação nas pequenas empresas brasileiras deve considerar as características econômicas e de gestão predominantes nestas organizações.

A primeira característica importante diz respeito à alta administração e ao estilo de gestão. Pequenas empresas são geralmente dirigidas pelo próprio proprietário, muitas vezes o fundador, um empreendedor que desenvolveu suas atividades com um estilo pessoal próprio, baseado em fortes crenças e obstinação pelo trabalho. Tudo isso leva à adoção de um estilo gerencial centralizador, não participativo e não integrado. O dirigente na maioria das vezes ocupa todo o seu tempo para garantir a sobrevivência da empresa em função de crises sucessivas ou da crise constante que está instalada na economia brasileira por anos. A preocupação com o curto prazo faz com que o dirigente, muitas vezes, não perceba

as ameaças de perda de competitividade perante novos concorrentes ou novas tecnologias que aparecem no mercado. Essa fragilidade gera medo da concorrência e dos próprios clientes, afetando a capacidade da empresa em se comunicar facilmente com o mundo exterior.

A segunda característica relevante, parcialmente conseqüência da situação descrita no parágrafo anterior, é a falta de recursos para investir na melhoria da qualidade e na metrologia. Isso afeta as decisões relativas aos meios de inspeção e equipamentos para visualização e processamento de dados, mas também a disponibilidade de pessoas para tratar informações e implementar melhorias. O foco está na produção, enquanto outras funções de planejamento são geralmente dispensadas para baixar os custos com pessoal não produtivo. Embora exista formalmente um responsável pela qualidade perante as empresas-cliente, esse profissional dificilmente recebe informação do andamento dos processos de fabricação numa base contínua. Assim, nada é feito a menos que aconteça uma não-conformidade ou reclamação de cliente. Não se atua na prevenção, porque todo o tempo disponível é usado em ações corretivas. Essa cultura, por sua vez, afeta a geração e distribuição da informação dentro da empresa. Só se pensa no cliente imediato dos dados: o operador e/ou inspetor que atua no chão-de-fábrica.

Por outro lado, a implantação de soluções para suporte à manutenção e melhoria da qualidade nas pequenas empresas deve ser gradativa, evitando choques culturais e intervenções massivas no processo produtivo que possam gerar rejeição e perdas econômicas. Para isso, deve-se criar um sistema de baixo custo que permita a progressiva expansão na medida em que recursos são gerados através da redução dos custos de má qualidade. Operadores, técnicos e/ou engenheiros da qualidade e do processo, e mesmo a alta administração devem poder operar o sistema sem complicações relevantes e sem necessidade de treinamentos demorados e dispendiosos.

A seguir será descrito o modelo mínimo de gestão de informação, no que diz respeito aos ciclos de controle que devem ser implementados, os responsáveis pelas diferentes tarefas e o tipo de informação a ser gerenciada.

3.1.1 Ciclos de controle e responsáveis pela sua operação

Um modelo de garantia da qualidade mínimo efetivo deve permitir a operação dos ciclos de controle da qualidade descritos na seção 2.1 , adaptando-os à realidade das pequenas empresas (figura 14).

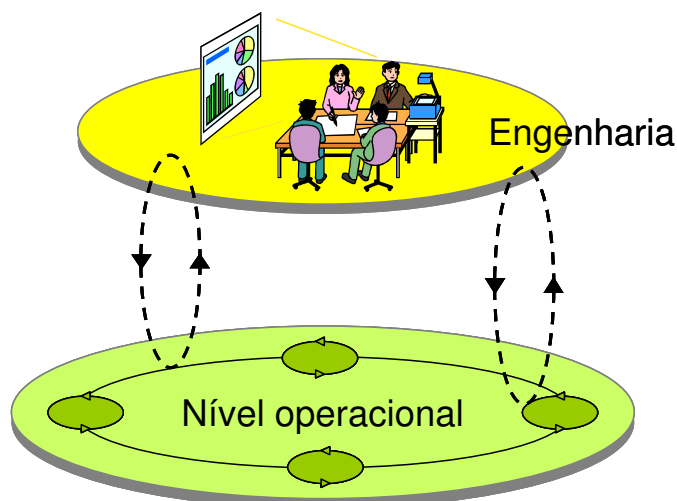


Figura 14 – Ciclos de Informação da qualidade necessários para empresas de pequeno porte.

Nos ciclos que acontecem no nível operacional, tipicamente ciclos no processo e próximo à máquina, dados são adquiridos para sustentar ações imediatas de segregação de produto não conforme e ajuste dos parâmetros do processo de fabricação. Essas atividades dependem principalmente dos operadores de processo e/ou dos preparadores das máquinas.

Neste nível propõe-se usar os métodos *on-line* da engenharia da qualidade descritos nas seções 2.3.2 e 2.3.3, i.e. controle estatístico de processos e inspeção 100%. A utilização de CEP permite identificar a presença de variações atípicas. Caso as houver, líderes, preparadores e/ou supervisores poderão ser mobilizados pelo operador, para atuar na identificação e remoção da causa especial correspondente. Deve-se lembrar que uma falha que está ocorrendo em um determinado processo pode ser causada por uma disfunção de um processo anterior ou até mesmo no início da cadeia produtiva. Assim, deve-se garantir que a informação possa ser utilizada também no ciclo mononível realizado entre os processos dentro de uma célula de manufatura ou entre várias células.

A informação gerada na produção irá alimentar também os ciclos de controle da qualidade multinível envolvendo a produção e a engenharia da qualidade e de processo. As informações geradas são usadas para atuar sobre as causas sistêmicas e efetuar as melhorias necessárias. Assim, os métodos *on-line* geram informações para os métodos *off-line* ou preventivos. Contudo, embora a fonte das informações seja a mesma e esteja localizada no chão-de-fábrica, o formato da informação não é necessariamente o mesmo que usam os operadores. Engenheiros devem receber informações concisas e simples de interpretar e não precisam de dados descrevendo a qualidade de cada unidade produzida.

Há ainda outros usuários potenciais das informações geradas na manufatura: a alta administração e as empresas-cliente. A alta administração pode precisar da informação para tomar decisões sobre investimentos, mas também para convencer os potenciais novos clientes de que a empresa está em condições de fornecer com a qualidade requerida. Por outra parte, os clientes podem usar a informação para auditorias de processos e para liberação de remessas de produto sujeitas à comprovação da qualidade antes do embarque.

3.1.2 Informações geradas na produção

Antes de resolver o problema da garantia da qualidade, é necessário levantar quais os tipos de informações que são relevantes em um processo fabril. Estas informações servem como base para determinar quais os requisitos e funcionalidades do sistema de informação objeto deste trabalho. A figura 15 mostra as informações de entrada e as informações geradas em diversas etapas de um processo de fabricação.

De maneira análoga, a figura 16 apresenta as informações de entrada e as geradas relativas às medições durante a fabricação. Nesta figura não foram incluídas as informações obtidas na calibração dos meios de medição, mas somente aquelas que estão relacionadas com a liberação e supervisão contínua, conforme explicitado na seção 2.4.1.

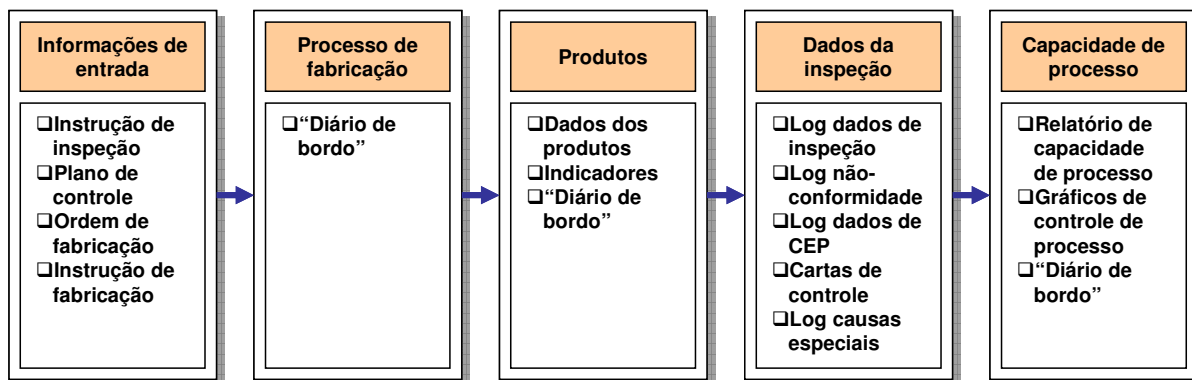


Figura 15 – Informações geradas em um processo de fabricação.

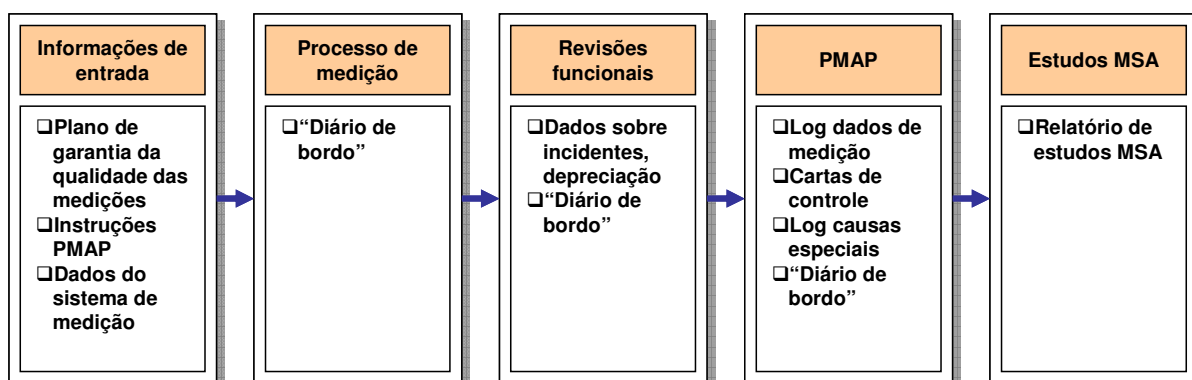


Figura 16 – Informações geradas em um processo de medição.

As figuras acima correspondem à fabricação de lotes finitos de produto de qualquer tamanho. O sistema de informação proposto nesta dissertação está focado principalmente em lotes pequenos e médios, não sendo direcionado para suporte da fabricação unitária ou customizada.

A partir desta breve descrição do sistema mínimo, pode-se definir as estratégias a serem seguidas e as tecnologias envolvidas no projeto do sistema de informação para suporte à qualidade.

3.2 FUNDAMENTOS DA PROPOSTA

Os fundamentos da solução proposta estão simbolizados na figura 17 e são brevemente explicados nos parágrafos a seguir.

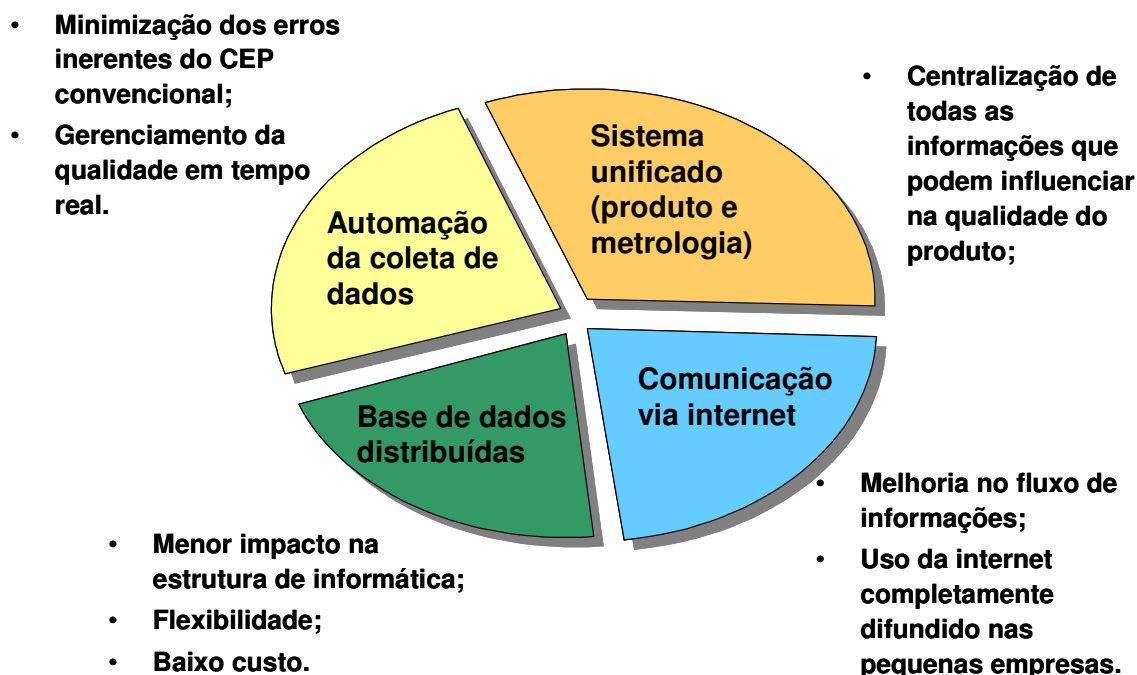


Figura 17 – Fundamentos da proposta de um sistema de informação para suporte à qualidade e produtividade em pequenas empresas.

O baixo custo dos computadores e a grande variedade de interfaces de instrumentos disponíveis no mercado tornam possível a implementação de soluções de automação da coleta e processamento de dados que no passado eram impossíveis ou muito caras. O sistema proposto consta de uma solução de *hardware*, composto basicamente por um computador do tipo PC comercial, conectado a uma rede, uma interface para instrumentos de medição e um *software* para tratamento da informação e visualização eficiente dos resultados nos distintos ciclos de controle da qualidade descritos na seção 3.1.1.

A unificação da supervisão da qualidade de produto e dos resultados de medição permite centralizar num único sistema todas as informações que podem influenciar na qualidade do produto. O uso de inspeção 100%, CEP e PMAPTM, com acesso aos gráficos em tempo real pelos operadores e outros atuantes na produção, viabilizam a intervenção imediata no caso em que se produzam unidades fora de especificação ou quando o processo de fabricação ou o processo de medição apresentem pontos fora dos limites de controle. Após a aquisição, os dados medidos são armazenados em um BD disponível no computador da própria célula, sendo que este pode ser acessado de qualquer outro computador ligado à

rede da empresa. Por precaução, *back-up's* periódicos são feitos no servidor da empresa ou em outro computador qualquer. Desta forma é fornecida uma solução integrada para o problema da geração e processamento da informação nos ciclos de controle da qualidade que acontecem no âmbito da produção.

Nos ciclos multinível não é tão necessário o acesso à informação em tempo real. Por isso, após eventos pré-determinados, por exemplo a finalização de um lote, relatórios personalizados contendo informações concisas são disponibilizados, via Internet, para os diversos tomadores de decisão da empresa. Esses relatórios são preparados após o processamento das informações contidas no BD da célula ou máquina. O sistema os envia automaticamente, sem necessidade de intervenção do emissor ou do receptor da informação. Caso o analista observe qualquer anomalia no relatório, ele poderá acessar os dados das características medidas arquivados no computador da célula, via rede, desde seu posto de trabalho, e analisá-los usando aplicativos comerciais como o MS-Excel[®]. Com isso torna-se possível que a informação chegue aos interessados sem que eles precisem solicitá-la, fomentando a participação dos envolvidos em atividades de melhoria que acontecem nos ciclos multinível.

Há ainda mais facilidades que podem ser implementadas a partir dos elementos apresentados na figura 17: a geração de relatórios automáticos para os clientes, com envio via Internet, e o acesso direto aos dados da célula ou máquina por um gestor da empresa em viagem de negócios.

O conceito geral do sistema de informação está representado, na forma de diagrama de blocos funcionais, na figura 18.

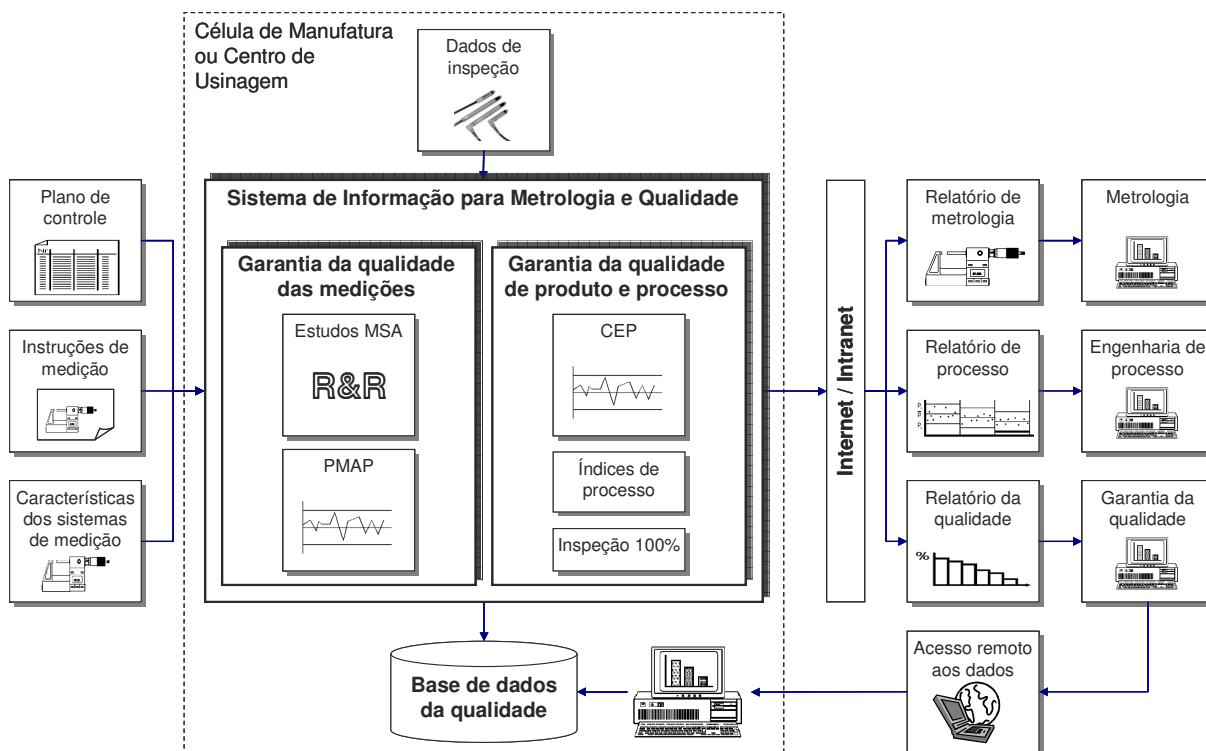


Figura 18 – Esquema geral do sistema de informação para suporte à qualidade e produtividade em pequenas empresas.

3.3 PROJETO CONCEITUAL DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO


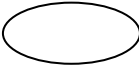
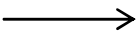
O projeto conceitual de um sistema de informação está intimamente ligado à construção do “modelo de casos de uso”. Esse modelo é um instrumento para descrição das intenções ou requisitos para um sistema computacional, além de servir como meio de documentação e comunicação com os clientes no processo de definição do sistema. Este modelo é diferente da visão funcional, que ao invés de focalizar as funções (atribuições técnicas) do sistema, o modelo de casos de uso captura os usos ou aplicações completas do sistema. Este modelo busca responder as questões: Que usos o sistema terá? Para que aplicações o sistema será empregado?

Os modelos de casos de uso são descritos através de “diagramas de casos de uso” na UMLⁱⁱ. De uma forma geral, cada projeto de *software* conterá um

ⁱⁱ **UML** – A Linguagem de Modelagem Unificada trata-se de uma notação padronizada usada para modelar objetos reais, como um primeiro passo da implementação de software.

diagrama de casos de uso ou vários subdiagramas, no caso de sistemas mais extensos e complexos^[48]. Estes diagramas utilizam como primitivas: “atores”, “casos de uso” e “relacionamentos” (tabela 2).

Tabela 2 – Alguns símbolos utilizados em diagramas de casos de uso.

Primitiva	Símbolo	Descrição
Ator		Atores são representações de entidades externas, mas que interagem com o sistema durante sua execução. Basicamente, a interação de atores com o sistema se dá através de comunicações (troca de mensagens).
Caso de uso		Caso de uso descreve uma aplicação ou uso completo do software. O conceito de caso de uso não deve ser confundido com o de módulo, já que um caso de uso não é um componente do sistema, mas sim um de seus empregos possíveis.
Relacionamento		O relacionamento entre um ator e um caso de uso expressa sempre uma comunicação entre eles, pois o ator, sendo uma entidade externa, não poderia possuir qualquer relacionamento estrutural com o sistema computacional. Ao contrário do relacionamento entre ator e caso de uso, as relações entre casos de uso nunca serão do tipo comunicação, sendo sempre estruturais.

3.3.1 Atores e suas atribuições

A Figura 19 representa os atores previstos e suas atribuições são listadas abaixo:

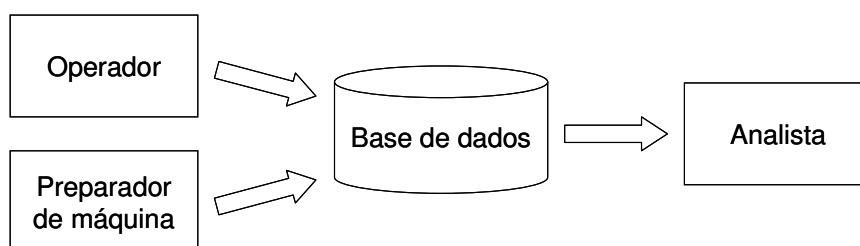


Figura 19 – Usuários do sistema.

As atribuições do operador são:

- Realizar medições no produto;
- Realizar medições nos padrões de PMAPTM e nas peças dos estudos de R&R;
- Visualizar gráficos de CEP em tempo real e índices de capacidade de processo;

- Visualizar histograma;
- Visualizar logs de causas especiais, não-conformidade e gráfico de Pareto para estes logs;
- Visualizar instruções de trabalho;
- Visualizar gráficos de PMAP™;
- Visualizar estudos anteriores de R&R.

As atribuições do preparador de máquina sãoⁱⁱⁱ:

- Cadastrar planos de controle;
- Cadastrar instrumentos de medição;
- Cadastrar padrões
- Criar, abrir e fechar lotes;
- Configurar características de lote;
- Agendar estudos;
- Criar relatórios customizados.

As atribuições do analista^{iv} são:

- Acessar valores medidos e valores CEP para recompor o gráfico;
- Acesso aos gráficos de CEP em tempo real;
- Acesso ao plano de controle;
- Acesso ao cadastro dos instrumentos;
- Acesso aos relatórios gerados pelo sistema.

ⁱⁱⁱ Dependendo do nível de instrução do preparador, estas atribuições podem ser total ou parcialmente repassadas para o supervisor do setor produção ou para o engenheiro de processos.

^{iv} O “analista” pode ser o engenheiro da qualidade ou de processos, ou ambos.

3.3.2 Diagrama de casos de uso do sistema de informação

Foi construído um diagrama de casos de uso para o aplicativo desenvolvido, separado em três subdiagramas, correspondente ao preparador de máquinas, ao operador e ao analista.

O operador tem um comportamento mais passivo em relação ao sistema, cabendo a este ator as funções de entrada de valores e visualização dos dados. Esta relação pode ser vista no diagrama de casos de uso apresentado na figura 20. Neste diagrama as aplicações predominantes são as de geração de gráficos, criação de relatórios, e visualização de informações referentes ao lote. O operador fica responsável pela entrada de dados das medições e todas as ações de criação e envio de relatórios são feitas automaticamente pelo sistema. Cartas de CEP em tempo real, “diário de bordo”, gráficos de Pareto e histogramas estão disponíveis para visualização, mas todos os parâmetros necessários para construção e criação destes gráficos são definidos pelo preparador. O operador possui acesso restrito e não tem acesso à parte de cadastro e configurações.

As funções de configuração e cadastro no sistema são de responsabilidade do preparador, que tem uma postura mais ativa em relação ao sistema. Suas aplicações são mostradas na figura 21. Este ator pode ser o próprio preparador de máquina, se este for habilitado, ou fica a encargo do departamento de garantia de qualidade. As funções atribuídas a esta pessoa são de grande importância para o funcionamento global do sistema e devem ser cuidadosamente planejadas. O preparador é responsável pelo cadastro de planos de controle, cadastro de sistemas de medição, criação e configuração de lotes, criação de relatórios personalizados, entre outros.

Um terceiro nível, representado pelo analista, é baseado no acesso aos dados via Internet/Intranet. Este ator espera acessar toda a base de dados do sistema diretamente do seu posto de trabalho. Além do recebimento de relatórios, é importante que os analistas tenham acesso aos valores medidos e aos valores dos gráficos de controle, para que estas informações possam ser utilizadas para uma análise mais aprofundada. O sistema deve ser capaz de gerar gráficos de CEP e disponibilizar um resumo das informações de cada lote, para acompanhamento global dos processos da empresa. Gráficos de PMAPTM, planos de controle e dados

do sistema de medição estão disponíveis para consulta, caso se julgar necessário. O diagrama de casos de uso para o analista é apresentado na figura 22.

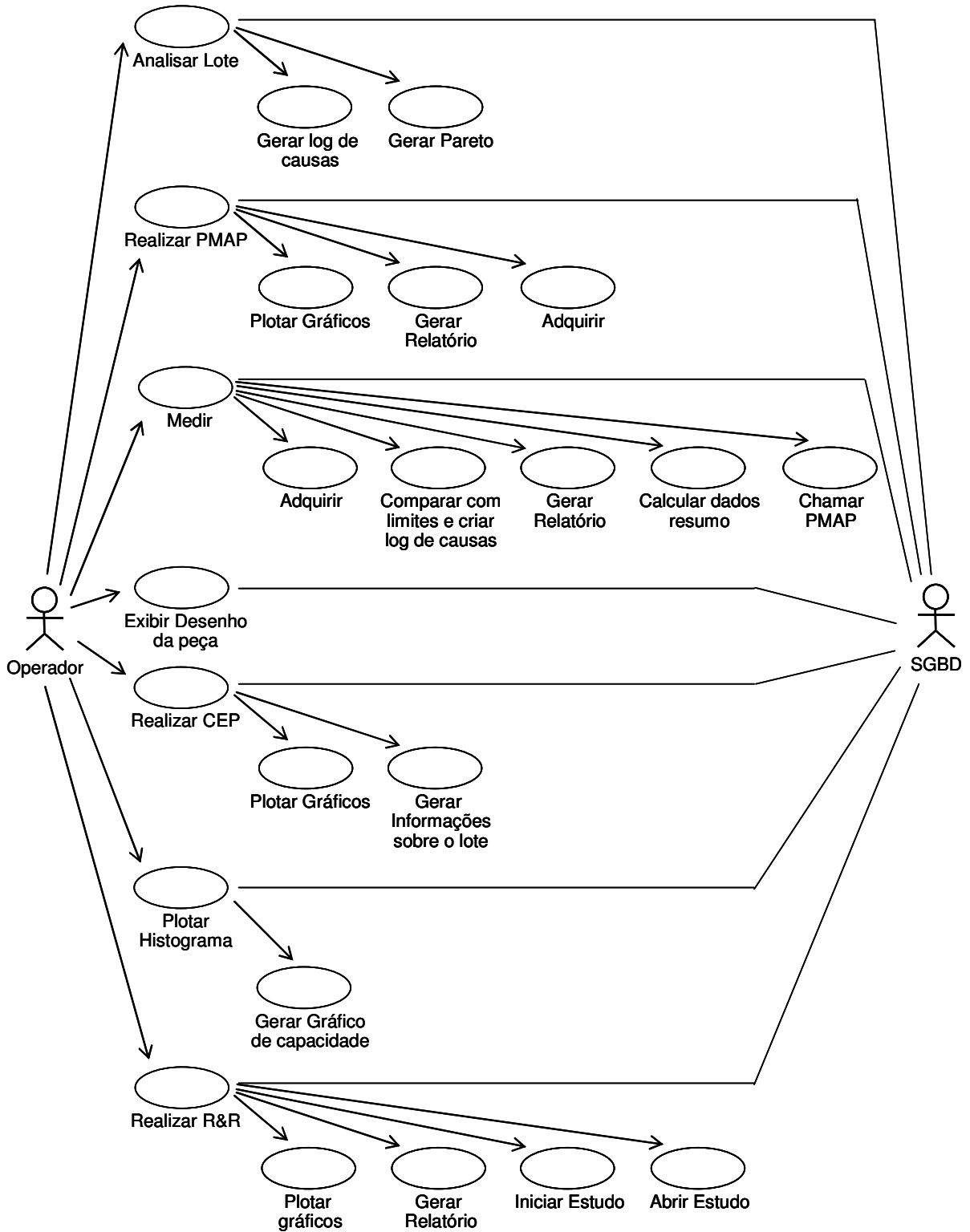


Figura 20 – Diagrama de casos de uso para o operador de máquinas.

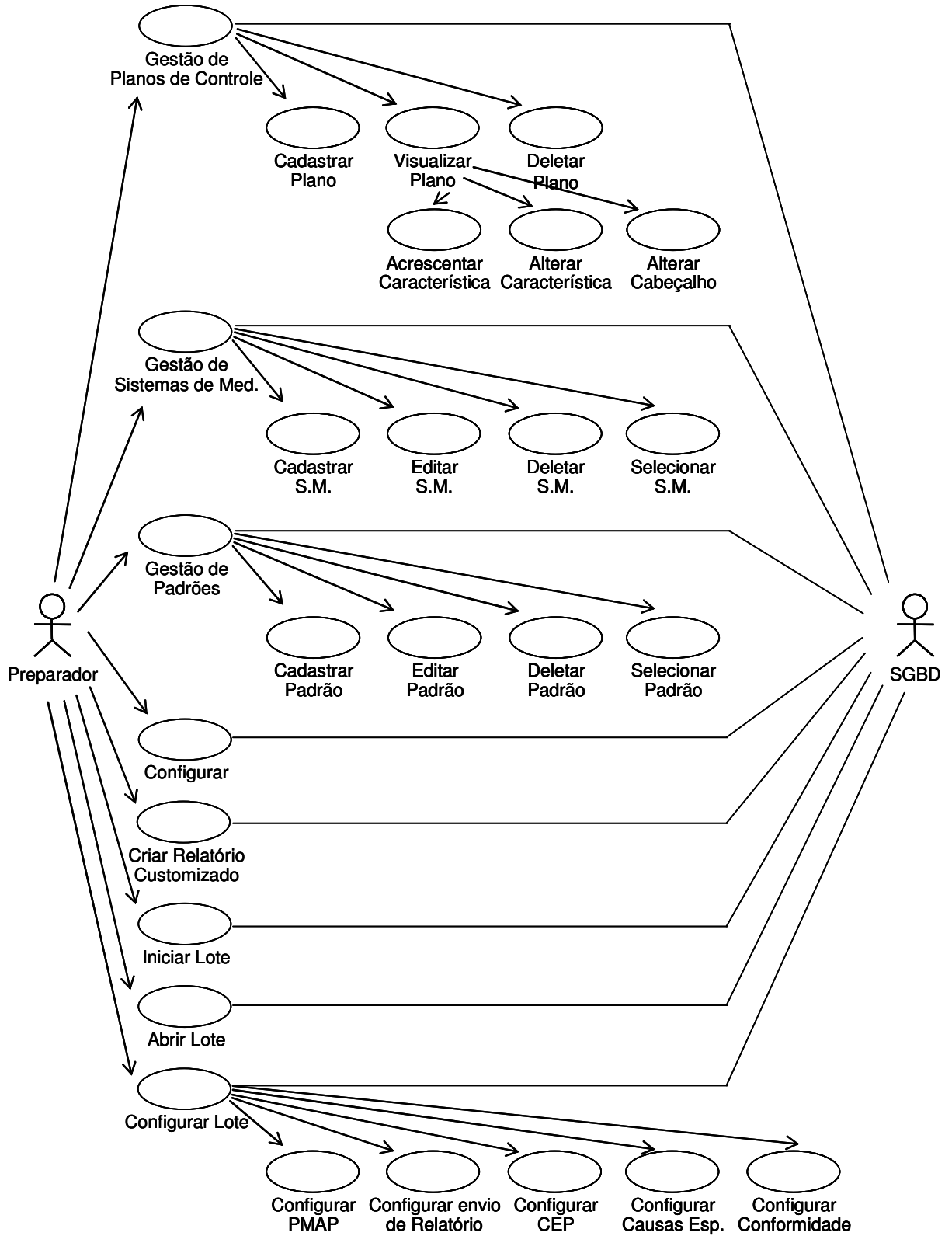


Figura 21 – Diagrama de casos de uso para o preparador de máquinas.

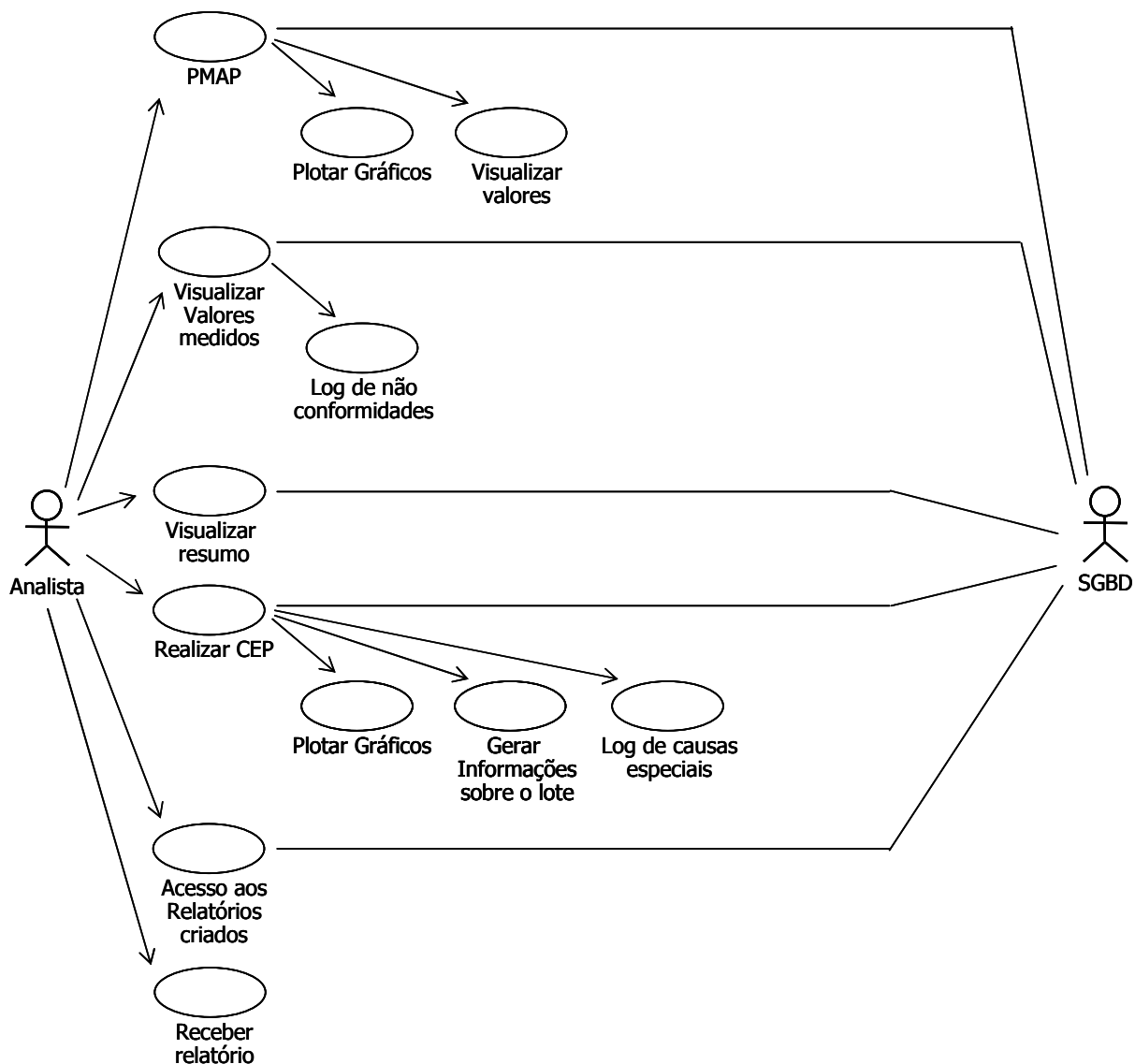


Figura 22 – Diagrama de casos de uso para o analista.

3.4 COLETA DE DADOS

3.4.1 Graus de automação

A coleta de dados junto ao processo de fabricação pode-se dar em diversos graus de automação (figura 23) ^[49].

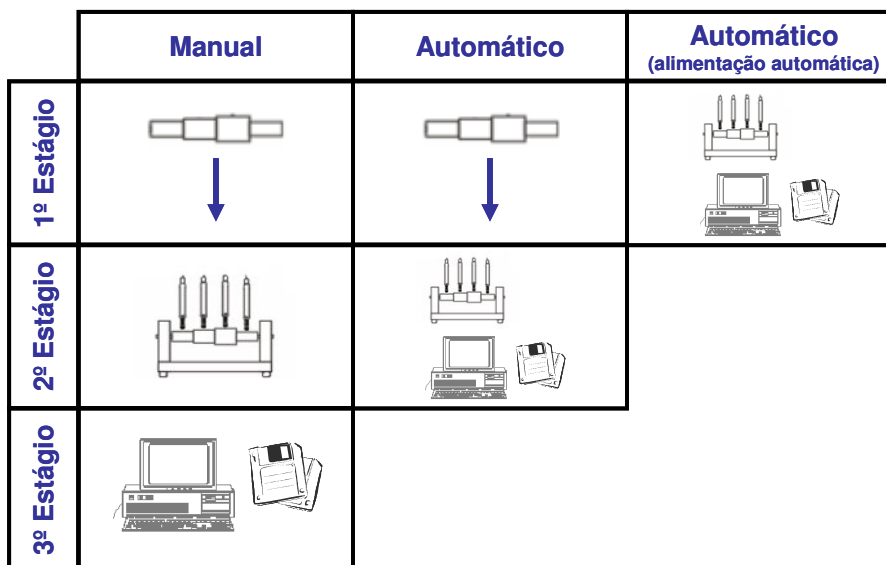


Figura 23 – Estágios da automatização da coleta de dados do processo.

O primeiro grau de automatização utiliza um meio de armazenamento eletrônico de dados. As leituras dos instrumentos de medição e as indicações de eventos ocorridos durante a fabricação são introduzidas manualmente, através de terminais adequadamente projetados (teclado). A velocidade de recuperação da informação aumenta, mas a aquisição é lenta e está sujeita a erros de leitura e transcrição. O sistema deve ser capaz de fazer validação dos dados e de enviar mensagens sobre erros. Dispositivos de entrada em código de barras podem facilitar a entrada manual de informações relativas à rastreabilidade do produto.

No segundo e terceiro graus de automação, a aquisição é automática e não necessita da intervenção direta do usuário. Os dados podem ser fornecidos pelos sistemas de controle do processo, por coletores e concentradores de dados, por medição ou dispositivos de teste com inteligência local ou por um programa que opera no mesmo computador. Em aplicações que exigem rápida avaliação de dados medidos ou calculados para controlar o processo, a medição ou controle do teste pode ser manipulado por um computador convencional, que transmite os resultados automaticamente para o BD. Para a aplicação destes níveis de automação, é necessário substituir os instrumentos de medição convencionais por outros que possuam saídas elétricas analógicas ou digitais compatíveis com interfaces e sistemas de processamento.

O segundo grau consiste na automação da aquisição dos dados dos sistemas de medição e dos sensores de monitoração de eventos, restando ao operador a intervenção parcial de colocação e retirada da peça no dispositivo de medição. Neste caso são eliminados os erros de leitura e transcrição da informação.

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

3.4.2 Possibilidades de pré-processamento

Outra vantagem da automação da coleta de dados é a facilidade de se programar funções matemáticas para processar os valores medidos. Em sistemas convencionais, os dados coletados são anotados em uma planilha de cálculo para depois serem processados, pelo próprio operador ou posteriormente pelo pessoal da qualidade. No sistema automático de coleta, os dados brutos adquiridos pelos transdutores podem receber o tratamento matemático adequado em tempo real, disponibilizando para o operador o valor da característica da qualidade que está sendo avaliada. Assim o sistema pode ser aplicado à medição de características que precisam de aplicações matemáticas complexas, como medição de um diâmetro utilizando algoritmos de ajuste, medição de parâmetros de engrenagens, etc.

Um esquema de funcionamento da aquisição e pré-processamento é ilustrado na Figura 24.

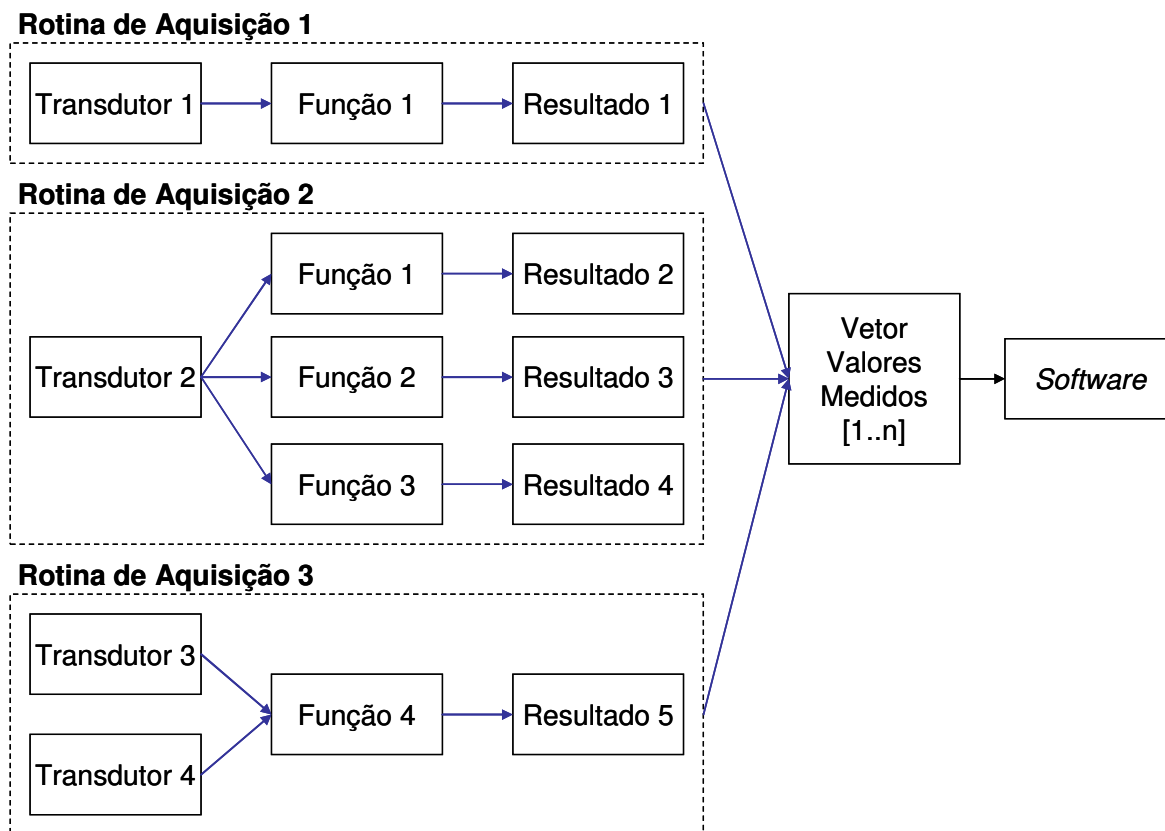


Figura 24 – Pré-processamento dos valores medidos.

A “Rotina de Aquisição 1” corresponde ao caso em que somente é necessário um transdutor para realizar a medição. Um exemplo desta situação é a medição de um diâmetro quando se usa um transdutor indutivo e um ponto fixo. A “função 1”, neste caso, se reduz a somar o valor informado pelo transdutor com o valor calibrado do padrão usado para zerar o instrumento.

A “Rotina de Aquisição 2” representa a situação em que o sinal de um transdutor pode originar diversas características da qualidade. Esse é o caso da medição dos diversos parâmetros que caracterizam o funcionamento de uma engrenagem usando um engrenômetro. Esse caso será desenvolvido no capítulo 5 como uma das aplicações do sistema.

A “Rotina de Aquisição 3” se usa quando a medição de uma única característica da qualidade depende do sinal de mais de um transdutor. Exemplos dessa situação são a medição de um diâmetro a partir da leitura de dois transdutores alinhados ou a determinação do erro de posição de um furo.

Existe ainda a possibilidade de combinar os casos das rotinas de aquisição 2 e 3, obtendo mais de uma característica da qualidade a partir do sinal de dois ou mais transdutores, além da possibilidade de intervenção automática no processo devido aos resultados obtidos.

3.4.3 Hardware de aquisição

O baixo custo dos microcomputadores, a tendência cada vez maior de se produzir e usar sistemas de medição digitais, a disponibilidade de interfaces comerciais com bibliotecas prontas (figura 25), o uso generalizado de redes de computadores são, entre outros, motivos que simplificam cada vez mais a automação da coleta de dados.



Figura 25 – Algumas interfaces de comunicação disponíveis no mercado ^{[50],[51]}.

A utilização de sistemas de medição conectados a microcomputadores resolve os problemas de transcrição de dados e erros de digitação, mas a necessidade de fornecer as interfaces para os instrumentos de medição e um computador para cada sistema no interior da célula de manufatura pode inviabilizar a aplicação do sistema, devido ao elevado custo.

Para resolver este problema, propõe-se um conceito que aqui se chama de “bancada de medição” (figura 26).

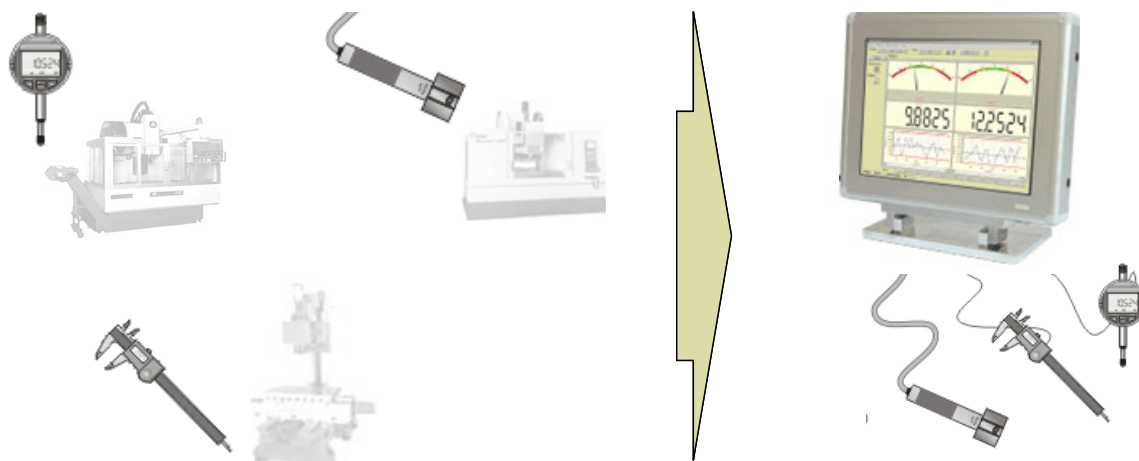


Figura 26 – Concentração dos instrumentos necessários na célula numa única localização física: a “bancada de medição”.

Este conceito nada mais é do que a concentração de todos os instrumentos de medição da célula em uma bancada, posicionada num lugar adequado, onde todos os instrumentos estariam conectados a um computador único, e se possível, utilizando uma única interface de comunicação de instrumentos. Isto reduziria drasticamente os custos de implementação e concentraria todos os dados em um único BD, facilitando a posterior consulta. Os instrumentos estariam locados em um lugar adequado, junto com os planos de inspeção e instruções de medição, que passariam para forma digital, facilitando a organização e reduzindo o volume de papel nas células. Além disto, uma bancada de medição, e conseqüentemente um *software* único, facilita a aprendizagem por parte dos operadores e diminui o tempo de configuração do sistema.

3.5 BASE DE DADOS

A base de dados da qualidade é a fonte de conhecimento para aplicação dos métodos preventivos de garantia da qualidade. É através dela que dados do processo são levantados para serem utilizados por analistas da qualidade para introduzir ações de melhoria. Por isso, o fácil acesso a esta base é imprescindível para o correto funcionamento do sistema.

A estrutura do BD deve ser completamente clara para o usuário. Deve ser usado um subsistema de *software* de banco de dados padrão que não precise de

otimização para diferentes aplicações e permita ao usuário adiantado ter acesso ao BD com programas por ele mesmo elaborados. O sistema deve ser capaz de armazenar simultânea e separadamente todos os dados e informações introduzidas no BD. Se este for corrompido ou danificado, isso permitirá sua completa restauração. Este importante requisito da integridade do BD não deve ser negligenciado.

O problema é que empresas de pequeno e médio porte normalmente não têm uma estrutura informática adequada para a implantação de bases de dados centrais, localizadas em servidores de alto custo. Sistemas concentrados são de difícil gerenciamento, e a possibilidade de modificação dinâmica é limitada. Além disto, todo este aparato necessita de mão-de-obra especializada e exclusiva para gerenciá-lo, e empresas pequenas não estão dispostas a acrescentar mais este custo em seu orçamento.

Um sistema baseado em bases de dados distribuídas, localizadas nos computadores da própria célula ou perto da máquina, atende perfeitamente à necessidade. A utilização dos sistemas livres de gerenciamento de BD tornaria o custo ainda mais atrativo. Para as empresas que já possuem alguma estrutura computacional, com servidores centrais e SGBD já instalados, este tipo de solução não apresenta maiores problemas, pois é completamente independente da estrutura existente.

Redes de computadores e sistemas distribuídos resolvem muitos problemas, mas ao mesmo tempo introduzem novos desafios. Sistemas distribuídos permitem o adicionamento de um novo instrumento de medição ou uma nova bancada simplesmente adicionando-se um novo computador com o BD, outorgando assim a buscada flexibilidade para implantações gradativas em ambientes pouco receptivos (figura 27). Os sistemas trabalham em paralelo, tornando o monitoramento contínuo realizável, já que o trabalho computacional deve ser utilizado apenas pelos computadores que estão vinculados a cada bancada de medição.

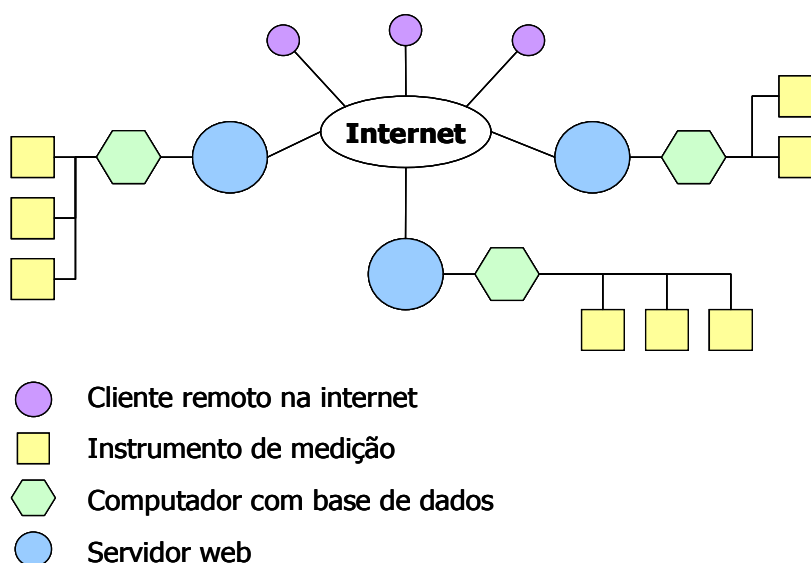


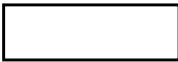
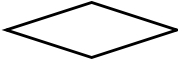
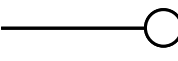
Figura 27 – Configuração proposta evidenciando o uso de sistemas distribuídos.

A configuração proposta também traz vantagens no que diz respeito à disponibilidade: cada bancada de medição poderá continuar operando ainda quando houver falhas na comunicação por Internet/Intranet. Se o computador associado a uma célula falhasse, as outras células não terão sua operação prejudicada, garantindo a viabilidade dos ciclos de controle na máquina e perto da máquina. Além disso, por se tratar de computadores de tipo comum no mercado, a reposição de um computador defeituoso pode ser feita rapidamente por técnicos em informática não especializados.

3.5.1 Modelo conceitual da base de dados

Um modelo conceitual é uma descrição do banco de dados de forma independente de implementação em um SGBD. O modelo conceitual registra que dados podem aparecer no banco de dados, mas não registra como estes estão armazenados em nível de SGBD. A técnica mais difundida de modelagem conceitual é a abordagem entidade-relacionamento (ER). Nesta técnica, um modelo conceitual é usualmente representado através de um diagrama, chamado diagrama entidade-relacionamento (DER). Este diagrama é composto por elementos que representam conceitos que são representados através de uma notação gráfica. A tabela 3 apresenta alguns destes conceitos.

Tabela 3 – Símbolos mais utilizados na construção de esquemas ER.

Conceito	Símbolo	Descrição
Entidade		Conjunto de objetos da realidade modelada sobre os quais se deseja manter informações no banco de dados
Relacionamento		Conjunto de associações entre entidades
Atributo		Dado que é associado a cada ocorrência de uma entidade ou de um relacionamento
Cardinalidade	1-1 1-N N-N	Número de ocorrências de entidades associadas a uma ocorrência da entidade em questão através do relacionamento

Quando se observa um conjunto de arquivos em computador, sejam eles gerenciados por um SGBD, sejam eles arquivos convencionais, verifica-se que usualmente um arquivo contém informações sobre um conjunto de objetos ou entidades da organização que é atendida pelo sistema computacional. Devido a esta relação entre arquivos em computador e entidades da organização modelada, um modelo conceitual pode ser interpretado de duas formas ^[52]:

- Como modelo abstrato da organização, que define as entidades da organização que têm informações armazenadas no banco de dados;
- Como modelo abstrato do banco de dados, que define que arquivos (tabelas) farão parte do banco de dados.

Na prática, convencionou-se iniciar o processo de construção de um novo banco de dados com a construção de um modelo dos objetos da organização que será atendida pelo banco de dados, ao invés de partir diretamente para o projeto do banco de dados.

Para construção do novo banco de dados construiu-se um modelo conceitual, na forma de um diagrama entidade-relacionamento. Este modelo tem por objetivo capturar as necessidades de um modelo de garantia da qualidade para pequenas empresas, em termos de armazenamento de dados e de forma independente de tipo de implementação que será utilizada. Pela análise do fluxo de informações levantados no capítulo anterior chegou-se ao modelo mostrado na figura 28. Os atributos não foram acrescentados para diminuir a quantidade de elementos no diagrama e facilitar o entendimento do mesmo, sendo que atributos nesta etapa são

dispensáveis para o entendimento das necessidades do modelo, que é o objetivo deste DER.

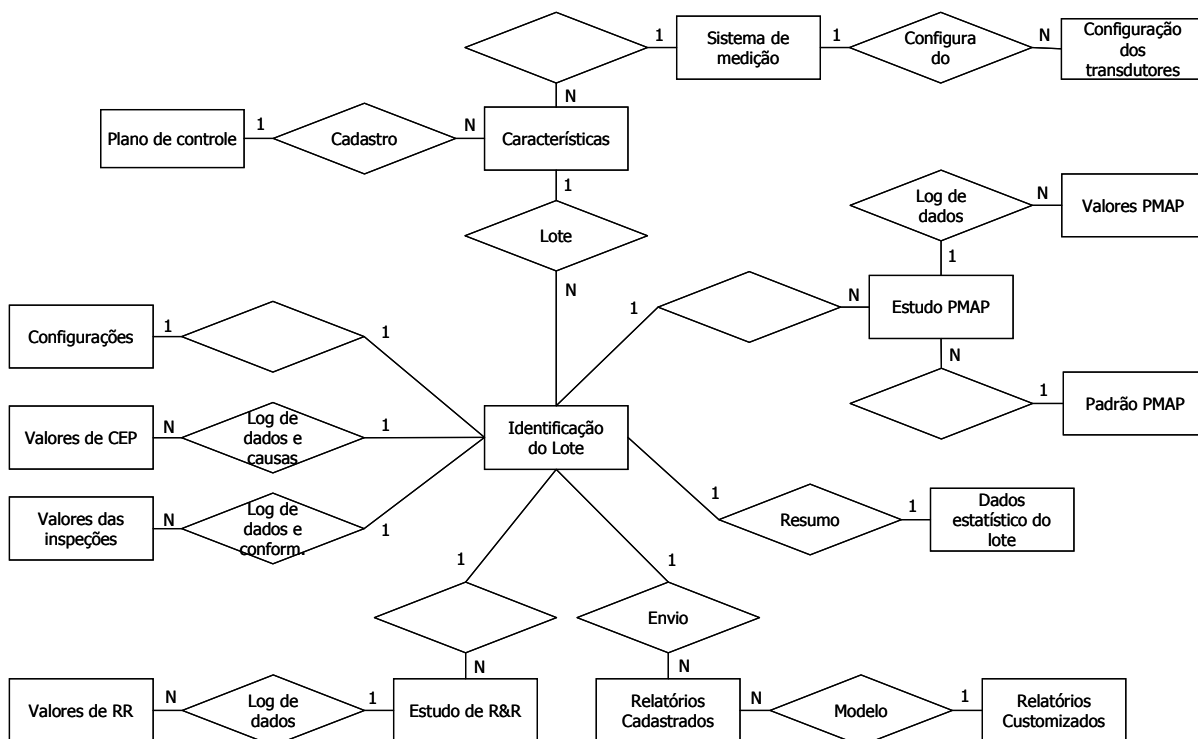


Figura 28 – Diagrama ER para o sistema proposto

Este diagrama indica, através de suas entidades, relacionamentos e cardinalidades, que:





- Um plano de controle possui várias características cadastradas, mas uma característica está cadastrada somente em um plano.
- Estas características têm um sistema de medição associado, que por sua vez pode ter várias configurações de transdutores diferentes. Um sistema de medição pode estar associado a várias características, para o caso de dispositivos multi-cotas.
- Cada identificação de lote pode ter somente uma característica para cada lote, mas uma característica pode estar em vários lotes.
- Cada identificação de lote possui uma única configuração, ou seja, uma configuração por lote e característica. Da mesma forma acontece com os dados estatísticos do lote como resumo.

- Uma identificação de lote possui vários valores de CEP como log de dados e causas especiais, assim como vários valores de inspeção como log de dados inspecionados e não-conformidades.
- Para cada identificação de lote, pode haver vários relatórios cadastrados para envio, como um único modelo de relatório customizado, mas este relatório pode servir de modelo para diversos cadastros.
- Cada identificação de lote pode ter vários estudos de R&R com “n” valores como log de dados. O mesmo ocorre com estudos PMAPTM, mas para cada estudo pode estar associado um único padrão, sendo que um padrão pode estar associado a vários estudos PMAPTM, para o caso de dispositivos multi-cotas que utiliza um padrão único.

3.5.2 Seleção do tipo banco de dados utilizado

Atualmente existe no mercado uma grande variedade de tipos de banco de dados, com características distintas e para aplicações diversas. Para escolher o banco de dados a ser utilizado, foi elaborada uma comparação entre sistemas de gerenciamento de banco de dados (tabela 1), sendo que as bases comparadas foram selecionadas através de conversas informais com especialistas no assunto.

Tabela 4 – Comparação entre alguns tipos de sistemas de gerenciamento de banco de dados ^{[53],[54],[55]}.

				
Custo	Alto	Moderado	Free	Free
Plataformas	Multi-plataforma	Windows	Multi-plataforma	Multi-plataforma
Velocidade de acesso aos dados	Alta	Média	Altíssima	Alta
Volume de dados	Alto	Instável se o volume de dados for muito grande	Desenvolvida para banco de dados muito grandes	--
Multi-usuário	Sim	Não	Sim	Sim

Para o sistema objeto desta dissertação optou-se em utilizar o tipo MySQL, sendo que o fato de ser uma base *free* influenciou bastante na decisão. Além disto, o MySQL é uma base de pouca complexidade e possui um sistema de privilégios e senhas que é muito flexível, seguro e que permite verificação baseada em estações/máquinas. Foi desenvolvido originalmente para lidar com bancos de dados muito grandes, de maneira muito mais rápida que as soluções existentes, e tem sido usado em ambientes de produção de alta demanda por diversos anos de maneira bem sucedida.

4 APLICATIVO DESENVOLVIDO

A seguir será descrito o *software* desenvolvido que materializa o sistema de informação descrito no capítulo anterior. Durante todo o projeto e desenvolvimento do aplicativo tentou-se manter o foco nos objetivos definidos na seção 1.4 . Assim, devem ser consideradas as características a seguir:

- Interfaces simples e auto-explicativas, para serem compreendidas por operadores de máquina com alguma experiência em manejo de computador.
- Adaptável para diferentes aplicações possíveis em pequenas empresas, porém também em aplicações especiais em empresas de maior porte:
 - células de manufatura;
 - centros de usinagem e tornos CNC isolados;
 - dispositivos de medição para múltiplas características e/ou complexos;
 - unidades de inspeção (laboratórios para medições de rotina);
 - outras.
- Compatibilidade com *hardwares* disponíveis nas pequenas indústrias;
- Grande versatilidade na aquisição de dados;
- Várias opções de processamento de dados;
- Consistente com os requisitos da ISO 9000:2000 e da ISO/TS 16949:
 - Suporte ao CEP e ao MSA *on line*;
 - Alinhado com a metodologia do plano de controle;

- Suporte indireto à aplicação dos métodos da engenharia da qualidade preventivos, particularmente PFMEA.

Para o desenvolvimento do aplicativo foi utilizada a linguagem LabVIEW[®], pelos motivos listados abaixo:

- Fácil comunicação com instrumentos de medição, por ser desenvolvido originalmente como um *software* para instrumentação.
- Através dos *toolkits* desenvolvidos pelo fabricante, a comunicação com banco de dados ficou simples e de rápida implementação.
- Possibilidade de desenvolvimento de aplicativos que, uma vez compilados, podem ser usados em computadores que não possuem LabVIEW[®] instalado.
- Programação ágil.
- Experiência do autor na linguagem, o que simplificaria o trabalho e reduziria os tempos de aprendizagem.

Baseado nos diagramas de casos de uso, chegou-se numa configuração de *software* mostrado na figura 29 e descrito nos itens que seguem.

O sistema pode ser dividido em quatro grandes blocos, dentro dos quais estão inseridos os módulos específicos. O primeiro bloco consiste na parte de **Cadastro**, onde são cadastrados os sistemas de medição, incluídos os padrões para realização do PMAP[™] e os planos de controle, já que é a partir destes que são criados os lotes e, conseqüentemente, as medições. O bloco **Lotes** é formado pelos módulos *abrir lote*, *novo lote*, *configurar* e *agendar estudo*. Nos módulos *abrir* e *novo* define-se quais as características de um plano de controle serão inspecionadas. A partir de um lote criado, são feitas as configurações para cada característica de um determinado lote, como por exemplo, limites de controle, se será feito PMAP[™], etc. Além disto, pode-se agendar estudos de R&R para cada característica. A partir de um lote aberto, parte-se para o bloco **Medições**, destinado aos operadores. Neste bloco estão os módulos medir, CEP, histograma, analisar lote, estudos MSA e PMAP[™]. Estes módulos são acessados a partir de botões existentes no painel frontal do aplicativo. Este bloco não permite qualquer tipo configuração, e é basicamente entrada de dados de medições e visualização destes, tanto para as

medições do produto, quanto para estudos de R&R e PMAP™. Finalmente o bloco **Acesso Remoto**, que é composto basicamente pelos módulos acesso via Internet e envio de relatórios. Este bloco é destinado aos analistas da qualidade, que podem ter conhecimento do que está acontecendo em um determinado lugar da fábrica, através de Internet (ou Intranet).

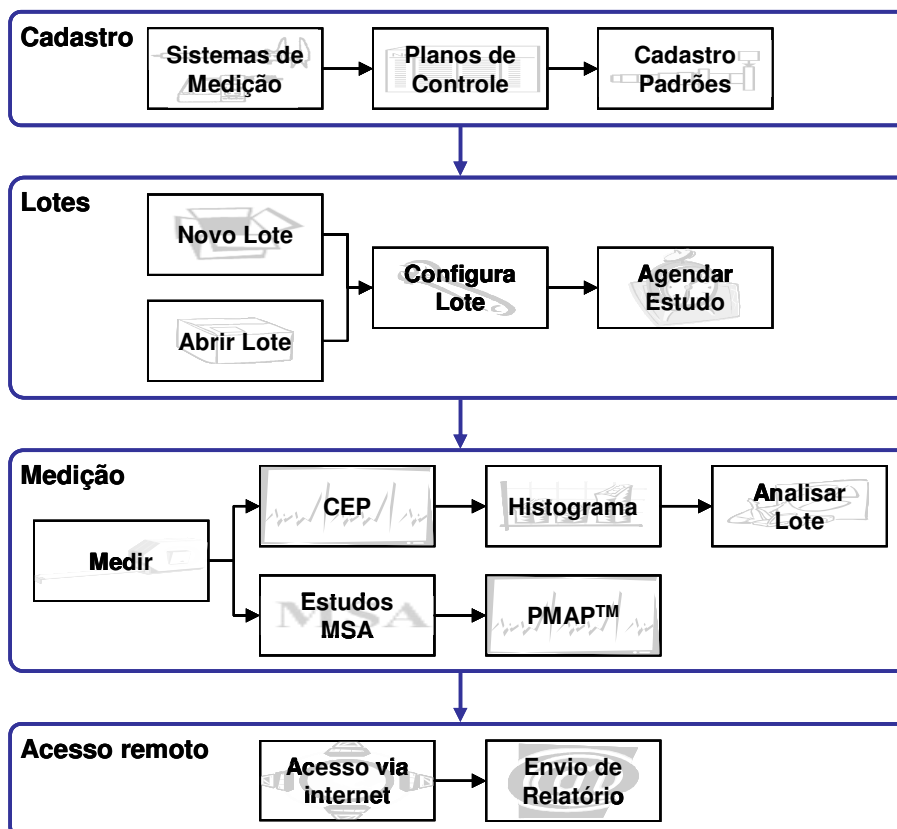


Figura 29 – Módulos que compõem o sistema.

A seguir são apresentados os blocos com seus principais módulos em detalhes.

4.1 CADASTRO

4.1.1 Cadastro de Planos de Controle

O plano de controle oferece um modelo estruturado dos métodos de controle que efetivamente adicionam valor para um processo produtivo, evitando a

fabricação de produto não-conforme e reduzindo a variação das características da qualidade de produto e processo. Nada mais é que uma lista ordenada das tarefas de controle da qualidade necessárias durante um processo produtivo. Pode ser entendido também como o documento de transferência entre a gestão preventiva da qualidade e a gestão da qualidade na linha de fabricação. O plano de controle não substitui as instruções detalhadas do operador, mas serve como um guia geral a partir da qual as instruções são desdobradas ^[56].

Para entrada de dados de características a serem inspecionados, e.g. amostra, freqüência etc., foi adotado como formato o plano de controle (figura 30). Se para aplicação não existe um plano de controle formal harmonizado com o cliente, a empresa deve-se esforçar para criar um plano contendo as informações mínimas necessárias para a execução das atividades do programa.

Núm_Carac	Produto	Processo	CC	LSE	LIE
01	Altura da Pista		false	0,7	0
02	Dâmetro		true	1	0
03	Espessura		false	1	0

Figura 30 – Tela principal de cadastro de planos de controle.

4.1.2 Cadastro de Instrumentos de Medição

Informações sobre os sistemas de medição são importantes para garantia da qualidade do produto e das medições. Como o sistema foi concebido para trabalhar em diferentes situações, como em uma célula de manufatura, com vários

instrumentos convencionais sendo gerenciados pelo mesmo *software*, identificou-se a necessidade de se criar um cadastro destes sistemas, com algumas informações relevantes para o operador e analistas da qualidade e metrologia. Neste cadastro são inseridas algumas informações que servem como mecanismo de busca, como tipo, fabricante, resolução etc. A tela para pode ser observada na figura 31.

Número de Série	Instrumento	Fabricante	Resolução	Última Calibração	Incerteza	Data de Aquisição
839903	Micrômetro	Zeiss	0,50	11/2/2004		
5	Micrômetro	Zeiss	0,50	11/11/05		
222.111	Micrômetro	Zeiss	0,50	11/2/2004		
11.36.25	Micrômetro	Starret	0,50	06/01/2006		
8469	Micrômetro	Starret	0,15	22/01/2008	95	11/11/2004
9244.123	Micrômetro	Starret	0,15	11/11/2011	0,05	11/12/1999
66666	Micrômetro	Nenhum	Nenhum	Nenhum		
01	Micrômetro	Mitutoyo	0,001	05/02/2005	0,01	
5	Micrômetro	Zeiss	0,50	11/11/05		

Figura 31 – Tela de cadastro de sistemas de medição

4.2 LOTES

4.2.1 Criar e abrir de lotes

Para definição das características a serem medidas, é necessário a criação de um lote e a partir deste são realizadas as medições. Um lote é criado em função dos planos de controle cadastrados previamente. Na tela de criação de lote são escolhidos o plano, identificado o lote e selecionadas as características que serão inspecionadas neste lote (figura 32). Não é obrigatória a medição de todas as características que estão no plano de controle, ou seja, no lote podem ter sido cadastradas várias características e a pessoa pode optar por medir apenas uma ou duas delas.

Canal	Seleção	Status
Canal 1	01	Ativado
Canal 2	02	Ativado
Canal 3	03	Ativado
Canal 4	Não selecionado	Desativado
Canal 5	Não selecionado	Desativado
Canal 6	Não selecionado	Desativado
Canal 7	Não selecionado	Desativado
Canal 8	Não selecionado	Desativado

Figura 32 – Tela novo lote.

4.2.2 Configurar

O *software* possui uma tela de configuração para cada característica cadastrada no lote. A configuração foi dividida em 5 partes:

- CEP – escolha do tipo de carta, limites do gráfico de controle e cálculo automático dos limites de controle;
- Conformidade – escolha se aparecerá a tela de não-conformidades, e as causas cadastradas para esta características;
- Causas – escolha se aparecerá a tela de causas especiais e as causas cadastradas para esta características;
- Relatório – opções de tipo de relatório, quando criar, se envia por e-mail ou não, destinatários etc.;
- PMAP – escolha se será feito PMAP deste instrumento para esta característica, os limites de controle, padrão, responsáveis etc.

4.3 MEDIÇÃO

4.3.1 Medir

A tela de medição (figura 33) é a principal do programa e a partir desta são acessadas as demais informações contidas no banco de dados. É por ela que o operador realiza as medições, cada qual com seu formato de entrada de dados específico para a aplicação.

The screenshot shows the 'Projeto Torre de Controle' software interface. At the top, there is a menu bar with 'Arquivo', 'Cadastro', 'Configurar', and 'Help'. Below the menu bar, there is a header section with the following information:

- Empresa: Electro Aço Altona
- Usuário: [Empty field]
- Plano: RT - HS-200 - 100N - A
- Máquina: HS-200
- Lote: TESTE
- Ensaio: RESISTÊNCIA A TRAÇÃO
- Mistura: 100% NOVA
- Receita: RECEITA A

Below the header, there is a navigation bar with icons for a ruler, a line graph, a bar chart, 'PMAP', a document icon, a pie chart, and 'R&R'. The main area of the interface is a table with the following columns: 'Proces', 'N', 'Característica', 'LSE', 'LIE', 'Valor 1', 'Valor 2', and a 'Medir' button. The table contains the following data:

Proces	N	Característica	LSE	LIE	Valor 1	Valor 2	Medir
	01	02 HORAS		12	0,00	0,00	Medir
	02	04 HORAS		12	0,00	0,00	Medir
	03	06 HORAS		12	0,00	0,00	Medir
	04	24 HORAS		12	0,00	0,00	Medir
					0	0	Medir
					0	0	Medir
					0	0	Medir
					0	0	Medir

Figura 33 – Tela medir.

O *software* foi desenvolvido para que o tipo de entrada de dados seja independente e possa ser reprogramado de acordo com a necessidade, ou seja, quando a medição é ativada pelo operador (botão na tela, gatilho externo), a entrada de dados possa ser através do teclado ou adquirindo-se um sinal de transdutores conectados ao computador. Toda a parte de processamento matemático (subtração,

mínimos quadrados etc.) também é feito pela rotina de aquisição, sendo que esta tem como saída somente um resultado de medição, que é a entrada do *software*.

4.3.2 CEP

Para cada característica, independente do tipo de inspeção que foi adotada (100% ou amostragem), é realizado um controle estatístico do processo, onde os dados extraídos do processo são plotados para posterior análise. Atualmente existe na bibliografia uma grande variedade de tipos de cartas de controle, mas somente três delas foram adotadas por serem as mais difundidas e úteis na indústria:

- Média e amplitude ($\bar{X} - R$);
- Média e desvio padrão ($\bar{X} - S$);
- Indivíduos e amplitude móvel ($I - mR$);

Além da visualização da carta, são mostradas informações desta característica, como quantidade de peças dentro e fora dos limites da especificação, fração não-conforme, índices de capacidade de processo (c_p e c_{pk}), média dos valores, valor máximo, valor mínimo, amplitude dos valores e desvio padrão (figura 34).

Embora sejam conhecidos os efeitos da não-normalidade nos cálculos dos índices de capacidade de processo, por simplificação os cálculos foram feitos assumindo normalidade dos dados, sendo que esta avaliação deve ser feita externamente ao *software* criado.



Figura 34 – Tela CEP.

4.3.3 R&R

A parte de R&R foi feita para que o operador execute as medições e possa acessar, de maneira fácil, os gráficos, a tabela de valores medidos e os resultados do estudo. Os parâmetros do estudo (número de peças, operadores e repetições) são definidos pelo preparador no momento em que é agendado o estudo. O operador não tem como alterar esses parâmetros. A aquisição dos dados é feita da mesma maneira na qual é feita a medição, e se o instrumento é multi-cotas, os outros estudos correspondentes às características simultâneas são feitos paralelamente, sendo que o operador pode acessar os dados que estão sendo adquiridos através dos botões “+ *carac*” ou “- *carac*”. Todas as características que serão feitas em paralelo são chamadas diretamente pelo programa, não necessitando que o operador identifique as características que compõem um estudo multi-cotas. Quando o estudo é concluído, pode-se gerar um relatório que fica

armazenado no BD e pode ser acessado por qualquer computador conectado em rede da fábrica.

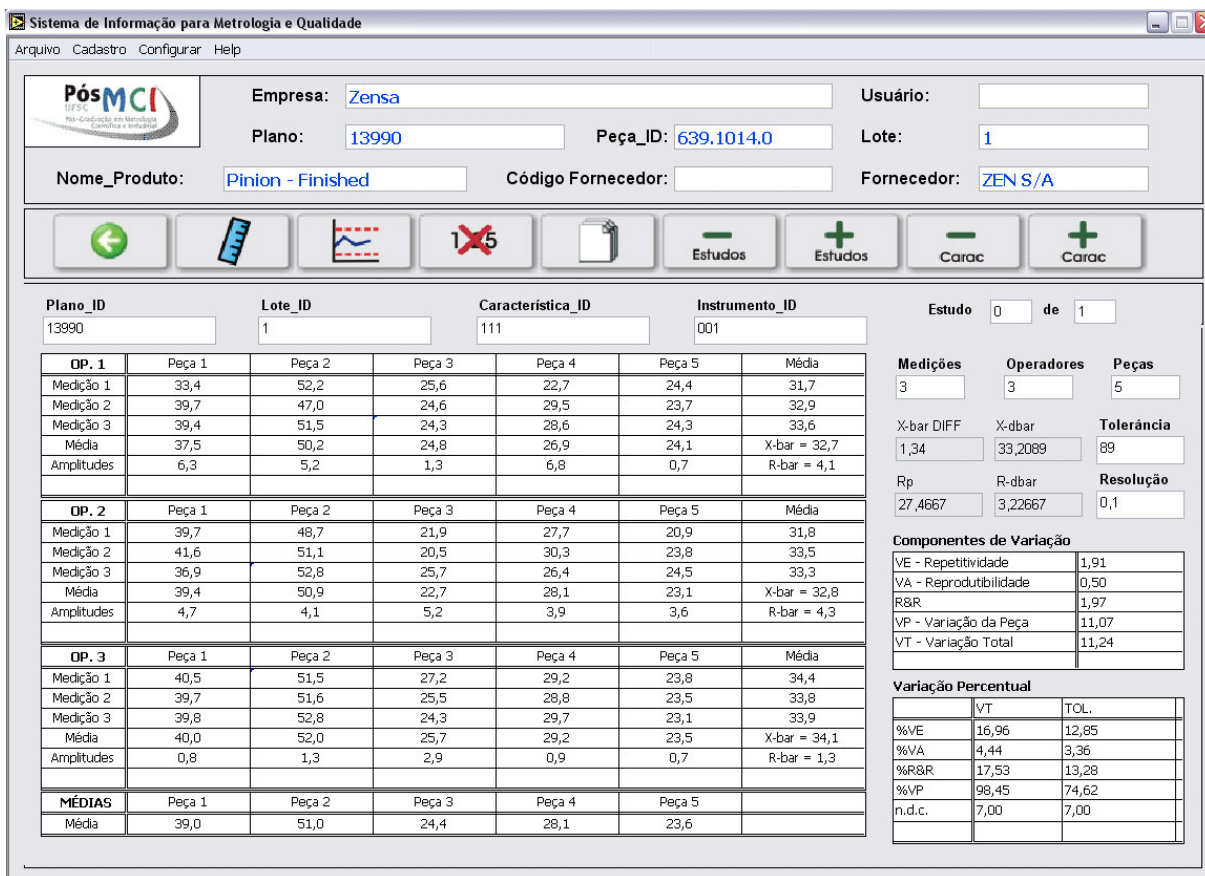


Figura 35 – Tela de R&R com dados reais da aplicação no engrenômetro descrita posteriormente.

4.4 ACESSO REMOTO

4.4.1 Acesso via Internet

Todo o BD do sistema pode ser acessado remotamente via Internet. Esses dados servirão para analistas da qualidade fazer suas análises para melhoria e acompanhar o andamento do processo em tempo real, sem precisar se deslocar ao local da produção. Neste acesso, o analista pode consultar os valores medidos de uma característica de um lote, os valores do CEP, causas especiais, gerar o gráfico de CEP que está disponível para o operador, acessar valores PMAP entre outros.



Figura 36 – Página de acesso aos dados.

O acesso aos dados foi desenvolvido em PHP e o aplicativo fica “rodando” no computador onde estão sendo adquiridos os dados, ou seja, o analista não precisa ter nenhum tipo de aplicativo específico instalado em seu computador, pois esta página de acesso é acessada através do *web browser* como Internet Explorer[®] ou Mozilla FireFox[®].

4.4.2 Envio de Relatório

A partir do menu configurações, podem ser programados eventos para criação de relatórios, como ao final de um lote ou após uma determinada quantidade de peças produzidas. Além disso, pode ser configurado que uma ou várias pessoas recebam um e-mail com um *hyperlink* para acessar este relatório, a modo de lembrete de que a informação já está processada e disponível no BD.

Informações que são relevantes para um determinado setor da empresa podem ser desnecessárias para outros. Assim, os relatórios devem ser

personalizáveis, para que cada pessoa receba a informação que realmente julgar necessário. Com isto, evita-se o inconveniente de receber relatórios com uma quantidade muito grande informações, que não serão lidas pela maioria das pessoas. Esta personalização acontece através de blocos de informações, sendo que os relatórios são compostos por esses blocos. Um exemplo de relatório criado é apresentado na figura 37, que é composto, dentre outros, pelos blocos de “log de não-conformidades (quantidade por ocorrências)”, “dados de peças e lotes” e “gráficos de controle”.

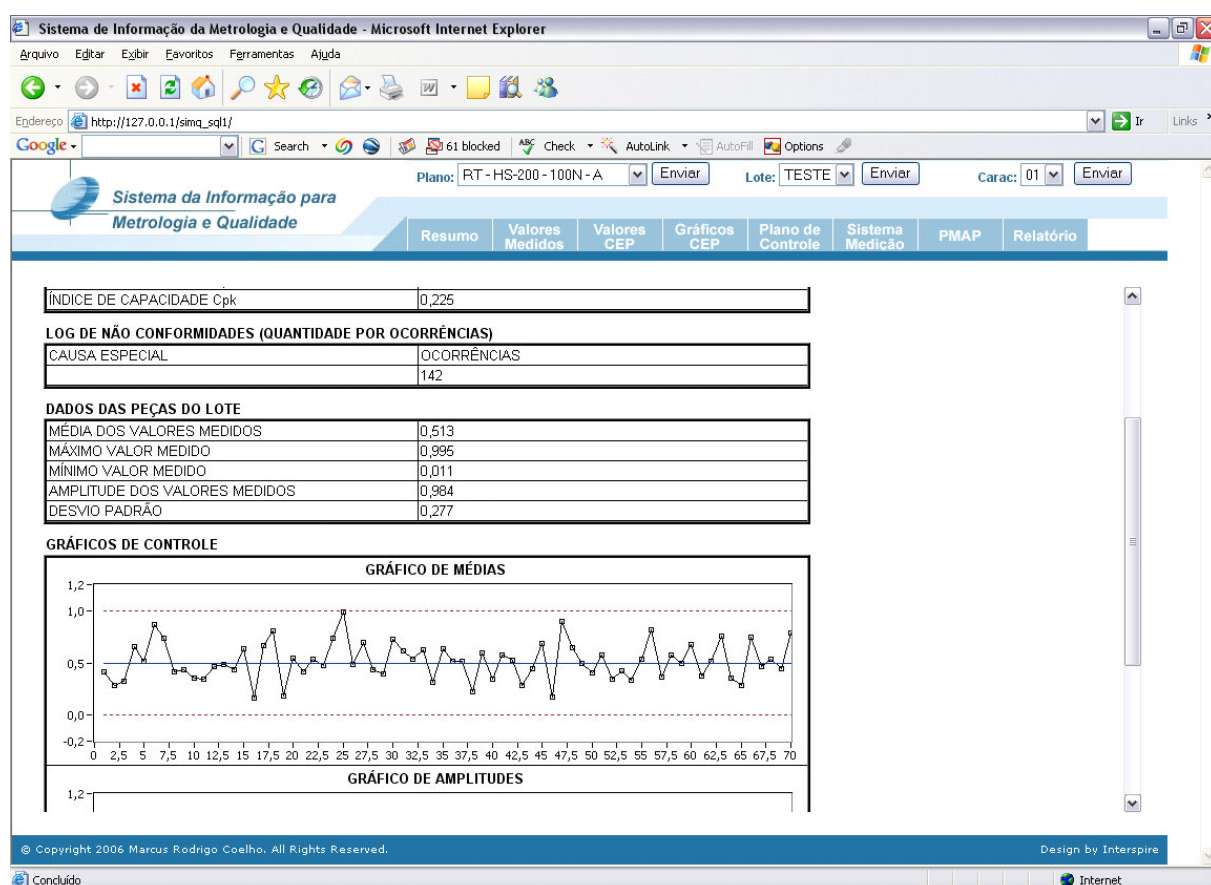


Figura 37 – Acesso aos relatórios criados.

5 ESTUDOS DE CASO: IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO

Com o objetivo de validar a metodologia foram realizados dois estudos de caso em ambientes de fabricação distintos. O primeiro estudo de caso foi realizado na automação de um engrenômetro usado na avaliação de vários parâmetros funcionais característicos de engrenagens. O engrenômetro pode ser visto como um dispositivo multi-cota, que calcula os valores dos parâmetros funcionais a partir de uma variável deslocamento linear e uma variável deslocamento angular. O segundo estudo de caso foi realizado no laboratório de controle de areias de uma empresa de fundição de aço, que opera no controle da qualidade do processo de moldagem.

Ressalta-se que os dois estudos de caso realizados envolvem aplicações bem distintas, o que mostra a versatilidade da solução proposta. O primeiro estudo de caso está mais alinhado com a solução da maneira como ela foi proposta inicialmente. Já para a segunda aplicação, em um ambiente laboratorial, o conceito também atendeu perfeitamente as necessidades, embora tenha sido necessário apenas um ajuste na interface de entrada de dados do usuário.

5.1 ESTUDO DE CASO 1: AUTOMAÇÃO DE UM ENGRENÔMETRO

Parâmetros característicos de engrenagens são necessários para determinar o comportamento das mesmas durante a utilização. Estes parâmetros podem ser monitorados através de diversos equipamentos, sendo que o mais difundido na indústria é o engrenômetro.

O princípio básico da inspeção de flanco duplo, que é o tipo de ensaio feito em um engrenômetro, é uma engrenagem padrão girando em contato com a engrenagem que está sendo inspecionada, livre para se movimentar na direção do eixo formada pelos seus centros. O instrumento tem dois eixos giratórios, um deles suportado na bancada e outro suportado sobre uma guia móvel (figura 38). As variações da distância entre centros desses eixos durante uma revolução são causadas pelos erros na forma dos dentes e/ou pela excentricidade da engrenagem que está sendo inspecionada. Assim, duas quantidades básicas devem ser adquiridas para calcular os parâmetros característicos: o deslocamento da guia e o deslocamento angular da engrenagem a ser inspecionada.

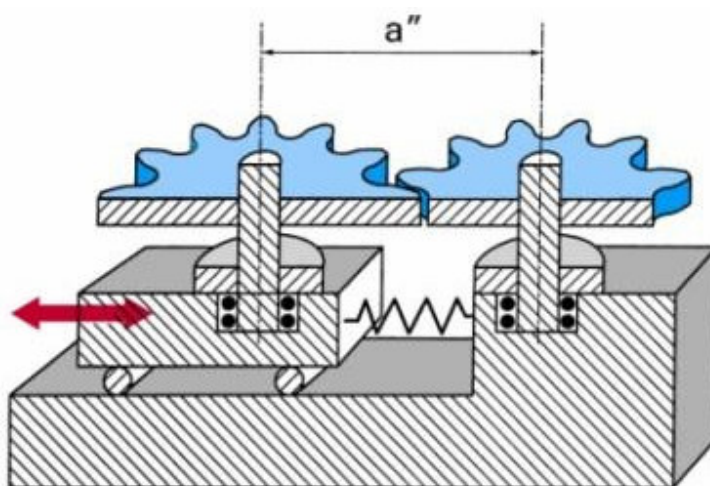


Figura 38 – Princípio de funcionamento do engrenômetro [57].

Como resultado da combinação das duas variáveis tem-se um gráfico como o da figura 39. A partir deste gráfico, podem ser calculados os seguintes parâmetros:

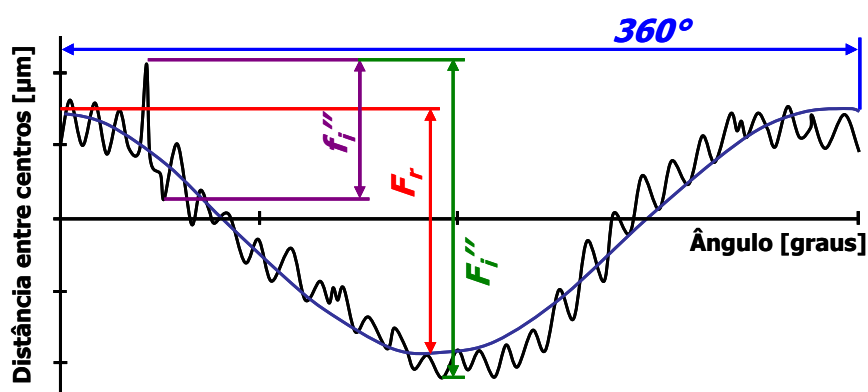


Figura 39 – Curva característica medida em um engrenômetro.

- *Desvio composto total* (F_i'') – é a diferença entre os valores máximos e mínimos da distância dos centros de trabalho (a''), que ocorre durante o teste de duplo flanco, quando a engrenagem que está sendo inspecionada tem seus flancos direito e esquerdo em contato com os da engrenagem padrão, durante uma revolução completa.
- *Desvio composto dente-a-dente* (f_i'') – é o valor do desvio composto correspondente a um dente, $360/z$ (onde z = número de dentes da engrenagem), durante um ciclo completo de engrenamento de todos os dentes da engrenagem inspecionada.
- *Batimento radial* (Fr) – o valor do batimento radial da engrenagem é a diferença entre a máxima e a mínima distância do eixo da engrenagem, observadas removendo os desvios de ondulação dos dentes ou de alta frequência e analisando a onda senoidal de baixa frequência.

5.1.1 Dispositivo

O dispositivo utilizado é um engrenômetro Frenco[®] URM 894, no qual foi acoplado um transdutor indutivo Marposs[®] e, para fazer a aquisição, foi utilizado uma unidade de tratamento chamada EasyBox[®], também de fabricação da Marposs[®] (figura 40). Toda a integração foi feita utilizando um computador convencional, e o sinal do transdutor indutivo é conectado ao microcomputador através da porta USB. A leitura do deslocamento é feita utilizando a biblioteca disponibilizada pelo fabricante, não sendo necessários maiores esforços computacionais.

Como o dispositivo é usado para inspeção 100%, havia uma preocupação com a facilidade de se manusear o *software*. Assim, optou-se por manter o gatilho do sistema com controlador do motor que faz o movimento de rotação da engrenagem, sendo que o *software* fica monitorando o deslocamento angular do motor. Quando a engrenagem começa a girar, o programa passa a adquirir o sinal do transdutor indutivo, realizando assim a medição durante uma volta e meia. Essa meia volta a mais é necessária, pois a rotina de aquisição descarta os primeiros e últimos $1/4$ de volta, que correspondem à aceleração e desaceleração do sistema, provocando ruído nas medições.

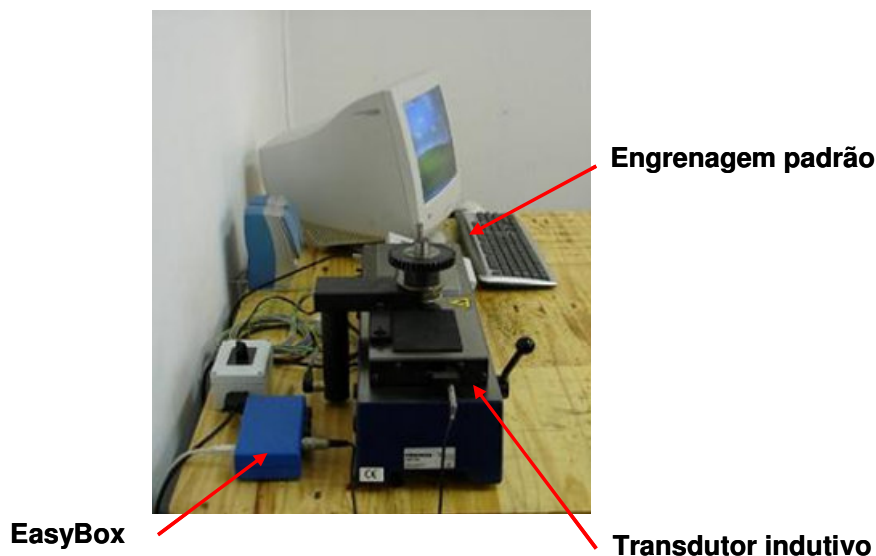


Figura 40 – Engrenômetro utilizado.

5.1.2 Tratamento matemático

Para medição dos parâmetros característicos é necessário fazer um tratamento matemático do sinal obtido pelo transdutor indutivo, que tem a forma característica indicada na figura 39. Para medição do desvio composto total, basta subtrair do valor máximo o mínimo valor medido do conjunto de valores de deslocamento. Para o desvio composto dente-a-dente, deve-se comparar os erros na mesma posição de dois flancos subseqüentes e pegar o máximo valor. Para o batimento radial, deve-se interpolar uma senóide sobre o conjunto de pontos medidos e subtrair do valor máximo da senóide o seu valor mínimo (figura 41). Todo este tratamento é feito dentro da rotina de medição do *software*, sendo que esta “entrega” para o programa principal um vetor com três valores, cada qual correspondendo a um parâmetro que está sendo avaliado.

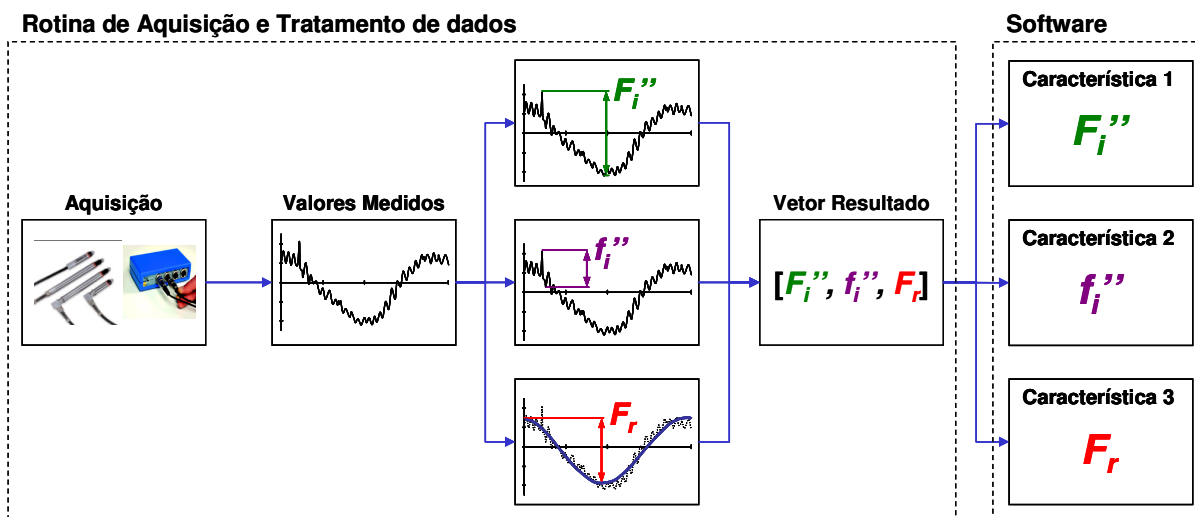


Figura 41 – Rotina de aquisição e tratamento de dados.

5.1.3 Ciclos de informação da qualidade

Para avaliar as informações necessárias para a garantia da qualidade do produto e processo nas características citadas acima, foi estabelecido o fluxo de informações da qualidade para esta etapa do processo produtivo (figura 42). Estes ciclos mostram como devem ser levadas as informações para as pessoas apropriadas, além de servir como base para a implantação de todo o sistema. Cabe destacar o papel da metrologia nesta aplicação, que recebe relatórios periódicos de PMAP™ para acompanhamento dos meios de medição. Já as demais áreas recebem relatórios de controle da qualidade de processos. Este diagrama mostra que as informações geradas pelo engrenômetro precisam ser entregues para diferentes atores, cada qual com um formato diferenciado, pois eles têm interesses distintos.

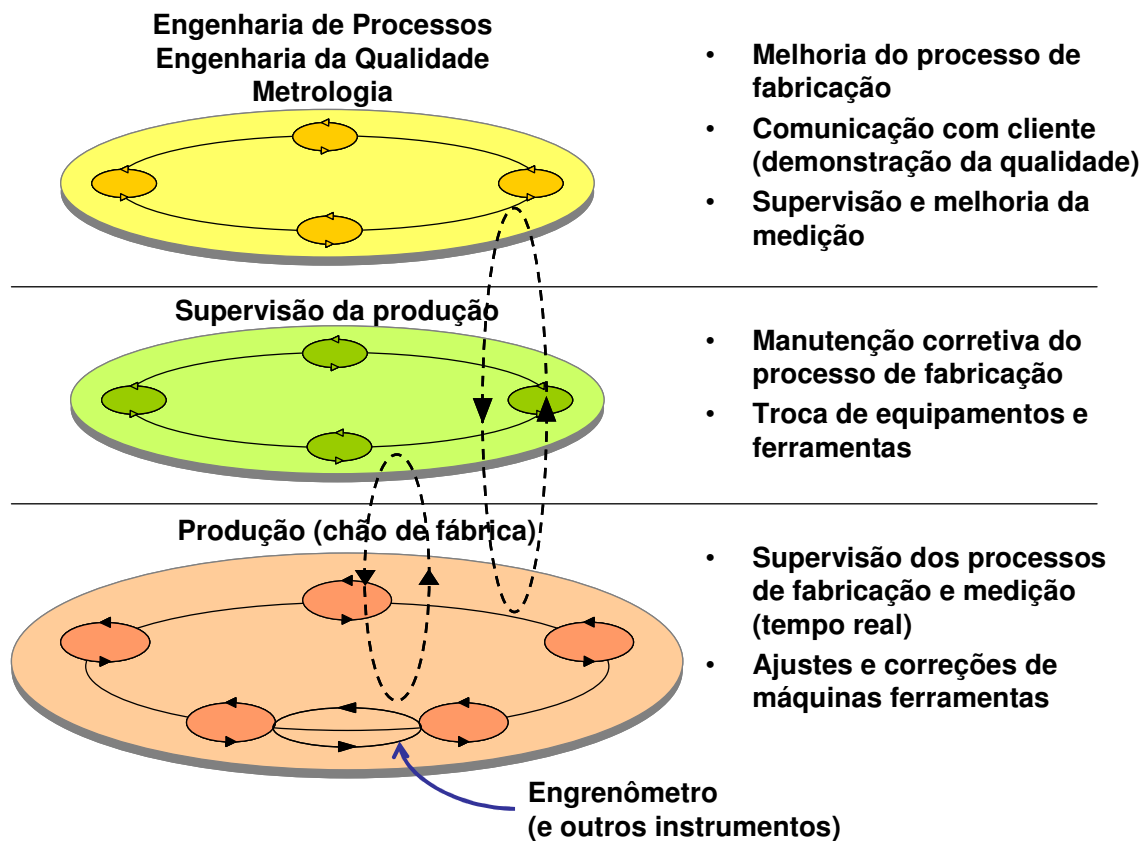


Figura 42 – Ciclos de controle da qualidade para o engrenômetro.


5.1.4 Detalhes da implementação

A partir do plano de controle, foram cadastradas as características que seriam inspecionadas pelo sistema. Os dados do engrenômetro consumiram apenas três canais de medição do *software*, sendo que ainda ficaram disponíveis cinco canais. Considerando que existem outras características que são inspecionadas durante aquela etapa da fabricação, estas poderiam ser acrescentadas no mesmo *software*, utilizando outros instrumentos, como por exemplo, o dispositivo que mede a ovalização do furo, que influencia diretamente na medição dos parâmetros da engrenagem, visto que este furo serve como referência.

Após o cadastro das características, foram feitas as configurações dos respectivos canais, como os limites de controle, não conformidades, causas especiais, relatórios e PMAPTM. A tela principal do programa é mostrada na figura 43. A figura 44 mostra o gráfico de controle de CEP gerado e as informações sobre o lote que está sendo medido para as características selecionadas.








Sistema de Informação para Metrologia e Qualidade

Arquivo Cadastro Configurar Help


 Empresa: Usuário:

Plano: Peça_ID: Lote:

Nome_Produto: Código Fornecedor: Fornecedor:

Proces	N Carac	Característica	LSE	LIE	Valor 1
	110	Radial run-out	80		0,00
	111	Radial composite deviation	89		0,00
	112	Tooth to tooth radial composite deviation	37		0,00
					0,00
					0
					0
					0
					0

Figura 43 – Tela principal do software para aplicação no engrenômetro.

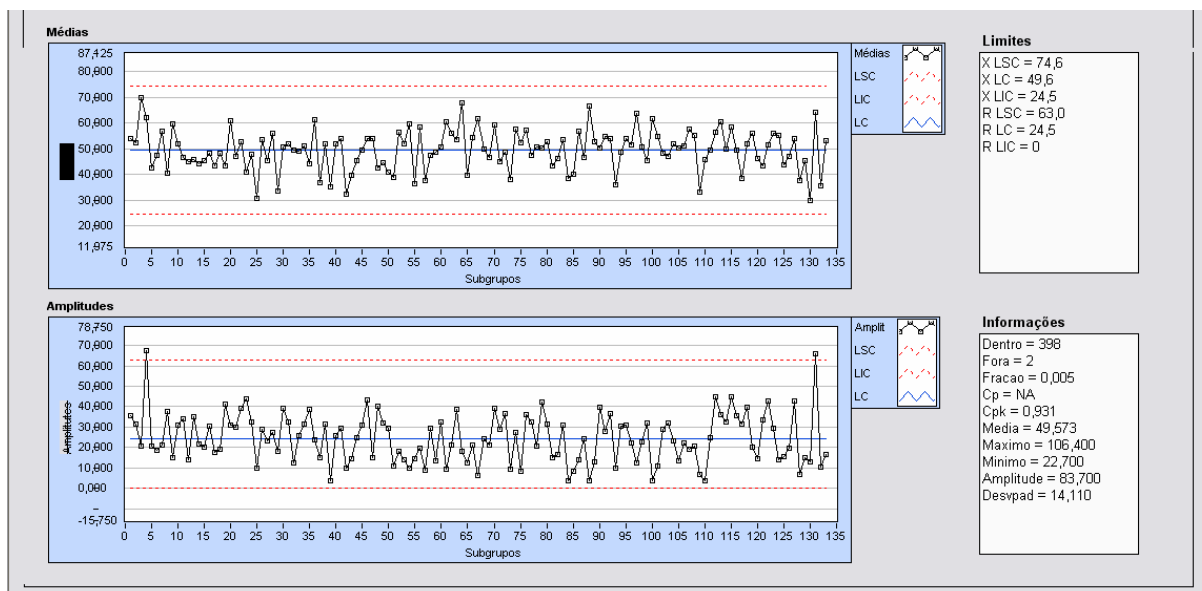


Figura 44 – Parte inferior da tela principal do programa onde aparecem os gráficos de CEP e as informações sobre o lote que está sendo medido.

5.1.5 Resultados

Como resultado da aplicação tem-se o monitoramento do produto e processo em tempo real, feito pelo operador, e os relatórios de final de lote, contendo informação sucinta para atender as necessidades dos diferentes atores. A tabela 5 abaixo ilustra o critério de seleção das informações enviadas para os responsáveis de cada setor.

Tabela 5 – Informações que formam os distintos relatórios personalizados no caso do engrenômetro.

Bloco de informação	Preparador de máquinas	Engenharia de processos	Metrologia	Engenharia de qualidade
Cabeçalho	X	X	X	X
Dados gerais	X	X		X
Dados das peças do lote		X		
Índices do processo		X		
Informações sobre o lote		X		
Gráficos de controle	X	X		X
Limites dos gráficos de controle				X
Log de não conformidades (temporal)	X	X		
Log de não conformidades (ocorrências)	X	X		
Log de causas especiais (temporal)		X		X
Log de causas especiais (ocorrências)		X		X
Pareto não conformidades		X		
Pareto causas especiais		X		X
Dados Gerais PMAP			X	
Dados do Sistema de Medição			X	
Gráfico PMAP			X	
Limites do gráfico PMAP			X	

Para evitar o envio de mensagens com arquivos anexados, o que a pessoa recebe por e-mail é um *hyperlink* que, ao ser clicado, monta o relatório diretamente no próprio *web browser* do computador que recebe o e-mail. Se a pessoa tiver interesse, ela pode imprimir ou salvar o relatório no local que julgar mais adequado. Uma cópia do relatório gerado permanece no computador onde está o aplicativo, que pode ser acessado a qualquer momento via página de acesso. Juntamente com

o *hyperlink* para o relatório a pessoa recebe um *hyperlink* para a página de acesso aos dados brutos.

5.2 ESTUDO DE CASO 2: LABORATÓRIO DE AREIAS

O Laboratório de Areias da Electro Aço Altona S.A. dá suporte para avaliação das areias usadas na moldagem. O processo de moldagem, como o próprio nome já diz, consiste em fabricar moldes onde o aço será vazado tomando a forma da peça.

A empresa opera o processo de cura a frio para a fabricação dos moldes, o qual utiliza o sistema de resina fenólico-uretânica composta de três partes, que são misturadas e reagem entre si, formando as chamadas “*receitas*”. A areia é utilizada nos processos de moldagem por ter excelente refratariedade, ou seja, capacidade de resistir a altas temperaturas sem sinterizar. Esta refratariedade deve ser suficientemente alta para que não cause aderência dos grãos de areia no metal.

A areia usada na moldagem deve ser adequadamente preparada, moldando-se perfeitamente, respeitando os contornos do modelo e mantendo exatamente sua forma quando exposta à pressão e ao calor do metal fundido, à medida que o molde é preenchido. Esta areia deve ser permeável, para que se permita o escape do ar já presente no molde e dos gases provenientes do vazamento, além de se evitar a penetração do metal na areia, o que causaria defeitos na superfície das peças fundidas. A maior parte das areias para moldagem é ácida, e assim sendo, deve-se corrigir seu pH, de forma que a mesma seja neutra, para melhorar suas propriedades e evitar que ocorram reações indesejadas com a resina utilizada na mistura.

Para que se melhore o acabamento das peças, facilitando a desmoldagem e a limpeza das peças fundidas, são utilizadas tintas refratárias no molde, que, além disto, regulam a permeabilidade, fixam melhor o grão de areia do molde, evitando inclusões nos fundidos, diminuindo a difusão de fases na interface areia/metal e conseqüentemente reduzindo a necessidade de trabalho de rebarbação.

O controle da qualidade realizado no laboratório abrange as variáveis a seguir:

- Umidade;

- Permeabilidade;
- Potencial hidrogeniônico (pH);
- Demanda ácida (ADV);
- Perda por ignição (ou perda ao fogo);
- Óxido de ferro;
- Granulometria;
- Resistência à tração.

O ensaio de tração foi utilizado como piloto para implantação do sistema de informação para suporte às atividades do laboratório de areias. Este ensaio será descrito com maiores detalhes na seção 5.2.2.

5.2.1 Fluxo de informações da qualidade

Na Electro Aço Altona (EAA) foi constituído recentemente o Núcleo de Estatística e Metrologia Industrial (NEMI). O principal objetivo do NEMI é dar suporte à implantação técnica e economicamente viável de métodos estatísticos e ferramentas da metrologia para todas as atividades realizadas durante o ciclo de vida do produto, dentro e fora da empresa.

O NEMI está formado por uma estrutura centralizada extremamente enxuta, com bases na Garantia Integrada da Qualidade (GIQ), e apoiada por uma rede de representantes que atuam nos setores produtivos e unidades de negócios (figura 45).

Desta forma, o MEMI-EAA fica responsável pela padronização de práticas, dá suporte especializado para projetos de melhoria, supervisiona e realiza auditorias no sistema, concentrando as informações referentes às temáticas “métodos estatísticos” e “metrologia”. Da mesma forma, os representantes do NEMI nos setores e unidades de negócios são responsáveis pela implantação das ferramentas e métodos na sua área de atuação, assim como pela definição de necessidades de manutenção, troca de equipamentos e, em geral, pela melhoria dos processos. Esses representantes do NEMI dependem hierarquicamente do supervisor de seu setor de atuação e são selecionados entre os profissionais com apurado

conhecimento dos processos específicos, treinados também em métodos estatísticos e metrologia conforme padrões do NEMI-EAA.



Figura 45 – Estrutura do NEMI na Electro Aço Altona.

O Laboratório de Areias é parte integrante da inspeção do processo de moldagem, que opera para as unidades de negócios URE (Unidade de Produtos Repetitivos), USE (Unidade de Produtos Sob Encomenda) e ULE (Unidade de Ligas Especiais). Assim, pode ser estabelecido o modelo de ciclos de controle da qualidade da figura 46. O Laboratório informa sobre a qualidade da areia, dando suporte para a tomada de decisão sobre cada lote de mistura e os eventuais ajustes no processo de moldagem, necessários para melhorar a qualidade dos lotes seguintes. Neste caso as ações de controle de processo não podem ser realizadas em tempo real, dado o tempo de espera para que a areia adquira as propriedades a serem verificadas. A informação gerada será enviada na forma de relatórios para os integrantes do NEMI com responsabilidade sobre o processo de moldagem e também para o NEMI-EAA.

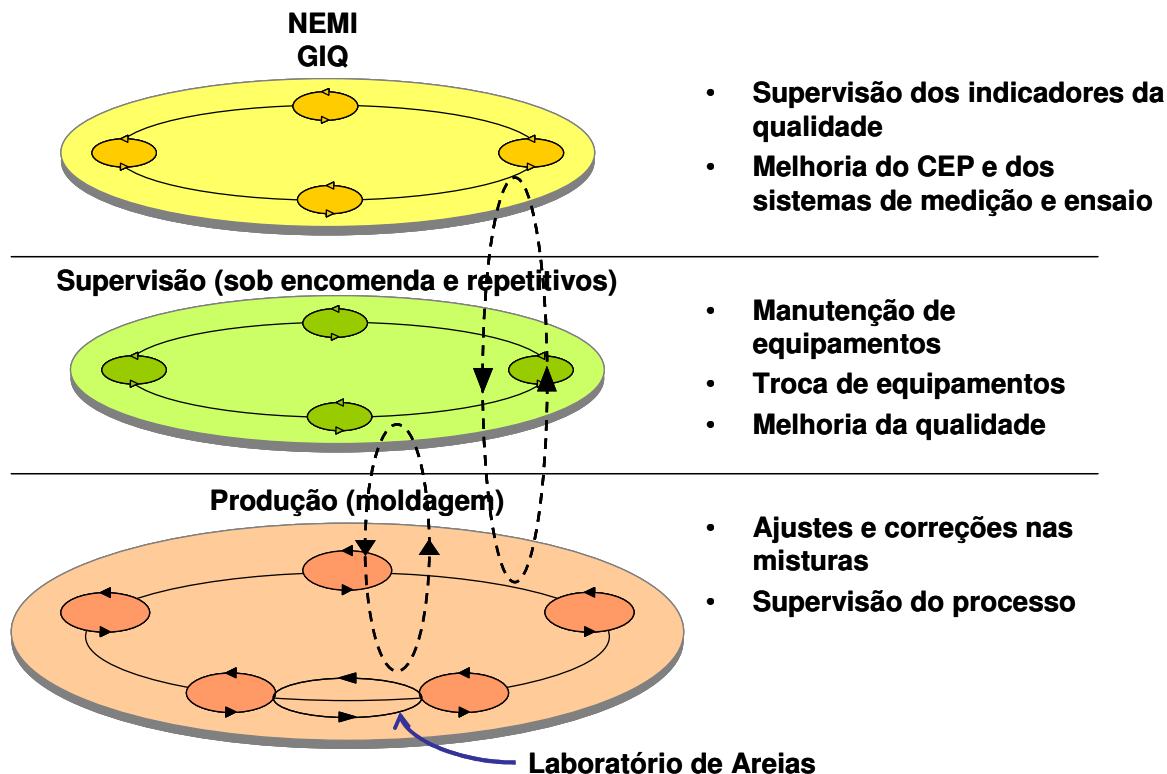


Figura 46 – Ciclos de informação da qualidade para o laboratório de areias.

5.2.2 Ensaio de resistência à tração

Este tipo de ensaio é realizado 2, 4, 6 e 24 horas após a saída da mistura. Os corpos de prova são moldados em um molde padronizado. Após a cura, são extraídos da caixa e tracionados em uma máquina de ensaio de tração de areias para moldagem (figura 47), com o objetivo de verificar se possuem a resistência mínima para suportar a descida do aço líquido no vazamento e a própria manipulação do molde (carregamento e transporte).

Este ensaio é realizado diariamente com areias 100% nova, 70% nova e 30% recuperada, 50-50% e 100% recuperada, além da areia de cromita e a areia utilizada na unidade de ligas especiais. Desde o ponto de vista do sistema de informação, essas misturas podem ser consideradas produtos diferentes, enquanto que os valores de resistência a 2, 4, 6, e 24 horas configuram distintas características da qualidade. Para cada uma destas características são ensaiados dois corpos de prova que, em princípio, deveriam ter as mesmas propriedades.



Figura 47 – Corpos de prova e máquina de ensaio de tração

5.2.3 Implementação do sistema

A implementação do sistema foi dividida em duas etapas. A primeira etapa consiste na utilização do sistema para monitoramento do ensaio de resistência a tração. Se o sistema conseguir atender bem as necessidades da empresa, partir-se-á então para a segunda etapa, que consiste na implementação do sistema para monitorar os demais ensaios do laboratório. Para a utilização do sistema em todas as variáveis de qualidade da areia, devem ser observadas as seguintes variáveis:

- Tipo de ensaio (Granulometria, Óxido de ferro, pH, ADV ou Resistência à tração);
- Máquina (IMF, HS-100, HS-200, BICOR ou HV2);
- Mistura (100% nova, 70% nova x 30% recuperada, 50% nova x 50% recuperada, 30% nova x 70% recuperada, 15% nova x 85% recuperada ou 100% recuperada);
- Receita (A ou B);
- Tempo transcorrido entre a mistura e o ensaio (2, 4, 6 e 24 horas).

As características a serem medidas devem ser inseridas no programa por meio do plano de controle, e através deste é que são criados os lotes. No caso do laboratório de areias não existia nenhum plano de controle para os ensaios que seriam feitos, sendo que estes tiveram que ser criados. Para facilitar a consulta foi elaborado um código para ser o identificador do plano de controle, de maneira que

estas variáveis fossem bem explícitas. O código do plano ficou definido com a seguinte configuração: *(tipo de ensaio) – (máquina) – (mistura) – (receita)*. Por exemplo, se fossem inseridos dados do ensaio de resistência a tração, coletados da máquina HS-200, com a mistura de 70% de areia nova e 30% de areia reutilizada, com a receita A, o código resultante seria *RT – HS-200 – 70N/30R – A*. O tempo de ensaio é uma característica associada ao tipo de ensaio, de uma determinada máquina, de uma mistura e de uma receita específica. Assim, o tempo de ensaio é tratado como sendo uma característica. Para cada plano de controle criado, está associado quatro características distintas, que são 2 horas, 4 horas, 6 horas e 24 horas.

5.2.4 Resultados

Como resultado da aplicação do estudo de caso, tem-se uma melhoria considerável no fluxo de informações da empresa, que teve todas as medições do Laboratório de Areias armazenadas em um BD que pode ser acessado de qualquer lugar da empresa. Alguns setores da empresa dependem diretamente dos resultados das análises feitas neste laboratório, e após a implementação, podem acessá-las facilmente. Existe projeto dentro da empresa em criar-se alguns pontos de consulta no chão de fábrica, para que os líderes possam acessar as análises pouco antes da fabricação dos moldes. Além disto, o NEMI consegue ter uma visão muito mais ampla do processo produtivo, fazendo o acompanhamento remoto dos processos, sem a necessidade de se deslocar aos laboratórios. Os índices de processos e gráficos de controle são feitos automaticamente, eliminando os erros de cálculo que poderiam prejudicar todas as análises. Relatórios por lote podem ser visualizados com facilidade e eliminam o tempo perdido na confecção dos mesmos.

5.3 DISCUSSÕES

Com a aplicação dos estudos de caso, percebeu-se uma melhoria no fluxo de informações necessário para o funcionamento de um sistema de garantia da qualidade. Como benefício imediato, a introdução do CEP em tempo real agilizou o processo de identificação de causas especiais e intervenções no processo,

minimizando os sobre-ajustes. Além disto, como os dados ficam armazenados em uma base de dados específica, que pode ser acessada remotamente, os dados necessários para a aplicação dos métodos preventivos da garantia da qualidade estão disponíveis.

Infelizmente estas melhorias não puderam ser quantificadas, mas foram observadas através de conversas informais com as pessoas que utilizaram este sistema. Todas concordaram que o sistema se mostrou eficaz na melhoria do fluxo de informações da qualidade, e que é uma boa ferramenta para aplicação de CEP em tempo real. A simplicidade do sistema, um dos objetivos deste trabalho, também foi percebida pelas pessoas que os utilizaram. Este fator facilitou a inserção do sistema no “chão-de-fábrica”, para operadores que não utilizam ferramentas informatizadas em seu cotidiano.

Outra constatação importante é relativa a criação de um ambiente unificado de garantia da qualidade de produto e medições. Por ser tratar de um sistema único, ficou mais simples a utilização de ferramentas de garantia da qualidade das medições, como o PMAPTM. Esta facilidade reduz o volume de atividades dos responsáveis pela metrologia, aumentando seu tempo para análises e otimização dos processos.

6 CONCLUSÕES E OPORTUNIDADES FUTURAS

Na presente dissertação foram discutidos assuntos julgados relevantes para a informatização de um sistema de garantia da qualidade mínimo e efetivo para empresas de pequeno porte. A seguir serão apresentadas as principais conclusões obtidas com a realização deste trabalho e as recomendações para estudos futuros.

6.1 CONCLUSÕES

No decorrer deste trabalho foi apresentado um conceito de garantia da qualidade para pequenas empresas, baseado nos ciclos de informação, buscando mostrar a importância da metrologia neste contexto. A idéia é despertar o valor da utilização das ferramentas da garantia da qualidade, transformando progressivamente a cultura e capacidade da empresa para atingir patamares mais altos de qualidade e eficiência.

O conceito foi elaborado com o objetivo principal de garantir o fluxo de informações e estabelecimento dos ciclos de controle da qualidade. Com isto, tem-se um modelo mínimo, mas efetivo de garantia da qualidade que, devido a sua simplicidade, torna-se bastante eficaz para empresas de pequeno porte. Este mesmo modelo foi utilizado em aplicações pontuais em empresas de um porte maior, e apresentou resultados positivos, mostrando assim, a versatilidade do sistema.

Esta flexibilidade ficou evidente com os estudos de caso, onde o sistema conseguiu atender as necessidades do cliente em duas aplicações distintas. Apenas com uma pequena modificação na interface do sistema, este conceito passou da

automação de um engrenômetro para um laboratório de areias, em empresas de segmentos bem diferentes. Outra possibilidade que está sendo visualizada é a aplicação do sistema em sistemas cliente-fornecedor, no qual o cliente pode acessar os dados da qualidade da sua cadeia de fornecimento e acompanhar os processos de fabricação de seus produtos.

A implementação do sistema atendeu as expectativas de não causar impacto na estrutura física da empresa, não havendo necessidade de investimentos em infra-estrutura, visto que computadores ligados em rede é uma realidade em praticamente todas elas. A utilização de BD distribuída apresentou um bom desempenho, diminuindo o volume de dados nas bases distintas e aumentando a velocidade das consultas. A opção por este tipo de base, instalada no próprio computador, resolveu o problema de compatibilidade com bases de dados existentes. Este fator aumentou ainda mais a independência do sistema em relação à estrutura computacional da empresa.

Com a automação da coleta de dados e do CEP, este passou a ser uma ferramenta efetiva para garantia da qualidade, com cartas de controle em tempo real e identificação de causas especiais. Sua automação evitou uma série de erros inerentes do CEP convencional. O acesso aos dados via Internet, com o gráfico de controle também em tempo real, agiliza o processo de intervenção dos operadores, líderes e analistas nos processos, caso seja detectadas variações atípicas. As informações disponibilizadas pelo sistema atendem, sem restrições, às necessidades para a aplicação dos métodos preventivos (FMEA, QFD, PFMEA), aumentando a qualidade percebida pelo cliente e consolidando o sistema de garantia da qualidade.

A incorporação da garantia da qualidade das medições no sistema facilita o acompanhamento dos meios de medição, feito pela metrologia. O PMAPTM mostrou-se uma boa ferramenta para monitoramento dos sistemas de medição, e o acesso remoto permite um acompanhamento melhor destes sistemas. Dos estudos descritos no MSA, implementou-se o R&R, por ser o mais difundido na indústria, mas não está descartada a implementação dos demais estudos em aplicações futuras. A realização dos estudos em dispositivos multi-cotas, com diversos estudos acontecendo em paralelo, facilita a obtenção e análise dos dados e retrata melhor as condições de utilização do dispositivo.

A criação de relatórios padronizados apresentou resultados animadores, mostrando eficácia na distribuição das informações, antes limitada. Com estes relatórios, a pessoa recebe a informação necessária e com o formato adequado. A possibilidade de criação de eventos aumentou a versatilidade do sistema, fazendo com que este se adapte a diferentes condições de utilização, não importando a frequência das medições.

Assim, percebe-se que a implementação de um modelo mínimo de garantia da qualidade e metrologia atendeu às expectativas das empresas, mas este deve estar envolvido em um modelo de gestão bem mais amplo. Com a aplicação dos estudos de caso, fica claro que a inserção dessas ferramentas no cotidiano da empresa precisa ser gradativa. As pequenas empresas ainda trabalham com um modelo de gestão centralizador, e qualquer sistema que cause um impacto muito grande, corre o risco de não ser utilizado.

Uma terceira aplicação, já prevista, mas não relatada neste trabalho, será a utilização do conceito em uma célula de manufatura, através da automatização de um dispositivo multi-cotas, onde toda a parte de aquisição, sistema de informação e envio de relatórios será feita pelo *software* desenvolvido. Espera-se assim, validar plenamente o conceito como sendo uma solução prática e viável para garantia da qualidade de produto e metrologia em empresas de pequeno porte.

Por fim, o autor atribui o sucesso das aplicações dos estudos de caso à simplicidade do sistema, dimensionado para atender as pequenas indústrias, que estão ocupando cada vez mais um lugar de destaque no mercado e buscando soluções para continuar crescendo.

6.2 OPORTUNIDADES FUTURAS

Em função de peculiaridades e limitações próprias, este trabalho deixa em aberto várias questões que podem ser desenvolvidas em outros estudos:

- Melhoria da página de acesso, com mais opções de edição, para que o analista possa alterar configurações ou fazer cadastros remotamente;
- Adição de algumas ferramentas estatísticas para análises mais aprofundadas, como por exemplo, uma correlação entre duas

características de um lote ou de lote diferentes, verificação de normalidade, medidas de assimetria e curtose;

- Cálculo de índices do processo e plotagem de cartas de controle por tempo definido pelo usuário e não apenas por lote;
- Criação de um serviço de assessoramento remoto, no qual especialistas possam monitorar os processos de uma empresa e possam interagir com a engenharia desta;
- Melhorias na interface do *software* para operador, através de estudos de usabilidade, *design* de *interface* e ergonomia de *software*, com o objetivo de simplificar ainda mais operação do sistema;
- Desenvolvimento de ferramentas voltadas para educação, ajudas, tutoriais etc.
- Validação de todo o conceito em uma célula de manufatura, com uma bancada de medição e instrumentos distintos conectados a ele;
- Estudo de impacto no fluxo de informações nas empresas após a aplicação do conceito;
- Aplicação do sistema em pequenas empresas que fazem parte da cadeia de fornecimento de grandes empresas, sendo que estas podem ter um acompanhamento dos processos dos seus fornecedores.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000:** Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e vocabulários. Rio de Janeiro, 2000.
- [2] PFEIFFER, G. **Uma metodologia para determinação da necessidade de inspeção na manufatura.** Florianópolis, 1999. 91 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [3] PFEIFER, T.; TORRES, F. **Manual de gestión e ingeniería de la calidad.** 1ª ed. Zaragoza: Mira Editores, 1999. 586 p.
- [4] SHEWHART, W. **Economic control of quality of manufactured product.** Milwaukee: ASQC Quality Press, 1980.
- [5] SUNTAG, C. **Inspection and inspection management.** Milwaukee: ASQC Quality Press, 1993.
- [6] DONATELLI, G. D.; DAVIS, J. **The cost of the conformity with specifications.** Metrologie. Bordeaux, 1999.
- [7] MITTAG, H. J.; STEMANN, D. **Gage imprecision effect on the performance of $\bar{X} - S$ control chart.** Journal Applied Statistics, v. 25, nº 3, pp. 307-317, 1998.
- [8] KONRATH, A. C.; DONATELLI, G. D. **Efeito da incerteza de medição no controle estatístico de processos.** COBEF, 2005.
- [9] MITTAG, H. J. **Measurement error effects on the performance of process capability indices.** Statistical Quality Control, vol. 5, pp. 195-206, Physica, Heidelberg, 1997.

- [10] DONATELLI, G. D.; SCHNEIDER, C. A., BARP, A. M. **The influence of measurement errors on the values of process capability indices.** International Symposium on Metrology and Quality Control. Viena, 1998
- [11] DONATELLI, G. D. **Quality assurance of industrial measurements – Tribulations of a practitioner.** Key-note lecture, 2004.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001:** Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos. Rio de Janeiro, 2000.
- [13] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TS 16949:** Quality management systems – Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations. Geneva, 2002.
- [14] AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. **Análise dos sistemas de medição.** 3 ed. São Paulo, 2004.
- [15] SEBRAE. **Boletim estatístico de micro e pequenas empresas.** Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br>>. Acesso em: 01 set. 2006.
- [16] OAKLAND, J. S. **Gerenciamento da qualidade total TQM.** São Paulo: Nobel, 1994. 459p.
- [17] BALDO, C. R. **A interação entre o controle estatístico de processos e a metrologia em indústrias de manufatura.** 2003. 91f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [18] ASQ Statistics Division. **Improving performance through statistical thinking.** ASQ Press, 1999.
- [19] BALDO, C. R.; DONATELLI, G. D.; GIRARDI, C. **Metrology and manufacturing process improvements in a medium-sized Brazilian company.** 8th International Symposium on Metrology and Quality Control, Erlangen, 2004.

- [20] GELLE, E.; KARHU, K. **Information quality for strategic technology planning**. Industrial Management & Data Systems, n. 103/8, pp. 633-643, 2003.
- [21] SINGH, R.; GILBREATH, G. **A real-time information system for multivariate statistical process control**. Int. J. Production Economics, n. 75, pp. 161-172, 2002.
- [22] ASSIS, L. C. O poder dos pequenos. **Revista B2B Magazine**, São Paulo, ano I, n. 7, p. 36-45, jun. 2001.
- [23] BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**. 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- [24] TUBINO, D. F. **Sistemas de produção: A produtividade no chão de fábrica**. 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 1999.
- [25] KUNZMANN, H.; PFEIFER, T.; SCHMITT, R.; SCHWENKE, H.; WECKENMANN A. **Productive metrology - Adding value to manufacture**. CIRP annals, vol. 54, nº 2, 2005.
- [26] O'BRIEN, J. A. **Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da internet**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2004.
- [27] WIKIPÉDIA. **Banco de dados distribuídos**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki>>. Acesso em: 07 abr. 2006.
- [28] GUIDE TO THE CANADIAN GEOSPATIAL DATA INFRASTRUCTURE. **Distributed database search in the GeoConnections Discovery Portal**. Disponível em: <http://www.geoconnections.org/publications/Technical_Manual/html_e>. Acesso em: 07 abr. 2006.
- [29] HALLER, K. **AMOR: Agents, mobility, and transactions**. Disponível em: <<http://www.dbs.ethz.ch>>. Acesso em: 07 abr. 2006.

- [30] INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **APQP - Planejamento avançado da qualidade do produto e plano de controle**. Manual de Referência. São Paulo, 1994.
- [31] STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis – FMEA from theory to execution**. Milwaukee: ASQC Quality Press, 1995.
- [32] INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **FMEA - Análise de modo e efeitos de falha potencial**. Manual de Referência. São Paulo, 2001.
- [33] WHEELER, D. J.; CHAMBERS, D. S. **Understanding statistical process control**. 2 ed. Tennessee: SPC Press, 1992.
- [34] HAYAKAWA, R. I. **A automação da qualidade**. Revista Banas Qualidade, Maio/2001.
- [35] WOODALL, W. H. **Controversies and contradictions in statistical process control**. Journal of Quality Technology, vol. 32, nº 4, pp. 341-350. October, 2000.
- [36] DONATELLI, G. D.; BOCHÉ, S.; LUCCAS, J. **Influencia del error de medición en la inspección 100%**. Sociedad Argentina de Estadística. Neuquén, 2001.
- [37] GRYNA, F. **Quality planning and analysis**. 4ª ed. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [38] STEIN, P. **By their measures shall ye know them: Measurement results can cause undesired behaviors**. Quality Progress. Maio, 2001.
- [39] FIAT-GM POWERTRAIN. **Evaluation of measurement systems specification**. Versão 10.6, revisão 2004.
- [40] BOSCH. **Quality assurance in the Bosch Group Technical Statistics – 10. Capability of measurement and test processes**. Robert Bosch GmbH, ed. 01, 2003.

- [41] SILVA, A. C. **Uma sistemática para garantia da qualidade metrológica aplicada em ambiente industrial**. 2005. 95f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [42] DONATELLI, G. D.; SOARES, G. G.; MARQUES, C. C.; SCHMIDT, A. **Estabilidade estatística da medição**. Metrosul, 2002.
- [43] KNOWLES, G.; VICKERS, G.; ANTHONY, J. **Implementing evaluation of the measurement process in an automotive manufacturer: A case study**. Quality and Reliability Engineering International. February, 2003.
- [44] OLIVEIRA, A. L.; SILVA, A. C.; DONATELLI, G. D.; MOURA, P. **Racionalização dos estudos de repetitividade e reprodutibilidade para sistemas de inspeção por atributos**. COBEF, 2005.
- [45] EVERHART, J. L. **Development a process measurement assurance program (PMAP™)**. Cal Lab, 1997.
- [46] KIMOTHI, S. K. **The uncertainty of measurements, physical and chemical metrology: Impact and analysis**. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2002.
- [47] BENBOW, D.; BERGER, R.; ELSHENNAWY, A.; WALKER, H. F. **The certified quality engineer handbook**. 1ª ed. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2002.
- [48] STADZISZ, P. **Projeto de software usando a UML**. 2002. 69 f. Apostila - Departamento Acadêmico de Informática, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2002.
- [49] SOTUYO, J. **Automatização do controle estatístico da qualidade dimensional nos processos de fabricação mecânica**. 1987. 104f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [50] MARPOSS. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <www.marposs.com>. Acesso em: 05 abr. 2006.

- [51] IBR Messtechnik. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <www.ibrit.de>. Acesso em: 04 mai. 2006.
- [52] HEUSER, C.. **Projeto de banco de dados**. 4ª ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2001.
- [53] MYSQL. **Manual de referência do MySQL 4.1**. Disponível em: <<http://dev.mysql.com/doc/refman/4.1>>. Acesso em: 22 jun. 2006.
- [54] PINHEIRO, E. S. **Bancos de dados livres**. Disponível em: <<http://www.f13.com.br/erlon/bd/palestra/img13.html>>. Acesso em: 22 jun. 2006.
- [55] ARSYS.PT. **Bancos de dados – Access**. Disponível em: <<http://www.arsys.pt/ajuda/guias/access.htm>>. Acesso em: 22 jun. 2006.
- [56] WINCHELL, W. **Inspection and measurement in manufacturing, keys to process planning and improvement**. 2ª ed. Dearborn: Society Of Manufacturing Engineers, 1996. 198 p.
- [57] FRESCO. **Double flank gear roll inspection machines**. Disponível em <www.fresco.com>. Acesso em: 25 jun. 2006.