

**Universidade de Évora**

**Departamento de Gestão de Empresas**

**Mestrado em Organização e Sistemas de Informação**

**Dissertação de Mestrado**

**Sistema Integrado e Flexível para  
Controlo de Qualidade na Indústria Automóvel**

**Apresentada por**

Lic<sup>o</sup> Valentim Alberto Correia Realinho

**Orientador**

Professor Doutor Carlos Zorrinho



155912

**Évora 2005**

*Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri*

# **Sistema Integrado e Flexível para Controlo de Qualidade na Indústria Automóvel**

Dissertação apresentada à  
Universidade Évora  
para a obtenção do grau de  
Mestre em Organização e Sistemas de Informação

Orientador  
Professor Doutor Carlos Zorrinho

Évora 2005

*Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri*

## Resumo

---

A detecção de defeitos no final do processo de fabrico, ou até mesmo no cliente, é um processo dispendioso e incompatível com as exigências de qualidade e serviço actuais. O controlo da qualidade deve fazer parte do próprio processo produtivo, através de inspecções e testes que permitam detectar falhas e efectuar as correcções necessárias em antecipação, evitando-se a produção de sucata e diminuindo-se os custos da não-qualidade. A utilização de ferramentas de qualidade permite efectuar essas detecções, a sua caracterização e a remoção das suas causas, por forma a que sejam tomadas, atempadamente, medidas que reponham o processo nas condições normais de operação. Isto pode ser conseguido por actuação directa nos meios operacionais da produção. A este nível, o controlo estatístico do processo fornece um conjunto de ferramentas bastante eficazes para a tangibilidade deste objectivo, ao permitirem a detecção das causas especiais de variação.

Este trabalho tem por objectivo construir um modelo conceptual para a melhoria do processo, desenvolvendo-se um sistema de informação capaz de, em tempo real, permitir o controlo de qualidade aplicado às peças rejeitadas (*scrap*) e recuperadas (*rework*). O sistema foi testado e encontra-se actualmente em funcionamento numa empresa de produção de bancos de automóvel em espuma. Serão abordados os conceitos teóricos do controlo estatístico de processo e discutida a sua aplicação e utilidade à realidade em causa.

# **Integrated and Flexible System for Quality Control at Automobile Industry**

## **Abstract**

---

The detection of defects at the end of the manufacturing process, or even in the customer, is a costly and incompatible process with the actual quality demands and services. The quality control should be part of the entire productive process, through inspections and tests that allow the detection of fails and make the necessary corrections in anticipation, avoiding scrap production and diminishing costs of non-quality. The use of quality tools allows those detections, its characterization and the removal of root causes, in order to take actions that restore the process to normal conditions of operation. Acting directly in the process can do this. At this level, the statistical control process, supplies a set of effective tools for the prosecution of this goal, so they allow the detection of the special causes of variability.

This work aims to develop a conceptual model for process improvement, building an information system capable of, in real time, allowing control quality applied to scrap and rework. The system was tested and is now working in a foam production company for the automobile industry. It will be approached the theoretical concepts of statistical control process and discussed its application and usefulness to the reality in cause.

*"Ever tried. Ever failed.  
No matter. Try Again. Fail again. Fail better."*

**Samuel Beckett**

## **Agradecimentos**

---

Apesar destas linhas não serem retribuição suficiente, o meu primeiro agradecimento vai para a minha família que sempre soube compreender as ausências forçadas a que foi sendo obrigada para a realização deste meu trabalho.

Ao Professor Carlos Zorrinho, agradeço o incentivo e encorajamento dados na realização deste trabalho e por me ter proporcionado uma outra visão dos sistemas de informação.

Ao Director Geral da empresa alvo deste trabalho, agradeço a disponibilidade e a colaboração prestada no sentido de testar e validar o sistema. A ele devo também muitas das ideias apresentadas. Só com a sua colaboração foi possível definir um modelo, que baseado num caso particular, se pode generalizar a grande parte da indústria de moldes.

Agradeço ainda à Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Portalegre, todas as facilidades de horário que me permitiram gerir o tempo sempre escasso e cumprir com o plano definido.

Um agradecimento muito especial à Sofia, pela grande contribuição e crítica, na preciosa tarefa de revisão do texto.

O meu agradecimento final vai para os amigos que me acompanharam neste trabalho e me facilitaram os meios para o concluir.

## ÍNDICE

---

<b>RESUMO.....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE QUADROS.....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Escolha do Tema.....	1
1.2 Objectivos.....	3
1.3 Metodologia.....	3
1.4 Resultados esperados .....	5
1.5 Estrutura da dissertação .....	5
<b>CAPÍTULO 2 - ENQUADRAMENTO TEÓRICO E EMPÍRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1 A qualidade na indústria automóvel .....	7
2.1.1 Perspectiva histórica .....	7
2.1.2 Conceito de qualidade.....	10
2.1.3 Custos da qualidade .....	11
2.2 A utilização dos sistemas de informação nos processos industriais.....	12
2.2.1 Planeamento de Recursos Empresariais - ERP .....	13
2.2.2 Produção Integrada por Computador - CIM .....	15
2.2.3 Integração de sistemas .....	18
2.3 Controlo estatístico do processo .....	23
2.3.1 Variabilidade no processo.....	24
2.3.2 Cartas de controlo .....	25
2.3.3 Análise da capacidade do processo.....	42
2.3.4 Pré-controlo .....	45
2.3.5 As outras ferramentas de controlo estatístico do processo.....	46
2.4 A inteligência artificial aplicada ao controlo estatístico do processo .....	51
2.4.1 Conceitos básicos.....	51
2.4.2 Inteligência artificial simbólica.....	52
2.4.3 Inteligência artificial conexionista .....	53
2.4.4 Abordagem evolucionária por algoritmos genéticos.....	53
2.4.5 Inteligência artificial distribuída ou abordagem por agentes .....	54
2.4.6 Abordagem por lógica difusa.....	56
2.4.7 Utilização de técnicas de inteligência artificial no controlo de qualidade .....	57
<b>CAPÍTULO 3 - O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ESPUMAS MOLDADAS.....</b>	<b>61</b>
3.1 Utilização de espumas na indústria automóvel.....	61
3.2 Assentos de automóvel .....	62
3.3 Espumas de dureza múltipla .....	62
3.4 Processo de fabrico .....	63
3.4.1 Moldagem por injeção e reacção - RIM.....	65
3.4.2 Injeção a quente .....	65
3.4.3 Injeção a frio .....	67
3.5 Encostos de cabeça e apoio de braços.....	68
3.6 Controlo de qualidade na produção de espumas.....	69
<b>CAPÍTULO 4 - MODELO CONCEPTUAL PROPOSTO.....</b>	<b>71</b>
4.1 Modelo Conceptual.....	71
4.1.1 Recolha de Dados .....	72
4.1.2 Detecção de Problemas .....	77

4.1.3 Identificar Causa Raiz.....	84
4.1.4 Acção Correctiva .....	87
4.1.5 Seguimento .....	88
4.1.6 Configuração.....	93
4.1.7 Relatórios.....	97
4.1.8 Base de Conhecimento.....	98
<b>CAPÍTULO 5 - IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO .....</b>	<b>101</b>
5.1 Metodologia de desenvolvimento do sistema de informação .....	101
5.1.1 Definição das especificações .....	101
5.1.2 Projecto do Sistema.....	102
5.1.3 Codificação e Testes .....	102
5.1.4 Operação e Manutenção.....	102
5.1.5 Gestão da Mudança.....	103
5.2 Arquitectura do Sistema.....	103
5.3 Arquitectura Aplicacional.....	104
5.3.1 Linguagem de programação.....	105
5.3.2 Sistema de gestão de base de dados .....	106
5.3.3 Linguagem de acesso aos dados.....	106
5.3.4 Acesso à base de dados – <i>Database Middleware</i> .....	106
5.3.5 Programação Orientada a Objectos.....	107
5.3.6 Objectos ActiveX.....	108
5.3.7 Objectos distribuídos DCOM.....	109
5.3.8 Biblioteca de cálculo estatístico R .....	109
5.4 Aplicação do modelo .....	110
<b>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>117</b>
6.1 Conclusões gerais .....	117
6.2 Limitações do trabalho.....	118
6.3 Dificuldades encontradas.....	119
6.4 Sugestões para trabalhos futuros.....	119
<b>ANEXO I - DISTRIBUIÇÃO NORMAL.....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO II - FACTORES PARA A CONSTRUÇÃO DE CARTAS DE CONTROLO DE VARIÁVEIS ....</b>	<b>123</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>125</b>

## Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Análise gráfica da capacidade de um processo .....	43
Quadro 2.2 - Classificação de processos a partir do índice $C_p$ .....	45
Quadro 2.3 - Tabela para a construção de histograma.....	47
Quadro 2.4 - Tipos de agentes, percepções, acções, objectivos e ambiente .....	56
Quadro 4.1 - Tabela de defeitos classificados por molde e código de defeito.....	78
Quadro 4.2 - Defeitos observados durante uma hora.....	81
Quadro 4.3 - Tabela de alertas.....	82
Quadro 5.1 - Resumo de produção por modelo .....	112
Quadro 5.2 - Resumo da produção por mês .....	113
Quadro 5.3 - Recuperados por tipo e mês (% do total mensal) .....	114
Quadro 5.4 - Rejeitados por tipo e mês (% do total mensal) .....	114



## Índice de Figuras

Figura 1.1 - Ciclo simplificado de investigação-acção.....	4
Figura 1.2 - Metodologia do trabalho.....	4
Figura 1.3 - Estrutura da dissertação.....	5
Figura 2.1 - A roda de Deming.....	9
Figura 2.2 - O ciclo de Deming.....	9
Figura 2.3 - Evolução dos custos de falhas e inspecção face à qualidade.....	12
Figura 2.4 - Evolução até aos sistemas ERP.....	15
Figura 2.5 - Componentes CIM.....	16
Figura 2.6 - Níveis de integração.....	19
Figura 2.7 - Tipos de arquitectura cliente/servidor.....	20
Figura 2.8 - Carta de controlo típica.....	26
Figura 2.9 - Intervalos de confiança.....	27
Figura 2.10 - Utilização das cartas de controlo na melhoria de processo.....	28
Figura 2.11 - Indicadores das cartas de controlo que requerem investigação.....	31
Figura 2.12 - Teorema do limite central.....	33
Figura 2.13 - Intervalos de pré-controlo.....	45
Figura 2.14 - Histograma de frequências.....	47
Figura 2.15 - Gráfico de Pareto.....	49
Figura 2.16 - Exemplo de diagrama causa-efeito.....	50
Figura 2.17 - Gráfico de dispersão.....	51
Figura 3.1 - Uso de espumas nos automóveis.....	61
Figura 3.2 - Assento de automóvel.....	62
Figura 3.3 - Assento de espuma de duas durezas.....	63
Figura 3.4 - Esquema do processo de moldagem de espumas.....	64
Figura 3.5 - Esquema da cabeça misturadora no processo RIM.....	65
Figura 3.6 - Processo de produção de espumas flexíveis moldadas a quente.....	66
Figura 3.7 - Processo de produção de espumas flexíveis moldadas a frio.....	68
Figura 4.1 - Modelo Conceptual do Sistema.....	71
Figura 4.2 - Entrada de dados através de touchscreen para as peças recuperadas.....	75
Figura 4.3 - Zoom da Ajuda Visual.....	76
Figura 4.4 - Entrada de dados através de leitura de código de barras – peças embaladas.....	76
Figura 4.5 - Implementação dos alertas.....	80
Figura 4.6 - Écran de alarmes.....	83
Figura 4.7 - Resolução de problemas - identificar causa.....	86
Figura 4.8 - Clique sobre uma causa no diagrama de causa-efeito.....	86
Figura 4.9 - Resolução de problemas - plano de acção 5WIH.....	87
Figura 4.10 - Resolução de problemas – documentação anexa.....	88
Figura 4.11 - Seguimento.....	89
Figura 4.12 - Selecção de defeito num gráfico de pareto.....	90
Figura 4.13 - Dados do Pareto.....	90
Figura 4.14 - Seguimento - Resumo Estatístico (recuperados).....	91
Figura 4.15 - Gráfico comparativo para seguimento.....	92
Figura 4.16 - Indicadores.....	93
Figura 4.17 - Configuração da Fábrica.....	94
Figura 4.18 - Configuração de postos de trabalho de acabamentos.....	95
Figura 4.19 - Écran de acesso ao sistema.....	96
Figura 4.20 - Gestão de acessos.....	97
Figura 4.21 - Exemplo de relatório de Indicadores por mês e turno.....	98
Figura 5.1 - Metodologia de desenvolvimento do sistema.....	101
Figura 5.2 - Arquitectura Geral do Sistema.....	104
Figura 5.3 - Arquitectura Aplicacional.....	104
Figura 5.4 - Propriedades, métodos e eventos ActiveX.....	108
Figura 5.5 - Exemplo de uma sessão de R para a criação de um histograma e de uma carta c.....	110
Figura 5.6 - Evolução da produção.....	113



## Abreviaturas e Siglas

---

5W1H	<i>What, When, Who, Where, Why, How</i> - o quê, quando, quem, onde, porquê, como
ARL	<i>Average Run Length</i> - Número médio de pontos desenhados antes da carta de controlo indicar que o processo está fora de controlo
ATS	<i>Average Time to Signal</i> - Tempo necessário para a detecção de uma situação fora de controlo
c	Número de defeitos numa unidade de inspecção referente à carta de controlo c, onde a distribuição dos defeitos segue uma distribuição de Poisson
CEP	Controlo Estatístico do Processo
CEQ	Controlo Estatístico da Qualidade
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i> – Produção Integrada por Computador
Cp, Cpk	Índices de Capacidade do processo
CUSUM	<i>Cumulative Sum</i> , Soma Cumulativa referente à carta de controlo CUSUM
DBMS	<i>Data Base Management Systems</i> – Sistema de Gestão de Base de Dados
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> – Planeamento de Recursos Empresariais
EWMA	<i>Exponentially Weighted Moving Average</i> - Média Móvel Exponencialmente Ponderada referente à carta de controlo EWMA
HMI	<i>Human Machine Interface</i> - Interface Homem Máquina
IA	Inteligência Artificial
IAC	Inteligência Artificial Conexionista
IAD	Inteligência Artificial Distribuída
IAS	Inteligência Artificial Simbólica
IID	Identicamente distribuído e independente
ISO14000	Série de padrões de Qualidade ambiental estabelecida pela ISO ( <i>International Standard Organization</i> )
ISO9000	Série de padrões de Qualidade estabelecida pela ISO ( <i>International Standard Organization</i> )
LC	Linha Central de uma carta de controlo

LIC	Limite Inferior de Controlo de uma carta de controlo
LSC	Limite Superior de Controlo de uma carta de controlo
MA	<i>Moving Average</i> - Média Móvel referente à carta de controlo MA
MRP	<i>Material Requirement Planning</i> – Planeamento de Necessidades de Materiais
MRP II	<i>Manufacturing Resources Planning</i> – Planeamento de Recursos de Produção
np	Número de itens defeituosos numa amostra referente às cartas de controlo np, onde a distribuição dos defeitos segue uma distribuição binomial
OCAP	<i>Out of Control Action Plan</i>
ODBC	<i>Open Database Connectivity</i>
p	Taxa de itens defeituosos numa amostra referente à carta de controlo p, onde a distribuição dos defeitos segue uma distribuição binomial
PDCA	<i>Plan, do, check, act</i> - planeie, faça, verifique, aja
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> , Desdobramento da Função da Qualidade, técnica de planeamento que permite atingir as expectativas do cliente quanto à qualidade pela sua tradução em directrizes e acções
R	Amplitude (intervalo) amostral referente à carta de controlo de amplitudes
RIM	<i>Reaction Injection Molding</i> - Moldagem por injeção e reacção
s	Desvio padrão amostral referente à carta controlo de desvio padrão
SDP	Solução Distribuída de Problemas
SMA	Sistema Multi Agentes
SPC	<i>Statistical Process Control</i> - Controlo Estatístico do Processo
SQC	<i>Statistical Quality Control</i> - Controlo Estatístico da Qualidade
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i> - Gestão Total da Qualidade
U	Taxa de defeitos por unidade de inspecção referente à carta de controlo u, onde a distribuição dos defeitos segue uma distribuição de Poisson

# Capítulo 1 - Introdução

---

## 1.1 Escolha do Tema

O presente trabalho insere-se no âmbito do Mestrado em Organização e Sistemas de Informação da Universidade de Évora e pretende, servir de suporte à realização duma dissertação dedicada à temática da utilização dos sistemas de informação no controlo de qualidade.

A questão da qualidade há muito que se revestiu de importância fundamental tomando também em muitos casos o sentido da produtividade. Alguns autores, como Deming (1986), destacam que o estudo e a determinação dos custos com a qualidade é um trabalho em vão, em virtude da consideração de que ela é algo que se paga sozinha. Partem do pressuposto de que todo o esforço aplicado na obtenção da qualidade retorna através de maior participação no mercado. Outros autores, como Crosby (1979) e Juran (1991) defendem o desenvolvimento e a implementação de um sistema de medida do custo de qualidade.

A indústria automóvel em particular, é extremamente exigente no controlo da qualidade ao longo de toda a cadeia de valor. Os fornecedores são constantemente auditados pelos clientes, exigindo estes, elevados padrões de qualidade. É comum nestas organizações a existência de programas e ferramentas de qualidade baseadas nos princípios de Gestão pela Qualidade Total com responsáveis e planos de formação abrangentes a toda a organização sobre os diversos métodos e metodologias. Estes programas são muito focalizados na mudança de cultura da organização, colocando nas pessoas a responsabilidade pela qualidade e melhoria dos processos, com vista a conduzir a organização a patamares mais elevados de eficácia e eficiência.

Para além dos custos internos provenientes essencialmente de problemas de processo, os problemas de não qualidade externos, com os fornecedores e com os clientes, reflectem-se internamente na organização. Nestes casos, é comum os contratos preverem pesadas multas em caso de incumprimentos que podem atrasar ou parar a produção, por em causa a segurança interna e do cliente final ou ainda conduzir à rejeição de lotes inteiros de produção. As auditorias de qualidade, pretendem detectar tão cedo quanto possível estes problemas para que não se propaguem ao longo de toda a cadeia de valor.

Um outro conceito inicialmente introduzido por Crosby (1967) e hoje muito vulgar, é o de não qualidade que se refere ao não cumprimento dos requisitos padronizados e inclui a recuperação de peças<sup>1</sup>, os rejeitados<sup>2</sup>, paragens de linhas não programadas, reinspecções, análise de problemas, etc. A maioria das organizações, inclusive naquelas em que existem programas de qualidade, gasta pelo menos 20% das suas receitas com o custo de não qualidade (CROSBY 1967).

A utilização do controlo estatístico do processo na indústria visando a eficiência, produtividade e vendas, popularizou-se, a partir do trabalho de Deming sendo hoje utilizado frequentemente como ferramenta chave de controlo de qualidade. Para que se possam usar estas ferramentas, torna-se necessário existirem dados em quantidade que permitam aplicar com rigor os métodos estatísticos que estão na base teórica destas ferramentas. A inspecção a 100%, ou peça a peça gera enormes quantidades de dados em especial em unidades fabris de grandes volumes de produção como é comum na indústria automóvel. A maior dificuldade que existe, diz respeito à forma como esses dados são obtidos. Nalguns casos, eles podem ser obtidos de forma automática quando se utilizam autómatos que fazem as medições necessárias e descarregam essa informação para uma base de dados central; noutros, deverá ser o operador, a introduzir manualmente os dados relativos às inspecções efectuadas. Qualquer que seja o método de recolha de dados, o passo seguinte é analisá-los usando *software* apropriado que implementa as mais diversas ferramentas gerando alertas sempre que o processo se encontre a produzir fora dos padrões habituais ou expectáveis.

De entre os indicadores de qualidade que mais preocupam os gestores, encontram-se a taxa de recuperação e de rejeitados. De acordo com Montgomery (2001), estes problemas, representam a maior fonte de falta de produtividade nas empresas. São estes os indicadores que neste trabalho se pretende controlar propondo-se para isso a conceptualização e implementação de um sistema de informação aplicado à realidade de uma empresa de produção de bancos de automóvel em espuma. O sistema recolhe dados em tempo real para serem analisados através de ferramentas baseadas na teoria do controlo estatístico do processo.

---

<sup>1</sup> Também chamada de retrabalho ou *rework*, refere-se à necessidade de efectuar pequenas reparações ao produto de forma a estar de acordo com os padrões de qualidade.

<sup>2</sup> Rejeitados ou *scrap* como normalmente é designado, refere-se a todo o produto que não está conforme os requisitos de qualidade e que não podendo ser reparado é deitado fora.

## **1.2 Objectivos**

A realização desta dissertação deverá ser entendida como a conceptualização e desenvolvimento de um sistema de informação capaz de dar resposta ao problema do controlo de qualidade atrás referido.

De forma a tornar o modelo mais efectivo, este foi testado e validado, numa empresa de produção de assentos de espuma para automóveis, apresentando-se no final do trabalho as principais conclusões.

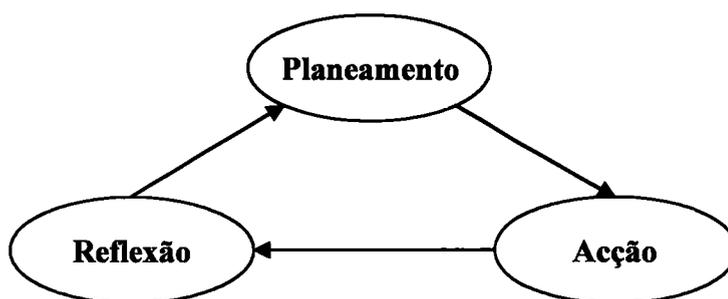
O modelo proposto apresenta características de flexibilidade e modularidade, permitindo uma fácil adaptação a diferentes realidades fabris. Contudo, não foi propósito deste trabalho, a validação do modelo para outras realidades organizacionais, nomeadamente outras indústrias ou sectores de actividade.

## **1.3 Metodologia**

De forma a dar uma melhor resposta ao problema, e uma vez que a base do trabalho foi desde sempre, a de testar e validar o modelo numa empresa, utilizou-se como ponto de partida, o método de investigação-acção. Com efeito, o conjunto de características que definem o caso em estudo, enquadram-se perfeitamente nos aspectos que Dick (2000) enumera como essenciais no método de investigação-acção:

- Pretende-se actuar sobre uma situação existente perseguindo o duplo objectivo de a melhorar e de ampliar o conhecimento sobre a temática em estudo;
- Possui natureza cíclica: é executado um conjunto de passos de forma recorrente. Este ciclo pode variar consoante o autor, mas no mínimo incluirá os passos da Figura 1.1;
- Pode, eventualmente, contar com a participação dos sujeitos constituintes do objecto da investigação. Não se trata, porém, de um requisito consensualmente aceite como obrigatório;
- Possui natureza reflexiva: uma reflexão crítica sobre o próprio processo de investigação e sobre os resultados obtidos constitui um aspecto importante de cada ciclo.

**Figura 1.1 - Ciclo simplificado de investigação-acção**

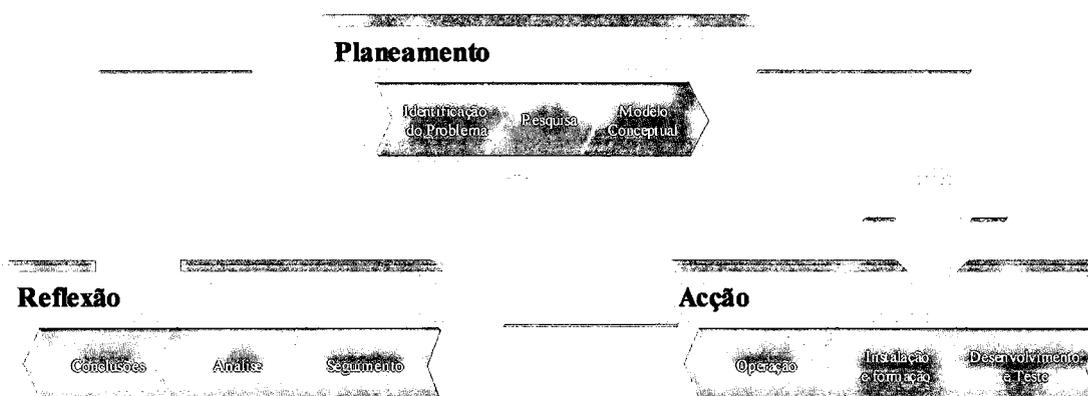


Fonte: Adaptado de Dick (2000)

No essencial este método, consiste em executar repetidamente o ciclo apresentado: planeiam-se os contornos da intervenção a realizar (Planeamento), implementam-se as acções determinadas, provocando mudanças na situação em causa (Acção) e, seguidamente, realiza-se a análise crítica dos resultados que, em princípio, contribuirá para melhorar o entendimento da situação e assim ajustar as intervenções dos ciclos seguintes (Reflexão). Este processo permite que o estudo se inicie com base num problema de contornos difusos e convirja para uma solução à medida que o conhecimento vai emergindo de ciclo para ciclo.

Para cada uma das etapas do método, definiram-se os processos que melhor se adaptavam ao caso concreto em estudo, resultando na metodologia que pode ser esquematicamente representada na Figura 1.2.

**Figura 1.2 - Metodologia do trabalho**



Com esta dissertação, fecha-se o primeiro ciclo, prevendo iniciar-se novo ciclo com a continuação em trabalho de doutoramento.

## 1.4 Resultados esperados

Espera-se com este trabalho atingir os seguintes resultados genéricos:

- Contribuição para um maior conhecimento do problema, procurando-se simultaneamente melhorar e ampliar;
- Análise crítica em contexto real da solução proposta;
- Ponto de partida para uma linha de investigação centrada na utilização de sistemas de informação aplicados ao controlo de qualidade.

## 1.5 Estrutura da dissertação

Além do presente capítulo, este trabalho está organizado em mais três partes genéricas: fundamentos, análise e consolidação.

Figura 1.3 - Estrutura da dissertação

### Primeira Parte – Introdução

*Capítulo 1 – Introdução*

### Segunda Parte – Fundamentos

*Capítulo 2 – Enquadramento Teórico e Empírico*

*Capítulo 3 – O Processo de Produção de Espumas Moldadas*

### Terceira Parte – Análise e desenvolvimento do problema

*Capítulo 4 – Modelo Conceptual Proposto*

*Capítulo 5 – Implementação do Modelo*

### Quarta Parte – Consolidação de resultados e conclusões

*Capítulo 6 – Resultados e Conclusões*

A segunda parte, de fundamentos do problema, é composta pelos Capítulos 2 e 3, e nela se apresentam conceitos básicos directa ou indirectamente relacionadas com o controlo de qualidade. São ainda revistos alguns estudos efectuados de utilização de técnicas de inteligência artificial no controlo de qualidade. No Capítulo 3 é descrito o processo de produção de espumas moldadas na indústria automóvel.

A terceira parte consiste nos Capítulos 4 e 5, os quais têm como objectivo apresentar um modelo conceptual para melhoria continua baseado nas ferramentas tradicionais de controlo estatístico. No Capítulo 5, é descrito o desenvolvimento do sistema de informação de suporte

ao modelo, bem como a sua aplicação numa empresa de produção de assentos automóvel em espuma.

Finalmente, na última parte, composta pelo Capítulo 6, apresentam-se a consolidação do trabalho e algumas notas sobre trabalho futuro.

## **Capítulo 2 - Enquadramento teórico e empírico**

---

Pretende-se, neste capítulo, desenvolver um enquadramento teórico e empírico para a questão da qualidade na indústria automóvel, apresentando-se os principais conceitos utilizados nas técnicas de controlo estatístico do processo. Em primeiro lugar, são definidos aspectos básicos que permitem compreender a evolução do movimento da qualidade, através da sua perspectiva histórica, assim como o conceito teórico de qualidade e das técnicas de controlo estatístico do processo, apresentando-se conceitos básicos, conceitos de avaliação da qualidade e as principais técnicas de controlo estatístico do processo actualmente utilizadas. Serão ainda revistos alguns estudos efectuados de utilização de técnicas de inteligência artificial no controlo de qualidade.

### **2.1 A qualidade na indústria automóvel**

#### **2.1.1 Perspectiva histórica**

A qualidade tem sido uma preocupação constante na indústria automóvel. Com efeito, já com Ford se manifestava esta preocupação ao introduzir o conceito de produção em massa, numa óptica de produção de veículos acessíveis e fiáveis, com uma boa relação qualidade/preço. Nesta altura os conceitos vigentes do Taylorismo punham a tónica na performance da máquina e na produtividade da mão-de-obra, reduzindo o homem a um mero papel passivo.

Os primeiros desenvolvimentos no que respeita à qualidade total na empresa datam de 1920. Nos Estados Unidos da América, a Bell Telephone desenvolveu, através de Shewhart, métodos estatísticos de controlo por amostragem, tendo criado em 1924 o conceito de carta de controlo.

A segunda guerra mundial, veio expandir o uso e aceitação destes conceitos na indústria. Em 1946 foi criada a American Society for Quality Control (ASQC), mas foi no Japão, que Deming e Juran, a partir dos ensinamentos de Shewhart, tomaram e desenvolveram os conceitos na indústria japonesa, com o apoio de percussores japoneses como Ishikawa e Taguchi. A Toyota, com a sua capacidade de gestão de operações consubstanciada na produção *lean*, foi a primeira empresa a adoptar o conceito de qualidade total (WOMACK e JONES 1996), arrastando toda a indústria japonesa para um patamar de eficácia que originou o posicionamento que detém actualmente à escala mundial. De um modo geral, a transposição

transcontinental destes métodos teve um relativo sucesso. No entanto, numerosos casos foram decepcionantes, tendo um determinante comum: o deficiente cruzamento entre a técnica e a cultura da empresa (JOCOUC e LUCAS 1992). A globalização dos métodos da Toyota, alastrando as práticas da produção *lean* à indústria em geral, foi o elemento mobilizador da assunção da qualidade como elemento integrador da estratégia da empresa (WOMACK e JONES 1996).

A Gestão pela Qualidade Total implica a aplicação de todos os princípios de gestão pela qualidade a todos os elementos da actividade das organizações, incluindo clientes e fornecedores. A qualidade alarga assim o seu conceito do plano operacional ao plano estratégico: a Gestão pela Qualidade Total é uma forma de gerir e promover a eficácia, flexibilidade e competitividade do negócio como um todo; é, igualmente, um método para a redução de desperdício, envolvendo todos na melhoria da forma como a actividade é desempenhada (HO e FUNG 1994).

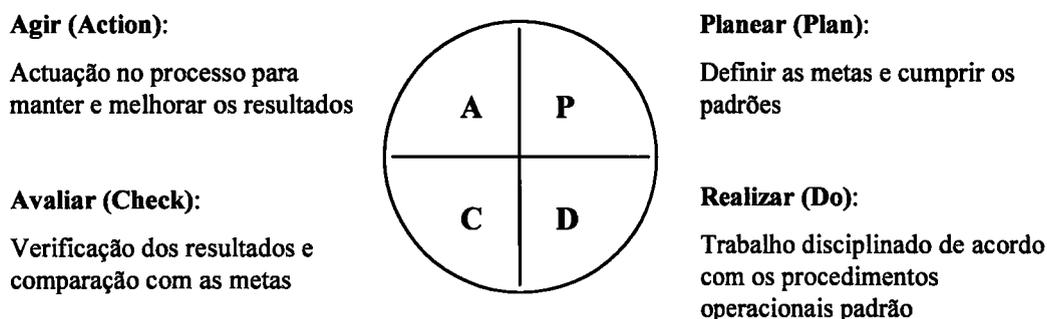
Os estudos de Crosby, Deming, Feigenbaum e Juran são a referência para a definição da filosofia da Gestão pela Qualidade Total, mas o conceito, assim como as práticas a ele associadas ficam marcados pelo trabalho de numerosos investigadores.

Philip Crosby dedicou especial ênfase à qualidade como elemento de redução de custos e aumento de lucros. Com o seu "Programa de Melhoria da Qualidade em 14 Passos" (CROSBY 1979), definia os pontos chave de evolução da empresas a caminho da Qualidade Total. Devido à ênfase por si colocada na redução de custos e no aumento de lucros, Crosby é reconhecido como um dos principais motivadores dos gestores para a Gestão pela Qualidade Total.

A tese de W. Edwards Deming é a de que a qualidade melhora a produtividade e a posição competitiva. A abordagem de Deming à qualidade é essencialmente estatística (DALE 1994), ao ponto de relevar a importância da formação de todos os trabalhadores em métodos estatísticos de qualidade. A sua filosofia está patente nos seus "14 Pontos" de gestão pela qualidade, onde enfatiza o facto de que a gestão pela qualidade e o melhoramento contínuo são responsabilidades de todos os trabalhadores, devendo a gestão de topo envolver-se no processo a todos os níveis. Deming representa o progresso contínuo por uma roda (DEMING 1986). Nela, pode observar-se a evolução perpétua, ciclo após ciclo, dos procedimentos

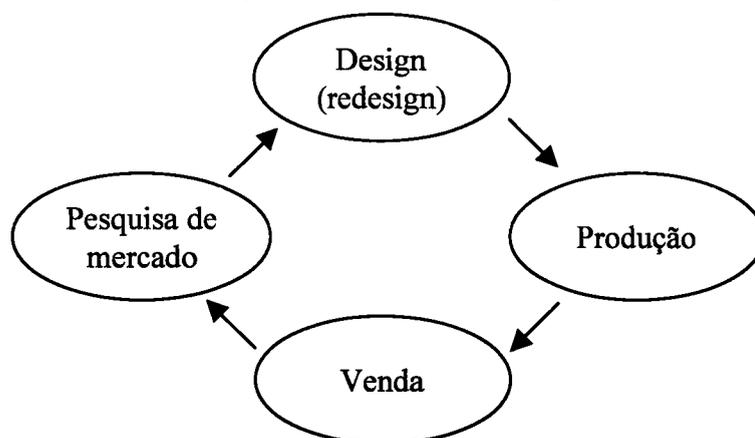
subjacentes à qualidade total segundo o autor: planear a acção (*plan*), realizá-la (*do*), avaliar os resultados (*check*) e agir em conformidade (*action*).

**Figura 2.1 - A roda de Deming**



A qualidade é um processo pensado e repensado segundo uma sucessão de ciclos que se iniciam na pesquisa de mercado, passando pela concepção, pela produção e terminando nas vendas, após o que se inicia novo ciclo. O ciclo de Deming (1986), apresentado na Figura 2.2, sugere que a empresa deve estar sempre atenta às necessidades dos consumidores, antecipando-as e, se possível, agindo de forma pró-activa, induzindo novos atributos que mais tarde se constituam como necessidades do mercado.

**Figura 2.2 - O ciclo de Deming**



Para Armand Feigenbaum (1983), a qualidade é uma forma de gerir uma organização, sendo que melhorias significativas ao nível da qualidade só podem emergir do envolvimento de todos os trabalhadores. O corpo de gestão desempenha um papel importante na liderança do processo, que deve assentar em medidas claras de gestão da actividade orientadas para o cliente. Feigenbaum (1983), cujos estudos são reconhecidos pela introdução da consideração isolada dos custos de qualidade, deixa as seguintes orientações para a gestão:

- o processo de melhoria da qualidade deve ser continuamente reforçado;

- deve assegurar-se que a melhoria da qualidade se torne num hábito;
- qualidade e custos devem ser geridos como dois objectivos complementares.

A Juran devem-se os maiores contributos para a literatura sobre Gestão pela Qualidade Total. A tese de Juran, ao contrário de Deming, e alinhando com Crosby e Feigenbaum, assenta na importância da redução dos custos de qualidade nas empresas. O seu método fica claro nos seus "10 Pontos" (JURAN 1992).

De um modo geral, as teses destes quatro autores de referência podem ser consideradas como complementares, diferindo fundamentalmente no foco de análise. Enquanto Crosby foca a motivação de toda a empresa, Deming foca o controlo estatístico dos processos, e Feigenbaum a gestão dos sistemas associados à actividade. A tese de Juran assume um foco mais apertado, ao nível da gestão dos projectos (DALE 1994). Uma análise abrangente das teorias subjacentes à qualidade deve considerar as filosofias de gestão japonesas, desenvolvidas com base nos ensinamentos dos autores supra citados, em particular de Deming e Juran.

De entre os autores japoneses, são particularmente importantes os trabalhos de Ishikawa e Taguchi, sendo que os deste último são os que maior notoriedade alcançaram no mundo ocidental (DALE 1994). As práticas associadas à qualidade total na indústria japonesa são usualmente designadas por "Controlo Total da Qualidade" e apresentam alguns conceitos de base em comum com a Gestão pela Qualidade Total, como o envolvimento e empenho de todos os colaboradores no melhoramento total e contínuo da empresa. O uso de práticas associadas à prevenção e ao controlo, a filosofia do *just-in-time*, os círculos de qualidade, os esquemas de sugestões e o envolvimento estreito com fornecedores são exemplos dos contributos japoneses para a gestão da qualidade, e são hoje ferramentas de adopção corrente no mundo ocidental.

### **2.1.2 Conceito de qualidade**

Segundo as normas ISO, pode definir-se qualidade como a totalidade de características de um produto que lhe conferem aptidão para satisfazer necessidades implícitas ou explícitas.

A definição deriva dos trabalhos de Juran, que define qualidade como "*aptidão para o uso*", acentuando a confiança que um produto ou serviço devem merecer dos seus utilizadores (JURAN e GRYNA 1991). O resultado dos trabalhos de Crosby é igualmente evidente na

definição adoptada internacionalmente: para Crosby, qualidade significa "*conformidade com os padrões estabelecidos*" (DALE 1994).

É esta a abordagem que se privilegia na definição de desempenho na qualidade, associada à importância do valor atribuído pelo cliente aos produtos, que, de um modo geral, assenta na forma como estes correspondem às suas necessidades e desejos, e que se traduz em indicadores qualitativos como a taxa de defeitos de recuperação e de rejeitados (MCKINSEY 1994; VELOSO *et al.* 2000).

O conceito de desempenho da qualidade assume neste trabalho um papel preponderante, enquanto perspectiva externa da qualidade, medido em função de indicadores como a taxa de recuperação ou rejeição, sendo estas as variáveis que se pretende controlar com o sistema proposto.

### **2.1.3 Custos da qualidade**

Para os puristas, os custos da qualidade significam todos os custos atribuíveis à produção, cuja qualidade não seja 100% perfeita. Uma definição menos rígida, considera somente os custos que resultam da diferença entre o que pode ser esperado de uma excelente performance e os custos correntes que existem.

Quando uma organização implementa um sistema de qualidade, os custos de implementação podem parecer muito elevados. No entanto, verifica-se que na maior parte dos casos, após o sistema ter sido implementado, há um aumento da produção, bem como uma diminuição dos seus custos. Em muitos casos basta apenas reformular o processo e métodos de trabalho para que sejam economizados custos que pareciam fixos.

Foi estimado que os custos da qualidade representam entre 15 a 20 por cento de cada unidade monetária de venda – o custo de recuperar, rejeitar, do serviço repetido, das inspecções, testes, e garantias, e outros elementos relacionados com a qualidade. Crosby (1979) refere que o custo correcto para um programa de gestão da qualidade bem conduzido, deveria estar abaixo de 2,5%.

Os custos da qualidade são geralmente classificados da seguinte forma:

1. Custos de avaliação

Os custos de inspeção, teste e outras tarefas para garantir que o produto ou o processo é aceitável.

2. Custos de prevenção

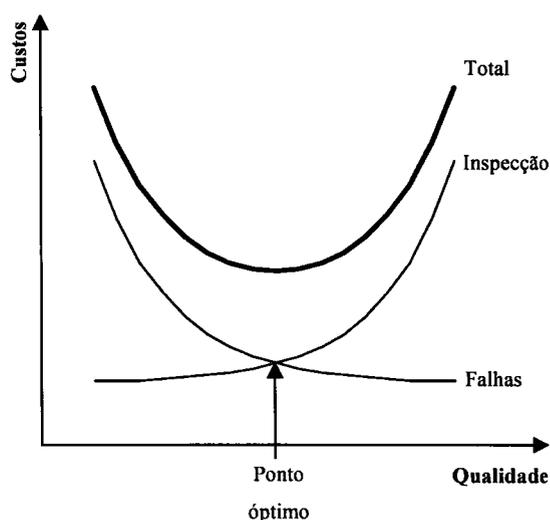
A soma de todos os custos para prevenir a ocorrência de defeitos: os custos para identificar a causa do defeito, para implementar acções correctivas, para eliminar a causa, para formação do pessoal, para redesenhar o produto ou o sistema, e para equipamento novo ou modificações.

3. Custos das falhas

Podem ser internos, que representam os ocorridos no sistema (como os rejeitados, reparação e recuperação); ou externos que representam os custos dos defeitos que passam através do sistema: substituições cobertas pela garantia, perda de clientes ou da confiança, tratamento de reclamações e reparações do produto.

Para um dado processo produtivo, os custos de avaliação aumentam com a qualidade que se pretende atingir, e os custos associados com as falhas diminuem em função de maiores níveis de qualidade atingidos. Entre estes dois custos há um ponto óptimo até onde é rentável chegar.

**Figura 2.3 - Evolução dos custos de falhas e inspeção face à qualidade**



## 2.2 A utilização dos sistemas de informação nos processos industriais

A importância da informação para as organizações de hoje é universalmente aceite, constituindo, senão o mais importante, pelo menos um dos recursos cuja gestão e

aproveitamento mais influencia o sucesso das organizações (WARD 1995). Além de ser vista como qualquer outro recurso, a informação é também considerada e utilizada em muitas organizações como um factor estruturante e um instrumento de gestão da organização (ZORRINHO 1991), bem como uma arma estratégica indispensável para a obtenção de vantagens competitivas (PORTER 1985).

A introdução dos computadores nos processos de fabrico, originou uma reestruturação quase total, quer dos processos quer das próprias indústrias, que se viram obrigadas a aplicar as novas tecnologias de forma a manterem-se competitivas. O papel fundamental da gestão da produção, traduz-se na gestão dos fluxos de materiais e dos fluxos de informação, que conduzem ao fabrico de uma ou mais classes de produtos de acordo com os objectivos definidos pela direcção da empresa (COURTOIS *et al.* 1991).

O aumento da complexidade tecnológica, traduz-se, na prática, em desafios importantes que têm conduzido, entre outros aspectos, à redução do ciclo de vida dos produtos e da dimensão dos lotes utilizados no fabrico, implicando um aumento da frequência de concepção dos produtos e da reprogramação dos sistemas de fabrico. Por estes motivos, o aumento da flexibilidade dos sistemas de fabrico assume uma importância crescente de forma a permitir aumentos de eficiência e de produtividade.

### **2.2.1 Planeamento de Recursos Empresariais - ERP**

Na década de 60, o ênfase dos sistemas de produção situava-se no controlo de inventário. A maioria dos pacotes de *software* desenvolvidos, normalmente personalizado, foi então projectado para controlar inventários com base em conceitos tradicionais. Nos anos 70 o ênfase passou para os sistemas de Planeamento de Necessidades de Materiais (MRP). Estes sistemas traduziam o planeamento de alto nível para os sistemas finais em requisitos temporais para o planeamento e/ou compra das sub-montagens, componentes e matérias-primas.

Nos anos 80 surgiu o conceito de Planeamento de Recursos de Produção (MRP II) como uma extensão do MRP para as actividades de gestão de recursos e da distribuição. Ao nível do controlo e acompanhamento da produção surgiram os Sistemas de Execução da Produção (MES), com uma finalidade mais operacional.

Posteriormente, as empresas começaram a aperceber-se que não poderiam ser geridas individualmente, surgindo o conceito de empresa estendida, segundo o qual uma empresa deve considerar todos os intervenientes no fabrico e consumo dos produtos como fazendo parte da empresa. Deste modo o conceito de empresa estendida envolve a própria empresa, os seus fornecedores e clientes.

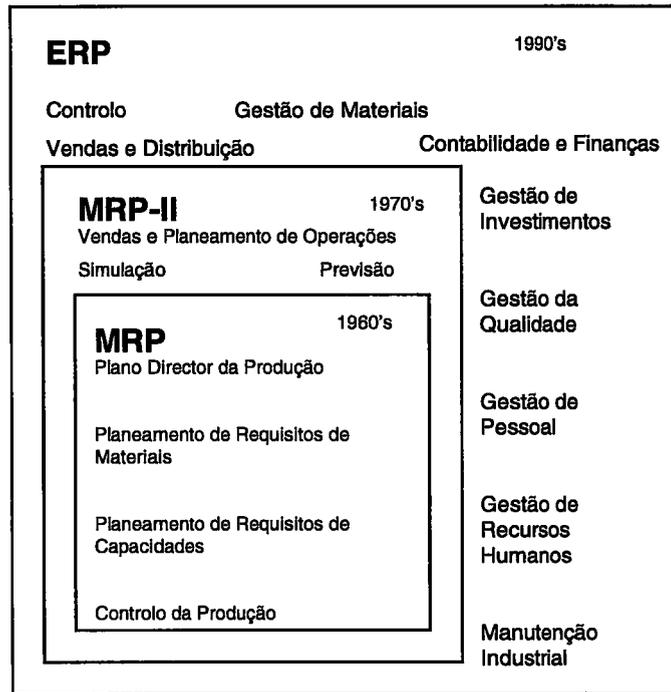
No início dos anos 90, o conceito MRP II foi estendido para cobrir áreas tais como finanças, recursos humanos, gestão de projectos, entre outras, abarcando a gama completa de actividades da empresa. Surgiu assim, a noção de Planeamento de Recursos Empresariais (ERP). Um sistema ERP tenta integrar todos os departamentos e funções existentes numa empresa num único sistema de informação que pode servir todas as necessidades particulares dos diferentes departamentos. Uma vez que é utilizada uma única base de dados, os diferentes departamentos podem, mais facilmente, partilhar informações e comunicar entre si, evitando o conhecido problema das “ilhas de informação”.

Por outro lado, a Internet representa uma tecnologia de suporte que pode funcionar como infra-estrutura para a rápida gestão da cadeia de fornecimento entre múltiplas operações e parceiros de negócio, pelo que a maioria dos fabricantes de sistemas ERP inclui nos seus produtos, funções e processos que exploram esta tecnologia de forma a permitir que diferentes clientes distribuídos por todo o mundo possam ter acesso directo ao sistema ERP do fornecedor.

A alta competitividade do mercado fez surgir novos conceitos como a agilidade, que pode ser definida como a capacidade que a empresa tem de se adaptar e reconfigurar interna e externamente, rápida e oportunamente no sentido de responder a alterações no contexto de negócio. Agilidade pressupõe adaptação, capacidade de reconfiguração e potenciação dos recursos da empresa, exploração dos benefícios inerentes a alianças com empresas fornecedoras e clientes, aumentando virtualmente as suas competências e capacidades de resposta.

A Figura 2.4, representa de uma forma resumida, a evolução até aos sistemas ERP, destacando-se de forma evidente a maior abrangência destes sistemas relativamente aos seus antecessores.

**Figura 2.4 - Evolução até aos sistemas ERP**



Fonte: Adaptado de Soares (2001)

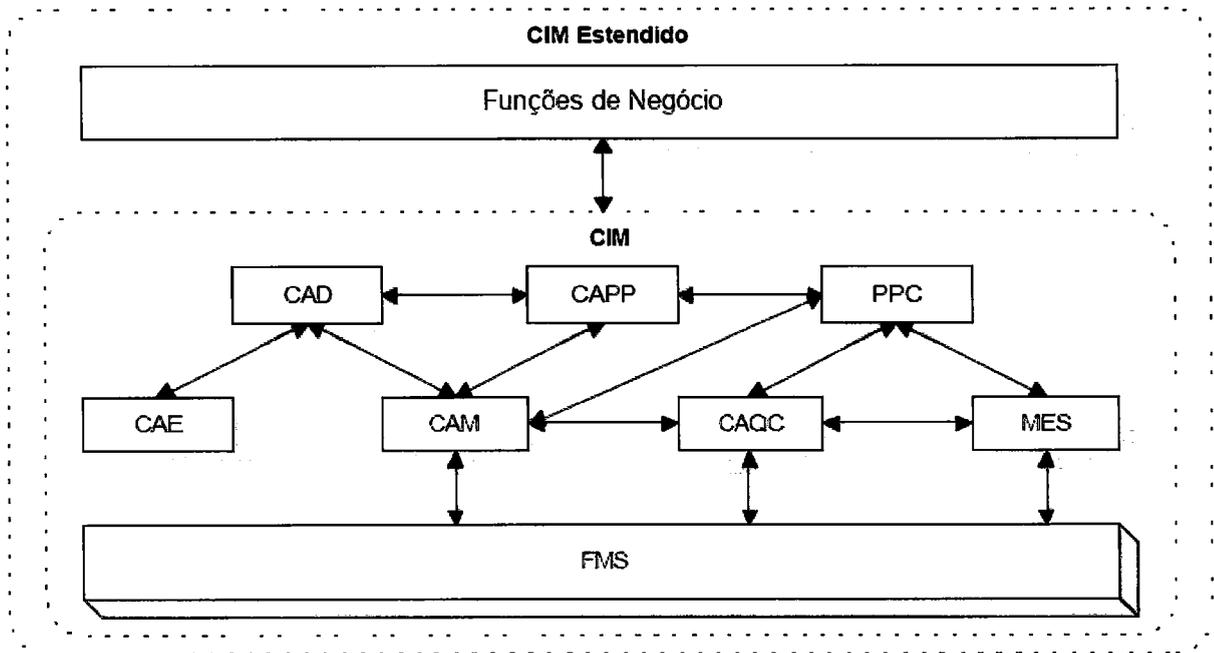
### 2.2.2 Produção Integrada por Computador - CIM

Nos anos 80, e de forma a permitir enquadrar a crescente necessidade de flexibilidade, surgiu o conceito de CIM que pretendia solucionar diversos problemas dos sistemas produtivos e orientar as empresas na adopção de automatização e tecnologias de informação segundo modelos comprovados. A aplicação deste conceito, embora normalmente complexa e demorada, originou evidentes vantagens competitivas nas empresas que o implementaram. Com frequência originou a alteração de processos ineficazes, permitindo sistematizar as actividades e competências de diversas entidades e o aumento da necessidade de cooperação entre os diversos departamentos.

Um sistema de produção integrado é constituído por diversos módulos interligados entre si. A capacidade de comunicação entre módulos contribui decisivamente para as capacidades de integração de todo o sistema e, portanto, para o seu desempenho enquanto sistema integrado.

A Figura 2.5 apresenta alguns dos componentes frequentemente utilizados, bem como as relações entre eles.

**Figura 2.5 - Componentes CIM**



Fonte: Adaptado de Sousa (2000)

Na designação dos componentes foram utilizados os acrónimos em terminologia anglo-saxónica, devido à sua larga aceitação, apresentando-se de seguida as respectivas traduções com inclusão de uma breve descrição:

- CAD (*Computer Aided Design*) – Projecto Assistido por Computador – projecto de um produto, desde a criação e manipulação da geometria, dimensões e outras características de uma peça, até à produção de desenhos impressos;
- CAE (*Computer Aided Engineering*) – Engenharia Assistida por Computador – refere-se ao uso de computadores na ajuda às fases de engenharia, correspondendo à análise do projecto elaborado pelo CAD para estudo, por exemplo, de esforços, deformações, deflexões e distribuição de temperaturas. As ferramentas CAE integram-se normalmente com as ferramentas CAD para formar um único sistema, permitindo ao projectista invocar as funcionalidades CAE dentro da ferramenta CAD, para ir efectuando um refinamento do projecto dentro de um único ambiente;
- CAM (*Computer Aided Manufacturing*) – Fabrico Assistido por Computador – utilização de computadores para seleccionar, configurar, escalonar e dirigir o processo de produção. O CAM efectua o controlo directo do processo de fabrico através da utilização de um computador que controla o equipamento de fabrico e de manipulação de material, ou o controlo indirecto das operações de fabrico em curso. A partir de meados da década de 80, as ferramentas CAD e CAM surgem-nos com maiores índices de integração visto que,

algum *software* CAM funciona “dentro” do *software* CAD e não através de base de dados partilhadas. No entanto, a integração destas aplicações não é tarefa fácil;

- CAPP (*Computer Aided Process Planning*) – Planeamento de Processos Assistido por Computador – efectua a conversão de um projecto num conjunto de processos para a produção e selecção de máquinas e ferramentas, assistindo na tarefa de planeamento do processo. Em relação ao planeamento manual de processos, a utilização de sistemas CAPP oferece vantagens do tipo: redução do tempo de planeamento do processo; desenvolvimento de planos de fabrico óptimos e consistentes; redução dos custos de fabrico e planeamento; aumento da produtividade; facilidade de integração CAD/CAM; redução da dependência de peritos humanos; redução do nível de perícia necessária para elaborar um plano de fabrico e redução do conhecimento necessário para lidar com os problemas de planeamento;
- PPC (*Production Planning and Control*) – Planeamento e Controlo da Produção – este módulo possui uma dupla faceta. Por um lado, tem funcionalidades de Planeamento de Necessidades de Material, de Planeamento de Necessidades de Capacidade e de escalonamento *offline*, estabelecendo antecipadamente o que a empresa deve produzir, que recursos deve dispor, quer sejam matérias-primas, componentes, pessoas, etc. Por outro lado, acompanha e controla o processo de fabrico, corrigindo eventuais erros ou desvios que possam surgir;
- CAQC (*Computer Aided Quality Control*) – Controlo de Qualidade Apoiado por Computador – responsável pelas funções de teste e inspecção de peças, bem como do controlo de qualidade da produção. As ferramentas CAQC podem ajudar ao nível dos recursos, controlando o estado das máquinas e ferramentas, ao nível dos produtos, inspeccionando e testando, ou ao nível do processo, verificando a conformidade com as especificações;
- MES (*Manufacturing Execution Systems*) – Sistemas de Execução da Produção – são sistemas de gestão ao nível da planta fabril, que recebem ordens de produção e programas de controlo numérico e retornam dados sobre a produção, eliminando dessa forma o fosso entre os níveis de negócio e a saída de produtos da planta fabril. Estes sistemas ao invés de se centrarem na utilização de materiais ou no controlo do processo produtivo, focam-se no “*produto à medida que ele se move na planta fabril*”;
- FMS (*Flexible Manufacturing System*) – Sistema Flexível de Fabrico - é uma forma de automação industrial na qual várias máquinas-ferramenta (por exemplo, tornos ou fresadoras) se encontram ligadas por um sistema de transporte e armazenamento de materiais/componentes, sendo todos os aspectos do sistema controlados por computador.

A característica principal de um FMS é a possibilidade que apresenta de mudar de um processo de fabrico para outro (*i.e.*, mudança do tipo de produto a fabricar) sem interrupções excessivas, já que a coordenação computadorizada do FMS permite que os produtos sejam fabricados a baixo custo, mesmo quando se produzem pequenas quantidades. O FMS é o componente do CIM que permite a execução das ordens de fabrico do produto numa máquina física.

### **2.2.3 Integração de sistemas**

Como visto anteriormente, a utilização de sistemas integrados como o ERP e o CIM, permite resolver o problema de integração da informação ao partilharem uma única base de dados. Nesta secção, serão abordados alguns conceitos e técnicas utilizados ao nível da integração de sistemas.

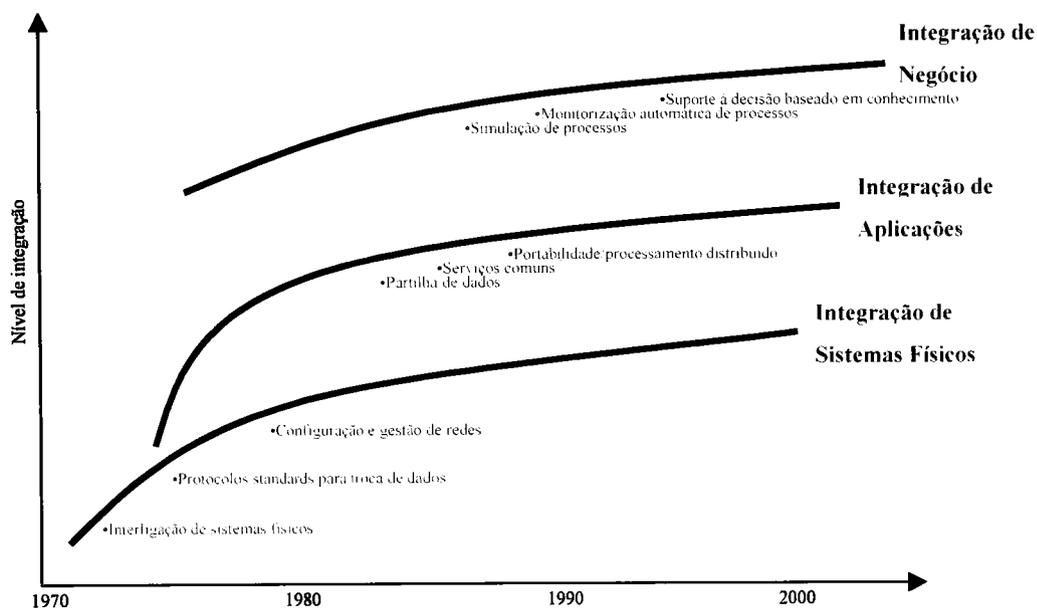
De acordo com Vernadat (1996), as principais razões para a procura de integração por parte das empresas, resulta das necessidade de partilha de informação, de interoperabilidade<sup>3</sup> e de coordenação das actividades. O objectivo da integração é melhorar a comunicação, a cooperação e a coordenação na empresa, possibilitando maior produtividade, flexibilidade e capacidade de mudança.

Com a evolução das tecnologias de informação e a procura das empresas por maior integração, este conceito evoluiu da integração física para a integração das aplicações e, mais recentemente, para a integração do negócio como um todo.

---

<sup>3</sup> Possibilidade de duas entidades trocarem informação e utilizar funcionalidades uma da outra.

**Figura 2.6 - Níveis de integração**



Fonte: Adaptado de Vernadat (1996)

A integração física está relacionada com a interface e com os protocolos de comunicação entre os diferentes equipamentos, aplicações informáticas, instrumentos, entre outros; a integração das aplicações trata da interoperabilidade destas em plataformas heterogéneas e do acesso de várias aplicações a dados comuns, e a integração de negócios procura obter coordenação entre os processos de negócio (VERNADAT 1996).

Na Figura 2.6 pode-se observar que o nível de integração possível de se obter com a integração física é limitado. Para se aumentar o nível de integração é necessário integrar as aplicações e o negócio.

### **Conceitos de integração**

A evolução de um nível de integração para outro mais elevado é baseada na integração do nível inferior. Assim, a integração das aplicações baseia-se na integração física, e, conseqüentemente, só será possível integrar o negócio se as aplicações forem integradas.

Partindo-se dessa premissa, são analisados nesta secção conceitos de integração de aplicações e de negócio relevantes para a integração de Sistemas de Informação.

A arquitectura cliente/servidor é o modelo computacional necessário para a integração das aplicações. A integração das aplicações pode ser, basicamente, de dois tipos: homogénea e

heterogénea. Nesses dois tipos de integração, as bases de dados desempenham um papel extremamente importante. No caso de ambientes heterogéneos, como a maioria dos ambientes, é necessário viabilizar a comunicação entre as aplicações por meio de uma plataforma de integração, baseada em serviços de *middleware* e no emprego de APIs.

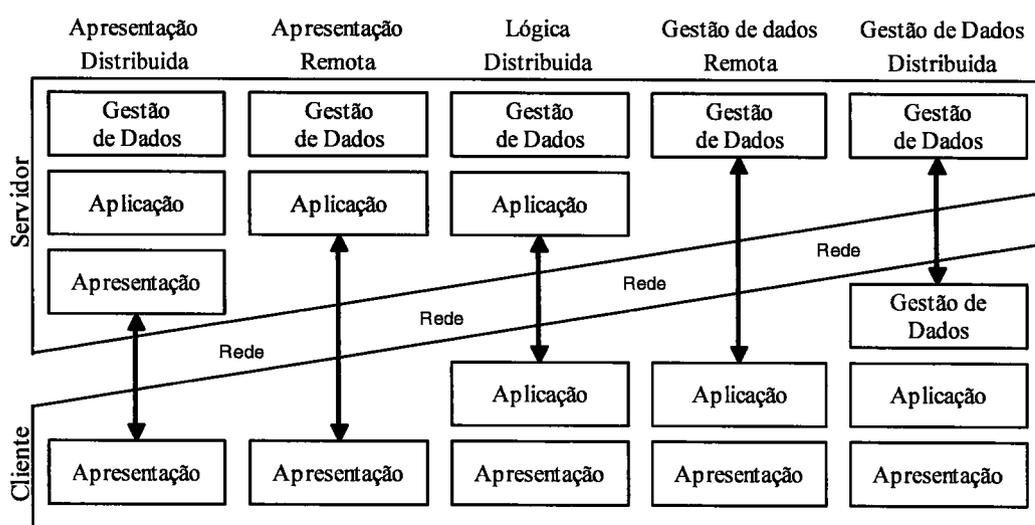
Já a integração do negócio depende do conhecimento sobre a empresa, que pode ser expresso nos seus modelos.

### Arquitetura Cliente/Servidor

Numa arquitetura cliente/servidor, o armazenamento, o processamento e a apresentação dos dados são distribuídos entre clientes e servidores ligados em rede, em vez de serem controlados centralmente (VERNADAT 1996).

A Figura 2.7 apresenta cinco formas diferentes de divisão dos componentes numa arquitetura cliente/servidor. O componente de apresentação é a interface<sup>4</sup> com o utilizador; o componente aplicacional contém a lógica de processamento e o componente de dados armazena e faz a gestão dos dados utilizados pela aplicação (LAUNDON e LAUDON 2002).

Figura 2.7 - Tipos de arquitectura cliente/servidor



Fonte: Adaptado de Laundon e Laundon (2002)

<sup>4</sup> Os componentes de apresentação são geralmente baseados em elementos gráficos e são usualmente conhecidos por GUI (*Graphical User Interface*).

As arquitecturas cliente/servidor são frequentemente estruturadas numa arquitectura de três níveis (*three-tier*), baseada em clientes que contêm o componente de apresentação, em servidores aplicativos e em servidores de base de dados.

### **Bases de dados**

Uma base de dados é uma colecção organizada de dados. Para se criar e manter uma base de dados são utilizados sistemas de gestão de bases de dados (DBMS).

Um sistema de gestão de base de dados é composto por três componentes: uma linguagem de definição de dados, uma linguagem de manipulação de dados e um dicionário de dados. A linguagem de definição de dados é utilizada na especificação da estrutura da base de dados, enquanto que a linguagem de manipulação é empregada directamente no acesso e na manipulação dos dados<sup>5</sup>. O dicionário de dados é uma ferramenta que contém informações sobre os dados da base (LAUNDON e LAUDON 2002).

Os dados armazenados numa base de dados podem ser organizados de diversas formas, existindo três modelos de organização: o modelo hierárquico, o modelo em rede e o modelo relacional (LAUNDON e LAUDON 2002), sendo este último o mais utilizado.

No modelo relacional os dados são armazenados em tabelas bidimensionais formadas por linhas e por colunas. Em cada tabela, as linhas são registos únicos e as colunas são campos do registo. Uma das vantagens deste modelo, é a possibilidade de relacionamento dos dados de uma tabela com dados de outras tabelas.

A utilização de bases de dados reduz a necessidade de armazenamento redundante de informações. Os sistemas de gestão de base de dados permitem que diversas aplicações extraiam e manipulem os dados de uma mesma base, sem que seja necessário criar definições de dados próprias para cada sistema (LAUNDON e LAUDON 2002).

Assim, as bases de dados desempenham um papel fundamental na integração de aplicações isoladas (VERNADAT 1996).

---

<sup>5</sup> A linguagem SQL (*Structured Query Language*) é a linguagem de manipulação de dados mais usada.

## **Integração homogénea e integração heterogénea**

A integração entre aplicações pode ser basicamente de dois tipos: homogénea e heterogénea (ROZENFELD 2005). Na integração homogénea, uma base de dados única é partilhada por todas as aplicações (PETRIE 1992). Para que as informações da base de dados possam ser partilhadas, as aplicações devem utilizar a mesma lógica de armazenamento de dados. Isso geralmente só ocorre entre aplicações de um mesmo fornecedor ou entre aplicações desenvolvidas em parcerias firmadas entre os fornecedores. Um exemplo desse tipo de integração são os sistemas ERP. Tais sistemas são constituídos por diversos módulos e por uma base de dados central (DAVENPORT 1998). Todos os módulos aplicativos dos sistemas ERP manipulam a mesma base de dados. Assim, não há necessidade de armazenamento redundante das informações que são utilizadas por mais de um módulo.

A integração homogénea é mais complexa no caso em que são usadas aplicações de fornecedores diferentes. Segundo Caruso (1998), a estrutura do modelo de dados de um fornecedor pode ser diferente da adoptada por outros fornecedores, dificultando a integração sobre uma mesma base de dados.

Já a integração heterogénea refere-se à integração de sistemas distintos, desenvolvidos por fornecedores diferentes (PETRIE 1992), e que utilizam repositórios de dados próprios. A integração de sistemas heterogéneos fundamenta-se num repositório de dados, chamado de meta base de dados, que contém informações sobre todos os dados armazenados nas bases de dados individuais de cada uma das aplicações a serem integradas (ROZENFELD 2005). Esse tipo de integração pressupõe ainda a existência de uma plataforma de integração, baseada em serviços de *middleware*, a utilização de interfaces para a comunicação entre as aplicações (APIs) e o emprego de *standards* de integração.

As principais desvantagens da integração heterogénea são o armazenamento redundante de dados utilizados por mais de um sistema e a sobreposição de funcionalidades semelhantes oferecidas por duas ou mais aplicações (ROZENFELD 2005).

## **Middleware**

Segundo Vernadat (1996), o termo *middleware* compreende o *software* disposto numa camada intermediária entre as aplicações e o sistema operativo dos computadores. Tal *software* constitui a base necessária para a interoperabilidade entre diferentes tipos de aplicações distribuídas.

O *middleware* é responsável por oferecer uma série de serviços para as aplicações, tais como a comunicação e o intercâmbio de informações entre diferentes aplicações numa arquitetura cliente/servidor. O *middleware* é assim, o agente que transmite mensagens (requisições e resultados) entre aplicações distribuídas que precisam de comunicar (VERNADAT 1996).

Como exemplos de *middleware* pode-se citar o ODBC (*Open Database Connectivity*), OLE (*Object Linking Embedding*) e CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*).

### 2.3 Controlo estatístico do processo

O controlo estatístico do processo na indústria, visando a eficiência, produtividade e vendas, popularizou-se, a partir do trabalho de Deming, que trabalhou na área do controlo de qualidade das forças armadas norte-americanas durante a Segunda Guerra Mundial. Para Deming, a estratégia básica na gestão da qualidade passa pela utilização da estatística na tomada de decisões, dando ênfase ao uso de dados numéricos (DEMING 1986). Nos anos 50, Deming levou para o Japão J. M. Juran, que aplicou o **princípio pareto** ao controlo de qualidade. Segundo esse princípio, intensamente utilizado na indústria japonesa, um pequeno número de causas é responsável por uma alta proporção dos problemas. É a regra dos 80-20, isto é, em linhas gerais, 80% dos problemas devem-se a 20% das causas. Juran também postulava que a qualidade deve ser melhorada item por item, e ocorre quando cada um dos problemas é diagnosticado e resolvido (JURAN e GRZYNA 1991). Um discípulo de Deming, Karou Ishikawa, lançou a ideia das “**sete ferramentas**” para o controlo estatístico do processo, sendo também o criador do **diagrama de Ishikawa** ou **diagrama de causa-efeito** (ISHIKAWA 1984). Esse conjunto de técnicas foi intensivamente aplicado nas indústrias nipónicas e usado na formação dos **Círculos de Controlo da Qualidade (CCQ)**, considerados por Juran de importância fundamental na revolução tecnológica que aconteceu naquele país no pós-guerra. Ishikawa afirmava que o uso dessas ferramentas resolve aproximadamente 95% dos problemas de qualidade em qualquer tipo de organização, seja ela industrial, comercial, de prestação de serviços ou pesquisa. As técnicas de controlo estatístico do processo são reconhecidamente abrangentes. As ferramentas estatísticas são utilizadas na indústria por se ter a consciência que ao remover as causas dos problemas se obtém uma maior produtividade, e que a resolução de problemas utilizando técnicas gráficas e específicas produz melhores resultados do que os processos de procura não estruturados.

O controlo estatístico do processo pode ser aplicado a qualquer processo, sendo as sete ferramentas referidas, as seguintes:

1. Histograma;
2. Folha de verificação;
3. Gráfico de Pareto;
4. Diagrama de causa-efeito
5. Diagrama de concentração de defeitos;
6. Gráfico de dispersão;
7. Carta de controlo.

Estas ferramentas revelam-se de importância fundamental na análise estruturada dos dados e factos disponíveis e são de aplicação generalizada a quase todos os níveis da organização. Para a resolução de um determinado problema é necessário, antes de mais, identificá-lo, isto é, decidir sobre qual o problema a considerar e caracterizá-lo convenientemente. As fases seguintes passam por listar todas as suas potenciais causas, seleccionar as mais importantes, desenvolver um plano para implementar efectivamente as soluções, implementá-las e, sempre que possível, avaliar o efeito da sua implementação.

Para Duncan (1986), o uso do controlo estatístico do processo diminui o nível de perdas nas empresas de 25% para 1%, sendo a principal metodologia utilizada quando se pretende atingir qualidade e produtividade.

### **2.3.1 Variabilidade no processo**

Qualquer processo produtivo, mesmo que bem desenhado e com uma manutenção eficiente, sofre uma variabilidade natural que lhe é inerente. Esta variabilidade natural ou “ruído de fundo” é o efeito cumulativo de um certo número de pequenas causas inevitáveis. No contexto do controlo estatístico do processo, é vulgar chamar a esta variabilidade natural de **causas comuns** ou **aleatórias** (*common cause* ou *chance cause*). Um processo que opera apenas com causas comuns, diz-se estar **sob controlo estatístico**. Por outras palavras, as causas comuns são as causas inerentes ao próprio processo e produzem uma variabilidade natural no processo.

Existem no entanto outras fontes de problemas que causam uma variabilidade no processo e que afectam a qualidade do produto produzido. Esta variabilidade na qualidade surge normalmente de três fontes distintas: ajustes ou manutenção inadequada de máquinas, erros dos operadores, ou problemas com a matéria-prima (MONTGOMERY 2001). Às causas que originam esta variabilidade chama-se **causas especiais** ou **assinaláveis** (*special cause* ou *assignable cause*). Estas causas produzem uma variabilidade maior no processo do que as causas comuns e normalmente representam um nível inaceitável na performance no processo. Quando num processo existem causas especiais, diz-se que está **fora de controlo**.

### **2.3.2 Cartas de controlo**

Um dos objectivos principais do controlo estatístico é detectar rapidamente a ocorrência de causas especiais de variação ou de desvios no processo, de modo a que possa ser realizada a investigação das causas e possam ser tomadas as acções correctivas necessárias, antes da produção de produtos não conformes. A carta de controlo de Shewhart é uma técnica de controlo de processo *online* que é utilizada para este efeito, sendo de todas as ferramentas referidas anteriormente, a que usa técnicas mais sofisticadas.

Montgomery (2001) enumera cinco razões para a popularidade de utilização das cartas de controlo:

#### **1. As cartas de controlo são uma técnica provada para melhoria da produtividade**

Uma implementação correcta de cartas de controlo reduzirá a rejeição e recuperação de peças, que constituem a causa primária da falta de produtividade. Reduzindo a taxa de rejeição e de recuperação, aumenta-se a produtividade, diminuem-se os custos e aumenta-se a capacidade produtiva.

#### **2. As cartas de controlo são efectivas na prevenção de defeitos**

As cartas de controlo ajudam a manter o processo sob controlo, o que é consistente com a filosofia de “fazer bem à primeira”. A falta de controlo efectivo do processo, acarreta custos de mão-de-obra adicionais para efectuar as tarefas de recuperação do produto.

#### **3. As cartas de controlo previnem ajustes desnecessários ao processo**

As cartas de controlo permitem distinguir entre as causas comuns, que são normais, e as variações anormais do processo ou causas especiais. Os ajustes desnecessários nos processos conduzem à deterioração da performance do processo. Por outras palavras as cartas de controlo são consistentes com a filosofia de “se não tem problemas não se lhe mexe”.



#### 4. As cartas de controlo fornecem informação de diagnóstico

Os diferentes pontos que integram as cartas de controlo contêm informação de diagnóstico importante para um operador ou engenheiro. Esta informação permite a implementação de alterações no processo de forma a melhorar a performance.

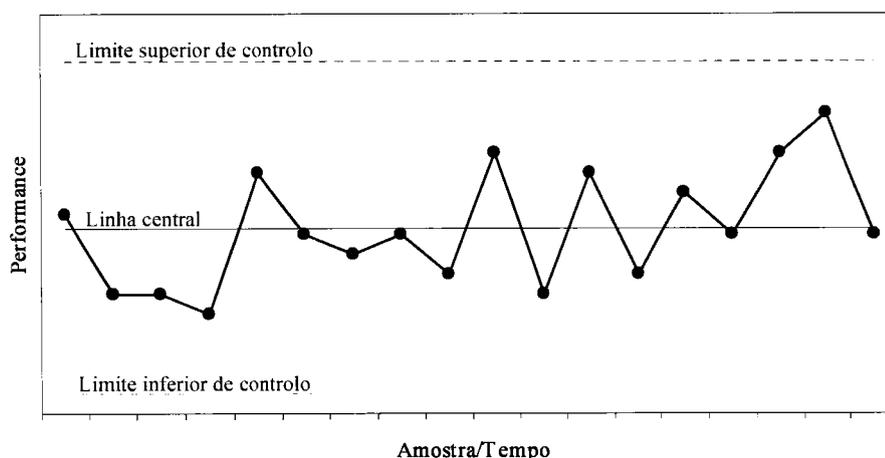
#### 5. As cartas de controlo fornecem informação da capacidade do processo

As cartas de controlo fornecem informação acerca de parâmetros importantes do processo e da sua estabilidade ao longo do tempo, a qual permite estimar a capacidade do processo em produzir dentro das especificações.

##### 2.3.2.1 Princípios básicos

Apresenta-se na Figura 2.8 uma carta de controlo típica que é uma representação gráfica de uma característica da qualidade e que foi calculada a partir de amostras colhidas ao longo do tempo.

Figura 2.8 - Carta de controlo típica



Nela pode-se observar a existência de uma **linha central** (LC) que corresponde ao valor médio da característica numa situação sob controlo, isto é, apenas na presença de causas comuns de variação. As duas outras linhas são designadas por **limite superior de controlo** (LSC) e por **limite inferior de controlo** (LIC). Estes limites de controlo são estabelecidos de modo a que se o processo estiver sob controlo, a maior parte dos pontos estarão compreendidos dentro destes limites. Contudo se existirem pontos fora deste intervalo, isso deve ser interpretado como uma evidência de que o processo está fora de controlo, sendo necessário investigar as causas e desenvolver as acções correctivas adequadas.

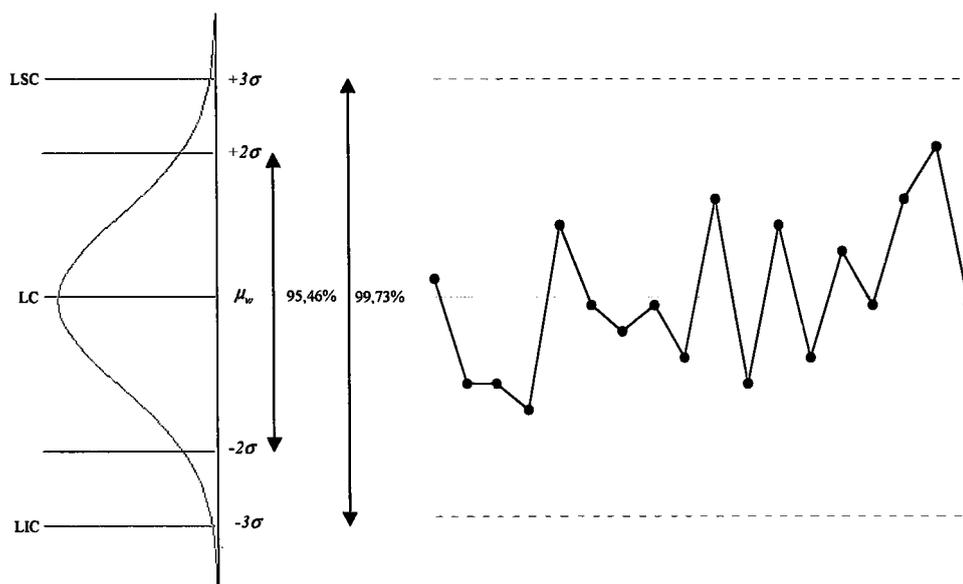
Os limites de controlo definem um intervalo de controlo que não é mais do que o intervalo de confiança para a média dos valores da característica da qualidade que está a ser avaliada. Em

termos gerais, para uma característica  $w$  com média  $\mu_w$  e variância  $\sigma_w^2$ , a linha central e os limites superior e inferior do intervalo de controlo são os seguintes:

$$\begin{aligned}
 LSC &= \mu_w + K\sigma_w \\
 LC &= \mu_w \\
 LIC &= \mu_w - K\sigma_w
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

onde  $K$  é a distância dos limites de controlo à linha central. A escolha de um valor  $K$  adequado é extremamente importante, pois a sua escolha influencia a distância dos limites de controlo à linha central. Um valor baixo de  $K$  conduz a um afastamento pequeno em relação à linha central podendo induzir falsos alarmes resultantes de pontos fora dos limites mas que não correspondem realmente a problemas. Pelo contrário, valores altos afastam os limites de controlo da linha central, não sendo detectadas determinadas fontes de problemas. Usualmente, assume-se um valor  $K$  igual a três vezes o desvio padrão. A isto chama-se **limites de controlo “3-sigma”** e correspondem a um intervalo de confiança de 99,73% para uma distribuição normal da característica da qualidade a medir. É comum ainda designar os limites do intervalo de confiança para  $K$  igual a dois, por **limites de aviso “2-sigma”** a que corresponde um intervalo de confiança de 95,46%. Se um ou mais pontos caírem fora dos limites de aviso, isto pode ser indicativo de uma situação fora de controlo. A utilização dos limites de aviso fazem aumentar a sensibilidade das cartas de controlo; podem sinalizar mudanças nos processos mais rapidamente. Uma das suas desvantagens é a de poder gerar alguma confusão ao aumentar o risco de falsos alarmes.

Figura 2.9 - Intervalos de confiança

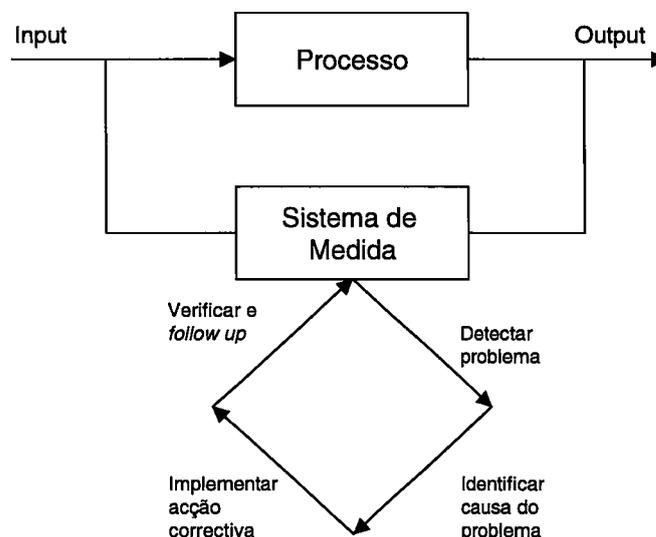


Esta teoria foi inicialmente proposta por Shewhart, e as cartas de controlo desenvolvidas de acordo com estes princípios são normalmente designadas como **cartas de controlo de Shewhart**.

Os estudos de Montgomery (2001), permitiram concluir que:

1. A maior parte dos processos não operam sob controlo estatístico;
2. Consequentemente, a utilização das cartas de controlo permite identificar as causas especiais. Se essas causas forem eliminadas do processo, a variabilidade será reduzida e o processo melhorado;
3. As cartas de controlo detectam apenas causas especiais. As equipas de gestão, os operadores e engenheiros determinam as acções necessárias para eliminar estas causas.

**Figura 2.10 - Utilização das cartas de controlo na melhoria de processo**



Fonte: Montgomery (2001)

As cartas de controlo podem ser classificadas em dois tipos que irão ser estudados mais à frente:

### **1. Cartas de controlo por variáveis**

Quando a característica da qualidade pode ser medida e expressa como um número numa escala contínua de medições.

### **2. Cartas de controlo por atributos**

Quando o produto é avaliado em termos de conforme ou não conforme em relação a determinados atributos ou em termos do número de defeitos que aparecem numa unidade de produto.

### 2.3.2.2 Dimensão da amostra e frequência de amostragem

Na maior parte das vezes, a determinação da dimensão da amostra e da frequência de amostragem acaba por ser ditada por considerações de ordem económica e de exequibilidade prática.

Ao escolher o tamanho das amostras, deve-se ter em conta os tamanhos das variações que se querem detectar. Genericamente, amostras grandes tornam mais fácil a detecção de pequenas variações no processo. Se as variações no processo puderem ser relativamente grandes, deverão usar-se amostras pequenas.

A questão resume-se a: *devem efectuar-se amostras pequenas em intervalos pequenos ou amostras grandes em intervalos mais longos?*

A prática na indústria, aponta a favor das amostras pequenas frequentes, em particular nos processos de produção de grandes volumes, ou quando há possibilidade de ocorrerem vários tipos de problemas (causas especiais).

A situação mais desejável do ponto de vista da detecção de variações é a de fazer amostras grandes com muita frequência; contudo, isto não é, nalgumas situações, economicamente exequível. Com a evolução das tecnologias de medida automática e com a utilização de computadores equipados com *software* para controlo estatístico de processo, torna-se possível a utilização de amostras grandes e com grande frequência. Em particular, torna-se possível testar todas as peças à medida que são produzidas e ter um controlo em tempo real.

Outra forma de decidir sobre o tamanho das amostras e da sua frequência, é através do cálculo do *average run length* (**ARL**) da carta de controlo. Essencialmente, o *ARL* é a média de pontos que devem ser desenhados antes de um ponto indicar uma condição fora de controlo. Se não existir correlação entre as observações do processo, então o *ARL* pode ser calculado facilmente através de:

---

$$ARL = \frac{1}{p} \quad (2.2)$$

---

onde  $p$  é a probabilidade de que um ponto caia fora dos limites de controlo. O  $ARL$  dá-nos assim, a média do número de amostras necessárias para se obter uma situação fora de controlo.

A utilização do  $ARL$  para descrever a performance da carta de controlo, tem sido alvo de muitas críticas. A razão apontada para tal, tem a ver com o facto de o  $ARL$  seguir uma distribuição geométrica, o que induz às seguintes preocupações:

- a) O desvio padrão do *run length* é muito grande;
- b) As distribuições geométricas são muito inclinadas, de forma que a média da distribuição (o  $ARL$ ) não é necessariamente um valor “típico” do *run length*.

É conveniente expressar a performance da carta de controlo em termos do *average time to signal* ( $ATS$ ). Se as amostras forem recolhidas em intervalos de tempos iguais expressos em  $h$  horas, então:

---

$$ATS = ARL h \quad (2.3)$$

---

O  $ATS$  informa-nos acerca do tempo necessário para a detecção de uma situação fora de controlo. A escolha de  $h$  (a frequência de amostragem) é de extrema importância para se detectar situações fora de controlo o mais rapidamente possível. Com efeito, a escolha de uma frequência de amostragem grande pode conduzir a situações de operação fora de controlo durante demasiado tempo e conseqüentemente a perdas elevadas. Assim, a escolha de  $h$ , deve resultar do equilíbrio entre os custos de efectuar uma amostragem, das perdas associadas ao facto do processo operar fora de controlo, da cadência de produção e das probabilidades associadas às variações do processo.

### 2.3.2.3 Análise de padrões nas cartas de controlo

Na análise da evolução dos pontos assinalados nas cartas de controlo podem ser aplicados determinados critérios empíricos para determinar se o processo está ou não sob controlo.

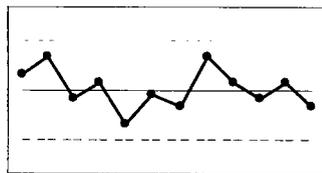
O Western Electric Handbook (1956), sugere um conjunto de regras para a detecção de situações fora de controlo:

1. Um ou mais pontos fora dos limites de controlo 3-sigma;

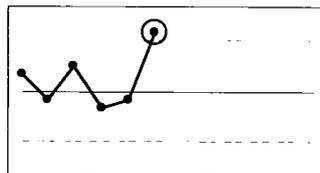
2. Dois de três pontos consecutivos fora dos limites de aviso 2-sigma, embora dentro dos limites de controle;
3. Quatro de cinco pontos consecutivos fora dos limites 1-sigma;
4. Um conjunto de pelo menos oito pontos consecutivos:
  - a) acima ou abaixo da linha central;
  - b) acima ou abaixo da mediana;
  - c) em sequência crescente ou decrescente.

De forma análoga, Hansen (1963) descreve um conjunto de indicadores das cartas de controle que requerem investigação:

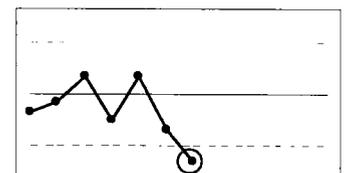
**Figura 2.11 - Indicadores das cartas de controle que requerem investigação**



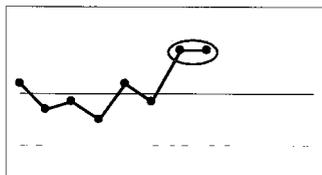
Comportamento normal perfeitamente aleatório.



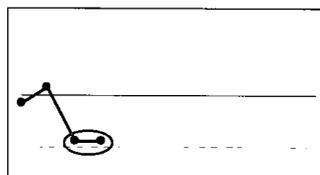
Um ponto fora acima. Investigar a causa da fraca performance.



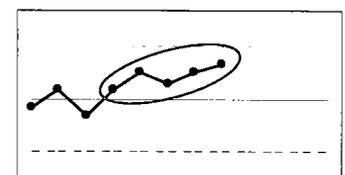
Um ponto fora abaixo. Investigar a causa da melhoria.



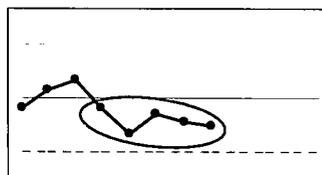
Dois pontos perto do controle superior. Investigar a causa da fraca performance.



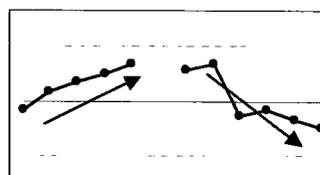
Dois pontos perto do controle inferior. Investigar a causa da melhoria.



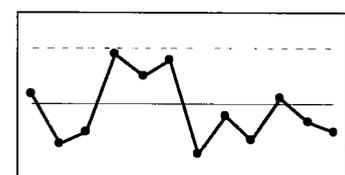
Sequência de cinco acima da linha central. Investigar a causa da fraca performance continuada.



Sequência de cinco abaixo da linha central. Investigar a causa da melhoria continuada.



Tendência em qualquer das direções de cinco pontos. Investigar a causa da alterações progressivas.



Comportamento errático. Investigar.

Fonte: Hansen (1963)

#### 2.3.2.4 Cartas de controlo por variáveis

As cartas de controlo por variáveis são usadas quando a característica que está a ser estudada se pode medir numa escala numérica, como por exemplo, o diâmetro de um veio, o comprimento de uma chapa, o tempo necessário para completar uma operação, o peso das garrafas numa linha de enchimento. As cartas de controlo por variáveis permitem explicar os dados processuais em termos da localização central das medidas e da sua variabilidade, razão pela qual as cartas de controlo por variáveis são sempre construídas aos pares: uma para uma medida de tendência central (carta de médias  $\bar{x}$  e de valores individuais  $x_i$ ) e outra para uma medida de variabilidade (carta de amplitudes  $R$  ou de desvios padrão  $S$ ).

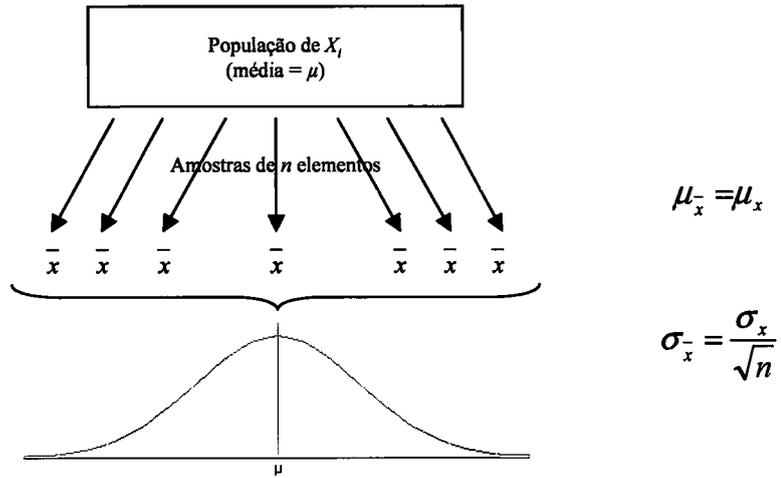
As cartas de controlo por variáveis mais comuns são:

- Cartas de controlo de médias e amplitudes  $\bar{x} - R$ ;
- Cartas de controlo de médias e desvios padrão  $\bar{x} - S$ ;
- Cartas de controlo de valores individuais e amplitudes  $x_i - R_m$ .

As cartas de controlo de médias  $\bar{x}$  e amplitudes  $R$  são as mais utilizadas. Todas estas cartas são construídas com base na recolha de amostras ou subgrupos com mais do que um elemento (o tamanho de amostra mais comum é 5) de forma a poder-se aplicar o teorema do limite central. No entanto, sempre que por algum motivo as decisões tenham que ser tomadas com base em valores individuais ou que o próprio processo não permita a recolha de mais do que um valor de cada vez usam-se as cartas de controlo por valores individuais  $x_i$ . Cada um destes tipos de cartas de controlo irá ser de seguida analisado.

Dado que na maior parte das vezes a distribuição da característica de qualidade que se pretende controlar é desconhecida, aplica-se o **teorema do limite central** de forma a se poder utilizar as cartas de controlo para variáveis as quais partem do princípio que a característica segue uma distribuição normal. Em termos gerais, este teorema diz que dada uma população com distribuição desconhecida, de média  $\mu_x$  e variância  $\sigma_x^2$ , para amostras com uma dimensão  $n$  suficientemente grande, a distribuição das médias amostrais  $\bar{x}$ , será aproximadamente normal, com média  $\mu_x$  e variância  $\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$ . À medida que  $n$  aumenta, a aproximação à normal melhora.

**Figura 2.12 - Teorema do limite central**



### Cartas de controlo de médias e amplitudes $\bar{x} - R$

Suponhamos que dispomos de  $m$  amostras cada uma com  $n$  observações da característica de qualidade. Tipicamente  $n$  é um valor pequeno, frequentemente 4, 5 ou 6. Seja  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$  as médias de cada amostra. Então o melhor estimador para  $\mu$  é a média das médias dada por:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

A amplitude de cada amostra é dada pela diferença entre os seus valores máximo e mínimo:

$$R = x_{m\acute{a}x} - x_{m\acute{i}n}$$

Seja  $R_1, R_2, \dots, R_m$  as amplitudes de cada uma das  $m$  amostras. A média das amplitudes é dada por:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

Os limites de controlo para as cartas  $\bar{x}$  são dados por:

---

#### Limites de controlo da carta $\bar{x}$ quando usada com a carta $R$

---

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$LC = \bar{\bar{x}} \tag{2.4}$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

A constante  $A_2$  está tabelada para vários tamanhos de amostras no Anexo II.

---

A variabilidade do processo pode ser monitorizada construindo uma carta com os valores das amostras das amplitudes  $R$ .

---

### Limites de controlo da carta $R$

---

$$\begin{aligned}LSC &= D_4 \bar{R} \\LC &= \bar{R} \\LIC &= D_3 \bar{R}\end{aligned}\tag{2.5}$$

As constantes  $D_4$  e  $D_3$  estão tabeladas para vários tamanhos de amostras no Anexo II.

---

Caso a variabilidade no processo seja apenas devida a causas comuns, os pontos representativos das médias e das amplitudes das amostras não deverão sair fora dos limites de controlo e dispôr-se-ão aleatoriamente em torno do valor médio. Neste caso esses limites poder-se-ão manter como limites de controlo para a carta seguinte. Caso tal não aconteça, i.e. se algum dos pontos ficar fora dos limites de controlo ou caso apresentem alguma tendência que possa parecer não natural, dever-se-à tentar investigar se algo está a correr mal no processo, corrigir e, após retirar novas amostras, recalculer os limites de controlo. A alternativa será retirar os pontos que se encontram fora de controlo e recalculer os limites com os restantes pontos. Caso algum dos pontos continue fora dos limites, o processo deverá ser repetido até que tal não aconteça. No entanto, se tal não for conseguido ao fim de 2 ou 3 tentativas isso quererá significar que a variação a que o processo está sujeito não é apenas devida a causas comuns. Deverão também existir causas especiais a afectar a sua performance.

As fórmulas e os factores usados para calcular os limites de controlo constantes no Anexo II, foram determinados de modo a garantir que a variação dentro dos limites de controlo seja praticamente devida apenas a causas comuns (existem 3 desvios padrões entre cada um dos limites e linha central, num total de 6 desvios padrões, o que significa que, se o processo estiver a ser afectado apenas por causas comuns, 99,73% dos pontos deverão ficar entre os limites de controlo). Deste modo, qualquer ponto fora dos limites de controlo será de levantar suspeitas devendo-se prestar especial atenção e tentar averiguar se algo está a correr mal, como por exemplo inadvertência dos operadores, mudança de turno ou máquina defeituosa.

### Cartas de controlo de médias e desvios padrão $\bar{x} - S$

Tal como as cartas de  $\bar{x} - R$ , as cartas de  $\bar{x} - S$  aparecem em conjunto. A principal razão pela qual se usam muitas vezes as cartas de amplitudes  $R$  como medida da variação do processo é o facto da amplitude  $R$  ser um parâmetro bastante fácil de calcular além de se mostrar relativamente eficiente para amostras de tamanhos pequenos ( $n < 9$ ). Apesar de se apresentar como um indicador da variabilidade do processo muito mais eficiente, especialmente para amostras de tamanho superior, o desvio padrão  $S$  é, no entanto, muito menos utilizado que a amplitude. Tal deve-se à maior complexidade do seu cálculo e à sua menor sensibilidade na detecção da existência de causas especiais de variação. Uma vez que se estão a analisar amostras, se apenas um dos pontos apresentar um valor atípico, este passará mais despercebido ao utilizar o desvio padrão como medida de amplitude do que se utilizar  $R$ .

As cartas  $\bar{x} - S$  são utilizadas em vez das cartas  $\bar{x} - R$  quando:

1. O tamanho da amostra  $n$  é moderadamente elevado ( $n > 10$  ou  $12$ )
2. O tamanho da amostra  $n$  é variável.

O desvio padrão que caracteriza uma amostra constituída por  $n$  observações, com valores  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , é dado por:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

em que  $\bar{x}$  representa a média dos  $n$  valores da amostra. Seja  $S_1, S_2, \dots, S_m$  os desvios padrões de cada uma das  $m$  amostras. A média dos desvios padrões é dado por:

$$\bar{S} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_m}{m}$$

Os limites de controlo para a carta  $S$ , são dados por:

---

#### Limites de controlo da carta $S$

---

$$LSC = B_4 \bar{S}$$

$$LC = \bar{S} \tag{2.6}$$

$$LIC = B_3 \bar{S}$$

---

As constantes  $B_4$  e  $B_3$  estão tabeladas para vários tamanhos de amostras no Anexo II.

---

---

**Limites de controlo da carta  $\bar{x}$  quando usada em conjunto com a carta  $S$** 

---

$$\begin{aligned}LSC &= \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{S} \\LC &= \bar{\bar{x}} \\LIC &= \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{S}\end{aligned}\tag{2.7}$$

A constante  $A_3$  está tabelada para vários tamanhos de amostras no Anexo II.

---

em que  $\bar{S}$  e  $\bar{\bar{x}}$  representam, respectivamente, a média dos desvios padrões e a média das médias das diversas amostras.

**Cartas de controlo de valores individuais e amplitudes móveis  $x_i-R_m$** 

Embora não sejam tão sensíveis na detecção de variações como as cartas de controlo por médias e amplitudes, casos há, em que é necessário ou conveniente construir cartas de controlo a partir de leituras individuais de valores. No entanto, dadas as limitações inerentes à utilização deste tipo de cartas, sempre que possível será preferível utilizar cartas de médias e amplitudes mesmo que o subgrupo considerado seja muito pequeno.

Dado o interesse em analisar a forma como a amplitude vai variando ao longo do processo, e uma vez que dentro do grupo ( $n=1$ ) esta é nula, o que se faz é calcular a diferença entre duas leituras consecutivas. Ao valor absoluto desta diferença chama-se amplitude móvel. No final da carta o número de amplitudes móveis irá ser inferior em uma unidade ao número de leituras.

As fórmulas para determinação dos limites de controlo para as cartas de controlo por valores individuais e amplitudes móveis são dadas por:

---

**Limites de controlo da carta  $R_m$** 

---

$$\begin{aligned}LSC &= D_4 \bar{R}_m \\LC &= \bar{R}_m \\LIC &= D_3 \bar{R}_m\end{aligned}\tag{2.8}$$

As constantes  $D_4$  e  $D_3$  estão tabeladas para vários tamanhos de amostras no Anexo II.

---

---

**Limites de controlo da carta  $x_i$  quando usada em conjunto com a carta  $R_m$**

---

$$\begin{aligned}
 LSC &= \bar{x}_i + E_2 \bar{R} \\
 LC &= \bar{x}_i \\
 LIC &= \bar{x}_i - E_2 \bar{R}
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

A constante  $E_2$  está tabelada para vários tamanhos de amostras no Anexo II.

---

em que  $\bar{R}_m$  e  $\bar{x}_i$  representam, respectivamente, a média dos valores recolhidos e a média das diversas amplitudes móveis.

**Sumário**

Carta	LIC	LC	LSC
$\bar{x} - R$	$\bar{x} - A_2 \bar{R}$	$\bar{x}$	$\bar{x} + A_2 \bar{R}$
$\bar{x} - S$	$\bar{x} - A_3 \bar{S}$	$\bar{x}$	$\bar{x} + A_3 \bar{S}$
$R$	$D_3 \bar{R}$	$\bar{R}$	$D_4 \bar{R}$
$S$	$B_3 \bar{S}$	$\bar{S}$	$B_4 \bar{S}$
$R_m$	$D_3 \bar{R}_m$	$\bar{R}_m$	$D_4 \bar{R}_m$
$x_i$	$\bar{x}_i - E_2 \bar{R}$	$\bar{x}_i$	$\bar{x}_i + E_2 \bar{R}$

**2.3.2.5 Cartas de controlo para atributos**

Muitas características da qualidade não podem ser representadas numericamente. Nestes casos, é usual classificar cada item inspeccionado como “**conforme**” ou “**não conforme**”, “**defeituoso**” ou “**não defeituoso**”, em relação às especificações para aquela característica da qualidade. As características da qualidade deste tipo são designadas por **atributos**.

Ao contrário das cartas de variáveis que surgem sempre aos pares devido à necessidade de avaliar não só a centralidade como também a variabilidade, as cartas de controlo por atributos surgem sempre individualmente.

De seguida ir-se-ão analisar as diferenças entre cada um dos tipos de cartas de controlo de atributos.

### **Cartas de controlo de peças não conformes - tipo $p$ e tipo $np$**

Quando se pretende controlar as peças produzidas não conformes podem-se utilizar cartas do tipo  $np$  ou do tipo  $p$ . A única diferença entre estes dois tipos de cartas reside no facto de, para o caso das cartas do tipo  $np$ , em que se conta o número de unidades não conformes, o tamanho da amostra recolhida ter de ser constante. De facto, só se todas as amostras tiverem o mesmo número de elementos é que será possível comparar o número de unidades não conformes que cada uma delas contém.

Se o tamanho da amostra recolhida for variável, como a base de comparação já não é a mesma, não poderemos falar em termos de número de peças não conformes mas sim em termos da proporção de peças não conformes e a carta de controlo a utilizar deverá ser do tipo  $p$ .

Os princípios estatísticos que envolvem as cartas de controlo de fracções de peças não conformes são os da distribuição binomial. Suponhamos que um processo produtivo está estável, de tal forma que as diversas peças produzidas são independentes e que a probabilidade de uma peça não estar conforme as especificações seja  $p$ . Então, cada peça produzida é uma realização de uma variável aleatória de Bernoulli com parâmetro  $p$ . Se uma amostra aleatória de  $n$  peças for seleccionada, e se  $D$  for o número de peças não conformes,  $D$  tem uma distribuição binomial com parâmetros  $n$  e  $p$ .

---

$$P\{D = x\} = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad x = 0, 1, \dots, n \quad (2.10)$$

---

A média e variância da variável  $D$  é dada por  $np$  e  $np(1-np)$ , respectivamente.

A amostra da fracção de peças não conformes é definida como o quociente entre o número de peças não conformes na amostra  $D$  e o tamanho da amostra  $n$ .

---

$$\hat{p} = \frac{D}{n} \quad (2.11)$$

---

A distribuição da variável aleatória  $\hat{p}$  pode ser obtida da distribuição binomial, pelo que a sua média e variância são:

$$\mu = p \quad (2.12)$$

e

$$\sigma_p^2 = \frac{p(1-p)}{n} \quad (2.13)$$

Esta teoria pode ser aplicada ao desenvolvimento da carta de controlo de fracção de peças não conformes. Com efeito se a fracção de peças não conformes  $p$  for conhecida, então a partir da Equação 2.1, tiramos os limites de controlo:

---

**Limites de controlo para carta de fracções de itens não conformes ( $p$  conhecido)**

---

$$\begin{aligned} LSC &= p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \\ LC &= p \\ LIC &= p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \end{aligned} \quad (2.14)$$


---

A forma de construir esta carta, consiste em recolher amostras sequenciais de  $n$  unidades e calcular a respectiva fracção de não conformes  $\hat{p}$  desenhando este valor na carta. Enquanto  $\hat{p}$  se mantiver dentro dos limites de controlo e não surgir na carta nenhum padrão não aleatório, podemos concluir que o processo está sob controlo estatístico no nível  $p$ . Se um ponto cair fora dos limites de controlo ou se surgir na carta um padrão não aleatório, então podemos concluir que o processo está fora de controlo.

Quando a fracção de não conformes  $p$  não é conhecida, deve-se estimar a partir dos dados históricos. O procedimento habitual, passa por seleccionar  $m$  amostras preliminares, cada uma com tamanho  $n$ . Como regra,  $m$  deve estar entre 20 e 25. Então se existirem  $D_i$  unidades na amostra  $i$ , a fracção de não conformes nesta amostra é dada por:

$$\hat{p} = \frac{D_i}{n} \quad i=1,2,\dots,m \quad (2.15)$$

Sendo a média destas  $m$  fracções de não conformes:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{mn} = \frac{\sum_{i=1}^m \hat{p}_i}{m} \quad (2.16)$$

$\bar{p}$  é assim o estimador para o valor desconhecido de  $p$ , sendo o limites de controlo agora os seguintes:

---

**Limites de controlo para carta de fracções de itens não conformes ( $p$  desconhecido)**

---

$$\begin{aligned}
 LSC &= \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \\
 LC &= \bar{p} \\
 LIC &= \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$


---

Os limites de controlo para as cartas de controlo  $np$ , número de unidades não conformes em vez de fracção, são dados por:

---

**Limites de controlo para carta de número de itens não conformes**

---

$$\begin{aligned}
 LSC &= np + 3\sqrt{np(1-p)} \\
 LC &= np \\
 LIC &= np - 3\sqrt{np(1-p)}
 \end{aligned}
 \tag{2.18}$$


---

Como na carta anterior, também aqui, quando o valor de  $p$  for desconhecido, usa-se  $\bar{p}$  para estimar  $p$ . Nesta carta o valor do tamanho das amostras deve ser fixo.

**Cartas de controlo de defeitos - tipo  $c$  e tipo  $u$**

Uma peça defeituosa é aquela que não satisfaz uma ou mais especificações (defeito). No entanto, dependendo da gravidade do defeito, a peça pode não ser considerada como não conforme. Existem, de facto, situações em que na prática as peças têm defeitos mas não são considerados não conformes. Enquanto que nas cartas  $np$  e  $p$  se pretende controlar as peças não conformes, as cartas  $c$  e  $u$  controlam o número de defeitos apresentados em determinada **unidade de inspecção**. Essa unidade pode ser de uma peça ou mais, não existindo nenhuma regra para a definição desse número. Existem cartas para controlar o número total de defeitos (cartas  $c$ ) numa unidade e cartas para controlar a média de defeitos por unidade (carta  $u$ ). A diferença entre estas as cartas  $c$  e  $u$  é precisamente o mesmo que entre as cartas  $np$  e  $p$ . As cartas do tipo  $c$  utilizam-se quando se pretende controlar o número de defeitos em unidades de tamanho constante. Se, pelo contrário, ocorrer variação do tamanho da amostra, dever-se-ão contar o número de defeitos por unidade de inspecção e as cartas a usar serão do tipo  $u$ .

Estas cartas de controlo assumem que a ocorrência de defeitos nas amostras de tamanho constante segue uma distribuição de Poisson, pelo que temos:

$$p(x) = \frac{e^{-c} c^x}{x!} \quad x=0,1,2,\dots \quad (2.19)$$

onde  $x$  é o número de defeitos e  $c > 0$  é o parâmetro da distribuição de Poisson. Como na distribuição de Poisson a média e a variância é igual ao parâmetro  $\lambda$ , então podemos definir os limites de controlo da carta  $c$ , como:

---

**Limites de controlo para carta de defeitos com  $c$  conhecido – carta  $c$**

---

$$\begin{aligned} LSC &= c + 3\sqrt{c} \\ LC &= c \\ LIC &= c - 3\sqrt{c} \end{aligned} \quad (2.20)$$


---

Se os valores de controlo do limite inferior forem negativos deve-se corrigir para zero. Se o valor do parâmetro da distribuição  $c$  não for conhecido, este pode ser estimado usando a média dos defeitos verificados em unidades de inspeção preliminares. Neste caso os limites de controlo serão:

---

**Limites de controlo para carta de defeitos com  $c$  desconhecido – carta  $c$**

---

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \\ LC &= \bar{c} \\ LIC &= \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \end{aligned} \quad (2.21)$$


---

Quando houver variações do tamanho da amostra, deve-se construir a carta de controlo baseada nas médias de defeitos por unidade de inspeção. Se existirem  $x$  defeitos numa amostra de  $n$  unidades de inspeção, então o número médio de defeitos por unidade de inspeção é dado por:

$$u = \frac{x}{n} \quad (2.22)$$

Como  $x$  é uma variável aleatória que segue uma distribuição de Poisson, então os limites de controlo serão calculados por:

## Limites de controlo para carta de defeitos por unidade de inspecção – carta $u$

$$\begin{aligned}
 LSC &= \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \\
 LC &= \bar{u} \\
 LIC &= \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}
 \end{aligned}
 \tag{2.23}$$

### Sumário

Carta	LIC	LC	LSC	Tamanho da amostra
$p$ <i>Fracção de peças não conformes</i>	$\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{p}$	$\bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	Tamanho da amostra $n$ pode ser variável
$np$ <i>Número de peças não conformes</i>	$n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	$\bar{p}$	$n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	Tamanho da amostra $n$ deve ser fixo
$c$ <i>Número de defeitos</i>	$\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c}$	$\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	Tamanho da amostra $n$ deve ser fixo (normalmente 1 a 5)
$u$ <i>Defeitos por unidade de inspecção</i>	$\bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	$\bar{u}$	$\bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	Tamanho da amostra $n$ pode ser variável (normalmente 1 a 5)

### 2.3.3 Análise da capacidade do processo

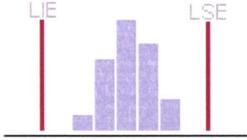
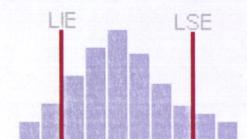
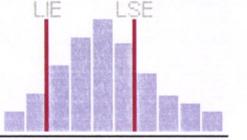
Uma vez determinado que o processo se encontra sob controlo estatístico (processo estável), há ainda a questão de saber se ele é ou não capaz de satisfazer as necessidades de produção. A capacidade do processo é uma medida que permite, caso o histograma do processo apresente uma distribuição normal e caso ele se encontre sob controlo estatístico, avaliar a sua variação devido unicamente à existência de causas comuns. O planeamento do estudo da capacidade deve ser baseada num mínimo de 20 amostras, cada uma das quais com 3 ou mais medições de forma a incluir não só a variação das corridas, como também a variação entre as corridas. Desta forma conseguir-se-à avaliar a repetibilidade e reprodutibilidade do processo em estudo. As amostras devem ser recolhidas ao longo de vários turnos, com uma cadência descontínua de forma a não excluir quaisquer alterações do processo resultantes da utilização de diferentes materiais, operadores, máquinas, tempos de medição, entre outros.

### 2.3.3.1 Avaliação gráfica da capacidade do processo usando histogramas

A capacidade do processo pode ser estabelecida a partir do histograma de distribuição de frequências utilizando um conjunto de dados mais ou menos vasto. A capacidade do processo é depois estabelecida pelo intervalo de confiança, a partir da média e do desvio padrão da amostra, para o nível de confiança desejado. Este tipo de avaliação nada mais é do que se inserir, nos histogramas, os dados referentes aos Limites de Especificação, traçando as linhas dos mesmos no gráfico do histograma. A avaliação consiste em verificar a localização do histograma em relação às linhas que representam os limites.

O Quadro 2.1 apresenta as situações mais comuns neste tipo de avaliação. Nela se pode observar a classificação que Dellaretti (1994) e Werkema (1995) usaram tendo como critério as cores, vermelha, amarela e verde, de significado universal, ao classificar os processos quanto à sua capacidade.

Quadro 2.1 - Análise gráfica da capacidade de um processo

Classificação do Processo	Comparação Gráfica	Características	Ações pertinentes
<b>Verde</b> (Adequado/capaz)		Todos os dados estão situados dentro dos limites de especificação com uma boa margem de segurança de ambos os lados. Esta margem é de pelo menos $1\sigma$ .	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manter a actual situação</li> <li>- Processo em condições de operar</li> </ul>
<b>Amarelo</b> (Aceitável)		Todos os dados estão situados dentro dos limites de especificação, porém, surgem alguns resultados muito próximos destes. Esta distância é inferior a $1\sigma$ .	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzir a variabilidade</li> <li>- Promover uma melhoria de tal forma a o processo passar para o nível Verde</li> </ul>
<b>Vermelho</b> (Incapaz/inadequado)		Alguns dados estão situados fora dos limites de especificação exigindo inspeção a 100% para garantir a qualidade especificada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É necessário agir para trazer a média mais próxima ao centro de especificação</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- São necessárias ações para reduzir a variação – melhoria de processo</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- São necessárias não só ações para reduzir a variação, como também para trazer a média mais próxima ao centro de especificação</li> </ul>

Fonte: Werkema (1995)

### 2.3.3.2 Rácios para o cálculo de capacidade do processo

Um dos rácios mais utilizado para a determinação da capacidade do processo é o  $C_p$ , que relaciona a dispersão dos valores com a tolerância especificada, isto é, mede a variabilidade do processo.

---

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (2.24)$$

---

$LSE$  e  $LIE$  representam, respectivamente, os limites superior e inferior de especificação. Na maior parte dos casos o desvio padrão do processo  $\sigma$  é desconhecido sendo necessário estimar  $\sigma$  usando-se habitualmente o desvio padrão simples  $S$  ou  $\bar{R}/d_2$ <sup>6</sup> sempre que forem usadas cartas de controlo por variáveis para estudar a capacidade.

Outro indicador da capacidade do processo é o índice  $C_{pk}$  que compara simultaneamente o seu acerto ou regulação (medida central) e a sua variabilidade relativamente à tolerância.

---

$$C_{pk} = \frac{\min[LSE - \mu; \mu - LIE]}{3\sigma} \quad (2.25)$$

---

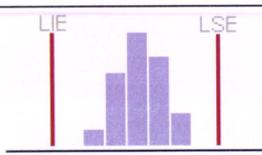
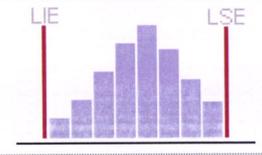
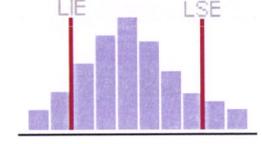
A capacidade do processo será considerada satisfatória se quer o  $C_p$  quer o  $C_{pk}$  forem superiores a 1,33. Nesta situação garante-se que a dispersão dos valores está toda contida nos  $\pm 4\sigma$  da curva de dispersão normal e que, para além disso, o processo se encontra centrado em torno do valor óptimo. Se algum destes parâmetros for inferior a 1,33 deverão ser tomadas providências para trazer o processo para próximo dos valores óptimos desejados bem assim como para reduzir a sua variabilidade.

O Quadro 2.2 apresenta um critério de classificação de processos, tomando como referência o valor de  $C_p$ . É mostrada também a proporção de não conformes e um exemplo de histograma típico correspondente a cada um dos critérios.

---

<sup>6</sup> A constante  $d_2$  está tabelada para vários tamanhos de amostras no Anexo II.

**Quadro 2.2 - Classificação de processos a partir do índice  $C_p$**

Classificação do Processo	Comparação com o Histograma	Valor de $C_p$	Proporção de não conformes ( $p$ )
<b>Verde</b> (Adequado/capaz)		$C_p \geq 1,33$	$p \leq 64\text{ ppm}^7$
<b>Amarelo</b> (Aceitável)		$1 \leq C_p < 1,33$	$64\text{ ppm} < p \leq 0,27\%$
<b>Vermelho</b> (Incapaz/inadequado)		$C_p < 1$	$6p > 0,27\%$

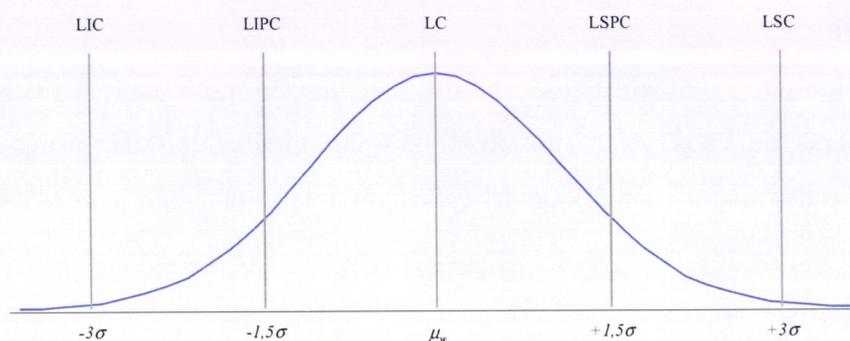
Fonte: Werkema (1995)

### 2.3.4 Pré-controlo

Uma técnica frequentemente usada para detectar desvios no processo, originando situações fora de controlo, que podem resultar na produção de produtos não conformes, é a técnica do pré-controlo. Uma vantagem deste procedimento é a de que não são necessários quaisquer gráficos ou cálculos.

Esta técnica assume uma distribuição normal e envolve a determinação do intervalo de pré-controlo definido pelos limites superior e inferior de pré-controlo,  $LSPC$  e  $LIPC$ . Estes limites correspondem a metade dos limites de controlo 3-sigma.

**Figura 2.13 - Intervalos de pré-controlo**



<sup>7</sup> ppm significa partes por milhão e é utilizado para tornar mais fácil a leitura sempre que a fracção for demasiado pequena. 64ppm equivale a uma fracção de 64/1.000.000

Pode-se demonstrar que a probabilidade de dois pontos consecutivos caírem fora do intervalo de pré-controlo é de aproximadamente 1/200. Sendo esta probabilidade muito baixa, pressupõe-se que a ocorrência de dois pontos consecutivos fora do intervalo de pré-controlo é indicativa de uma situação fora de controlo.

Embora esta técnica tenha a vantagem de ser simples, não deverá ser usada indiscriminadamente, pois encerra também alguns inconvenientes:

1. Uma vez que não é construída nenhuma carta de controlo, não podem ser aplicados os critérios de detecção deste tipo de situações a partir da evolução dos valores na carta;
2. O pequeno valor da dimensão da amostra reduz grandemente a capacidade de detectar desvios mesmo moderados ou grandes;
3. O pré-controlo não proporciona qualquer tipo de informação que possa ser utilizada para trazer o processo para uma situação de controlo, ou que seja útil para reduzir a variabilidade do processo;
4. São extremamente importantes os pressupostos de um processo sob controlo estatístico e um índice de capacidade do processo adequado ( $C_p > 2$  ou 3).

### **2.3.5 As outras ferramentas de controlo estatístico do processo**

Ainda que as cartas de controlo tenham uma grande importância na detecção de problemas e melhoria dos processos, elas tornam-se mais efectivas quando usadas em conjunto com outras ferramentas num programa integrado de melhoria da qualidade. Essas outras ferramentas possibilitam identificar oportunidades de melhoria e assim auxiliar na redução da variabilidade do processo (MONTGOMERY 2001).

As restantes ferramentas já atrás referidas são:

#### **Histograma**

O histograma, é um gráfico de barras, em que as áreas das barras são proporcionais às frequências de cada valor, possibilitando um diagnóstico da forma, tendência central e dispersão dos dados e que pode ser especialmente importante para tentar identificar qual é a distribuição de probabilidades seguida pelos dados. Os histogramas são assim muito úteis para verificar se as suposições para utilização das cartas de controlo são satisfeitas (MONTGOMERY 2001).

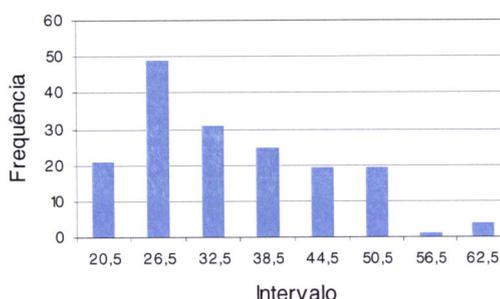
Os valores das observações, agrupados em classes, registam-se no eixo horizontal e as respectivas frequências no eixo vertical. Cada rectângulo, tendo por base o intervalo entre

dois valores sucessivos da escala de valores e por altura a frequência absoluta ou relativa nesse intervalo, tem uma área proporcional a essa frequência.

**Quadro 2.3 - Tabela para a construção de histograma**

Intervalo	Frequência	Frequência acumulada	Frequência relativa
17.5 - 23.5	21	21	0,12426
23.5 - 29.5	49	70	0,289941
29.5 - 35.5	31	101	0,183432
35.5 - 41.5	25	126	0,147929
41.5 - 47.5	19	145	0,112426
47.5 - 53.5	19	164	0,112426
53.5 - 59.2	1	165	0,005917
59.5 - 65.5	4	169	0,023669
<b>Total</b>	<b>169</b>		<b>1</b>

**Figura 2.14 - Histograma de frequências**



### Folha de verificação

As folhas de verificação, são folhas onde são registadas todas as informações relevantes sobre dados históricos ou actuais de um processo sob investigação, especialmente nos estágios iniciais de implementação do controlo estatístico do processo; registam-se quais os defeitos que ocorreram, quantas vezes, em que data, entre outros aspectos. Posteriormente essas anotações podem ser analisadas para identificar as causas de uma performance deficiente do processo. As folhas de verificação não só facilitam a recolha de dados como também a sua organização. Com base nelas será mais fácil posteriormente encontrar dados que sejam necessários, bem como fazer estudos retrospectivos. Elas fornecem uma base de informação para a tomada de decisão, estudo, análise e conclusões sobre uma dada situação, bem como verificar a distribuição de um processo, número de defeitos, peças defeituosas, tipo de defeitos e sua localização tendo em vista o controlo final. Não existe uma folha de verificação *standard* uma vez que estas devem ser elaboradas em função do fim a que se destinam.

## Gráfico de Pareto

Nos finais do século XIX, ao analisar a sociedade, o economista italiano Alfredo Pareto concluiu que grande parte da riqueza se encontrava nas mãos de um número reduzido de pessoas. A partir desta observação, e por tal conclusão poder ser generalizada a muitas áreas da vida quotidiana, foi estabelecido o designado método de análise de Pareto, também chamado método ABC ou dos 20-80%. De uma forma sucinta, este método diz-nos que a grande maioria dos efeitos é devida a um número reduzido de causas. A grande aplicabilidade deste princípio à resolução dos problemas da qualidade reside precisamente no facto de ajudar a identificar o reduzido número de causas que estão muitas vezes por trás de uma grande parte dos problemas e variações que ocorrem. Uma vez identificadas dever-se-à proceder à sua análise, estudo e implementação de processos que conduzam à sua redução ou eliminação. O princípio de Pareto pode ser usado para diferentes tipos de aplicações em termos de qualidade. Assim, uma vez que os problemas da qualidade aparecem normalmente sobre a forma de perdas, é de extrema importância tentar esclarecer o porquê da sua ocorrência. A análise de Pareto diz que, em muitos casos, a maior parte das perdas que se fazem sentir são devidas a um pequeno número de defeitos considerados vitais (*vital few*). Os restantes defeitos, que dão origem a poucas perdas, são considerados triviais (*trivial many*) e não constituem qualquer perigo sério. Por outro lado, este princípio pode também ser aplicado à redução dos custos de defeitos. Tais custos compõem-se principalmente do custo das reparações e das rejeições devidos a defeitos nos produtos em curso de fabrico ou devolvidos pelos clientes. Mais uma vez o que se verifica é que uma pequena porção (cerca de 20%) dos produtos defeituosos ou do número de defeitos de uma mesma produção é muitas vezes responsável pela maior parte (cerca de 80%) do custo global dos defeitos, quer ao nível da empresa, quer ao nível do produto considerado.

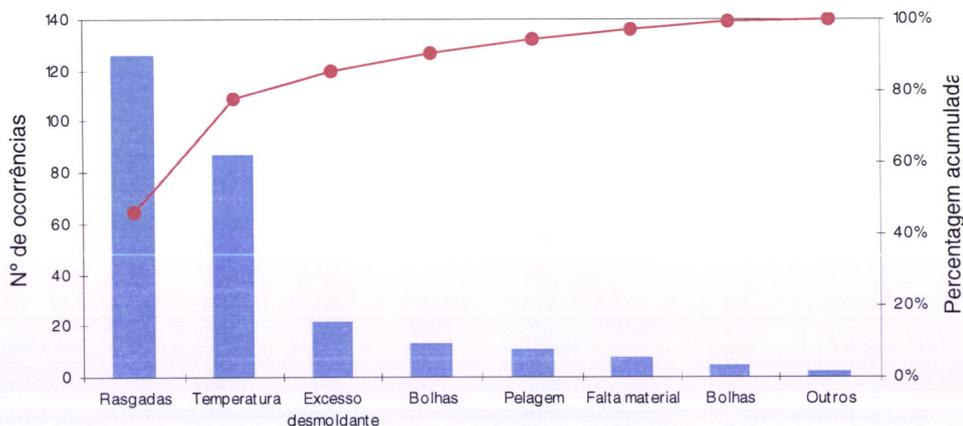
É na detecção das 20% das causas que dão origem a 80% dos efeitos que o que o diagrama de Pareto se revela uma ferramenta muito eficiente. Trata-se de uma representação gráfica ordenada, na qual, para cada causa se representa, sob a forma de barras, a respectiva consequência (nº. de defeitos, custo, etc.). A elaboração deste tipo de diagrama pode ser sistematizada da seguinte forma:

1. Decidir o tipo de problema a ser investigado (por exemplo: nº. de itens defeituosos, perdas em valores monetários, ocorrência de acidentes);
2. Identificar e listar o tipo de causas que lhe dá origem (por exemplo: processo, máquina, operador, método);

3. Recolher dados e, para cada tipo de causa, registrar o número de vezes que estes contribuem para o efeito em questão;
4. Ordenar as causas por ordem decrescente da respectiva frequência começando pela classe com maior frequência. Se várias das causas apresentarem uma frequência de ocorrência de defeitos muito baixa quando comparadas com as outras, elas poderão ser reunidas numa única classe denominada “outros”;
5. Construir um diagrama de barras por esta ordem decrescente;
6. Desenhar a curva acumulada (curva de Pareto) ao unir com segmentos de recta os valores percentuais acumulados até cada item;
7. Descobertas as causas das não conformidades mais importantes, há depois que tomar as acções correctivas apropriadas para as eliminar.

As percentagens acumuladas podem ser representadas no gráfico através de uma linha quebrada que relaciona as categorias de problema estudadas com as percentagens acumuladas - **Linha Cumulativa de Lorenz**. Esta linha representa o ganho que se irá progressivamente obtendo com a eliminação dos problemas a partir dos problemas vitais.

**Figura 2.15 - Gráfico de Pareto**



Pela análise do gráfico verifica-se que, dos 8 defeitos, 2 deles (25%) são responsáveis por 80% do número de peças defeituosas.

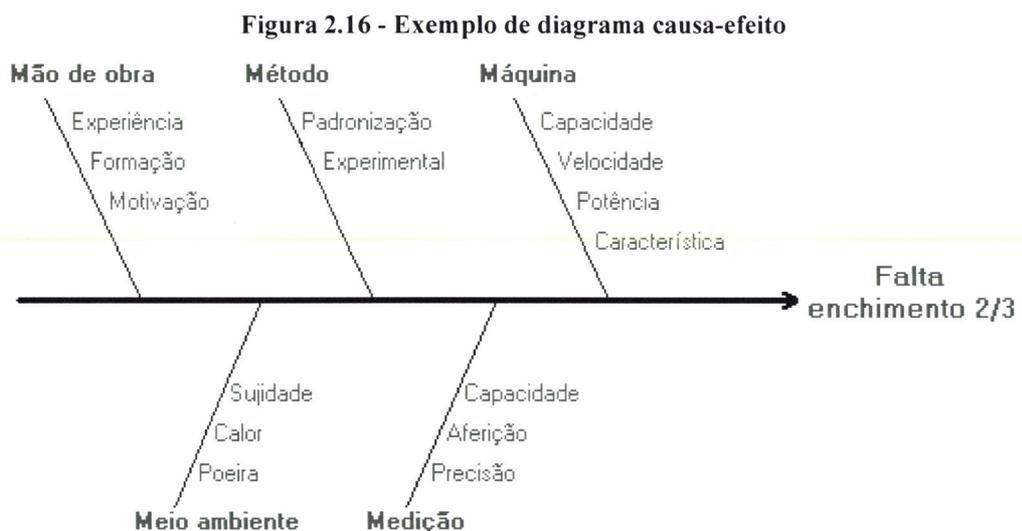
### **Diagrama de causa-efeito**

O diagrama de causa-efeito é uma ferramenta que permite a identificação e análise das causas potenciais de variação do processo ou da ocorrência de um fenómeno, bem como da forma como essas causas interagem entre si. Este tipo de diagrama mostra a relação entre a característica da qualidade em questão e essas causas que podem, usualmente, ser de 5

naturezas diferentes (também designadas por 5 M's): materiais, métodos, mão de obra, máquinas e meio ambiente. Casos há, no entanto, em que são de uma outra natureza qualquer. O diagrama de causa-efeito, também é chamado de “espinha de peixe” ou diagrama de Ishikawa.

O procedimento a seguir para elaborar um diagrama deste tipo, pode ser sistematizado da forma seguinte:

1. Determinar a característica de qualidade cujas causas se pretendem identificar;
2. Através da investigação e discussão com um grupo de pessoas (*brainstorming*), determinar quais as causas que mais directamente afectam essa característica, isto é, aquelas que têm uma influência directa no problema a ser resolvido (causas primárias ou causas de nível 1);
3. Traçar o esqueleto do diagrama colocando, numa das extremidades, a característica da qualidade em questão. A partir desta deverá partir “a espinha do peixe”, isto é, uma linha horizontal de onde deverão irradiar as ramificações com as causas consideradas como primárias;
4. Identificar as causas (secundárias ou causas de nível 2) que afectam as causas primárias anteriormente identificadas, bem assim como aquelas (causas terciárias) que afectam as causas secundárias. Cada um destes níveis irá constituir ramificações nas causas de nível imediatamente inferior.



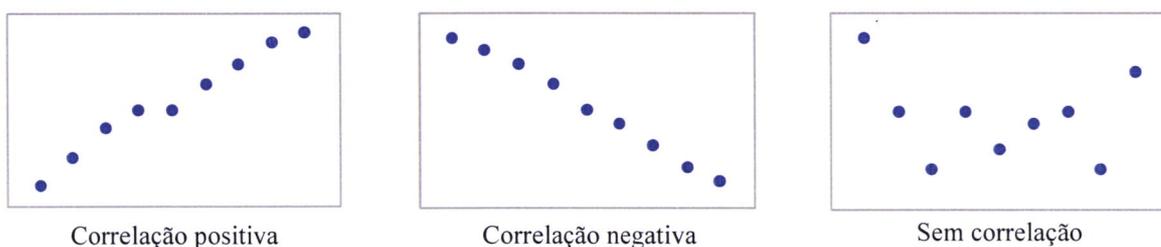
## Diagrama de concentração de defeitos

O diagrama de concentração de defeitos é uma representação visual da unidade sob análise, mostrando todas as suas vistas relevantes, onde os vários tipos de defeitos são desenhados, para determinar se o local dos defeitos permite inferir algo sobre suas causas.

## Gráfico de dispersão

Gráfico muito útil para identificar uma relação entre duas variáveis; dados relativos a duas variáveis são recolhidos aos pares e posteriormente desenhados num plano cartesiano na escala adequada. A forma do diagrama permite identificar se existe relacionamento entre as variáveis e qual a sua natureza.

Figura 2.17 - Gráfico de dispersão



## Fluxograma

Mostra o fluxo do produto/serviço à medida que ele se move através do processo produtivo, permitindo visualizar o sistema inteiro, identificando problemas potenciais e localizando as actividades de controlo.

### 2.4 A inteligência artificial aplicada ao controlo estatístico do processo

A utilização de técnicas de inteligência artificial tornou-se bastante comum para a resolução de problemas complexos, quando esgotadas as abordagens tradicionais ou mais simples, que nem sempre são as mais adequadas para a resolução de determinados problemas que envolvem a temática do controlo estatístico do processo. Nesta secção são introduzidos os conceitos básicos de inteligência artificial relevantes, sendo feita uma breve revisão de estudos efectuados por diversos autores acerca da sua utilização no controlo estatístico de processo.

#### 2.4.1 Conceitos básicos

Em linhas gerais o objectivo da inteligência artificial é representar o comportamento inteligente através de modelos computacionais. Existe uma grande controvérsia quando se

procura uma definição para inteligência artificial. Cherniak e McDermott (1985) apresentam uma definição que muitos autores consideram a mais adequada:

*“Inteligência artificial é o estudo das faculdades mentais com o uso de modelos computacionais”*

O conceito de inteligência artificial surgiu em 1956 quando o termo foi usado numa conferência na Universidade de Dartmouth, nos EUA. O objectivo era construir computadores mais úteis aos seres humanos. Foram feitos então, muitos esforços no desenvolvimento de algoritmos de procura, e no emprego de tais algoritmos para a resolução de problemas nas mais diversas áreas (RABUSKE 1995). As previsões optimistas da década de 60 não se confirmaram quando as técnicas de inteligência artificial foram empregues para a resolução de problemas complexos, e os resultados obtidos não corresponderam às expectativas. Como consequência, a investigação nesta área perdeu parte do apoio inicial. Não obstante, houve um renascimento da inteligência artificial quando os investigadores compreenderam que as técnicas de procura por si só eram insuficientes para construir uma máquina inteligente, sendo necessário também codificar uma fonte de conhecimento apropriada para possibilitar a resolução de problemas. Outro ponto, foi a compreensão de que era necessário limitar o domínio do problema para obter resultados compensadores. Essas constatações conduziram aos sistemas baseados no conhecimento, entre os quais se encontram os Sistemas Periciais (DURKIN 1994; RUSSEL e NORVIG 1995).

Vários paradigmas da inteligência artificial foram surgindo, de onde se destacam o simbólico e o conexionista. Embora não sendo considerados exactamente paradigmas por todos os autores, serão apresentadas aqui a abordagem evolucionária por algoritmos genéticos, a abordagem por agentes, e a abordagem por lógica difusa, baseada na teoria dos conjuntos difusos. Estes paradigmas serão de seguida analisados.

#### **2.4.2 Inteligência artificial simbólica**

Na inteligência artificial simbólica o comportamento inteligente é simulado, baseado nos princípios da psicologia cognitiva. Espera-se que o conhecimento sobre determinado problema a resolver, e das técnicas úteis para o caso, possam levar à manipulação dos conhecimentos básicos “imitando” o modo de raciocínio dos humanos. Para isso, a inteligência artificial simbólica deve ser utilizada quando o domínio do problema é bem

definido, quando se tenha ideia de como ele será resolvido, e quando seja explícito o modo para achar uma solução (BARRETO 1997).

A inteligência artificial simbólica tem sido utilizada com sucesso em sistemas de monitorização, de diagnóstico, previsões financeiras, entre outras.

#### **2.4.3 Inteligência artificial conexionista**

A inteligência artificial conexionista baseia-se na utilização de neurocomputadores (computadores em que os circuitos tentam imitar o sistema nervoso), de forma apresentarem um comportamento inteligente (KOEHLER 1998). Esse paradigma costuma ser rotulado de abordagem por redes neuronais, pois tenta-se reproduzir no computador as redes neuronais existentes no sistema nervoso humano.

Esta abordagem tem atraído a atenção dos investigadores, por apresentar uma melhor performance do que a inteligência artificial simbólica, nas situações em que o problema não é bem definido por falta de conhecimento explícito acerca de como realizar uma tarefa. Isso é especialmente adequado para reconhecimento de padrões como, por exemplo, padrões de voz ou imagem. O reconhecimento de padrões é provavelmente uma das aplicações mais interessantes de redes neuronais, pois ao contrário dos métodos estatísticos e sintácticos o foco conexionista pode lidar com situações em que os relacionamentos entre as variáveis são dinâmicos ou não lineares. Trata-se, então, de uma alternativa que permite modelar fenómenos que dificilmente poderiam ser tratados de outra forma.

A utilização de inteligência artificial conexionista nos sistemas de reconhecimento de padrões em cartas de controlo é uma prática que tem conhecido grandes evoluções e que será estudada mais à frente.

#### **2.4.4 Abordagem evolucionária por algoritmos genéticos**

Embora não seja exactamente considerado um paradigma por muitos autores, a abordagem evolucionária (ou computação evolucionária) é uma área da inteligência artificial que se tem expandido consideravelmente nos últimos anos. Ao contrário da abordagem tradicional de processamento de dados, a abordagem evolucionária não exige o conhecimento prévio da forma de encontrar uma solução para um determinado problema (BITTENCOURT 2001). Esta abordagem baseia-se na teoria de Darwin acerca da evolução das espécies, nomeadamente algumas ideias básicas que, quando implementadas, permitem simular num

computador o processo de passagem de gerações da evolução natural (BITTENCOURT 2001):

- Criação de uma população de soluções na qual os indivíduos tenham registado, de modo intrínseco, os parâmetros que descrevem uma possível solução para o problema proposto;
- Criação de uma entidade, a função de avaliação, capaz de julgar a aptidão de cada um dos indivíduos, sem precisar ter o conhecimento de como solucionar o problema, mas apenas atribuir uma “nota” ao desempenho de cada um dos indivíduos da população;
- Criação de uma série de operadores, baseados nos fenómenos que ocorrem na evolução natural, os quais serão aplicados à população de uma geração para obter os indivíduos da geração seguinte:
  1. Selecção: escolher um indivíduo ou um par deles para gerar descendência (indivíduos bem classificados pela função de avaliação);
  2. Recombinação: operador que simula a troca de material genético entre os ancestrais que, por sua vez, determina a carga genética dos descendentes;
  3. Mutação: operador que realiza mudanças aleatórias no material genético.

Uma população inicial de soluções evolui ao longo das gerações em direcção a soluções mais adaptadas (com maior valor na função de avaliação) por meio dos operadores. Um algoritmo genético é um programa computacional que implementa este processo. Inicialmente utilizados apenas em modelos de aprendizagem automática (RUSSEL e NORVIG 1995) a sua ênfase mudou para a optimização (GOLDBERG 1989), permitindo a sua aplicação nas mais diversas áreas.

#### **2.4.5 Inteligência artificial distribuída ou abordagem por agentes**

A abordagem por agentes, também chamada de inteligência artificial distribuída, estuda o conhecimento e as técnicas de raciocínio que podem ser necessárias ou úteis para que agentes computacionais participem numa sociedade de agentes (BITTENCOURT 2001). Ao contrário da inteligência artificial clássica, em que um sistema inteligente é composto apenas por um foco de atenção e apenas uma base de conhecimento (simulando o comportamento humano individual), a abordagem por agentes é baseada no comportamento social, sendo a ênfase colocada nas acções e interacções. A abordagem por agentes combina técnicas tradicionais de inteligência artificial com processamento distribuído, para desenvolver sistemas mais flexíveis, objectivando a resolução de problemas.

As principais abordagens da inteligência artificial distribuída são:

- **Solução Distribuída de Problemas**

O foco principal é o problema a resolver; os agentes cooperam uns com os outros, dividindo e partilhando conhecimentos sobre o problema e sobre o processo para obter uma solução; geralmente os agentes envolvidos são concebidos para resolver problemas específicos, não tendo uma visão completa do objectivo global; é também comum um agente controlador único responsável pela gestão do sistema;

- **Sistemas Multi-Agentes**

O foco está na coordenação do comportamento inteligente de um conjunto de agentes autónomos para obter a solução de um problema apresentado; o controlo do sistema geralmente é feito de forma distribuída.

A inteligência artificial distribuída, apresenta alguns problemas de difícil resolução:

- Como descrever e decompor uma tarefa complexa em subtarefas, e como alocá-las?
- Como será feita a interacção/comunicação entre os agentes (protocolo, linguagens)?
- Como assegurar a coordenação, controlo e comportamento coerente do conjunto de agentes?
- Como resolver situações de conflito e incerteza entre os agentes?
- Que linguagens de programação devem ser utilizadas?

Uma das principais controvérsias sobre a inteligência artificial distribuída reside justamente na definição de agentes. Tais agentes recebem percepções do ambiente através de sensores, e actuam sobre o mesmo ambiente através de atuadores (RUSSEL e NORVIG 1995). Essa informação sobre o ambiente é incompleta, devendo o agente ser concebido de maneira a actuar racionalmente, ou seja, “fazer a coisa certa” no seu ambiente. A “coisa certa” é a acção que fará com que o agente tenha o maior sucesso possível. O problema é definir critérios para este sucesso, sendo necessário estabelecer uma medida de performance, que pode ser simplesmente o alcance de um objectivo pré-definido.

Um agente racional ideal, é aquele que, para qualquer sequência de percepções realiza uma acção que irá maximizar a sua medida de performance com base nas evidências apresentadas pela sequência de percepções, seja qual for o conhecimento embutido no agente.

A tarefa da inteligência artificial é procurar fazer com que o agente se torne ideal, concebendo o programa do agente uma função que irá relacionar as percepções com as acções necessárias

para maximizar a medida de performance, enquanto actualiza o estado interno do agente. O programa do agente pode ser implementado através de regras, redes neuronais artificiais, ou outros métodos. A sua complexidade dependerá da percepção que o agente tem do ambiente, das acções que se espera que ele realize, dos seus objectivos e do próprio ambiente no qual o agente deve actuar. No Quadro 2.4 é possível observar a interacção destes factores:

**Quadro 2.4 - Tipos de agentes, percepções, acções, objectivos e ambiente**

<b>Tipo de Agente</b>	<b>Percepções</b>	<b>Acções</b>	<b>Objectivos</b>	<b>Ambiente</b>
Sistema de diagnóstico médico	Sintomas, observações, respostas do paciente	Perguntas, testes, tratamentos	Curar o paciente, minimizar custos	Paciente, hospital
Sistema de análise de imagens de satélite	Pixels de intensidade variável, cor	Imprimir uma categorização do cenário	Categorização correcta	Imagens de um satélite em órbita
Controlador de uma refinaria	Leituras de temperatura e pressão	Abrir, fechar válvulas; ajustar temperatura	Maximizar a pureza, rendimento e segurança	Refinaria
Tutor inteligente de inglês	Palavras digitadas	Imprimir exercícios, correcções, exercícios	Maximizar o desempenho do estudante no teste	Conjunto de testes

Fonte: Russel e Norvig (1995)

#### **2.4.6 Abordagem por lógica difusa**

A lógica difusa, baseada na teoria de conjuntos difusos, desenvolvida por Zadeh em 1965, não é propriamente um paradigma de inteligência artificial, mas uma nova maneira de tratar a incerteza. Os modelos matemáticos, baseados em métodos estatísticos, podem ser utilizados quando as incertezas são provenientes do comportamento aleatório de um sistema físico. Estes métodos falham ao lidar com o tipo de incerteza descrita de forma semântica, de maneira um tanto vaga por uma declaração em linguagem natural. A lógica difusa apresenta-se nestes casos como uma boa solução. Ela permite obter conclusões e gerar respostas baseadas em informações qualitativas, incompletas ou imprecisas, semelhante ao que os seres humanos fazem. Zadeh desenvolveu a teoria dos conjuntos difusos, da qual derivou a lógica difusa. Na lógica clássica (Aristotélica) há apenas dois resultados possíveis para uma premissa lógica: completamente verdadeira ou completamente falsa. Na lógica difusa uma premissa lógica pode ter um “grau de verdade” variando de 0 a 100%, permitindo que os eventuais conjuntos de elementos sejam nomeados qualitativamente (“alto”, “quente”, “activo”) apresentando os elementos destes conjuntos, diferentes graus de pertinência. Um homem de 1,70 m e outro de 1,85 m podem pertencer a um conjunto de homens “Altos”, mas o de 1,85 m terá um grau de

pertinência maior no conjunto. Além disso qualquer acção ou saída resultante de uma premissa verdadeira terá uma “força” reflectindo o grau em que aquela premissa é verdadeira (o seu grau de pertinência) (VIOT 1993).

A lógica difusa e a teoria de conjuntos difusos possibilitaram a modelação de diversos fenómenos e a solução de problemas que seriam praticamente impossíveis através de outras técnicas, sendo actualmente utilizadas num grande número de aplicações.

#### **2.4.7 Utilização de técnicas de inteligência artificial no controlo de qualidade**

O número de aplicações de inteligência artificial no controlo estatístico de qualidade é hoje bastante expressivo. Existem aplicações de inteligência artificial simbólica (basicamente sistemas periciais), inteligência artificial conexionista (especialmente redes neuronais para reconhecimento de padrões), lógica difusa, e sistemas híbridos que utilizam dois ou mais paradigmas.

##### **Sistemas periciais**

Dentro das principais aplicações de inteligência artificial simbólica destacam-se os sistemas periciais para auxiliar na escolha de técnicas de controlo estatístico de qualidade na resolução de problemas específicos. As actividades baseadas no conhecimento encaixam-se no desenvolvimento e uso de um sistema de controlo estatístico de qualidade essencialmente em dois pontos: interpretação das cartas de controlo e determinação das causas dos padrões não naturais encontrados, os quais indicam que o processo está fora de controlo. Os autores preconizam a utilização de um sistema pericial para combinar a inspecção, a detecção e a correcção de uma forma automática bem como a interpretação de cartas de controlo. Defendem ainda a utilização de uma “*shell*” para o desenvolvimento de tais sistemas, pois isso evitaria a necessidade de programar o motor de inferência, podendo manter o foco na aquisição, representação e manipulação do conhecimento.

Num trabalho que é quase um clássico, Dagli e Stacey (1988) sugerem um sistema pericial para a escolha de cartas de controlo. O controlo estatístico de qualidade é uma ferramenta muito importante para a melhoria da qualidade e conhecimento do processo produtivo sob análise. Mas a solução de problemas nos processos não é determinística, existindo muitas variantes. Um dos problemas é justamente a escolha da carta de controlo mais adequada para avaliar um processo. O conhecimento de um perito pode ser modelado através de um sistema

pericial, auxiliando a resolução do problema, determinando a carta mais adequada e fornecendo recomendações para a sua utilização.

Chen (1991) propõe um sistema pericial para auxiliar no planeamento de experiências industriais. A partir das informações sobre o processo, fornecidas pelo utilizador, são recomendadas as directrizes para a experiência. O sistema proposto também pode, com alguma adaptação, ser utilizado como tutorial, uma vez que a cada pergunta do sistema pericial, o utilizador pode perguntar “porquê” é que ela está a ser feita e “o que” significa.

Cheng e Hubele (1992) declaram que há poucas aplicações de sistemas periciais no controlo estatístico de processos. A resolução de problemas envolve a interpretação de dados, diagnóstico de causas e correcção de eventuais problemas sendo muitas vezes difícil reunir o conhecimento necessário numa única pessoa. Seria possível, porém, codificar esse conhecimento num sistema pericial. Os autores propõem um sistema pericial para analisar cartas de controlo  $\bar{x}$  e R, com as seguintes características: um algoritmo convencional em linguagem C avalia os gráficos, procurando padrões não aleatórios; uma vez encontrado um padrão, um sistema pericial baseado em regras, implementado em linguagem PROLOG, determinará se tal padrão sugere que o processo está fora de controlo estatístico, de forma a que as devidas correcções possam ser efectuadas. Alertam também para a necessidade de o conhecimento oriundo da experiência em controlo estatístico de processo, ser adequadamente organizado para possibilitar uma procura eficiente, e sugerem um método de “clusterização” (semelhante ao utilizado no sistema pericial PROSPECTOR de prospecção mineira), mas com uma nova medida de similaridade mais eficiente.

### **Aplicações de inteligência artificial conexionista**

As aplicações de inteligência artificial conexionista no controlo estatístico de qualidade são as mais numerosas, especialmente no reconhecimento de padrões em cartas de controlo. Serão enumeradas algumas das mais recentes.

Guo e Dooley (1992) aplicaram redes neuronais e técnicas Bayesianas para identificar mudanças na média ou na variabilidade de uma característica da qualidade. Para testar a sua abordagem utilizaram métodos de simulação numérica para gerar os diferentes padrões e concluíram que os dois métodos testados são mais eficientes na identificação de mudanças do que as regras heurísticas comumente utilizadas. Pham e Oztemel (1994) desenvolveram um sistema para reconhecimento de padrões em cartas de controlo usando redes neuronais de

Kohonen. Nas simulações realizadas concluíram que os resultados são melhores do que os obtidos com redes neuronais que usam “*backpropagation*”, ou do que aqueles obtidos com regras heurísticas.

Smith (1994), porém, utiliza redes neuronais com “*backpropagation*” para reconhecimento de padrões, detectando amostras que apresentam mudanças tanto em média quanto em variabilidade da característica da qualidade. Os resultados obtidos, por meio de simulação, foram comparáveis às cartas de controle  $\bar{x}$  e R para grandes desvios e superiores para os casos de pequenos desvios.

Hwang (1995) propôs o reconhecimento automático de padrões cíclicos através de várias redes neuronais (*perceptrons*) multi-camadas, que trabalham de forma conjunta, cada uma responsável por ciclos de determinado período. Estudos de simulação indicaram resultados semelhantes aos de um reconhecedor de padrões não especializado, sendo superior quando lidando com ciclos.

Hwang e Chong (1995), propuseram a aplicação da teoria de ressonância adaptativa (*Adaptive Resonance Theory* - ART). Desenvolveram um reconhecedor de padrões para cartas de controle com ART, capaz de aprendizagem rápida e cumulativa (as redes neurais com “*backpropagation*” não permitem tal performance).

Cheng (1997) propõe uma abordagem para a análise de padrões em cartas de controle. É feito o reconhecimento automático de padrões não naturais através de dois tipos de redes neuronais: um *perceptron* multi-camadas treinado por “*backpropagation*” e uma rede neuronal modular. Novamente, por meio de simulação, concluiu-se que ambos os tipos tiveram boa performance, mas a rede modular apresentou melhor desempenho quando houve interferências (ruídos) nos padrões.

### **Outras aplicações e aplicações híbridas de inteligência artificial**

No que diz respeito à lógica difusa e sistemas híbridos o número de aplicações é mais limitado. Serão citados os mais interessantes.

Chacon Reinoso (1989) propôs um sistema pericial difuso para a monitorização, análise, diagnóstico e supervisão de um processo de produção. Na monitorização seriam recolhidos dados e desenhadas cartas de controle de Shewhart e EWMA; na análise seria avaliada a

existência de instabilidade no processo (através de testes heurísticos clássicos, onde cada teste é um conjunto difuso com um grau de pertinência para a instabilidade); no diagnóstico o relacionamento entre “sintomas” e causas de problemas é modelado por matrizes relacionais difusas.

Chuang (1992) estendeu esse trabalho para processos em que várias características da qualidade precisam ser seguidas simultaneamente (controlo estatístico do processo multivariado – múltiplos parâmetros de processo).

Wang e Raz (WANG e RAZ 1990) propõem a construção de cartas de controlo por atributos utilizando variáveis linguísticas, onde cada variável linguística seria representada por conjuntos difusos. Seriam eliminados então todos os problemas decorrentes da classificação binária usada na avaliação por atributos (“Bom”, “Defeituoso”) que pode não ser a mais apropriada em muitas situações.

Um sistema híbrido interessante foi sugerido por Chang e Aw (1996). Uma carta de controlo neuro-difusa para identificar desvios na média da característica da qualidade. Uma rede neuronal multi-camada é treinada por “*backpropagation*” para detectar vários tipos de desvios na média do processo. Uma vez treinada a rede, o sistema é submetido aos dados em tempo real do processo. Os resultados da rede são então classificados através de conjuntos difusos para determinar a magnitude e direcção do desvio. Através de estudos de simulação os autores concluíram que a carta neuro-difusa apresenta melhor performance do que as cartas X e CUSUM em termos de *Average Run Length*, e ainda permitem identificar a magnitude dos desvios. Como inconveniente, a carta neuro-difusa utiliza apenas dados normalizados, admite apenas amostras de cinco elementos (a camada de entrada da rede neuronal tem apenas cinco nós), e não é analisada a variabilidade do processo.

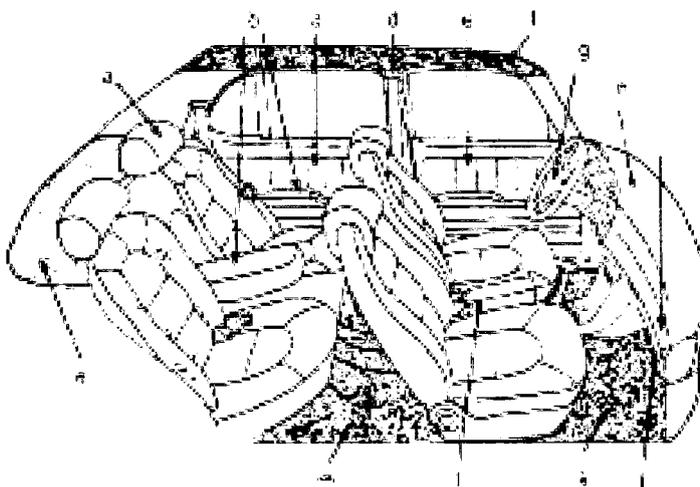
## Capítulo 3 - O processo de produção de espumas moldadas

Neste capítulo é descrita a utilização de espumas moldadas na indústria automóvel, dando-se especial atenção aos processos de fabrico e de qualidade de assentos, encostos de cabeça e apoio de braços, uma vez que é essa a produção da empresa alvo deste estudo.

### 3.1 Utilização de espumas na indústria automóvel

A principal área de aplicação de espumas moldadas é a da indústria automóvel sendo as mais comuns as de poliuretano<sup>8</sup>. A sua utilização vai desde os assentos, encostos de cabeça e apoio de braços, até às zonas do motor, onde são utilizadas devido às excelentes propriedades de redução do som e das vibrações. A sua utilização é ditada sobretudo pelas vantagens económicas dos processos de produção automatizados em grande escala, bem como pelas características de amortecimento que podem ser ajustadas a diferentes necessidades de utilização.

Figura 3.1 - Uso de espumas nos automóveis



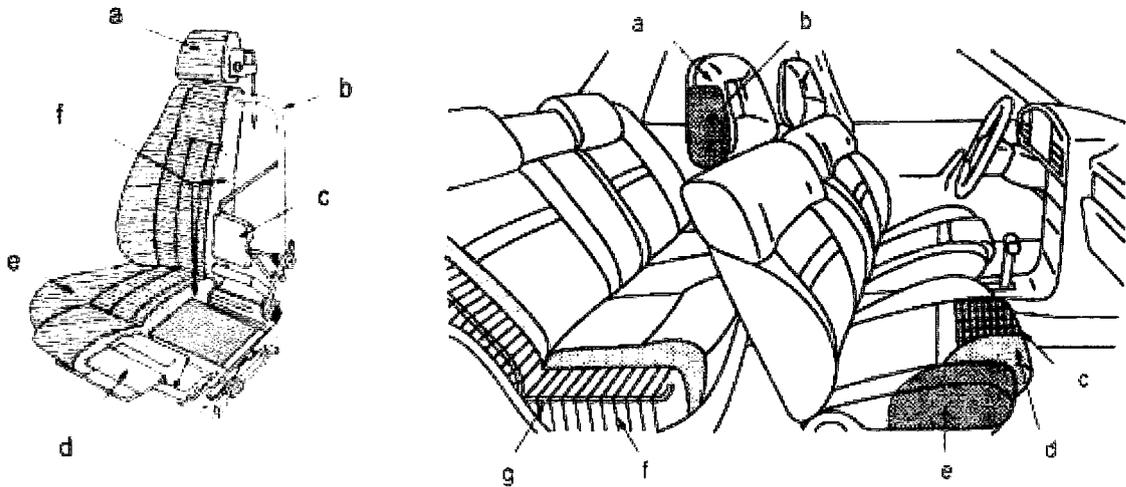
- |                                 |                           |                      |
|---------------------------------|---------------------------|----------------------|
| a) encosto de cabeça            | f) tecto                  | k) absorção de ruído |
| b) apoio de braços              | g) volante                | l) consola           |
| c) painéis das portas           | h) painel de instrumentos | m) base da tapete    |
| d) protector da cabeça          | i) tampa do "air bag"     | n) chapeleira        |
| e) protector de impacto lateral | j) protector do joelho    |                      |

<sup>8</sup> Grupo de plásticos de propriedades bastantes variadas, mas todos eles contendo o grupo uretano NH CO O.

### 3.2 Assentos de automóvel

Na construção de assentos de automóvel o conforto, a adaptação à anatomia humana, a absorção de trepidação e a segurança são os principais requisitos a ter em conta. As espumas moldadas são um material bastante utilizado na produção de assentos automóvel devido às suas características, especialmente a possibilidade de variações de formato e propriedades de amortecimento.

Figura 3.2 - Assento de automóvel



- a) encosto de cabeça
- b) armação metálica
- c) suporte lombar
- d) suporte femoral
- e) tecido
- f) espuma

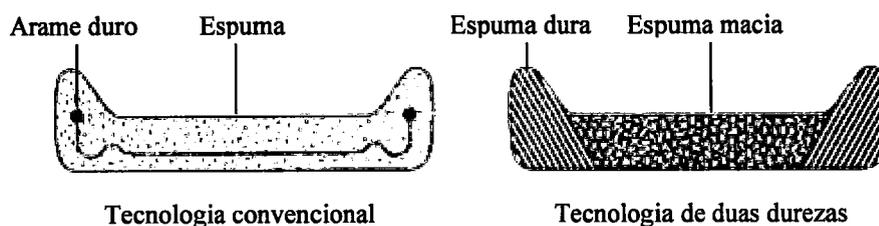
- a) pele decorativa
- b) espuma
- c) tecido
- d) espuma macia
- e) espuma dura
- f) molas
- g) armação

O assento deve ser espaçoso e ser capaz de absorver as acelerações horizontais e verticais. Além disso, o desenho do assento deve ser adequado à anatomia humana, com a distribuição das tensões na superfície do assento ajustada à sensibilidade do corpo.

### 3.3 Espumas de dureza múltipla

Através da utilização de espumas de diferentes durezas, consegue-se maior conforto. Uma espuma macia no centro aumenta o conforto, enquanto uma de maior dureza é usada na base e de lado, garantindo um suporte seguro em qualquer situação. A dureza diferenciada pode ser obtida através da fórmula da matéria-prima. O suporte de carga e um conforto duradouro podem ser obtidos através da criação de assentos cuja composição integra zonas de espumas com durezas diferentes, ou pela incrustação de uma estrutura metálica no assento. Esta técnica envolve a colocação manual da armação de arame duro. O conceito de espuma de durezas múltiplas destina-se a substituir o arame, por espuma de maior dureza.

Figura 3.3 - Assento de espuma de duas durezas



### 3.4 Processo de fabrico

A produção de espumas moldadas na indústria automóvel é feita em fábricas concebidas para a produção repetitiva de espumas com determinados perfis. Numa operação típica, um molde é condicionado termicamente e aplicado desmoldante<sup>9</sup>. A quantidade pré-determinada de mistura reagente é vertida no molde que é fechado. Decorridos alguns minutos, depois de passar por um processo de cura, é desmoldada,<sup>10</sup> e o processo repetido. Os moldes são normalmente feitos de alumínio fundido, em duas partes, com sistema de abertura e fecho mecânico.

Existem dois processos de moldagem de espumas: a moldagem a quente, usada há mais de 30 anos, e mais recentemente a moldagem a frio. Em qualquer dos processos, as matérias-primas são formuladas à base de um iso-cianato<sup>11</sup> e de um poliól<sup>12</sup>.

O processo de produção de espumas moldadas compreende vários estágios:

1. Pré-acondicionamento dos dois componentes líquidos, isto é, ajuste da temperatura e remoção do ar ou gás dissolvido;
2. Dosagem dos componentes nas proporções desejadas através de bombas doseadoras;
3. Mistura dos componentes nas quantidades doseadas, numa cabeça misturadora para formar a mistura reagente;

---

<sup>9</sup> O desmoldante facilita a retirada da espuma do molde e é geralmente aplicado por *spray* no molde aberto. Em geral, as partes desmoldadas devem ser submetidas a um tratamento posterior para a remoção dos resíduos de desmoldante. A remoção dos resíduos de desmoldante do molde deve ser feita periodicamente de forma a não afectar a qualidade das peças produzidas.

<sup>10</sup> Processo de retirada da espuma do molde.

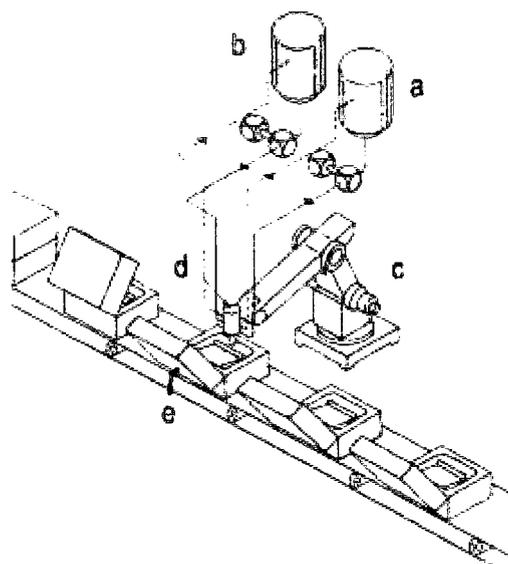
<sup>11</sup> Anião monovalente, exclusivamente formado por carbono, oxigénio e azoto, CNO-.

<sup>12</sup> Os polióis poliéteres são os mais utilizados e são obtidos pela polimerização dos óxidos de propileno, etileno e butileno.

4. Distribuição ou injeção da mistura reagente num molde preparado e condicionado termicamente, através de entrada desenhada para prevenir turbulência e evitar a retenção de ar;
5. Um período de tempo para permitir a polimerização<sup>13</sup> da mistura reagente e cura suficiente para permitir a desmoldagem;
6. Desmoldagem da peça;
7. Acabamento, se necessário.

Numa linha de moldagem de espumas, a maior parte da área é ocupada pelos porta-moldes, forno, e sistemas de acabamento manual. Na maioria dos casos, os moldes movem-se sob a cabeça misturadora. Noutros, embora sejam situações menos usuais, o porta-moldes fica estacionário e a cabeça misturadora é móvel. A cabeça misturadora é montada num *robot*, ou noutro sistema computadorizado, para otimizar o enchimento dos moldes.

**Figura 3.4 - Esquema do processo de moldagem de espumas**



a) tanque do poliól; b) tanque do iso-cianato; c) *robot*; d) cabeça misturadora; e) molde.

As matérias-primas, iso-cianato e poliól, são homogeneizadas por recirculação, misturadas numa cabeça, e distribuídas em moldes abertos ou injectadas em moldes fechados onde ocorrem as reacções químicas. Neste momento a espuma expande-se na cavidade, preenchendo-a.

---

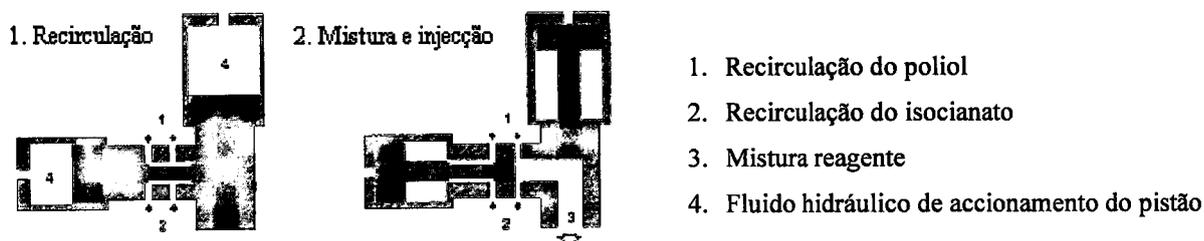
<sup>13</sup> União de duas ou mais moléculas ou iões iguais para formarem uma só molécula ou ião.

Numa linha de produção capaz de produzir simultaneamente vários modelos, torna-se necessário que o sistema permita a detecção automática do molde que vai ser produzido, para assim adequar a formulação das matérias primas e a trajetórias do *robot*, de forma a permitir um enchimento tão suave quanto possível.

### 3.4.1 Moldagem por injeção e reacção - RIM

A moldagem por injeção e reacção (*Reaction Injection Molding* - RIM), é utilizada em produções de grande escala, com velocidade de produção competitiva, necessitando de pressões internas dos moldes 5 a 25 vezes inferiores em relação a outros métodos (700 a 1.400 kPa contra 7.000 a 35.000 kPa).

Figura 3.5 - Esquema da cabeça misturadora no processo RIM



Neste processo, o iso-cianato e poliól são doseados e homogeneizados por recirculação (Figura 3.5-1) por um período de 5 a 10 s, sob alta pressão, desde as bombas, atravessando o pistão e de volta aos tanques, para assegurar que o material esteja à temperatura e pressão correctas antes da injeção no molde. Quando o pistão de comando retrocede (Figura 3.5-2), os canais de retorno fecham-se e os reagentes são misturados intensivamente por choque na cabeça misturadora, sob grande velocidade e energia, em pressões que vão até 200 bar. Estabilizadores no canal de descarga, em ângulo de 90° em relação à câmara de mistura, produzem uma saída laminar da massa reagente, que é injectada no molde onde reage para formar a espuma. Após esta operação, o pistão de comando volta para a posição de recirculação, deixando a câmara de mistura sem resíduos. Normalmente, a cavidade do molde é preenchida entre 30 a 90% da sua capacidade. Os materiais fluem no molde, preenchendo os vazios e reproduzindo a forma do mesmo.

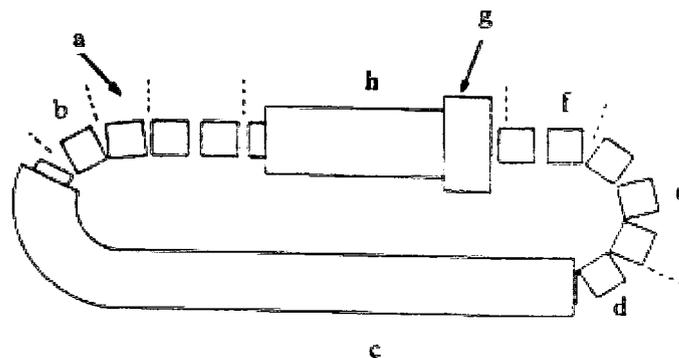
### 3.4.2 Injeção a quente

A tecnologia do processo de fabricação das espumas moldadas a quente é determinada pela necessidade de introdução de calor na espuma. O molde deve suportar variações de temperatura entre 25 e 250°C e ser bom condutor de calor. Estes podem ser construídos em

aço carbono (1,5 a 2 mm de espessura), chapa de alumínio (4 a 6 mm de espessura) ou alumínio fundido (6 a 10 mm de espessura). Uma menor espessura da parede favorece a transferência de calor. Contrariamente à produção das espumas a frio, não é possível o super enchimento do molde para aumentar a densidade e dureza. A espuma reticula pouco antes da aplicação de calor externo, de forma que uma sobrecarga de espuma resulta em extrusão<sup>14</sup> através dos suspiros. Adicionalmente, o aumento da pressão no molde leva à formação de células fechadas e rachos internos na peça moldada. Na prática, os moldes possuem numerosos suspiros na tampa, que permitem a fácil extrusão da espuma. A disposição dos suspiros é estabelecida empiricamente. Como a espuma encolhe cerca de 2%, este facto deve ser levado em consideração na construção do molde.

Nas linhas de moldagem de espumas, pelo processo convencional de moldagem a quente (Figura 3.6), a mistura reagente é distribuída no molde previamente condicionado a uma temperatura de cerca de 40°C. Insertos de aço, espuma aglomerada, e espuma moldada, são colocados no molde que foi previamente preparado com desmoldante. A máquina distribuidora pode ter uma ou duas cabeças misturadoras. Para obtenção de uma superfície livre de defeitos, a mistura reagente deve ser derramada de uma forma tão suave e laminar quanto possível. As matérias-primas derramadas pela máquina injectora devem ser controladas numa faixa de temperatura para eliminar a possibilidade de defeitos.

**Figura 3.6 - Processo de produção de espumas flexíveis moldadas a quente**



- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| a) Carga dos reagentes          | e) Desmoldagem   |
| b) Fecho do molde               | f) Limpeza e inspeção                                    |
| c) Forno de cura (150° a 250°C) | g) Aplicação de desmoldante                              |
| d) Abertura automática do molde | h) Arrefecimento do molde e acondicionamento a 35°-40°C. |

<sup>14</sup> Operação que consiste em forçar a saída por orifício (os suspiros) dos excessos de espuma sob a forma de fios.

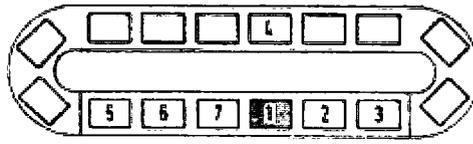
O molde cheio é fechado, e após o crescimento e extrusão da espuma, este é aquecido no forno de cura normalmente aquecido por ar quente, mantido numa temperatura entre 150°C a 250°C, para atingir uma temperatura na parede interna do molde de cerca de 120°C. No final da cura o molde é aberto e a espuma removida manualmente. O molde quente é limpo da espuma extrujada com ar pressurizado ou escovas de aço giratórias. Aplica-se desmoldante, preferencialmente à base de água, por *spray*. O molde é arrefecido numa zona própria, a uma temperatura de 30 a 40°C, por ar ou banho de água. São de seguida colocados os insertos necessários, o molde é acondicionado, e o processo é reiniciado. O tempo de permanência da espuma no molde e o número de cavidades do porta-moldes determina a capacidade de produção da linha.

### **3.4.3 Injecção a frio**

Existe uma grande variedade de máquinas utilizada para a moldagem a frio. As mais simples empregam um sistema de mistura dos dois componentes, com dosagem semi-automática e moldes abertos manualmente. Por outro lado, os processos complexos, como o de fabrico de assentos de automóveis, utilizam sistemas contínuos, com incorporação de esquemas automáticos de abertura, carga e fecho dos moldes.

Os sistemas de espumas moldadas a frio reagem sem calor adicional, de forma que são obtidos tempos menores de permanência no molde, durante a produção. Para a obtenção de uma boa superfície moldada, o molde deve ser mantido a uma temperatura entre 30 a 65°C, quer num forno ou por aquecimento directo. As reacções são exotérmicas e a temperatura do molde depende também do material. Moldes metálicos, normalmente fabricados em alumínio fundido, necessitam de temperaturas mais elevadas do que os feitos com resina epóxi ou poliéster reforçado com fibra de vidro, devendo poder resistir a pressões de 1 a 2 bar. Defeitos como vazios, que ocorrem devido ao alívio de pressão ou colapso, podem ocorrer, se a espuma extrujar do molde de forma não controlada, ou se houver perda de pressão no molde. Em contraste com as espumas moldadas a quente, podem ocorrer pequenos escapes nos suspiros, sendo possível o super enchimento do molde. Isto permite a obtenção de espumas com densidade 25% maior do que sob expansão livre, possibilitando a variação da densidade das espumas. Tal como nas moldadas a quente, deve-se prever um encolhimento de 2%.

**Figura 3.7 - Processo de produção de espumas flexíveis moldadas a frio**



Durante o processo (Figura 3.7) os moldes são aquecidos por circulação de fluido de aquecimento. Inicialmente, é pulverizado desmoldante no molde condicionado termicamente (1). Normalmente, é usada uma solução de cera que permite rápida secagem do filme entre 40 e 60°C. Se o filme é aplicado muito densamente, ou se a cera não está seca quando entra em contacto com a mistura reagente, então podem ocorrer defeitos na peça moldada. No molde já preparado podem ser colocados insertos, se necessário(2). O molde, aberto ou fechado, pode ser preenchido (3). Se o tempo para fechar a tampa é longo em comparação com o de enchimento e crescimento, é preferível o enchimento através de um orifício na tampa, com o molde fechado. O derramamento da mistura reagente no molde pode ser feito em faixas. Desse modo, em moldes complexos podem-se evitar defeitos como a retenção de ar. A injectora deve ser regulada para que a mistura seja completamente introduzida no molde antes do início do crescimento da espuma. Na etapa de cura (4) o molde é aquecido a cerca de 50°C num forno de ar quente ou com calor radiante. O aquecimento directo por recirculação com fluido de aquecimento tem as vantagens de aquecimento mais rápido e de melhor controlo da temperatura. Após um tempo de permanência no molde de 2 a 6 minutos, o molde é aberto (5) e a peça moldada é removida mecânica ou manualmente (6), e o molde é limpo (7).

### **3.5 Encostos de cabeça e apoio de braços**

Parte integrante dos assentos de automóvel, o encosto de cabeça e os apoios de braços, também são fabricados com espuma de poliuretano, existindo dois processos de fabrico, *pour in place* e *in situ*. A diferença reside no facto de no *pour in place* a peça receber o revestimento após a moldagem. O *in situ* consiste na injeção da espuma no próprio tecido ou capa do produto final. A capa é colocada no molde e a injeção da espuma é feita através de um funil plástico. Os componentes metálicos como as hastes são inseridas no processo de moldagem. Em alguns modelos, as hastes são colocadas num inserto plástico para o acerto das suas posições, exigindo um funil diferenciado. Peças mais elaboradas e que exigem maior preparação e, com isso, mais tempo, são montadas separadamente para depois irem para a moldagem. O processo *in situ* é mais adequado para peças pequenas. Em peças grandes o processo torna-se inviável, pela alta reactividade necessária ao processo.

### 3.6 Controlo de qualidade na produção de espumas

Habitualmente, o controlo de qualidade na produção de espumas na indústria automóvel, é efectuado a dois níveis:

1. Controlo de qualidade peça a peça através de inspecção visual.

Este tipo de controlo permite avaliar o estado superficial da peça produzida, podendo ser efectuado por operadores que observam as peças à medida que estas são produzidas e retiram as que não estão conforme os critérios de qualidade definidos, ou pode ser automático, utilizando câmaras de vídeo e *software* apropriado que reconhece a não conformidade visual e activa um actuador que retira a peça da linha de produção. A não conformidade é classificada podendo dar origem à recuperação ou rejeição da peça. A recuperação é efectuada manualmente por operadores especializados. No caso da rejeição, é efectuada uma segunda inspecção por outros operadores mais qualificados, para decidir sobre a rejeição da peça.

2. Controlo de qualidade por amostragem para avaliar a condição estrutural das peças.

Para este tipo de controlo, é necessário equipamento que efectue essa caracterização, através da aquisição e processamento das variáveis relevantes. Neste tipo de controlo, incluem-se os testes de alongamento, tracção, rasgo, deformação permanente, entre outros.

Em qualquer dos casos o controlo é efectuado após a peça ser produzida, implicando a existência de mais uma célula na linha produtiva, mais operadores, e no caso da inspecção automática, a existência de equipamento e *software* adicional.

Noutros casos ainda, essa caracterização implica uma análise destrutiva da peça, sendo portanto impossível o controlo de qualidade peça a peça.

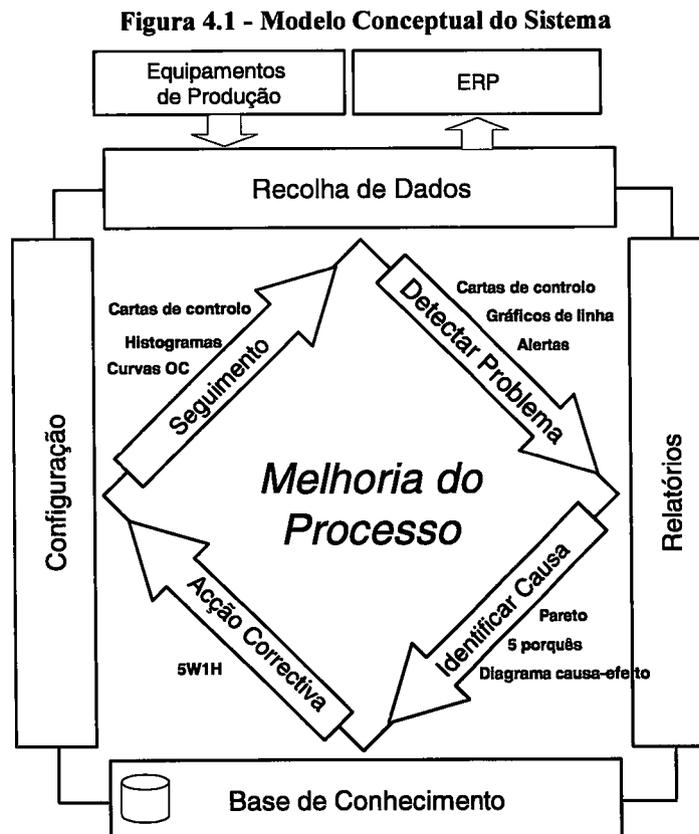


## Capítulo 4 - Modelo Conceptual Proposto

Este capítulo apresenta uma proposta de modelo conceptual para o sistema de controlo de qualidade. De forma a tornar mais claro o modelo, este é ilustrado com os ecrãs desenvolvidos no sistema de informação de suporte.

### 4.1 Modelo Conceptual

No essencial, o modelo é composto por vários módulos que permitem no seu conjunto obter uma melhoria da performance do processo através da utilização de ferramentas de controlo estatístico da qualidade. Entende-se aqui, como melhoria da performance, a capacidade do processo produzir de acordo com os padrões definidos, medida através da taxa de recuperação e de rejeitados, as quais, como se viu no Capítulo 2, representam a maior fonte de custos de produção.



As principais características do modelo são:

- Flexibilidade de adaptação do modelo à dinâmica da fábrica: introdução de novos modelos, de novas linhas de produção, de novos tipos de defeito, entre outros;
- Integração perfeita dos diversos módulos do modelo entre si e com os SI existentes, nomeadamente os equipamentos de produção e ERP;
- Interface com utilizador fácil com capacidade que reduzir os erros de introdução de dados.

Para além destas características, e de um ponto de vista funcional, este modelo resulta do conjunto de requisitos fundamentais que foram identificados e que de seguida se enumeram:

- Classificação em tempo real das peças fabricadas em função da sua qualidade;
- Possibilidade de entrada manual de dados referentes à produção e à monitorização local do processo de fabrico;
- Geração de alertas;
- Análise histórica dos dados;
- Exportação de dados;
- Geração de relatórios;
- Registo de paragens de linha;
- Registo de melhorias;
- Suporte para diversos perfis de utilizadores de acordo com as suas funções.

Do ponto de vista técnico pretende-se que o modelo possua uma arquitectura que permita um crescimento modular através do desenvolvimento independente das várias partes do sistema, facilitando a sua implementação gradual e permitindo fazer mais facilmente *upgrades* em funcionamento, de cada uma das suas partes.

De seguida são descritos cada um dos módulos do modelo, bem como a sua integração nos restantes.

#### **4.1.1 Recolha de Dados**

A aquisição de dados é o processo que envolve a recolha e armazenamento dos mesmos a partir das linhas de produção. Tratando-se de produção em grande escala, com necessidade de um controlo da qualidade em tempo real e peça a peça, é importante que o método de recolha da informação não diminua a taxa de produção.

No caso das características de qualidade que aqui se pretendem estudar, a informação a recolher, inclui:

1. Número de peças produzidas;
2. Número de peças recuperadas;
3. Número de peças rejeitadas;
4. Paragens de linha.

Podem-se equacionar várias alternativas para a recolha de dados, dependendo das características do processo, da facilidade de acesso à informação produzida pelo equipamento de produção e pelo custo envolvido. Assim, as soluções poderão ser:

- Medições automáticas

Permite a leitura automática da característica da qualidade que importa controlar. Incluem-se nesta categoria os sistemas de medições de diâmetros de eixos, comprimentos de peças, entre outros. Estes valores podem ser utilizados na construção de cartas de controlo por variáveis.

- Interfaces com o equipamento de produção

A construção de interfaces com os equipamentos de produção, permite a leitura em tempo real dos dados produzidos por estes equipamentos. Para o sistema que aqui se pretende desenvolver, a informação que estes equipamentos podem fornecer incluem o número de peças produzidas por modelo e as paragens de linha. A informação sobre as paragens de linha facilita o cálculo da capacidade do processo. Não existindo um *standard de facto* para a interligação destes equipamentos, estas interfaces poderão basear-se na leitura através de portas série RS232, acesso directo à base de dados do equipamento, ou ainda no caso da utilização de sistemas SCADA<sup>15</sup>, através da utilização de API's<sup>16</sup> disponibilizadas por estes pacotes de *software*.

---

<sup>15</sup> Supervisão, Controlo e Aquisição de Dados. Os sistemas SCADA utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar a monitorização e controlo dos processos industriais, efectuando recolha de dados em ambientes complexos, eventualmente dispersos geograficamente, e a respectiva apresentação de modo amigável para o utilizador, com recurso a *Human-Machine Interfaces* (HMI). No contexto do modelo apresentado estes sistemas são utilizados apenas para a recolha e armazenamento de dados.

<sup>16</sup> API - *Application Program Interface*. Representa uma interface para determinada aplicação.

Recentemente a *OPC<sup>17</sup> Foundation*, uma organização não lucrativa, estabeleceu um conjunto de *standards* com o objectivo de permitir uma maior interoperabilidade entre as aplicações de automação e controlo e as restantes aplicações. Estes *standards* baseiam-se na utilização de interfaces OLE<sup>18</sup> da Microsoft, e no essencial, definem um conjunto de objectos, métodos e propriedades para servidores de informação em tempo real.

- Entrada manual de dados

Tanto quanto possível, a recolha desta informação deve ser automática. No entanto por diversas razões, nem sempre tal é possível. Nestes casos a entrada de dados deverá ser manual, sendo a interface com o utilizador o factor mais importante a ter em conta. Esta deverá ser simples e não deverá fazer diminuir a produtividade do operador que com ela trabalha. A utilização de écrans sensíveis ao toque (*touchscreen*) e de leitores de códigos de barras poderá ser tida em conta para facilitar esta tarefa. Sempre que possível deverá ser utilizada ajuda visual que auxilie o operador na entrada de dados.

A Figura 4.2 e a Figura 4.4 ilustram os écrans desenvolvidos para introdução de dados relativos a peças recuperadas através de écrans *touchscreen* e de peças embaladas através de código de barras.

---

<sup>17</sup> *OLE for Process Control*.

<sup>18</sup> *Object, Linking and Embedded*. Será abordada esta tecnologia no capítulo seguinte.

Figura 4.2 - Entrada de dados através de touchscreen para as peças recuperadas

Recuperados				Rejeitados				Ajudas visuais				Sessão			
FOAM						Sistema de controlo de qualidade									
Modelo			Defeito				Moide								
1/1	2/3 Tecido	AF DL 411	Outro	Posição Tela nok			7	8	9						
			Ench.nok velcro trás	Contração Espuma			4	5	6						
1/3 Couro	48	BL 64	Ench. Parte trás nok	Posição velcro nok			1	2	3						
			Colapso debaixo velc	Falta Velcro			0	Apagar							
1/3 Tecido	49	EF BASE	Posição arame nok	Falta moquete			Moldes								
			Molde não fechou	Colapso Aba			Ajuda Visual								
2/3 Couro	AF BASE	EF DL 411													
AF DL 411			10-Tela mal posicionada				Turno C			Guardar					

A adaptação do écran aos planos de produção e aos postos de trabalho é fundamental para permitir uma maior simplicidade de utilização. Assim, neste écran só estão visíveis os modelos que o operador está a recuperar, bem como os defeitos associados a esses mesmos modelos. Os botões deverão ter uma dimensão suficientemente grande para permitir facilmente o toque, diminuindo a possibilidade de ocorrências de erros.

A informação relativa ao modelo e número do molde é gravada no acto de injeção no próprio molde.

A classificação do defeito é feita pelo operador que faz a recuperação da peça. Para facilitar essa classificação, são disponibilizadas ajudas visuais. Quando o operador selecciona o defeito, surge no canto inferior direito a ajuda visual correspondente, podendo ser feito um *zoom* carregando sobre a imagem da ajuda, de forma a tornar mais clara a situação.

Figura 4.3 - Zoom da Ajuda Visual

Recuperados Rejeitados Ajudas visuais Sessão

**FOAM** Sistema de Controle de Qualidade

Modelo		Defeito		Molde		
1/1	Te	<b>10-Tela mal posicionada</b>		7	8	9
1/3 Couro				4	5	6
1/3 Tecido				1	2	3
2/3 Couro	AF			0	Apagar	
				Moldes		
				Ajuda Visual		
						
		411	Molde não fechou	Colapso Aba		
AF DL 411		10-Tela mal posicionada		Turno C		
						

Figura 4.4 - Entrada de dados através de leitura de código de barras – peças embaladas

**Controlo de Embalagens (IN-SITU)**  
Versão 1.0.2



**Cód. Barras:**

**Nº Etiqueta:**  
243523213

**Modelo:**  
5195480ZDA

**Quantidade:**  
16

Embalados no dia: 3024

 Embalados Turno
  Sessão

Outro factor a ter em conta no desenho deste módulo está relacionado com o facto de este poder ter que operar em condições ambientais severas, como sejam poeiras e elevada temperatura. Neste caso poderá ter de se considerar a utilização de computadores industriais, que tendo um custo mais elevado, garantem uma maior adaptação a estes ambientes.

#### 4.1.2 Detecção de Problemas

O objectivo principal deste módulo, é a identificação atempada de problemas na produção que poderão vir a resultar no fabrico de peças defeituosas. As ferramentas clássicas de controlo estatístico da qualidade têm um contributo importante na realização desta tarefa. Para o efeito, deverão ser implementadas algumas das ferramentas clássicas como as cartas de controlo, gráficos de linha, análise de histogramas e estudos de capacidade do processo. As características de qualidade a controlar, taxa de recuperação e de rejeitados, sugerem a utilização de cartas por atributos  $p$  e  $np$ .

Para além das ferramentas descritas, propõe-se a utilização de alarmes que possam gerar alertas em tempo real, de forma a efectuar uma monitorização dos problemas que estão a ocorrer na linha de produção, possibilitando assim uma intervenção mais rápida sobre o processo.

O modelo proposto para geração de alarmes é descrito de seguida, e permite gerar um alarme informando o supervisor acerca do tipo de problema que está a ocorrer, sempre que se detectam situações anormais de comportamento.

##### 4.1.2.1 Geração de Alarmes

Consideremos uma linha de produção com  $m$  moldes de vários modelos e com um ciclo igual a  $c$  minutos. Isto significa que a linha demora  $c$  minutos a dar uma volta completa, o que conduz, em situação normal de não paragem da linha, a uma capacidade de produção de peças através de um determinado molde de 1 peça em cada  $c$  minutos. Se considerarmos um tempo de análise de  $p$  minutos, então temos que cada molde tem uma capacidade máxima de produção durante esse período de:

$$n = \frac{p}{c} \quad (4.1)$$

A capacidade máxima de produção de toda a linha durante o período  $p$ , é de  $mn$  peças. Todas as peças são inspeccionadas, podendo estas estar conforme os padrões de qualidade ou pelo contrário apresentarem uma não conformidade. Essa não conformidade é classificada entre os

$k$  tipos de defeitos pré-definidos. Se  $d_{ij}$  representar o número de defeitos do tipo  $j$  ocorridos no molde  $i$  durante o período  $p$ , então teremos que nesse molde o número total de defeitos é dado por:

$$D_i = \sum_{j=1}^k d_{ij} \quad (4.2)$$

A proporção de defeitos neste molde, é dada por:

$$p_i = \frac{D_i}{n} \quad (4.3)$$

Com base nesta informação podemos construir a tabela de defeitos classificados por molde e código de defeito, como a seguir é indicado.

**Quadro 4.1 - Tabela de defeitos classificados por molde e código de defeito**

Moldes	Defeitos				Total por molde	Proporção de defeitos
	1	2	...	$k$		
1	$d_{11}$	$d_{12}$	...	$d_{1k}$	$D_1 = \sum_{j=1}^k d_{1j}$	$p_1 = \frac{D_1}{n}$
2	$d_{21}$	$d_{22}$	...	$d_{2k}$	$D_2 = \sum_{j=1}^k d_{2j}$	$p_2 = \frac{D_2}{n}$
...	...	...	...	...	...	...
$m$	$d_{m1}$	$d_{m2}$	...	$d_{mk}$	$D_m = \sum_{j=1}^k d_{mj}$	$p_m = \frac{D_m}{n}$
<b>Total por defeito</b>	$T_1 = \sum_{i=1}^m d_{i1}$	$T_2 = \sum_{i=1}^m d_{i2}$	...	$T_k = \sum_{i=1}^m d_{ik}$	$D = \sum_{i=1}^m D_i$	$\bar{p} = \frac{D}{mn}$
<b>Frequência</b>	$F_1 = 100 \frac{T_1}{D}$	$F_2 = 100 \frac{T_2}{D}$	...	$F_k = 100 \frac{T_k}{D}$	100%	-
<b>Frequência acumulada</b>	$F_1$	$F_1 + F_2$	...	100%	-	-

Ordenando-se os moldes e os defeitos por ordem decrescente da “Frequência” e da “Proporção de defeitos” obtém-se a mesma tabela em que as situações que merecem maior

atenção surgem no canto superior esquerdo, permitindo, de uma forma fácil, a identificação de dois tipos de problemas:

### 1. Problema de processo

São problemas com as variáveis de processo que afectam todos os moldes. Facilmente identificáveis quando o mesmo problema se encontra por um número considerável de moldes.

### 2. Problema em moldes

Identificável quando um molde apresenta uma proporção de defeitos elevada. Pode ser resultado de um problema de processo.

A leitura horizontal da proporção de defeitos, dá-nos os problemas nos moldes, enquanto que a leitura vertical, pela frequência, nos dá os problemas de processo.

#### 4.1.2.2 Níveis de alerta

De forma a salientar para o utilizador quais as situações que estão a ter mais problemas, são gerados alertas sempre que são ultrapassados determinados níveis. Consideram-se dois níveis de alerta:

*YL* Nível Amarelo O processo pode estar a ficar fora de controlo. Investigar.

*RL* Nível Vermelho O processo está fora de controlo.

Estes níveis de alerta correspondem aos níveis superiores de aviso 1-sigma e 2-sigma estudados no Capítulo 2.

Conforme foi visto, a distribuição das variáveis aleatórias  $p_i$  pode ser obtida a partir da distribuição binomial, pelo que a sua média e variância são:

$$\mu = \bar{p} \quad (4.4)$$

e

$$\sigma^2 = \frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n} \quad (4.5)$$

Assim sendo, os níveis de alerta superiores 1-sigma e 2-sigma são:

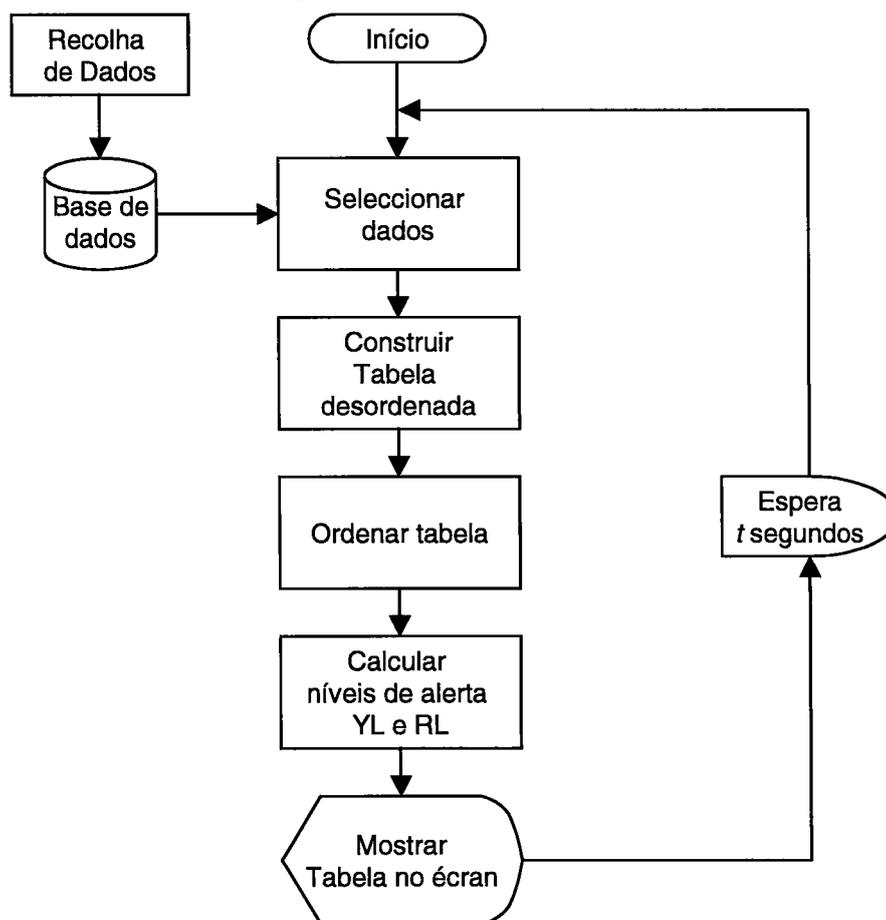
$$YL = \bar{p} - 1 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$RL = \bar{p} + 2 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$
(4.6)

São estes os limites a utilizar para os níveis de alerta amarelo e vermelho respectivamente.

Todos estes cálculos podem ser automatizados, com uma actualização periódica da tabela, permitindo fornecer alertas em tempo real aos supervisores.

Figura 4.5 - Implementação dos alertas



#### 4.1.2.3 Exemplo de aplicação

Consideremos os dados do Quadro 4.2 que representam os defeitos observados numa linha de produção de espumas durante uma hora. Essa linha possui  $m=43$  moldes e tem um ciclo  $c=6$  minutos. Desta forma, a capacidade máxima por molde durante uma hora é de

$n = \frac{60}{6} = 10$  peças. A capacidade máxima de produção é igual a  $mn = 430$  peças. Para facilitar a leitura, os moldes que não apresentaram defeitos durante o período de observação foram retirados da tabela.

**Quadro 4.2 - Defeitos observados durante uma hora**

Molde	18-Bolha junto moquette	31-Falta enchimento 2/3	29-Falta ench. no canto	21-Colapso Centro	20-Colapso Aba	0-Outro	30-Falta ench lat. 1/3	24-Falta Espuma Vedação	16-Velcro descolado	Total por molde	Proporção de defeitos
9279297-1				1						1	0,10
9279296-2				4						4	0,40
5172592E-2		2								2	0,20
5172588E-2	3					1				4	0,40
5172248-1						1		2		3	0,30
5170406-2					1					1	0,10
5116026L-1		1	1							2	0,20
5116026L-3		2					1			3	0,30
5116026L-4		2				1				3	0,30
5116026L-5		6							1	7	0,70
5116026L-6		1	2							3	0,30
5116026L-7						1				1	0,10
5116026L-8		2	1			1			1	5	0,50
5116026L-9		1								1	0,10
5116026L-10		1				4				5	0,50
5116022L-1							1			1	0,10
5116022L-2	7						1			8	0,80
5116022L-4	1					1	4			6	0,60
5116022L-5	2								1	3	0,30
5116022L-6	1									1	0,10
5116022L-7	1									1	0,10
5116022L-8	1		1				1			3	0,30
5116022L-9						1				1	0,10
5116022L-11						2	3			5	0,50
5101335-5					1			1		2	0,20
5101335-8					3					3	0,30
5101334-5					1					1	0,10
5101334-6					3					3	0,30
5101334-7					1			1		2	0,20
<b>Total por defeito</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>85</b>	<b>0,198</b>
<b>Frequência</b>	<b>18,8%</b>	<b>21,2%</b>	<b>5,9%</b>	<b>5,9%</b>	<b>11,8%</b>	<b>15,3%</b>	<b>12,9%</b>	<b>4,7%</b>	<b>3,5%</b>	<b>100%</b>	<b>-</b>

Com base nesta informação podemos determinar os níveis de aviso amarelo e vermelho:

$$YL = 0,198 + 1 \sqrt{\frac{0,198(1-0,198)}{10}} = 0,324$$

$$RL = 0,198 + 2 \sqrt{\frac{0,198(1-0,198)}{10}} = 0,450$$

O Quadro 4.3 representa o quadro de defeitos ordenado, com os avisos devidamente assinalados e onde foi adicionada a frequência acumulada.

Quadro 4.3 - Tabela de alertas

Molde	31-Falta enchimento 2/3	18-Bolha junto moquette	0-Outro	30-Falta ench lat. 1/3	20-Colapso Aba	29-Falta ench. no canto	21-Colapso Centro	24-Falta Espuma Vedação	16-Velero descolado	Total por molde	Proporção de defeitos
5116022L-2		7		1						8	0,80
5116026L-5	6								1	7	0,70
5116022L-4		1	1	4						6	0,60
5116026L-8	2		1			1			1	5	0,50
5116026L-10	1		4							5	0,50
5116022L-11			2	3						5	0,50
9279296-2							4			4	0,40
5172588E-2		3	1							4	0,40
5172248-1			1					2		3	0,30
5116026L-3	2			1						3	0,30
5116026L-4	2		1							3	0,30
5116026L-6	1					2				3	0,30
5116022L-5		2						1		3	0,30
5116022L-8		1		1		1				3	0,30
5101335-8					3					3	0,30
5101334-6					3					3	0,30
5172592E-2	2									2	0,20
5116026L-1	1					1				2	0,20
5101335-5					1			1		2	0,20
5101334-7					1			1		2	0,20
9279297-1							1			1	0,10
5170406-2					1					1	0,10
5116026L-7			1							1	0,10
5116026L-9	1									1	0,10
5116022L-1				1						1	0,10
5116022L-6		1								1	0,10
5116022L-7		1								1	0,10
5116022L-9			1							1	0,10
5101334-5					1					1	0,10
<b>Total por defeito</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>85</b>	<b>0,198</b>
<b>Frequência</b>	<b>21,2%</b>	<b>18,8%</b>	<b>15,3%</b>	<b>12,9%</b>	<b>11,8%</b>	<b>5,9%</b>	<b>5,9%</b>	<b>4,7%</b>	<b>3,5%</b>	<b>100%</b>	<b>-</b>
<b>Freq. acumulada</b>	<b>21,2%</b>	<b>40,0%</b>	<b>55,3%</b>	<b>68,2%</b>	<b>80,0%</b>	<b>85,9%</b>	<b>91,8%</b>	<b>96,5%</b>	<b>100%</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Globalmente, podemos constatar que 19,8% das peças produzidas, estão a necessitar de recuperação. Conseguindo-se eliminar as “Bolhas junto ao moquette” do molde 5116022L-2, e a “Falta enchimento 2/3” do molde 5116026L-5, consegue-se baixar em cerca de 3% a taxa de recuperação. Com efeito, se retirarmos estes defeitos obtemos uma taxa de 0,167.

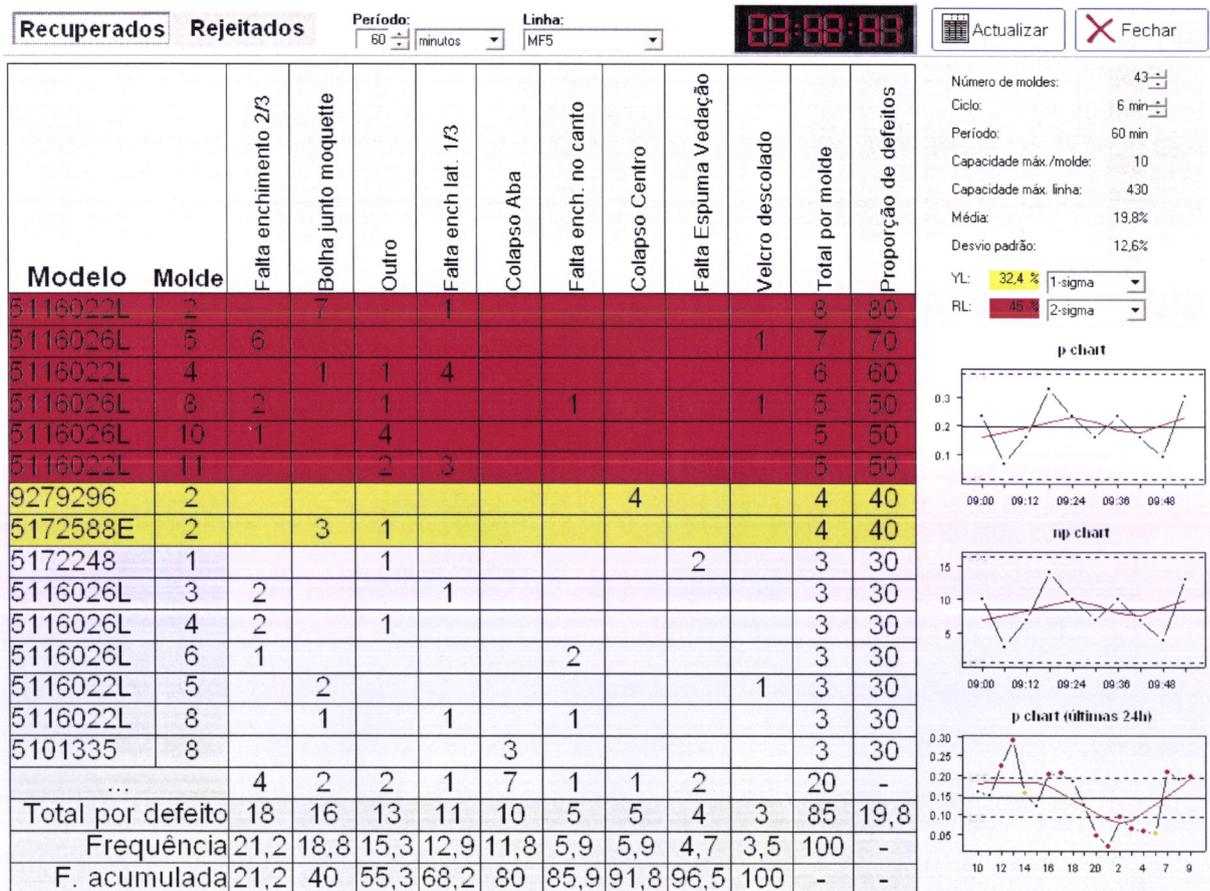
$$\bar{p} = \frac{D}{mn} = \frac{70}{430} = 0,167$$

A estratégia para fazer baixar a taxa de recuperação de peças, pode passar pela eliminação das causas que estão na origem destes problemas. Por outro lado, estes dois problemas representam 40% dos problemas totais existentes, pelo que a sua eliminação dos moldes referidos, poderá conduzir a uma diminuição da incidência nos restantes moldes.

De salientar que este modelo de alertas não nos dá nenhuma indicação acerca da evolução dos defeitos ao longo do tempo. O modelo pode ser complementado com o recurso a cartas p e np, as quais fornecem essa mesma evolução.

A Figura 4.6 mostra o écran de computador de alertas implementado para este mesmo exemplo.

Figura 4.6 - Écran de alarmes



Para que toda a informação possa caber no écran sem necessidade de fazer *scroll*, a última linha de defeitos foi substituída pela soma dos defeitos dos moldes que não estão visíveis (assinalados por "..."). É dado ao utilizador, a possibilidade de definir valores diferentes de alerta 1-sigma e 2-sigma. Para além das cartas *n* e *np* do período em análise, também é

mostrada uma carta  $p$  das últimas 24 horas. A periodicidade das amostras das duas primeiras cartas é o período da linha de produção, enquanto que da terceira carta (últimas 24 horas) esse período é igual a uma hora.

O écran é automaticamente actualizado de minuto a minuto, permitindo fornecer informação em tempo útil para a tomada de decisão.

Sempre que se detectar um problema que mereça atenção, poderá clicar-se sobre o defeito, iniciando-se desta forma a etapa de identificação da causa, a qual será abordada na secção seguinte. De salientar que toda a informação constante no écran de alertas é passada para o écran de identificação de causas.

#### **4.1.3 Identificar Causa Raiz**

Nesta etapa, são identificadas as causas que estão na origem dos problemas. As ferramentas de controlo estatístico clássicas fornecem informação útil para este efeito. A existência de uma base de conhecimento com as causas para cada tipo de problema, bem como um histórico de acções correctivas implementadas com o respectivo resultado, permitem criar uma memória organizacional particularmente relevante em ambientes onde a taxa de rotatividade de operadores é elevada, como é o caso do sector em estudo.

Sempre que é detectado um problema, deverão ser identificadas as causas que lhe deram origem, sendo sugerido pelo sistema um conjunto de acções a serem tomadas, por ordem de prioridade, de acordo com o conhecimento passado em situações semelhantes. Tal como os alarmes, estas acções são configuradas pelo utilizador, e podem ser alteradas à medida que o conhecimento sobre o processo aumente. Associado a cada tipo de defeito, constrói-se um jornal de ocorrências, com o histórico de toda a informação relevante sobre acontecimentos nas linhas de produção, e a forma como estes influenciam o processo, o que pode fornecer um conhecimento acrescido sobre o mesmo.

A ferramenta de partida para a identificação da causa raiz do problema é o diagrama causa-efeito. Uma forma de utilizar o diagrama causa-efeito, é através do método dos “5 porquês”. No essencial, este método consiste em ir perguntando sistematicamente “porquê” (usualmente fazem-se um máximo de cinco perguntas), até se descobrir a(s) causa(s) raiz do problema.

É importante que se procure a razão primária do problema e que não se fique pela resolução do seu efeito. Por exemplo, se um tubo rebentou, provavelmente não se irá corrigir o problema trocando-o, porque se estará a actuar apenas no efeito e não nas causas que conduziram ao seu rebentamento. Nesta fase é muito importante a realização de um *brainstorming* com a equipa que acompanha o processo. Não se deve ficar por uma primeira proposta de solução. Mesmo que esta solução aparente ser boa, outras devem ser consideradas, antes de tomar a decisão final. Muitas vezes, na tentativa de resolver rapidamente o problema, não se analisam todas as possibilidades de solução. Só então deve ser traçado um plano de acção que inclua as acções correctivas que eliminam as causas raiz. Estas acções poderão ser de contingência sempre que se procure resolver rápida mas temporariamente o problema, ou então permanentes.

A Figura 4.7 ilustra o écran desenvolvido para o método de resolução de problemas, o qual consta das seguintes tarefas:

1. Identificar problema;
2. Definir problema;
3. Identificar causa;
4. Plano de acção;
5. Reuniões de seguimento.

A informação relativa à identificação do problema e à definição do mesmo, é passada a partir do écran de alarmes, sendo necessário apenas identificar as causas e definir o plano de acção.

Na definição do problema deverá ser recolhida informação adicional de relevo para ajudar na identificação das causas.

O diagrama causa-efeito do defeito que está a ser estudado, bem como a aplicação do método dos “5 porquês”, permitirá chegar à causa raiz.

Figura 4.7 - Resolução de problemas - identificar causa

**Sistema de Controlo de Qualidade**

**Resolução de Problemas**

**1. Identificar problema**

Problema:  Data de início:  Data de fecho:

Quem detectou:  Data da deteção:

**2. Definir problema**

Período de observação: desde  até

Produção: 430  
Total de defeitos: 18  
Percentagem defeitos: 4,2%

**Moldes afectados**

Modelo	Molde	Def.	Freq.
ASSENTO TRÁS 2/3 B/C 84	5116026L 5	6	33,3
ASSENTO TRÁS 1/3 B/C 84	5116022L 8	2	11,1
ASSENTO TRÁS 1/3 B/C 84	5116022L 10	1	5,6
ASSENTO TRÁS 1/3 B/C 84	5116022L 3	2	11,1
ASSENTO TRÁS 1/3 B/C 84	5116022L 4	2	11,1
ASSENTO TRÁS 1/3 B/C 84	5116022L 6	1	5,6
ASSENTO TRÁS 2/3 B/C 84 COURO	5172592E 2	1	5,6

**Outras ocorrências**

Data	Causas raiz
12-09-2004	Falta de manutenção
26-09-2004	Sujidade
04-11-2004	Formação: Excesso de pressão

**3. Identificar causa**

**Diagrama causa-efeito**

Mão de obra: Experiência, Formação, Motivação  
Método: Padronização, Experimental  
Máquina: Capacidade, Velocidade, Potência, Característica  
Meio ambiente: Sujidade, Calor, Poeira  
Medição: Capacidade, Atenção, Precisão  
Outro

**Diagnóstico (5 porquês)**

Falta enchimento 2/3

Porquê?

Porquê?

Porquê?

Porquê?

Porquê?

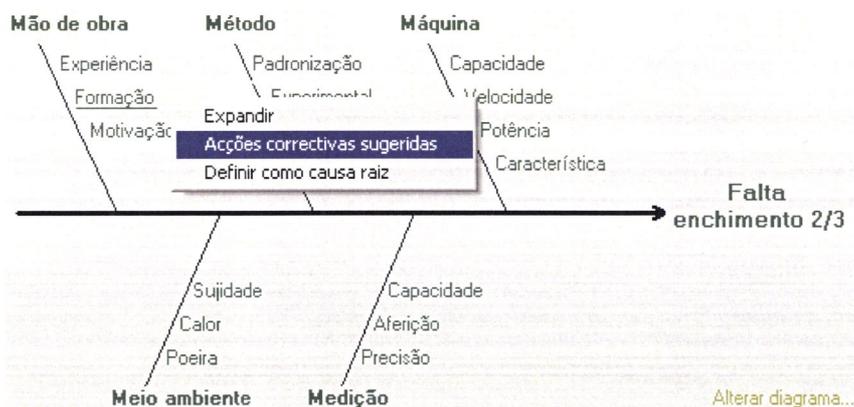
Causa raiz

Guardar Imprimir Fechar

O clique sobre uma das causas no diagrama de causa-efeito faz surgir ao utilizador um menu (Figura 4.8) onde é possível:

- Fazer a expansão da causa surgindo um novo diagrama causa-efeito para essa causa, de forma a permitir aprofundar a análise do problema;
- Sugerir ao utilizador acções correctivas de acordo com o conhecimento passado em situações semelhantes;
- Definir essa causa como causa raiz do problema.

Figura 4.8 - Clique sobre uma causa no diagrama de causa-efeito



#### 4.1.4 Acção Correctiva

Para cada uma das causas raiz identificadas, deverá ser definido um conjunto de acções que permitam eliminar o problema. Esse conjunto de acções constitui o plano de acção que contém o cronograma das acções correctivas apontando-se responsabilidades. A metodologia 5W1H pode auxiliar na construção de planos de acção, e consiste em elaborar o plano de acção baseado em seis perguntas que irão definir a sua estrutura. Essas perguntas, na língua inglesa, apresentam-se de seguida:

- WHAT (O QUÊ): define o que será executado, contendo a explicação da acção a ser realizada. Utilizam-se geralmente verbos no infinitivo, de maneira sucinta;
- WHEN (QUANDO): define quando será executada a acção. Prazo de início e de fim da acção;
- WHO (QUEM): define o responsável pela acção;
- WHERE (ONDE): define onde será executada a acção;
- WHY (PORQUÊ): define o porquê para a acção em questão. Apresenta a finalidade imediata da acção a ser tomada;
- HOW (COMO): define o detalhe de como será executada a acção. Este campo é um complemento para o primeiro campo (WHAT).

Figura 4.9 - Resolução de problemas - plano de acção 5W1H

**Sistema de Controlo de Qualidade**

### Resolução de Problemas

**1. Identificar problema**

Problema: Falta enchimento 2/3      Data de início: 20-10-2004      Data de fecho: 20-10-2004  
Quem detectou: José Silva      Data da deteção: 20-10-2004

**Diagnóstico** | **Acções** | **Documentos**

#### 4. Plano de acção (5W1H)

Causa raiz	Acção correctiva (WHAT)	Prazo (WHEN)	Responsável (WHO)	Onde (WHERE)	Porquê (WHY)	Como (HOW)

#### 5. Reuniões de seguimento

Data: 21-10-2004 10:00      Local: Área de acabamentos      Data: 21-10-2004 10:00      Local: Área de acabamentos

Intervenientes:      Intervenientes:  
Conclusões:      Conclusões:

Toda a informação não estruturada e associada ao processo, poderá ser guardada na forma de documentos digitais (documentos de texto, folhas de cálculo, fotografias entre outros).

Figura 4.10 - Resolução de problemas – documentação anexa

The screenshot shows a web application interface for 'Resolução de Problemas' (Problem Resolution) within the 'Sistema de Controlo de Qualidade' (Quality Control System). The interface is divided into several sections:

- Header:** 'Sistema de Controlo de Qualidade' logo on the left and 'Resolução de Problemas' title on the right.
- Section 1. Identificar problema:** Contains input fields for 'Problema: Falta enchimento 2/3', 'Data de início: 20-10-2004', 'Data de fecho: 20-10-2004', 'Quem detectou: José Silva', and 'Data da detecção: 20-10-2004'.
- Navigation:** A menu with 'Diagnóstico', 'Acções', and 'Documentos' tabs, with 'Documentos' currently selected.
- Documentação anexa:** A sub-section with a table of attached documents.
- Table:** A table with 5 columns: 'Data', 'Documento', 'Tipo', 'Responsável', and 'Tipo Documento'. It contains one row of data.
- Footer:** Three buttons: 'Guardar' (Save), 'Imprimir' (Print), and 'Fechar' (Close).

Data	Documento	Tipo	Responsável	Tipo Documento
20-10-2004	8D Close Management	8D CM	José Silva	8D CM

#### 4.1.5 Seguimento

Esta etapa é responsável pela verificação da efectividade das acções correctivas. É composto por um conjunto de ferramentas que permitem a análise da evolução histórica do processo:

- Cartas de fracção de defeitos (cartas *p*);
- Gráficos de linha;
- Curvas características de operação;
- Gráficos de pareto;
- Histogramas para análise da capacidade do processo;
- Folhas de dados.

Figura 4.11 - Seguimento



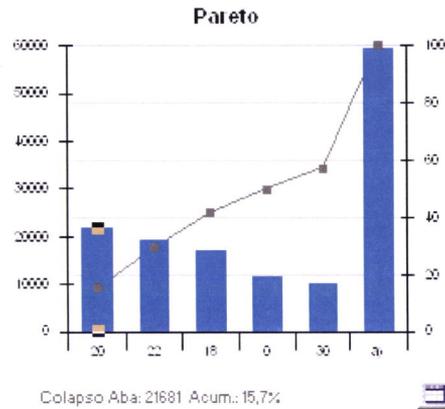
A informação pode ser visualizada de acordo com as seguintes dimensões de análise: por modelo, por turno de produção, por classe de defeito (recuperados e rejeitados) ou ainda por período de tempo.

Nas cartas de controlo p, são assinalados a vermelho todos os pontos fora dos limites de controlo. A amarelo são assinalados os pontos que violam as regras estudadas na secção “2.3.2.3 Análise de padrões nas cartas de controlo” (*Violating runs*).

As curvas características de operação (*OC curves*), permitem determinar a probabilidade do processo apresentar determinada taxa de defeitos.

Os gráficos de pareto apresentam os defeitos mais recorrentes para as condições especificadas. No gráfico é mostrado no eixo das abcissas o código dos defeitos, sendo necessário seleccionar uma determinada barra para que seja mostrado em rodapé a descrição do defeito.

**Figura 4.12 - Selecção de defeito num gráfico de pareto**



O clique sobre a barra, mostra o écran de “Identificação de causa” visto anteriormente. É ainda possível ver os dados que produziram o gráfico através do botão , sendo possível a partir dele, efectuar a exportação de dados para Excel.

**Figura 4.13 - Dados do Pareto**

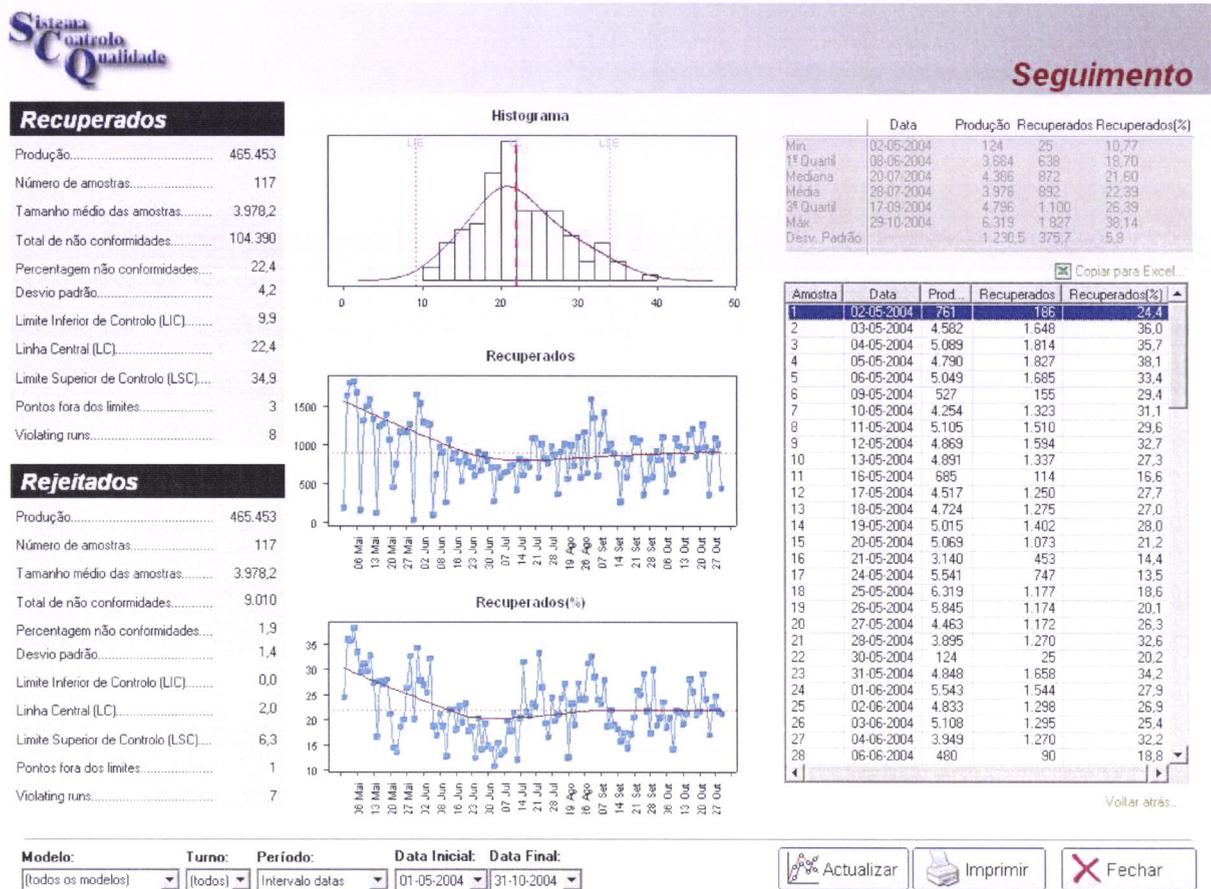
Cod.	Defeito	Ocorrência	Frequência	Acumulado
20	Colapso Aba	21681	15,7%	15,7%
22	Bolha debaixo velcro	19038	13,8%	29,5%
18	Bolha junto moquette	16931	12,2%	41,7%
0	Outro	11358	8,2%	49,9%
30	Falta enchimento lateral...	10133	7,3%	57,2%
21	Colapso Centro	9038	6,5%	63,8%
29	Falta enchimento no ca...	7695	5,6%	69,3%
35	Colapso junto velcro	6802	4,9%	74,3%
32	Falta rebordo	5889	4,3%	78,5%
17	Espuma rasgada sobre ...	5335	3,9%	82,4%
16	Velcro descolado	5157	3,7%	86,1%
31	Falta enchimento 2/3	4685	3,4%	89,5%
24	Falta Espuma Vedação	3421	2,5%	92%
23	Colapso Centro/Aba	2674	1,9%	93,9%
25	Orelha Rasgada	2534	1,8%	95,7%
19	Colapso junto moquette	2115	1,5%	97,2%
26	Falta Espuma zona vel...	963	0,7%	97,9%

O botão  **Resumo estatístico...** permite aceder a um resumo estatístico dos dados. A Figura 4.14 ilustra a informação que é mostrada. O histograma permite uma análise gráfica da capacidade do processo através da inclusão dos limites de especificação (ver secção “2.3.3 Análise da capacidade do processo”). Ao histograma foi adicionada a curva de tendência, permitindo uma análise gráfica da distribuição dos dados.

A análise dos gráficos de linha permite uma observação fácil das tendências da ocorrência de defeitos.

É possível ainda a exportação dos dados para Excel, de forma a estes poderem ser tratados fora da aplicação.

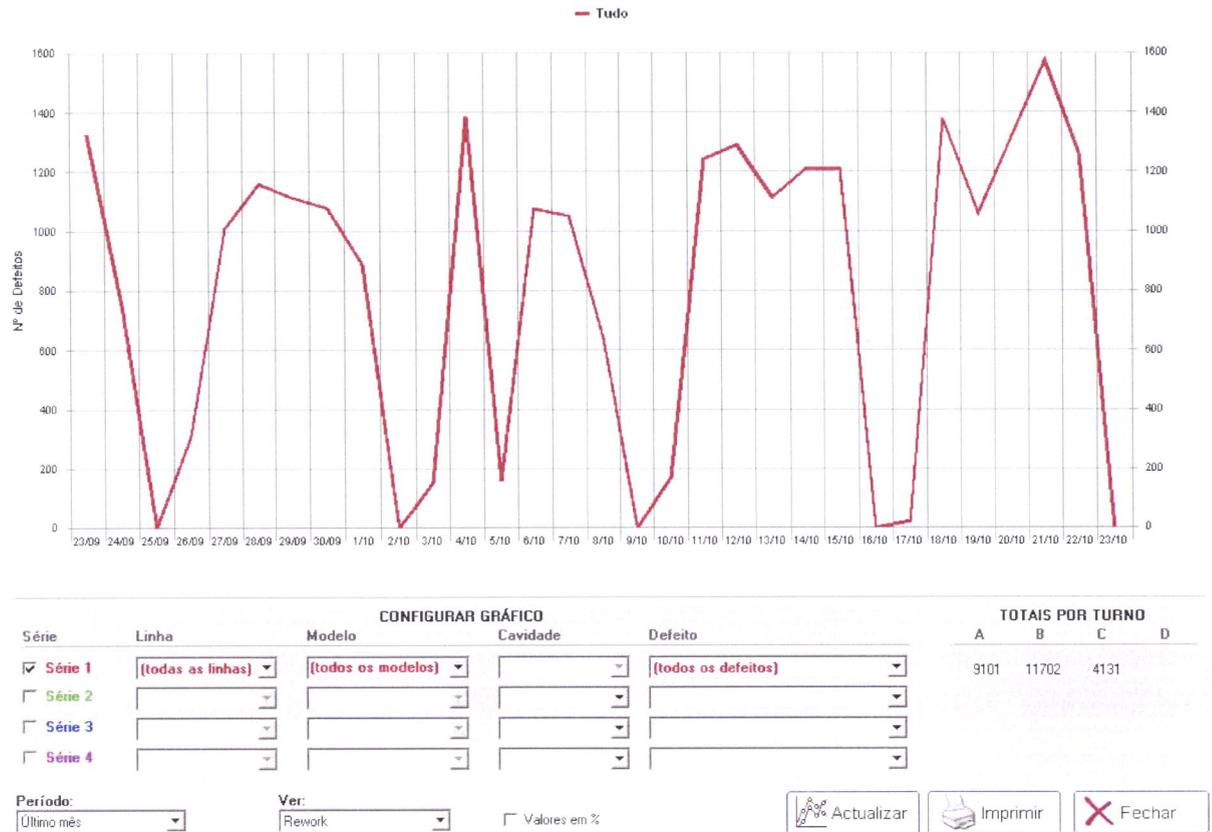
Figura 4.14 - Seguimento - Resumo Estatístico (recuperados)



Uma outra análise importante é a possibilidade de efectuar comparações, entre diversas linhas, modelos, moldes e defeitos, dentro de determinado período de tempo (Figura 4.15).

Figura 4.15 - Gráfico comparativo para seguimento

## Follow - up



As análises até aqui referidas permitem um seguimento do processo a um nível mais operacional. Do ponto de vista da direcção fabril, a informação a fornecer deverá ser condensada sob a forma de indicadores de performance (Figura 4.16).

Figura 4.16 - Indicadores



**Indicadores FOAM**



**4.1.6 Configuração**

Este módulo é responsável pela configuração do sistema permitindo a sua fácil adaptação a diferentes realidades fabris e planos de produção.

As configurações possíveis são:

- Configuração da fábrica:
  - Áreas de produção;
  - Linhas de produção;
  - Modelos/moldes;
- Configuração de postos de trabalho de acabamentos;
- Configuração de acesso ao sistema.

## Configuração da Fábrica

Na Figura 4.17 pode-se observar o écran que permite a configuração da fábrica. Nela constam três áreas de produção, designadas por ARM REST, FOAM e INSITU. A área de FOAM apresenta duas linhas de produção (MF1 e MF5), mostrando-se os moldes em produção na linha MF5.

Figura 4.17 - Configuração da Fábrica

**Sistema de Controlo de Qualidade**

**Configuração do Sistema**

Voltar atrás | Alterar modelo

Áreas

- ARM REST
- FOAM
  - MF1
  - MF5
- INSITU

> MF5 > Modelos

Modelo	Descrição	Abreviatura	Nº moldes	Por embalagem
5101334	ASSENTO FRENTE ESQ. B 84	34	9	36
5101335	ASSENTO FRENTE DIR. B 84	35	9	36
5116022L	ASSENTO TRÁS 1/3 B/C 84	1/3 Tecido	13	34
5116026L	ASSENTO TRÁS 2/3 B/C 84	2/3 Tecido	13	18
5119478	ASSENTO TRÁS B/C 84 1/1	1/1	2	20
5170406	ASSENTO FRENTE ESQ. B 84 COURO	06	1	36
5170407	ASSENTO FRENTE DIR. B 84 COURO	07	1	36
5172248	ASSENTO FRENTE ESQ. C 84 COURO	48	1	20
5172249	ASSENTO FRENTE DIR. C 84 COURO	49	1	20
5172588E	ASSENTO TRÁS 1/3 B/C 84 COURO	1/3 Couro	2	34
5172592E	ASSENTO TRÁS 2/3 B/C 84 COURO	2/3 Couro	2	18
9279296	ASSENTO FRENTE ESQ. C 84	96	3	34
9279297	ASSENTO FRENTE DIR. C 84	97	3	34

## Configuração de Postos de Acabamentos

A configuração dos postos de trabalho de acabamentos permite que o ecrã de recolha de dados, ilustrado na Figura 4.2, seja construído, mostrando ao operador apenas os modelos que o operador está a recuperar bem como os defeitos associados a esses mesmos modelos.

Figura 4.18 - Configuração de postos de trabalho de acabamentos

**Configuração de posto de trabalho**

Posto de Trabalho a configurar: 1

**Modelo / Moldes**

Ver moldes do modelo: (todos os modelos) Ver moldes da linha de produção: (todas as linhas de produção)

Atribuir linha de Produção: (atribua linha de produçã

68442421	1
6844997400Z	11
6844997400Z	12
6844997400Z	13
6844997400Z	14
6844997400Z	15
6844997400Z	16
6844997400Z	17
6844997400Z	18
6844997400Z	19
6844997400Z	20
960060100FR	1

9 modelos / 40 moldes

5116026L	13	MF 5
5116022L	1	MF 5
5116022L	2	MF 5
5116022L	3	MF 5
5116022L	4	MF 5
5116022L	5	MF 5
5116022L	6	MF 5
5116022L	7	MF 5
5116022L	8	MF 5
5116022L	9	MF 5
5116022L	10	MF 5

12 modelos / 70 moldes

**Defeitos**

**Recuperados** **Rejeitados**

15-Espuma com Impurezas
16-Velcro descolado
17-Espuma rasgada sobre velcro
18-Bolha junto moquette
19-Colapso junto moquette
21-Colapso Centro
22-Bolha debaixo velcro
23-Colapso Centro/Aba
24-Falta Espuma Vedação
25-Orelha Rasgada
26-Falta Espuma zona velcro
27-Quadrado Imperfeito
28-Deficiente junção espuma
29-Falta enchimento no canto
2-Mistura espuma rosa/branca

30 defeitos

0-Outro
10-Tela mal posicionada
11-Contração Espuma
12-Velcro mal posicionado
13-Falta Velcro
14-Falta moquete
1-Falta enchimento - velcro trás
20-Colapso Aba
4-Falta enchimento parte trás
5-Colapso debaixo velcro
6-Arame mal posicionado
8-Molde não fechou

12 defeitos

Guardar Fechar

## Acesso ao Sistema

De forma a impedir a má utilização do sistema por utilizadores menos experimentados deverá ser criado um sistema de segurança que permita definir perfis de utilizador.

Para usar o sistema, é assim necessário a introdução do nome de utilizador e da respectiva senha de acesso.

Figura 4.19 - Écran de acesso ao sistema

Controlo de Qualidade  
Versão 1.2.0, Janeiro de 2005

Posto de Trabalho 1

Utilizador:

Password:

Confirmar

Cancelar

Password

Copyright © 2002-2003, Valentin Realinho

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

q w e r t y u i o p

a s d f g h j k l

Maiúsculas z x c v b n m Apagar

Este écran possui um teclado virtual, para permitir a utilização do sistema nos postos de trabalho de acabamento, equipados com écrans *touchscreen*, os quais não possuem teclado.

Após a validação do utilizador, e de acordo com o seu perfil, assim surgirá um écran ao utilizador.

Os perfis de utilizador definidos são:

*Operador* Utilizador com acesso às diferentes tarefas de entrada de dados

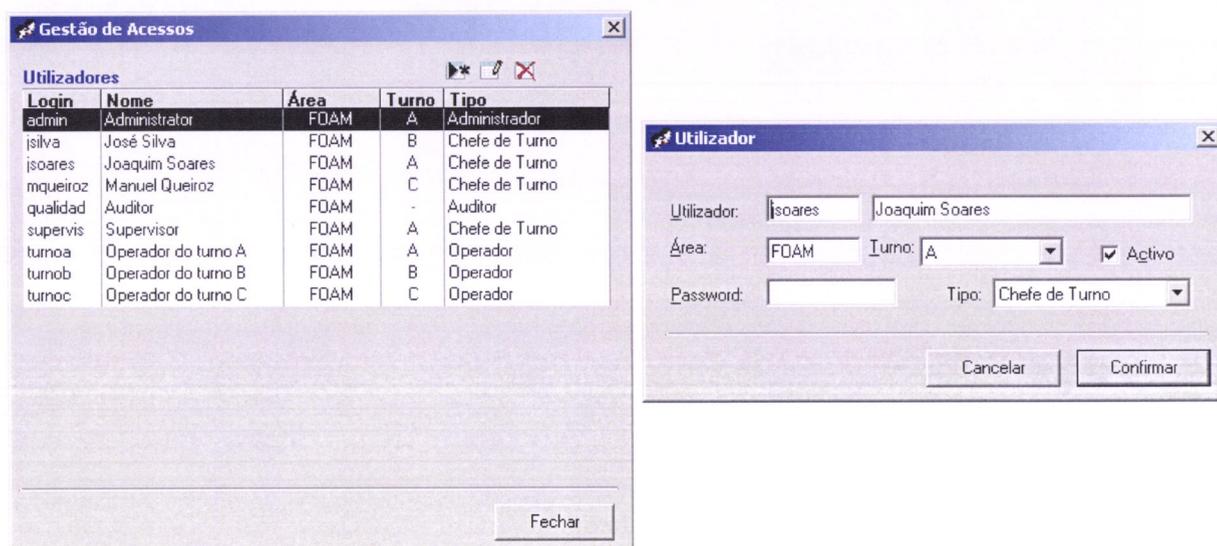
*Chefe de Turno* Utilizador com acesso às diferentes tarefas de monitorização e controlo.

*Auditor* Utilizador com acesso ao lançamento de peças rejeitadas.

*Administrador* Utilizador com permissão máxima, tendo acesso a todas as funções de configuração do sistema.

A definição de contas de acesso ao sistema pertence ao administrador através do écran da Figura 4.20.

Figura 4.20 - Gestão de acessos



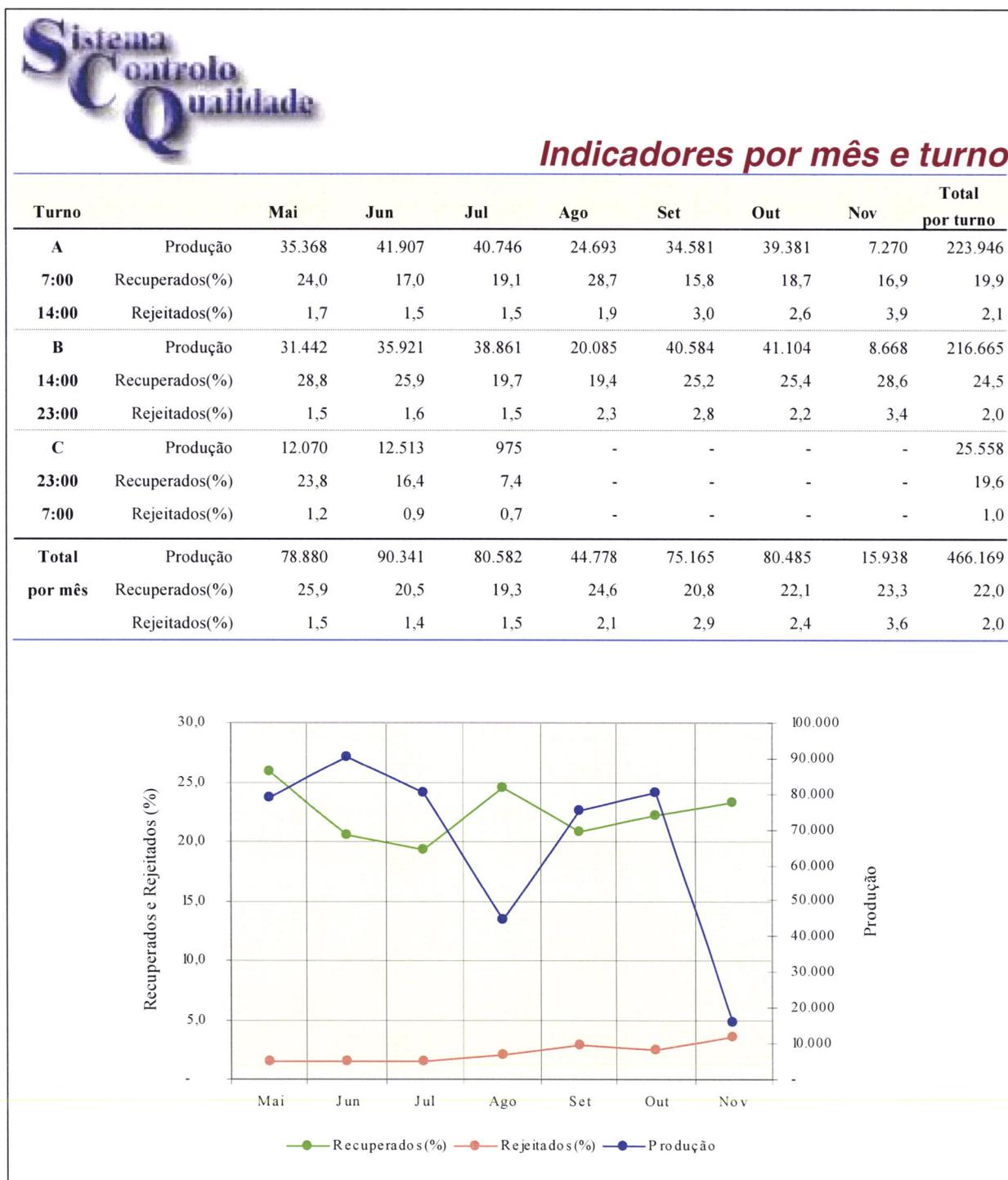
#### 4.1.7 Relatórios

Este módulo é responsável pela disponibilização de relatórios, que fornecem informação para a tomada de decisões sendo facilitadores do conhecimento. Para além de um conjunto pré-definido de relatórios, deverá ser possível ao utilizador criar novos, de acordo com as necessidades de informação a fornecer. O sistema deverá permitir a exportação/gravação para diferentes formatos (CSV, Excel,...)

Exemplo de relatórios a fornecer:

- Folhas de produção de turno;
- Relatório de produção mensal;
- Defeitos por modelo;
- Defeitos por mês;
- Indicadores por mês e turno;

Figura 4.21 - Exemplo de relatório de Indicadores por mês e turno



#### 4.1.8 Base de Conhecimento

A base de conhecimento permite deter na organização, conhecimento explícito que possa ser utilizado em situações posteriores. Dentro da base de conhecimento, encontra-se não só a informação estruturada produzida e dispersa pelas diferentes tabelas que constituem o sistema, mas também outra informação existente em diversos formatos de modo a tornar as decisões mais eficientes e eficazes.

Pretende-se assim, através de um sistema com capacidade para deter e gerar maior conhecimento sobre os processos de fabrico, caminhar para o que Drucker (1998) denomina de “organização baseada na informação”.

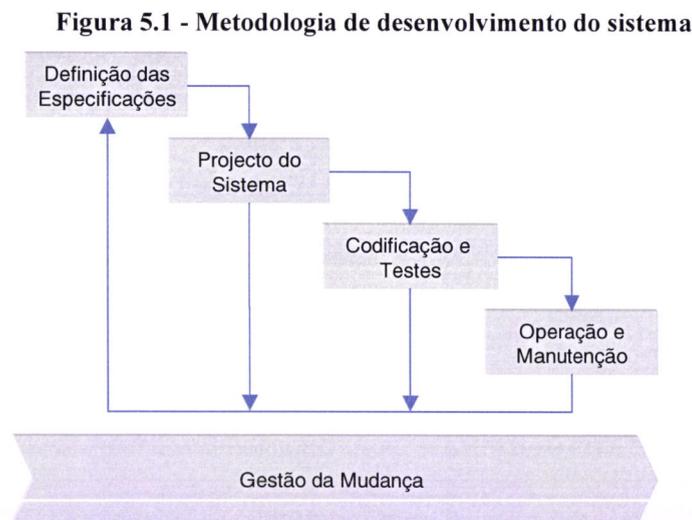


## Capítulo 5 - Implementação do Modelo

Este capítulo descreve a implementação do modelo proposto. Começa-se por descrever a metodologia utilizada para o desenvolvimento do *software*, para se descrever de seguida a arquitectura do sistema e as soluções tecnológicas adoptadas. No final é dada ênfase à entrada em produção do sistema na empresa em causa, apresentando-se os resultados obtidos ao fim de seis meses de utilização.

### 5.1 Metodologia de desenvolvimento do sistema de informação

A metodologia de desenvolvimento do sistema de informação, encontra-se representada na figura seguinte a qual se inspira no modelo em cascata para o desenvolvimento de *software* proposto por Royce (ROYCE 1970).



Apesar da sequencialidade das etapas aqui representadas, todo o processo deve ser bastante dinâmico com necessidade de muito intercâmbio de informações entre cada uma das fases, essencialmente devido a alterações dos requisitos inicialmente definidos.

#### 5.1.1 Definição das especificações

Nesta etapa identificaram-se as necessidades gerais e particulares para a resolução do problema bem como se efectua o estudo dos conceitos teóricos que lhe estão subjacentes. Avaliaram-se as funcionalidades que o sistema deveria possuir, a informação a ser processada, os critérios de validação e os resultados esperados. Nesta etapa ocorreu uma forte interacção com os responsáveis pela qualidade e produção da empresa alvo do estudo, o que

permitiu uma maior adequação do sistema à situação concreta da empresa, sem contudo se perder o carácter generalista que o sistema deve possuir.

### 5.1.2 Projecto do Sistema

Nesta etapa foi traçada a estratégia para implementação do sistema, incluindo a selecção de tecnologias, definição da arquitectura do sistema, recursos a serem alocados, custos e o planeamento do trabalho.

### 5.1.3 Codificação e Testes

É a etapa de desenvolvimento, ou seja, a transformação das especificações do sistema numa aplicação através de ferramentas e linguagens de programação adequadas. Esta etapa pode dividir-se em três tarefas:

- **Projecto de software:** corresponde à especificação técnica dos requisitos do *software* em estruturas computacionais (estrutura de dados, arquitectura do *software*, lógica funcional e interface) associadas à linguagem de programação e às restantes opções tecnológicas escolhidas;
- **Codificação:** corresponde à conversão da lógica funcional, (os algoritmos) em código executável pelo computador através da linguagem de programação. Nesta tarefa, deve haver preocupação com a correcção, eficiência e a flexibilidade dos aspectos executáveis do modelo construído;
- **Testes do software:** o processo de codificação é sujeito a erros de codificação, projecto e lógica. Os testes permitiram verificar se as funcionalidades desejadas foram implementadas correctamente e se o projecto do *software* está de acordo com requisitos identificados.

### 5.1.4 Operação e Manutenção

A evolução do sistema, após a entrada em produção, pode ainda passar por alterações não detectadas no seu desenvolvimento. Existem três situações que podem induzir a uma manutenção do sistema:

- **Correcção:** dificilmente o sistema entregue estará livre de erros. Quanto maior a complexidade do sistema, maior a probabilidade de existirem problemas, sejam de especificação de necessidades, de projecto ou implementação. A manutenção correctiva deve ser planeada para corrigir as falhas detectadas;
- **Adaptação:** mudanças tecnológicas, como alterações de sistemas operativos ou mudança de plataforma de *hardware* podem levar à necessidade de adaptações do sistema;

- **Evolução:** quando se pretendem incluir novas funcionalidades no sistema, fornecendo-lhe benefícios não previstos originalmente nas suas necessidades especificadas no projecto.

### **5.1.5 Gestão da Mudança**

Um ponto sempre presente ao longo da implementação deste projecto na empresa alvo, foi o do impacto que o sistema teria nas pessoas. Procurou-se desde o início o envolvimento das pessoas, ouvindo-as e aceitando as sugestões sempre que estas eram de valor. Foram desenvolvidas acções de formação que visavam não só a utilização do sistema mas também realçavam a importância da participação de cada funcionário no processo de mudança.

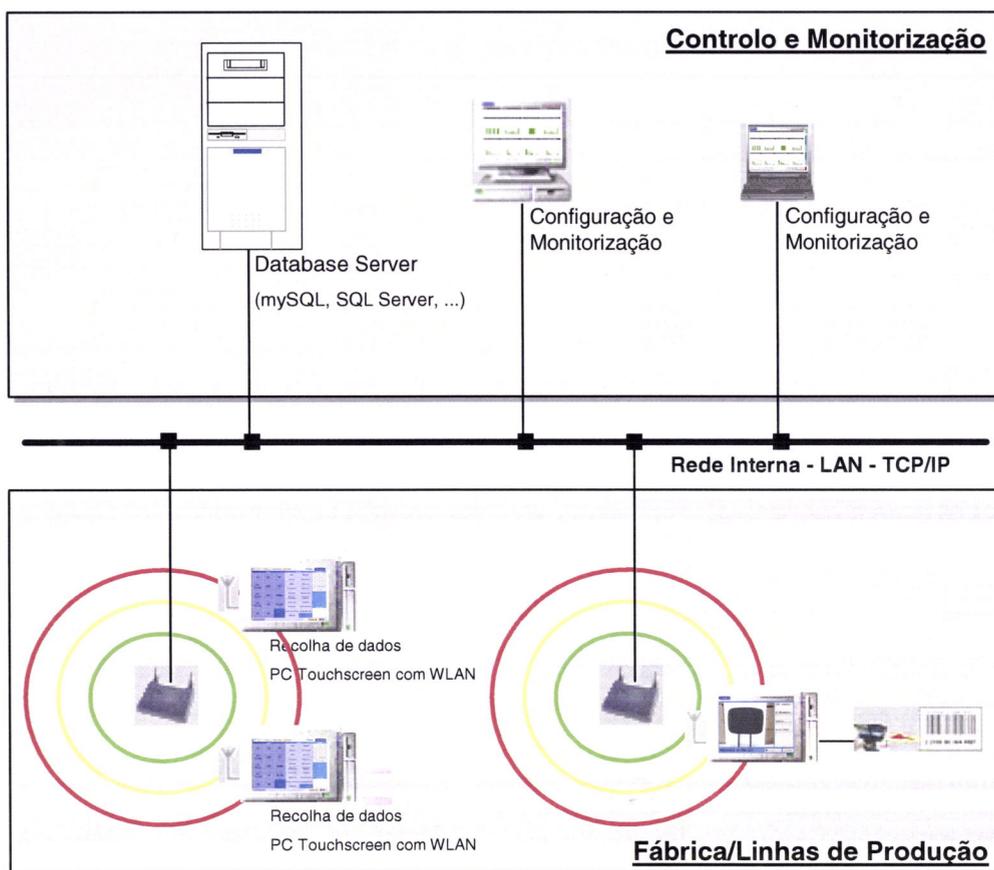
## **5.2 Arquitectura do Sistema**

O sistema proposto baseia-se numa arquitectura cliente/servidor. Em cada posto de acabamento, existe um computador com écran *touchscreen* que permite a recolha dos dados relativos às peças recuperadas e rejeitadas. É da responsabilidade do operador a classificação e registo das peças. Estes postos efectuam o controlo da qualidade *online* na linha de produção, classificando a conformidade da peça produzida.

Estas unidades, distribuídas pela linhas de produção, estão ligadas por uma rede TCP/IP à base de dados do sistema. Na implementação em causa, utilizou-se uma rede sem fios para interligar estes computadores com a rede interna.

As unidades de supervisão, situadas quer nas linhas de produção quer noutras secções da fábrica, correm os módulos de controlo e monitorização.

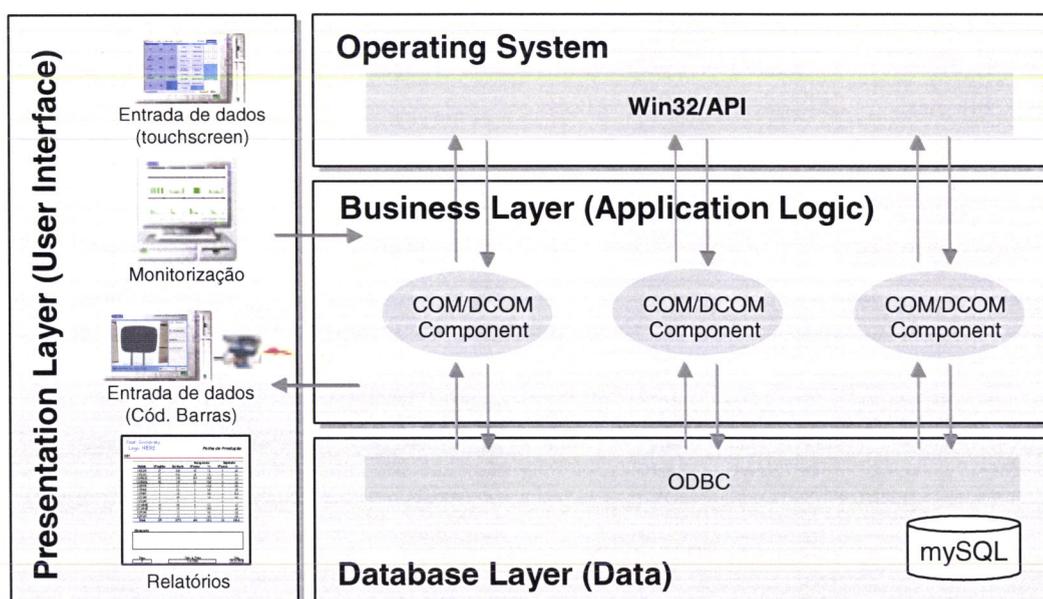
Figura 5.2 - Arquitectura Geral do Sistema



### 5.3 Arquitectura Aplicacional

A arquitectura aplicacional reflecte a arquitectura cliente/servidor do sistema baseando-se numa lógica de três camadas (*three-tier*).

Figura 5.3 - Arquitectura Aplicacional



Como visto na secção “2.2.3 Integração de sistemas” a arquitectura cliente/servidor *three-tier*, separa-se em três camadas. A 1ª camada, de interacção com o utilizador (*Presentation Layer*); a 2ª camada, que é o local onde são prestados os serviços (*Business Layer*) e a 3ª camada que é onde são guardados os dados (*Database Layer*). A aplicação cliente, nesta arquitectura não faz processamento lógico indo só aceder a serviços, que são requeridos por parte do utilizador. Estes serviços são prestados pela 2ª camada, onde são recebidos pedidos a serviços, processando os pedidos e acedendo, caso necessário, às bases de dados da 3ª camada, para gerar os conteúdos de resposta aos pedidos.

Nesta arquitectura, e no limite, todas as camadas aqui ilustradas podem estar na mesma máquina ou estar em máquinas distintas permitindo uma reutilização e distribuição de componentes e processamento.

A escolha cuidada do ambiente de desenvolvimento e das ferramentas de suporte é vital para se atingirem as características propostas aquando da definição da arquitectura. O uso de soluções *standard* (quer sejam *standards* de facto quer sejam *standards* actuais ou emergentes) é imperativo para se conseguir obter um sistema aberto. Para além destas preocupações, outro aspecto importante para a determinação das ferramentas a utilizar é a interface com o utilizador. São necessárias ferramentas que permitam criar uma interface com o utilizador simples, amigável e de fácil utilização.

O ambiente escolhido foi o Windows da Microsoft pelo facto de ser o sistema mais utilizado no mundo e em particular na empresa alvo deste estudo. Assim, as opções tecnológicas a seguir referidas baseiam-se todas neste sistema operativo.

### **5.3.1 Linguagem de programação**

Como linguagem de programação, foi utilizado o Microsoft Visual Basic 6.0, por possuir um ambiente de desenvolvimento integrado por meio do qual se pode desenvolver, testar e compilar as aplicações.

Esta escolha justifica-se, pelo ambiente de desenvolvimento integrado e pela rapidez de desenvolvimento que proporciona. O Visual Basic permite uma programação orientada a eventos e a objectos possuindo um conjunto completo e extensível de bibliotecas de funções

com recursos para acesso ao sistema operativo (Win32 API<sup>19</sup>). Permite ainda a utilização e desenvolvimento de objectos ActiveX e DCOM<sup>20</sup> o que facilita a reutilização de código para realizar funções bem definidas como gráficos, relatórios entre outros.

### 5.3.2 Sistema de gestão de base de dados

Foi dada especial atenção à base de dados, dado o grande volume de informação que irá ser armazenado e processado. Este facto levou a optar-se por uma base de dados rápida e robusta tendo a escolha recaído sobre o mySQL. O mySQL é uma base de dados de *software* livre<sup>21</sup> e a sua arquitectura torna-a extremamente rápida e fácil de configurar. Para manter a consistência da base de dados foi usado o sistema de tabelas InnoDB, o qual disponibiliza ao mySQL transacções. Os mecanismos de *locking* do InnoDB permite aumentar a performance em ambientes de acesso concorrente aos dados. Para além disto, o InnoDB permite ainda o suporte de chaves estrangeiras ao contrário do sistemas de tabelas comum do mySQL.

### 5.3.3 Linguagem de acesso aos dados

Todo o acesso aos dados é feito através de comandos SQL<sup>22</sup>. A linguagem SQL começou como um projecto da IBM, mas rapidamente se afirmou como uma das mais importantes tecnologias da indústria informática. O SQL é uma linguagem para organizar, gerir e seleccionar dados guardados numa base de dados. O SQL não é uma linguagem como o C, C++, Java, Pascal ou Visual Basic mas sim um conjunto de comandos que permitem controlar e interagir com um sistema de gestão de bases de dados.

### 5.3.4 Acesso à base de dados – *Database Middleware*

Apesar da escolha da base de dados ter sido o mySQL, a utilização do ODBC permite ao sistema trabalhar em ambientes heterogéneos. Como o ODBC não é dependente da plataforma nem de uma base de dados específica, o *driver*<sup>23</sup> de ODBC permite à aplicação aceder a outros sistemas de gestão de bases de dados. Por outro lado o ODBC torna o sistema portátil

---

<sup>19</sup> Acrónimo de *Application Programming Interface* ou Interface de Programação de Aplicações disponibiliza ao programador um conjunto de funções de interface directo com o sistema operativo.

<sup>20</sup> Ver mais à frente o que são objectos ActiveX e DCOM.

<sup>21</sup> Conceito lançado no início da década de 1980 por Richard Stallman do laboratório de inteligência artificial do MIT, que considera que o *software* deve ser livre de executar por qualquer utilizador; de estudar o seu funcionamento; de redistribuir cópias e de o melhorar e publicar as modificações.

<sup>22</sup> Acrónimo de *Structured Query Language*.

<sup>23</sup> *Software* que fornece a interface específica para determinada base de dados de acordo com o standard ODBC.

e reduz a complexidade de suporte melhorando a funcionalidade sem perda de performance. O sistema foi testado ainda sobre SQL Server e Microsoft Access, sendo as diferenças de sintaxe da linguagem SQL suportada através da passagem de variáveis como argumento da aplicação. O *Database Layer* descrito anteriormente, encarrega-se de tratar de forma distinta as diferenças de sintaxe em função dessa variável.

Apesar do uso generalizado do ODBC na indústria de *software*, persistem ainda, em alguns sectores, alguns mal entendidos acerca da sua funcionalidade e performance quando comparada com a programação nativa à base de dados. Estes mal entendidos, resultam das primeiras versões do ODBC, quando este se encontrava estava ainda em desenvolvimento. Actualmente os *drivers* de ODBC, disponibilizam uma forma fiável e rápida de aceder às bases de dados com todas as vantagens inerentes ao facto de quem programa não ter de se preocupar com as particularidades de comunicação com a base de dados propriamente dita, tornando as aplicações portáveis para vários ambientes.

### 5.3.5 Programação Orientada a Objectos

O objectivo principal da programação orientada ao objecto é a economia de tempo através do desenvolvimento de objectos e bibliotecas de objectos reutilizáveis. A principal diferença entre as bibliotecas de objectos e as tradicionais bibliotecas de funções é que os objectos, para além de conterem as funções que operam sobre os dados, contêm também os dados sobre os quais operam, o que os torna auto-suficientes.

As linguagens orientadas a objecto, nas quais os objectos são geralmente referidos como classes, suportam o encapsulamento, a herança e o polimorfismo. O **encapsulamento** significa que os dados do objecto não estão acessíveis directamente a partir do exterior mas sim através de métodos - funções contidas no próprio objecto que permitem aceder e manipular os seus dados - que garantem a protecção do objecto face a acessos inapropriados.

A **herança** permite a criação de novos objectos – objectos filhos - com as mesmas características, ou algumas delas, de outros objectos já existentes – objectos pais -, ou seja, permite herdar estruturas de dados e funções de objectos e acrescentar-lhe novas estruturas de dados e funções. Uma vantagem da herança entre objectos é que qualquer alteração efectuada a um objecto é automaticamente propagada a todos os objectos derivados a partir dele.

O **polimorfismo** permite que diferentes objectos com funções semelhantes sejam tratados da mesma maneira, ou seja, dados dois objectos diferentes que suportem, por exemplo um método chamado *inicio*, as suas respostas à invocação desse método serão diferentes em função da respectiva implementação no código do objecto.

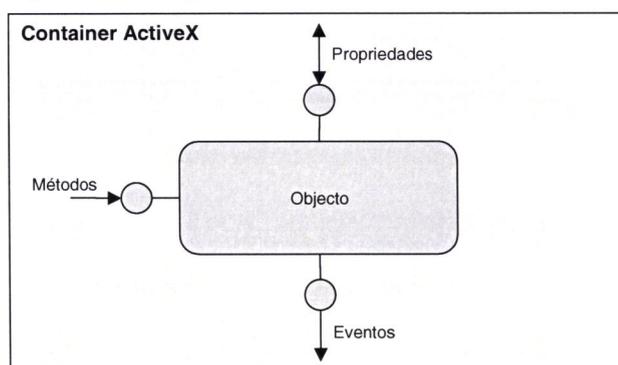
### 5.3.6 Objectos ActiveX

Os objectos ActiveX são objectos baseados na tecnologia COM<sup>24</sup>, que estabelece um paradigma comum para interacção entre componentes de *software* dentro do ambiente Microsoft Windows. A vantagem do modelo COM é que permite aos objectos interagir com outros objectos dentro e fora do mesmo programa.

#### Interface dos objectos ActiveX

Os objectos ActiveX contêm dados identificados como propriedades, funções denominadas por métodos e capacidade para notificar as aplicações onde estão inseridos (o seu *container*) acerca da ocorrência de eventos.

Figura 5.4 - Propriedades, métodos e eventos ActiveX



As **propriedades** são a forma sob a qual os ActiveX expõem os seus dados ao exterior, podendo ser de leitura e escrita. Os **métodos** são as funções que os objectos ActiveX disponibilizam para realização de operações sobre os seus dados. Os **eventos** são usados pelos objectos ActiveX para notificar a ocorrência de um determinado acontecimento no contexto do objecto. Os eventos podem eventualmente efectuar passagem de parâmetros.

<sup>24</sup> *Component Object Model* ou modelo de componentes de objectos utilizado em ambientes Windows.

### 5.3.7 Objectos distribuídos DCOM

O protocolo DCOM promove a comunicação entre objectos distribuídos, que são conjuntos de linhas de códigos responsáveis por algumas tarefas referentes à sua classe, podendo estar localizados em qualquer máquina de uma rede, assim como podem ser chamados e utilizados por qualquer delas, independente do sistema operativo e linguagem que tenha sido desenvolvido.

Para desenvolver objectos distribuídos, utilizam-se linguagens específicas, onde cada uma proporciona uma solução diferente, sendo as mais conhecidas: Java, Microsoft Visual Basic, Microsoft Visual C++, PowerBuilder, Micro Focus Visual Object, COBOL e Delphi, todos implementam objectos DCOM.

O DCOM tem as suas raízes nas tecnologias de objecto da Microsoft o COM (*Component Object Model*), OLE (*Object Linking and Embedding*) e ActiveX já referido. Deve-se considerar COM e DCOM como uma única tecnologia que fornece uma escala de serviços para a interacção de objectos. Se no momento de uma comunicação for necessária a utilização do padrão COM, ele será utilizado; porém, se for necessária a tecnologia DCOM, esta será utilizada.

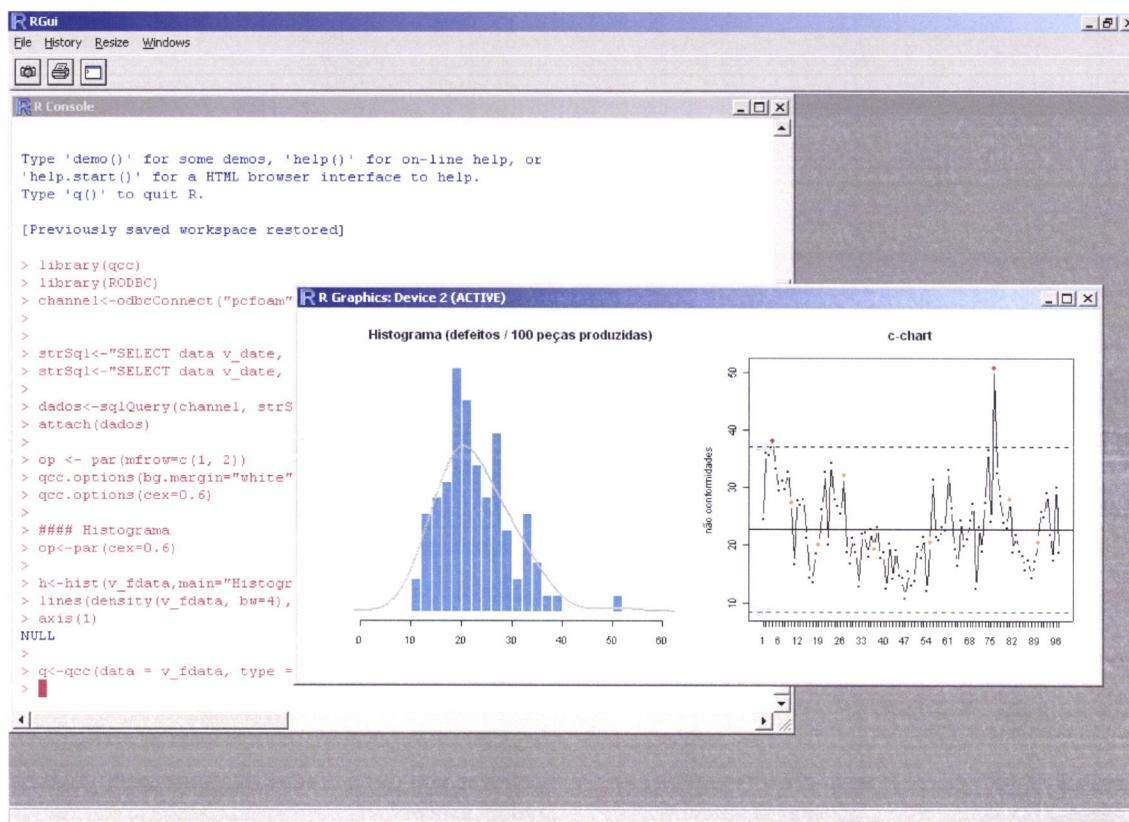
### 5.3.8 Biblioteca de cálculo estatístico R

O R é ao mesmo tempo uma linguagem de programação e um ambiente bastante poderoso para computação estatística e gráficos. Uma das suas principais características é o seu carácter gratuito (pertence ao mundo do chamado *software* livre) e a sua disponibilidade para uma gama bastante variada de sistemas operativos nomeadamente o Linux e o Windows. Apesar do seu carácter gratuito o R é uma ferramenta bastante poderosa com boas capacidades ao nível da programação e um conjunto bastante vasto de *packages* que acrescentam bastantes potencialidades à já poderosa versão base do R.

No sistema proposto, o R é utilizado para a criação de cartas de controlo, histogramas e das características operacionais do processo, sendo utilizado para o efeito a *package qcc* (*Quality Control Charts*).

A interacção com o R pode efectuar-se através de uma consola em modo gráfico, que aceita o conjunto de comandos que são interpretados e executados.

Figura 5.5 - Exemplo de uma sessão de R para a criação de um histograma e de uma carta c



A consola é especialmente útil, para tratamento de dados à posteriori e sempre que não há necessidade de integração das funções disponibilizadas pelo R com outras aplicações. Em particular, a sua utilização permitiu, efectuar os testes preliminares de verificação manual dos conceitos estatísticos subjacentes à teoria do controlo estatístico do processo.

A integração do R com o sistema desenvolvido foi feita à custa de uma extensão que disponibiliza um conjunto de objectos DCOM (R DCOM Server), permitindo assim a sua utilização em ambientes que permitem este tipo de integração, como o Excel e o Visual Basic. Desta forma, é possível ter num ambiente de programação como o Visual Basic uma poderosa ferramenta de tratamento de dados.

#### 5.4 Aplicação do modelo

A aplicação do modelo efectuou-se numa empresa de produção de espumas para a indústria automóvel, a qual possui três áreas distintas de produção:

- Assentos de automóvel (FOAM) composta por quatro linhas de produção;
- Encostos de cabeça (IN-SITU) composta por uma linha de produção;
- Apoios de braço (ARMREST) composta por uma linha de produção.

Os processos de fabrico destas linhas, são os descritos no Capítulo 3 sendo o controlo de qualidade efectuado por inspecção manual das peças produzidas por operadores que as observam à medida que estas são produzidas e retiram as que não estão conforme os critérios de qualidade definidos. A não conformidade é classificada nos postos de acabamentos através dos écrans *touchscreen* podendo dar origem à recuperação ou rejeição da peça.

As linhas de encostos de cabeça e de apoios de braço, produzem o produto acabado. Ao contrário dos assentos em espuma, a recuperação de peças nestas linhas é praticamente inexistente. Nestes casos, as peças ou estão conforme as especificações, ou então a sua recuperação é extremamente difícil, dando origem a rejeitados.

O desenvolvimento do sistema, foi faseado, tendo sido disponibilizada uma primeira versão com as funções de recolha de dados, alertas e seguimento. Esta versão entrou em operação no início de Maio de 2004. Os objectivos desta versão, foram o de validar o sistema de recolha de dados, geração de alertas e sobretudo formar as pessoas para uma nova forma de trabalho centrada na utilização do computador. Esta fase foi extremamente importante, pois permitiu recolher informação adicional e tirar conclusões acerca do sistema. Após esta fase, entraram em operação em Fevereiro de 2005 as restantes funcionalidades apresentadas neste trabalho.

Foram disponibilizados cinco postos de trabalho *touchscreen* para recolha de dados numa das linhas de produção de assentos em espuma, designada por MF5. Esta linha produz exclusivamente, assentos para um mesmo modelo automóvel nas suas diversas versões.

O módulo de supervisão e administração foi instalado em todos os supervisores (chefes de turno), engenheiros de processo e responsáveis de área.

Após a instalação e formação, o sistema arrancou em operação no início de Maio de 2004, na área de produção de assentos. Mais tarde iria entrar em produção na área de apoios de braço e de encostos de cabeça.

Durante os primeiros seis meses foi registado no sistema a produção de 465.453 assentos de automóvel, tendo-se verificado uma taxa de recuperação de 22,43% equivalente a 104.309 peças que necessitaram de reparação. Neste período a taxa de rejeitados foi de 1,94%. O Quadro 5.1, construído a partir do respectivo relatório, apresenta os valores de produção, recuperados e rejeitados por modelo durante este período.

**Quadro 5.1 - Resumo de produção por modelo**

Modelo	Descrição	Produção	Recuperados		Rejeitados	
			Nº peças	%	Nº peças	%
5116022L	ASSENTO TRÁS 1/3 B/C 84	121.331	45.741	37,70	2.795	2,30
5116026L	ASSENTO TRÁS 2/3 B/C 84	117.293	24.770	21,12	1.768	1,51
5101335	ASSENTO FRENTE DIR. B 84	94.182	12.017	12,76	1.692	1,80
5101334	ASSENTO FRENTE ESQ. B 84	90.201	10.401	11,53	952	1,06
9279297	ASSENTO FRENTE DIR. C 84	12.543	3.463	27,61	449	3,58
9279296	ASSENTO FRENTE ESQ. C 84	11.425	3.596	31,47	516	4,52
5172592E	ASSENTO TRÁS 2/3 B/C 84 COURO	5.825	1.222	20,98	374	6,42
5172588E	ASSENTO TRÁS 1/3 B/C 84 COURO	4.201	1.224	29,14	161	3,83
5119478	ASSENTO TRÁS B/C 84 1/1	3.692	1.128	30,55	147	3,98
5170406	ASSENTO FRENTE ESQ. B 84 COURO	1.834	297	16,19	60	3,27
5170407	ASSENTO FRENTE DIR. B 84 COURO	1.688	306	18,13	51	3,02
5172248	ASSENTO FRENTE ESQ. C 84 COURO	649	141	21,73	27	4,16
5172249	ASSENTO FRENTE DIR. C 84 COURO	589	84	14,26	18	3,06
<b>Total</b>		<b>465.453</b>	<b>104.390</b>	<b>22,43</b>	<b>9.010</b>	<b>1,94</b>

Os quatro primeiros modelos representam 91% da produção total, e dizem respeito à versão do modelo automóvel mais vendida. Nos restantes modelos a taxa de recuperados e rejeitados é bastante superior à destes, denotando uma preocupação menor com estes parâmetros. O facto do volume de produção ser baixo não justifica os custos para fazer baixar estes parâmetros.

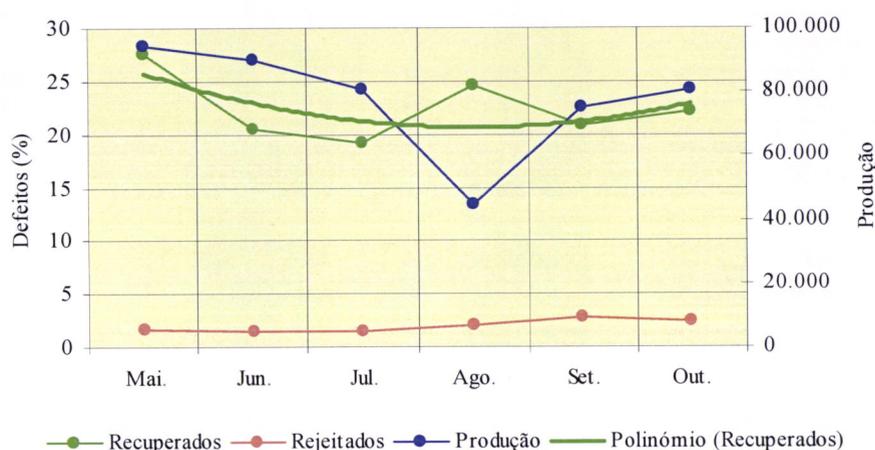
Um ponto importante que se pretendia avaliar com esta primeira versão, foi a resistência à utilização e ao ambiente dos postos de trabalho de acabamentos equipados com monitores *touchscreen*. Os 113.400 defeitos registados no sistema equivalem a 453.600 “toques” nos cinco monitores *touchscreen*. Estes toques muitas vezes são efectuados com o que o operador tem à mão: facas, rebarbadoras, e outros utensílios usados no processo de reparação das peças. Durante este período não se verificou nenhuma anomalia nos cinco monitores utilizados.

O Quadro 5.2 apresenta os mesmos dados agrupados por mês. Em Agosto, verificou-se uma diminuição acentuada da produção devido à paragem anual das linhas de produção para manutenção. A partir de Agosto, passaram a laborar apenas dois turnos contra os três até então. Esta diminuição traduziu-se numa ligeira quebra da capacidade produtiva.

**Quadro 5.2 - Resumo da produção por mês**

Mês	Produção	Recuperados		Rejeitados	
		Nº peças	%	Nº peças	%
Mai.	94.102	25.869	27,49	1.492	1,59
Jun.	90.341	18.507	20,49	1.308	1,45
Jul.	80.582	15.527	19,27	1.197	1,49
Ago.	44.778	11.002	24,57	929	2,07
Set.	75.165	15.667	20,84	2.144	2,85
Out.	80.485	17.818	22,14	1.940	2,41
<b>Total</b>	<b>465.453</b>	<b>104.390</b>	<b>22,43</b>	<b>9.010</b>	<b>1,94</b>

A evolução da taxa de recuperados e rejeitados pode ser observada na Figura 5.6. Nesta figura foi adicionada a linha de tendência polinomial para os recuperados, podendo-se mais facilmente verificar uma ligeira tendência para a diminuição da taxa de recuperados.

**Figura 5.6 - Evolução da produção**

Durante este período a direcção da empresa foi confrontada pelo cliente para fazer baixar os custos. A solução encontrada foi a de alterar as formulações químicas de forma a baixar os custos com a matéria prima, sem comprometer as questões de conforto e segurança. Esta alteração conduziu a um aumento na taxa de recuperados com uma incidência nos defeitos “Colapso na aba“, “Bolhas debaixo do velcro” e “Bolha junto ao moquette”. Também a taxa de rejeitados aumentou com um aumento significativo de “Espumas rasgadas”. Este facto deve-se ao facto da nova formulação química tornar mais difícil a operação de desmoldagem das peças. Apesar destes aumentos, os custos totais de produção foram reduzidos. Os Quadro 5.3 e o Quadro 5.4, apresentam a taxa de recuperados e rejeitados mensal em função do total mensal.

**Quadro 5.3 - Recuperados por tipo e mês (% do total mensal)**

<b>Defeito</b>	<b>Mai.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Ago.</b>	<b>Set.</b>	<b>Out.</b>	<b>Total por tipo</b>
Colapso aba	7,3	12,0	17,1	19,3	25,5	14,4	15,4
Bolha debaixo velcro	12,3	15,4	13,7	19,0	11,4	13,1	13,8
Bolha junto moquette	3,1	7,3	10,1	9,3	18,9	19,3	11,2
Outro	5,9	7,2	10,4	7,1	9,0	8,6	8,0
Falta enchimento lateral 1/3	16,6	4,1	5,1	5,2	4,6	8,1	7,8
Colapso centro	2,6	8,8	8,9	7,2	6,4	5,6	6,4
Falta enchimento no canto	6,1	7,0	5,4	4,2	3,1	6,2	5,5
Colapso junto velcro	4,7	6,0	6,3	7,5	4,8	2,4	5,1
Falta enchimento 2/3	8,1	3,1	3,3	2,1	2,2	5,3	4,3
Espuma rasgada sobre velcro	10,4	8,1	1,6	1,3	0,4	0,7	4,1
Falta rebordo	3,4	2,3	3,2	3,8	2,4	8,2	3,9
Velcro descolado	6,4	3,9	4,2	2,7	3,1	2,1	3,9
Falta espuma vedação	2,0	2,6	2,7	3,1	1,8	2,8	2,5
Colapso centro/aba	2,7	2,9	2,2	2,0	0,8	1,1	2,0
Orelha rasgada	3,6	1,7	1,4	1,9	2,0	0,6	1,9
Colapso junto moquette	1,1	2,9	1,8	1,2	1,9	0,3	1,5
Falta espuma zona velcro	1,6	0,8	0,7	0,9	0,3	0,1	0,7
Quadrado imperfeito	0,3	0,7	0,6	1,0	1,1	0,4	0,7
Contração espuma	0,2	1,1	0,8	0,6	0,1	0,4	0,5
Deficiente junção espuma	0,0	1,7	0,2	0,1	0,1	0,3	0,4
Falta enchimento 1/1	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
Colapso debaixo velcro	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2

**Quadro 5.4 - Rejeitados por tipo e mês (% do total mensal)**

<b>Defeito</b>	<b>Mai.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Ago.</b>	<b>Set.</b>	<b>Out.</b>	<b>Total por tipo</b>
Colapso centro	30,8	23,7	24,0	21,4	25,0	16,0	22,7
Espuma rasgada	7,9	7,3	10,4	13,5	11,0	17,2	12,0
Outro	12,5	16,3	16,3	13,2	7,9	9,4	11,5
Colapso junto velcro	-	9,0	6,1	8,7	13,6	7,1	8,4
Contração espuma	3,6	8,3	11,3	9,0	3,4	2,7	5,5
Colapso aba	4,2	2,8	2,7	2,6	5,9	7,1	4,9
Molde não fechou	6,7	4,4	5,7	3,8	2,8	2,6	3,9
Retrabalho mal feito	1,2	3,8	4,2	3,4	3,8	5,3	3,9
Colapso junto moquette	7,2	7,0	3,1	0,3	2,9	3,8	3,9
Colapso debaixo velcro	1,2	0,7	1,6	3,5	4,2	6,9	3,7
Falta enchimento	-	-	-	5,6	4,4	6,7	3,5
Moquette mal posicionada	9,9	3,9	2,4	4,6	2,3	1,1	3,3
Velcro mal posicionado	5,5	2,8	2,0	1,4	3,2	2,6	2,9
Velcro descolado	2,0	1,9	2,0	2,0	2,1	2,8	2,2
Deformação	-	-	-	2,5	3,6	3,9	2,2
Falta velcro	3,0	1,7	2,0	1,6	1,8	0,4	1,6
Falta enchimento parte trás	1,9	1,6	1,9	0,7	-	-	0,7
Falta moquete	0,3	0,5	0,8	0,8	0,8	0,3	0,6
Tela mal posicionada	0,6	0,7	0,3	0,5	0,5	0,6	0,5
Arame mal posicionado	0,1	0,1	0,4	0,1	0,6	0,5	0,4
Aba lateral rasgada	0,5	1,6	0,5	0,6	-	-	0,4
Falta componente	-	-	-	-	-	1,4	0,4
Falta arame	0,1	0,3	1,0	0,2	0,1	0,4	0,3
Colapso tela	-	-	-	-	-	1,2	0,3
Falta enchimento - velcro trás	0,1	1,1	0,8	-	-	-	0,3
Falta tela	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,0	0,2
Bolha junto moquette	0,2	-	0,1	-	-	-	0,0
Deficiente junção espuma	0,1	0,1	-	-	-	-	0,0

Um ponto importante de análise destes quadros, é o facto de existirem muitos defeitos classificados como “Outro”. Tal acontece sempre que o operador não consegue identificar correctamente o tipo de defeito. Globalmente esta classificação não introduz erros, mas do ponto de vista de análise e identificação dos problemas conduz a falsas pistas. Procurou-se minimizar esta questão, através de treino específico dos operadores, quer ao nível da identificação dos defeitos quer ao nível da utilização das ajudas visuais existentes no écran de registo de defeitos.



## **Capítulo 6 - Conclusões e sugestões**

---

Este capítulo apresenta as conclusões, limitações, dificuldades e sugestões para futuros trabalhos.

### **6.1 Conclusões gerais**

Neste trabalho demonstrou-se a aplicabilidade de sistemas de informação no controlo da qualidade de produção de espumas moldadas. Para isso, recorreu-se à utilização das ferramentas básicas de controlo estatístico do processo, fundamentadas num modelo que as integram de forma coerente. O modelo permite constituir uma base de conhecimento para auxiliar operadores e engenheiros na prevenção e identificação de causas especiais de variação do processo.

A abordagem usada e as técnicas aplicadas podem substituir com vantagem as técnicas manuais normalmente utilizadas no controlo da qualidade, eliminando a maioria das suas deficiências e inconvenientes.

O modelo é ainda suficientemente genérico e flexível para poder ser utilizado em processos industriais de características semelhantes, nomeadamente onde exista a necessidade de controlar a qualidade peça a peça, e onde esse controlo deva ser efectuado em tempo real e com elevada cadência produtiva.

Este modelo deve ser entendido e utilizado como um sistema de controlo preventivo, em que sejam definidas responsabilidades e autoridade para executar as acções correctivas, quer ao nível da manutenção da estabilidade, quer ao nível da redução da variabilidade. Importa ressaltar, que enquanto a manutenção da variabilidade do processo num determinado patamar, depende basicamente de acções operacionais, isto é, das acções executadas por aqueles que utilizam directamente o sistema, a redução da variabilidade depende do esforço conjunto daqueles que têm autoridade técnica sobre o processo. Nesse sentido, a redução da variabilidade exige estudo, inovação e desenvolvimento que, geralmente, acarretam mudanças no produto e no processo.

A implementação do modelo deve ser considerada um processo de mudança organizacional: a sua implementação é muito mais do que a introdução de novas ferramentas para a melhoria do

processo. A rotina das actividades, das funções, as atitudes e crenças da organização são objecto de mudança no que diz respeito à postura e atribuições dos que terão a responsabilidade pela melhoria do processo. Assim, a implementação deve ser planeada como um processo de mudança organizacional e cultural. Deve-se por isso ter em conta que a qualidade deve ser um modo de pensar na organização. O ambiente para implementação do modelo aqui descrito, deve ser um ambiente em que a qualidade seja parte integrante dos valores e da rotina da organização, isto é, um ambiente em que o comportamento organizacional seja realmente condicionado pelo pensamento em qualidade.

Um reparo deve ser feito ao custo de aprendizagem. Como toda e qualquer estratégia que envolve diversas componentes e áreas, a aplicação do modelo exige um certo tempo para que seja dominado e aplicado adequadamente. As dificuldades iniciais encontradas não devem ser traduzidas como fracasso ou serem atribuídas a uma suposta ineficiência do sistema.

Uma observação importante refere-se à função dos alertas. Eles apenas indicam que é necessário intervir no processo para mantê-lo no estado desejado. É necessário, acima de tudo, conhecimento, tanto para se interpretar os écrans e perceber os avisos, quanto para identificar o que deve ser ajustado no processo. Por outras palavras, para que o sistema de controlo seja efectivo é fundamental conhecimento. A base de conhecimento existente no modelo permite responder a este requisito, necessitando de ser alimentada para tornar o sistema dinâmico e evolutivo.

Os resultados da aplicação do modelo na empresa em estudo são globalmente satisfatórios, permitindo reduzir as taxas de recuperação, eliminando mão-de-obra nas células produtivas de acabamentos. Do ponto de vista quantitativo, a sua aplicação, permitiu obter uma diminuição na taxa de peças recuperadas na ordem dos 7-8%, valor considerado significativo face aos valores obtidos até à introdução do modelo, o qual se situava em cerca de 30%. É de salientar que os bons resultados obtidos se devem, não só à utilização do sistema, mas também a todo o processo de formação e acompanhamento das pessoas.

## **6.2 Limitações do trabalho**

Uma limitação deste trabalho diz respeito à classificação dos defeitos que, sendo manual, é sujeita a erros dos operadores. De facto, para o mesmo defeito, a classificação pode ser distinta, dependendo da aptidão e formação do operador. Se globalmente isso não introduz erros, do ponto de vista de análise e identificação dos problemas, isso já pode significar falsas

pistas. Procurou-se minimizar esta questão, através de treino específico dos operadores, quer ao nível da identificação dos defeitos quer ao nível da utilização das ajudas visuais existentes no écran de registo de defeitos.

Mais grave do que a classificação errada, é a não classificação. De facto, ao se deixar nas mãos dos operadores o registo manual e intensivo das peças recuperadas e rejeitadas, existe sempre o risco de pura e simplesmente o mesmo não ser introduzido no sistema, conduzindo, neste caso, a taxas inferiores às reais.

A solução para estas limitações passará pela classificação automática dos defeitos. Não sendo à partida uma tarefa fácil, as técnicas de inteligência artificial estudadas no ponto 2.4 poderão dar um contributo importante na prossecução deste objectivo.

### **6.3 Dificuldades encontradas**

A maior dificuldade encontrada verificou-se na impossibilidade de retirar dados referentes à produção directamente dos equipamentos. Apesar dos esforços desenvolvidos, as políticas da empresa em causa impediram sempre o acesso directo a essa informação. As razões apontadas dizem respeito ao facto de se tratarem de equipamentos altamente críticos para o negócio, sendo rejeitadas internacionalmente pela divisão técnica, quaisquer ligações não standardizadas a estes equipamentos. Este facto afectou a forma como os alertas tiveram de ser calculados. Não sendo possível ir buscar em tempo real os valores da produção, os mesmo foram estimados, como se viu no ponto “4.1.2.1 Geração de Alarmes”, com base no número de moldes e no ciclo da linha de produção em causa. O valor assim calculado provou ser um bom estimador, tornando os alarmes numa das funcionalidades mais úteis do sistema.

### **6.4 Sugestões para trabalhos futuros**

Como referido no ponto “1.3 Metodologia”, com esta dissertação, fecha-se o primeiro ciclo da metodologia de trabalho seguida, prevendo iniciar-se novo ciclo com a continuação em trabalho de doutoramento.

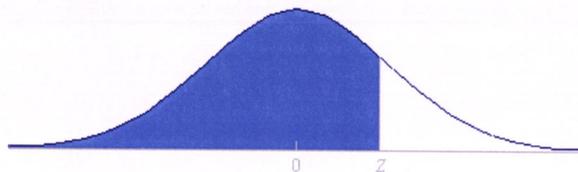
As pistas agora lançadas, permitem identificar os seguintes pontos a desenvolver no futuro:

- Validação do modelo noutras realidades industriais;
- Utilização de técnicas de inteligência artificial referidas no ponto 2.4 para a classificação automática dos defeitos.



# Anexo I - Distribuição Normal

$$\phi(Z) = \int_{-\infty}^Z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du$$



Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0,50000	0,50399	0,50798	0,51197	0,51595	0,51994	0,52392	0,52790	0,53188	0,53586
0.1	0,53983	0,54380	0,54776	0,55172	0,55567	0,55962	0,56356	0,56749	0,57142	0,57535
0.2	0,57926	0,58317	0,58706	0,59095	0,59483	0,59871	0,60257	0,60642	0,61026	0,61409
0.3	0,61791	0,62172	0,62552	0,62930	0,63307	0,63683	0,64058	0,64431	0,64803	0,65173
0.4	0,65542	0,65910	0,66276	0,66640	0,67003	0,67364	0,67724	0,68082	0,68439	0,68793
0.5	0,69146	0,69497	0,69847	0,70194	0,70540	0,70884	0,71226	0,71566	0,71904	0,72240
0.6	0,72575	0,72907	0,73237	0,73565	0,73891	0,74215	0,74537	0,74857	0,75175	0,75490
0.7	0,75804	0,76115	0,76424	0,76730	0,77035	0,77337	0,77637	0,77935	0,78230	0,78524
0.8	0,78814	0,79103	0,79389	0,79673	0,79955	0,80234	0,80511	0,80785	0,81057	0,81327
0.9	0,81594	0,81859	0,82121	0,82381	0,82639	0,82894	0,83147	0,83398	0,83646	0,83891
1.0	0,84134	0,84375	0,84614	0,84849	0,85083	0,85314	0,85543	0,85769	0,85993	0,86214
1.1	0,86433	0,86650	0,86864	0,87076	0,87286	0,87493	0,87698	0,87900	0,88100	0,88298
1.2	0,88493	0,88686	0,88877	0,89065	0,89251	0,89435	0,89617	0,89796	0,89973	0,90147
1.3	0,90320	0,90490	0,90658	0,90824	0,90988	0,91149	0,91308	0,91466	0,91621	0,91774
1.4	0,91924	0,92073	0,92220	0,92364	0,92507	0,92647	0,92785	0,92922	0,93056	0,93189
1.5	0,93319	0,93448	0,93574	0,93699	0,93822	0,93943	0,94062	0,94179	0,94295	0,94408
1.6	0,94520	0,94630	0,94738	0,94845	0,94950	0,95053	0,95154	0,95254	0,95352	0,95449
1.7	0,95543	0,95637	0,95728	0,95818	0,95907	0,95994	0,96080	0,96164	0,96246	0,96327
1.8	0,96407	0,96485	0,96562	0,96638	0,96712	0,96784	0,96856	0,96926	0,96995	0,97062
1.9	0,97128	0,97193	0,97257	0,97320	0,97381	0,97441	0,97500	0,97558	0,97615	0,97670
2.0	0,97725	0,97778	0,97831	0,97882	0,97932	0,97982	0,98030	0,98077	0,98124	0,98169
2.1	0,98214	0,98257	0,98300	0,98341	0,98382	0,98422	0,98461	0,98500	0,98537	0,98574
2.2	0,98610	0,98645	0,98679	0,98713	0,98745	0,98778	0,98809	0,98840	0,98870	0,98899
2.3	0,98928	0,98956	0,98983	0,99010	0,99036	0,99061	0,99086	0,99111	0,99134	0,99158
2.4	0,99180	0,99202	0,99224	0,99245	0,99266	0,99286	0,99305	0,99324	0,99343	0,99361
2.5	0,99379	0,99396	0,99413	0,99430	0,99446	0,99461	0,99477	0,99492	0,99506	0,99520
2.6	0,99534	0,99547	0,99560	0,99573	0,99585	0,99598	0,99609	0,99621	0,99632	0,99643
2.7	0,99653	0,99664	0,99674	0,99683	0,99693	0,99702	0,99711	0,99720	0,99728	0,99736
2.8	0,99744	0,99752	0,99760	0,99767	0,99774	0,99781	0,99788	0,99795	0,99801	0,99807
2.9	0,99813	0,99819	0,99825	0,99831	0,99836	0,99841	0,99846	0,99851	0,99856	0,99861
3.0	0,99865	0,99869	0,99874	0,99878	0,99882	0,99886	0,99889	0,99893	0,99896	0,99900
3.1	0,99903	0,99906	0,99910	0,99913	0,99916	0,99918	0,99921	0,99924	0,99926	0,99929
3.2	0,99931	0,99934	0,99936	0,99938	0,99940	0,99942	0,99944	0,99946	0,99948	0,99950
3.3	0,99952	0,99953	0,99955	0,99957	0,99958	0,99960	0,99961	0,99962	0,99964	0,99965
3.4	0,99966	0,99968	0,99969	0,99970	0,99971	0,99972	0,99973	0,99974	0,99975	0,99976
3.5	0,99977	0,99978	0,99978	0,99979	0,99980	0,99981	0,99981	0,99982	0,99983	0,99983
3.6	0,99984	0,99985	0,99985	0,99986	0,99986	0,99987	0,99987	0,99988	0,99988	0,99989
3.7	0,99989	0,99990	0,99990	0,99990	0,99991	0,99991	0,99992	0,99992	0,99992	0,99992
3.8	0,99993	0,99993	0,99993	0,99994	0,99994	0,99994	0,99994	0,99995	0,99995	0,99995
3.9	0,99995	0,99995	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99997	0,99997
4.0	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998



## Anexo II - Factores para a construção de cartas de controlo de variáveis

Observações na amostra, $n$	Cartas de médias			Cartas de desvios padrões						Cartas de amplitudes						
	Factores para os limites de controlo			Factores para a linha central		Factores para os limites de controlo				Factores para a linha central		Factores para os limites de controlo				
	$A$	$A_2$	$A_3$	$C_4$	$1/C_4$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$d_2$	$1/d_2$	$d_3$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	12.533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	11.284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.575
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	10.854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	10.638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.115
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	10.510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	10.423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	10.363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	10.317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	10.281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	10.252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	10.229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	10.210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	10.194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	10.180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	10.168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	10.157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	10.148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	10.140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	10.133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	10.126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	10.119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	10.114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	10.109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	10.105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

Para valores de  $n > 25$

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} \quad c_4 \approx \frac{4(n-1)}{4n-3}$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}} \quad B_4 = 1 + \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}}$$

$$B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}} \quad B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$$



## **Referências Bibliográficas**

---

- AMARAL,L.** (1994) *PRAXIS: Um Referencial para o Planejamento de Sistemas de Informação*. Tese de Doutorado. Universidade do Minho, Braga
- AMARAL,L. e VARAJÃO,J.** (2000) *Planeamento de Sistemas de Informação*. FCA - Editora de Informática, Lda., Lisboa
- BARRETO,J.** (1997) *Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI*. Editora da UFSC, Florianópolis
- BITTENCOURT,G.** (2001) *Inteligência Artificial: Ferramentas e Teorias*. Editora da UFSC, Florianópolis
- CARUSO,D.** (1998) "Get a Backbone". *Intelligent Enterprise*, Vol. Dec., pp. 18-20
- CHACON REINOSO,G.** (1989) *An Expert Fuzzy Advisor for the Statistical Control of Manufacturing*. University of Texas at Arlington, Arlington
- CHANG,S. e AW,C.** (1996) "A neural fuzzy control chart for detecting and classifying process mean shifts". *International Journal of Production Research*, Vol. 34, Nº 8, pp. 2265-2278
- CHARNIAK,E. e MCDERMOTT,D.** (1985) *Introduction to Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts
- CHEN,F.** (1991) "A Personal Computer Based Expert System Framework for the Design of Experiments". *Computers in Industrial Engineering*, Vol. 21, 1-4, pp. 197-200
- CHENG,C.** (1997) "A Neural Network Approach for the Analysis of Control Chart Patterns". *International Journal of Production Research*, Vol. 35, Nº 3, pp. 667-697
- CHENG,C. e HUBELE,N.** (1992) "Design of a Knowledge-based Expert System for Statistical Process Control". *Computers in Industrial Engineering*, Vol. 22, Nº 4, pp. 501-517
- CHUANG,P.** (1992) *An Expert Multivariate Statistical Control System for Manufacturing Processes (Control Systems)*. University of Texas at Arlington, Arlington
- COURTOIS,A., PILLET,M., e MARTIN,C.** (1991) *Gestão da Produção*. LIDEL - Edições Técnicas, Lda, Lisboa
- CROSBY,P.** (1967) *Cutting the Cost of Quality*. Industrial Education Institute
- CROSBY,P.** (1979) *Quality is Free*. McGraw-Hill, New York
- DAGLI,C. e STACEY,R.** (1988) "A Prototype Expert System for Selecting Control Charts". *International Journal of Production Research*, Vol. 26

- DALE,B.** (1994) *Managing Quality*. 2ª Ed., Prentice Hall International (UK) Limited, Reino Unido
- DAVENPORT,T.** (1998) "Putting the Enterprise into the Enterprise System". *Harvard Business Review*, Vol. July/Aug, pp. 121-131
- DELLARETTI,O. e DRUMOND,F.** (1994) *Ítems de Controle e Avaliação de Processos*. Fundação Christiano Ottoni, Belo Horizonte
- DEMING,E.** (1986) *Out of the Crisis*. MIT – Centre for Advanced Engineering Study, Cambridge
- DICK,B.** (2000) *A beginner's guide to action research*. [On line] Disponível em <http://www.scu.edu.au/schools/gcm/ar/arp/guide.html>, Acedido em 20-11-2003
- DRUCKER,P.** (1998) "The Coming of the New Organization". *Harvard Business Review*, pp. 45-53
- DUNCAN,A.** (1986) *Quality control and Industrial Statistics, 5th ed.* Irwin, Illinois
- DURKIN,J.** (1994) *Expert Systems Design and Development*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey
- FEIGENBAUM,A.** (1983) *Total Quality Control*. McGraw-Hill, New York
- GOLDBERG,D.** (1989) *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley
- GUO,Y. e DOOLEY,K.** (1992) "Identification of Change Structure in Statistical Process Control". *International Journal of Production Research*, Vol. 30, Nº 7, pp. 1655-1669
- HANSEN,B.** (1963) *Quality Control Theory and Application*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- HO,S. e FUNG,C.** (1994) "Developing a TQM Excellence Model". *The TQM Magazine*, Vol. 6, Nº 6, MCB University Press
- HWARNG,H.** (1995) "Multilayer Perceptrons for Detecting Cyclic Data on Control Charts". *International Journal of Production Research*, Vol. 33, Nº 11, pp. 3101-3117
- HWARNG,H. e CHONG,C.** (1995) "Detecting Process Non-Randomness through a Fast and Cumulative Learning ART – based Pattern Recognizer". *International Journal of Production Research*, Vol. Vol. 33, Nº 7, pp. 1817-1833
- ISHIKAWA,K.** (1984) *Quality Control Circles at Work*. JUSE
- JOCOUP,P. e LUCAS,F.** (1992) *No Coração da Mudança: A Qualidade Total como Projecto de Gestão*. Edições CETOP, Portugal

**JURAN,J.** (1992) *Juran on Quality by Design: The New Steps for Planning Quality into Goods and Services*. The Free Press, New York

**JURAN,J. e GRZYNA,F.** (1991) *Controle da qualidade handbook: conceitos, políticas e filosofia da qualidade*. McGraw-Hill e Makron Books do Brasil

**KOEHLER,C.** (1998) *Uma Abordagem Probabilística para Sistemas Especialistas*. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação, Editora UFSC, Florianópolis

**LAUNDON,K. e LAUDON,J.** (2002) *Management Information Systems: Managing the Digital Firm - Seventh edition*. Prentice-Hall

**MCKINSEY** (1994) "Excellence In Automotive Supplier Quality Management". *The Economist Intelligence Unit (1997) - The Automotive Industry at the Turn of The Century, The Economist Intelligence Unit*

**MONTGOMERY,D.** (2001) *Introduction Statistical Quality Control, Fourth Edition*. John Wiley & Sons, New York

**PETRIE,C.** (1992) "The Model/Apllication Link. Workgroup 1 Report - ICEIMT Workshop II". *Proceeding of the First International Conference on Enterprise Integration Modeling, The MIT Press, Cambridge*, pp. 42-46

**PHAM,D. e OZTEMEL,E.** (1994) "Control Chart Pattern Recognition Using Learning Vector Quantization Networks". *International Journal of Production Research*, Vol. 32, N° 3, pp. 721-729

**PORTER,M.** (1985) *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. The Free Press, New York. (New Edition, 1998)

**RABUSKE,R.** (1995) *Inteligência Artificial*. Editora da UFSC, Florianópolis

**ROYCE,W.** (1970) "Managing the Development of Large Software Systems". *Proceedings of IEEE WESCON*, pp. 1-9

**ROZENFELD,H.** (2005) *Reflexões sobre a Manufatura Integrada por Computador. Manufatura de Classe Mundial: mitos & realidades.*, São Paulo

**RUSSEL,S. e NORVIG,P.** (1995) *Artificial Intelligence: a Modern Approach*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey

**SMITH,A.** (1994) "X-bar and R Control Chart Interpretation Using Neural Computing". *International Journal of Production Research*, Vol. 32, N° 2, pp. 309-320

**SOUSA,P.** (2000) *Agentes Inteligentes em Sistemas Holônicos de Produção*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga

**VELOSO,F., HENDRY,C., ROTH,R., e CLARK,J.** (2000) *Global Strategies for the Development of the Portuguese Autoparts Industry*. IAPMEI, Lisboa

**VERNADAT,F.** (1996) *Enterprise Modeling and Integration: principles and applications*. Chapman & Hall, London

**VIOT,G.** (1993) "Fuzzy Logic in C". *Dr.Dobb's Journal*, Vol. February

**WANG,J. e RAZ,T.** (1990) "On the construction of control charts using linguistic variables". *International Journal of Production Research*, Vol. 28, Nº 3, pp. 477-487

**WARD,J.** (1995) *Principles of Information Systems Management*. Routledge, London

**WERKEMA,M.** (1995) *As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos*. Fundação Christiano Ottoni, Belo Horizonte

**WESTERN ELECTRIC COMPANY** (1956) *Statistical Quality Control Handbook*. Mack Printing Company, Easton, PA

**WOMACK,J. e JONES,D.** (1996) *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth In Your Corporation*. Simon & Schuster Australia, Sidney

**ZORRINHO,C.** (1991) *Gestão da Informação*. Editorial Presença