

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**IMPLANTAÇÃO DE UM MES (SISTEMA DE EXECUÇÃO DE MANUFATURA) EM  
UM AMBIENTE DE MANUFATURA ENXUTA - UM ESTUDO DE CASO EM UMA  
LINHA DE MONTAGEM DE PRODUTOS DA LINHA BRANCA**

**Dissertação submetida à**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**para a obtenção do grau de**

**MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**RODRIGO DE MATTOS BERTI**

**Florianópolis, novembro de 2010**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**IMPLANTAÇÃO DE UM MES (SISTEMA DE EXECUÇÃO DE MANUFATURA) EM  
UM AMBIENTE DE MANUFATURA ENXUTA - UM ESTUDO DE CASO EM UMA  
LINHA DE MONTAGEM DE PRODUTOS DA LINHA BRANCA**

**RODRIGO DE MATTOS BERTI**

**Esta tese ou dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de**

**MESTRE EM ENGENHARIA  
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA**

\_\_\_\_\_  
**Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D. - Orientador**

\_\_\_\_\_  
**Eduardo Alberto Fancello, D.Sc. – Coordenador do Curso**

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_  
**Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D. – Presidente**

\_\_\_\_\_  
**Dálvio Ferrari Tubino, Dr**

\_\_\_\_\_  
**Vera Lucia Duarte do Valle Pereira, Dr**

## Sumário

<b>Sumário .....</b>	<b>iii</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>vi</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>viii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>ix</b>
<b>Definições.....</b>	<b>x</b>
<b>Capítulo 1: Introdução.....</b>	<b>12</b>
1.1: Objetivo geral.....	13
1.1.1: Objetivos Específicos .....	13
1.2: Contribuições .....	14
1.3: Método de Trabalho .....	14
1.4: Estrutura da Dissertação .....	15
<b>Capítulo 2: MES e Manufatura Enxuta .....</b>	<b>16</b>
2.1: MES.....	16
2.1.1: O modelo MES.....	17
2.1.2: Principais fornecedores de soluções MES .....	23
2.1.3: ERP .....	24
2.1.4: O nível da produção.....	26
2.1.5: Os tipos de produção.....	28
2.1.6: Integração entre MES e ERP.....	29
2.2: Manufatura Enxuta.....	34
2.2.1: Os 5 Passos da Manufatura Enxuta .....	38
2.2.2: As ferramentas.....	40
2.3: Manufatura Enxuta e MES.....	52
2.3.1: Manufatura Enxuta e a norma ISA 95 .....	53
2.3.2: MES e a redução de desperdícios .....	54
2.4: Próximo Capítulo .....	57
<b>Capítulo 3: Apresentação do cenário e descrição do campo de trabalho.....</b>	<b>58</b>
3.1: Apresentação da empresa.....	58
3.1.1: A unidade fabril.....	58
3.1.2: A Manufatura Enxuta na empresa .....	58

3.2: Linha de montagem .....	59
3.2.1: Linha de montagem de refrigeradores .....	59
3.3: Situação anterior na empresa considerada .....	63
3.3.1: Gestão das linhas de montagem .....	64
3.3.2: Entrada e saída de produtos nas linhas de montagem.....	65
3.3.3: Produtos sem peças e reprocessados.....	67
3.3.4: Expedição .....	68
3.3.5: Sistema de gerenciamento de Qualidade .....	69
3.4: Próximo capítulo .....	70
<b>Capítulo 4: O desenvolvimento da Solução MES.....</b>	<b>71</b>
4.1: Desenvolvimento do sistema .....	71
4.1.1: Fluxograma de desenvolvimento da solução .....	73
4.1.2: Especificação dos equipamentos .....	76
4.1.3: Instalação dos equipamentos.....	76
4.2: Descrição do sistema .....	77
4.2.1: Leitura do código de barras.....	79
4.2.2: Contingências .....	81
4.2.3: Intertravamento.....	81
4.2.4: Procedimentos excepcionais .....	82
4.2.5: O Supervisório.....	84
4.2.6: Indicadores de Qualidade.....	91
4.3: Replicação da Solução .....	92
4.3.1: Como replicar a solução MES para outros tipos de linhas de montagem?.....	93
4.4: Contribuição Científica.....	93
4.5: Próximo Capítulo .....	93
<b>Capítulo 5: A utilização do MES na empresa .....</b>	<b>94</b>
5.1: A implantação da solução da fábrica.....	94
5.1.1: A central de monitoramento.....	94
5.1.2: A gestão da produção.....	96
5.1.3: Semanas Kaizen.....	104
5.1.4: Informações disponíveis nas linhas de montagem .....	105
5.2: Documentação e padronização.....	107
5.3: O modelo MESA.....	107
5.4: Próximo capítulo .....	108

<b>Capítulo 6: Conclusões e Recomendações .....</b>	<b>109</b>
6.1: Oportunidades de aperfeiçoamento .....	111
<b>Capítulo 7: Referências Bibliográficas .....</b>	<b>112</b>

## Lista de Figuras

Figura 2-1: Funcionalidades do MES.....	18
Figura 2-2: Camadas da empresa.....	22
Figura 2-3: Funcionalidades do ERP .....	25
Figura 2-4: Hierarquia da Empresa.....	26
Figura 2-5: Horizonte de tempo nas operações da empresa.....	30
Figura 2-6: MES para cada tipo de manufatura.....	31
Figura 2-7: Integração vertical na empresa .....	32
Figura 2-8: Conteúdo da interface entre ERP e MES .....	33
Figura 2-9: Os oito desperdícios .....	36
Figura 2-10: A casa do Sistema Toyota de Produção .....	38
Figura 2-11: Exemplo de MFV do estado atual.....	41
Figura 2-12: Exemplo de MFV do estado futuro.....	42
Figura 2-13: Os 5 Sentidos.....	43
Figura 2-14: Padronização da melhoria.....	44
Figura 3-1: Linha de montagem de refrigeração.....	60
Figura 3-2: Contador mecânico .....	64
Figura 3-3: Entrada e saída de produtos nas linhas de montagem.....	66
Figura 3-4: Linhas de Montagem e Expedição.....	68
Figura 3-5: Identificação única presente em cada produto.....	69
Figura 3-6: Pistola de leitura de código de barras.....	70
Figura 4-1: Estrutura da Engenharia de Processos de Manufatura.....	72
Figura 4-2: Fluxograma de desenvolvimento da solução.....	75
Figura 4-3: Arquitetura da solução MES para linhas de montagem.....	77
Figura 4-4: Leitor fixo de código de barras.....	79
Figura 4-5: Fluxo de informação do sistema MES para linhas de montagem.....	79
Figura 4-6: Tela de LCD do coletor.....	80
Figura 4-7: Posicionamento dos códigos de barra: A) posicionamento padrão; B) posicionamento de produto sem peça; C) posicionamento de produto sem peça.....	83
Figura 4-8: Indicadores hora a hora de uma linha de montagem.....	85

Figura 4-9: Programação das linhas via sistema ERP.....	87
Figura 4-10: Tela de justificação de desvios .....	88
Figura 4-11: Tela de Consulta de desvios de produção .....	89
Figura 4-12: Gráfico de desvios de produção.....	89
Figura 4-13: Tela de gestão da produção .....	90
Figura 4-14: Tela de Informações Detalhadas.....	91
Figura 4-15: Relatórios de defeitos de produtos.....	92
Figura 5-1: Monitoramento de produção via MES para linhas de montagem.....	95
Figura 5-2: Identificação das entradas e saídas de produtos nas linhas de montagem .....	98
Figura 5-3: Relatório de Localização e Situação de Produtos.....	99
Figura 5-5: Tela de rastreabilidade de produtos .....	101
Figura 5-6: Lote estimado X PAs com defeito .....	102
Figura 5-7: Tela de Informações Detalhadas com destaque para IQL e FPY .....	103
Figura 5-8: Produtividade das linhas de montagem.....	105
Figura 5-9: Tela de gestão visual (esquerda).....	106
Figura 5-10: Tela de gestão visual (direita).....	107
Figura 5-11: Arquitetura da MESA e o que foi atendido pelo Sistema MES para linhas de montagem (marcado com símbolos em verde) .....	108

## Resumo

Os princípios e as práticas das organizações *Lean* são reconhecidas no mundo inteiro como a maneira mais eficaz de construir e sustentar a melhoria contínua das empresas, tendo em vista que o mercado global tem exigido das empresas uma eficácia maior e sempre crescente em tudo o que fazem. Melhorar a produtividade, reduzir custos e oferecer produtos de qualidade são fatores vitais para toda e qualquer empresa do mundo. Como a produção em massa está obsoleta no alcance destes objetivos foi necessária uma melhor forma de organizar e gerenciar os relacionamentos com clientes, cadeia de fornecedores, desenvolvimento de produtos e operações de produção, uma abordagem na qual a Toyota foi pioneira após a segunda Guerra Mundial. Essa abordagem é chamada de Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*), e trata-se de uma forma de fazer cada vez mais com cada vez menos. Para alcançar os resultados esperados de produtividade e qualidade desejados com a implantação de um Sistema Enxuto de Produção é essencial a existência de um sistema que meça os indicadores do chão de fábrica, tais como OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), tempos de ciclo das máquinas, índice de manutenção, tempos de troca, índice de refugo, produtividade de linhas de montagem, etc e que o mesmo seja a comprovação das melhorias alcançadas e retro-alimente as novas melhorias. Os sistemas que fornecem informações em tempo-real do chão de fábrica são chamados de MES (*Manufacturing Execution System*). Eles já são amplamente utilizados em fábricas de produção contínua, como indústrias químicas, alimentícias, energéticas, etc, porém, quando falamos de indústrias de produção discreta, especialmente linhas de montagem, os MES são pouco desenvolvidos e pouco utilizados. Neste trabalho foi especificado e implementado um sistema MES em linhas de montagem de refrigeradores, voltado à redução de desperdícios utilizando conceitos da Manufatura enxuta. Dentre os ganhos resultantes da implementação do sistema MES, o principal foi o aumento da produtividade. Outros ganhos foram a rastreabilidade de produtos, a confiabilidade dos dados gerados e a adoção do MES como sistema oficial de gestão de linhas de montagem. Trabalhos de melhoria, como projetos de metodologia 6-sigma, passaram a utilizar o MES como fonte de dados e comprovação de ganhos.

**Palavras-chave:** Manufacturing Execution System, Manufatura Enxuta, Linha de Montagem

## **Abstract**

The principles and practices of Lean organizations are recognized worldwide as the most effective way to build and sustain continuous improvement of companies, considering that the global market has demanded greater and growing efficiency of enterprises in everything they do. Improve productivity, reduce costs and provide quality products are vital factors for any company in the world. As mass production is outdated in reaching these goals, it was necessary a better way to organize and manage customer relationships, supply chain, product development and production operations, an approach in which Toyota has pioneered after the World War II. This approach is called Lean Manufacturing and this is one way of doing more with less. To achieve the expected results of productivity and quality desired by the implementation of a Lean Production System is essential to the existence of a system to measure the key performance indicators of the shop floor, such as OEE (Overall Equipment Effectiveness), cycle times of machines, maintenance index, changeover times, scrap rate, productivity of assembly lines, etc. and that it is proof of the improvements achieved and back-feed the new improvements. The systems which provide real-time shop floor information are called MES (Manufacturing Execution System). They are already widely used in continuous production plants, such as chemical, food, energy, etc. However, when we speak of discrete manufacturing industries, especially assembly lines, the MES are underdeveloped and underutilized. In this research was specified and implemented a MES system in assembly lines of refrigerators, aimed at reducing waste by using concepts of Lean Manufacturing. Among the gains resulting from the implementation of the MES system, the principal was the increase in productivity. Other gains were the traceability of products, the reliability of data generated and the adoption of MES as the official system of management of assembly lines. Improvement projects, such as 6-Sigma methodology began to use the MES as a data source and proof of earnings.

**Key Words: Manufacturing Execution System, Lean Manufacturing, Assembly Line**

## Lista de siglas

**APS:** Advanced Planning and Scheduling, categoria de sistemas de programação avançada que utilizam algoritmos sofisticados para otimizar planos de produção, suprimentos e transportes. Se integram aos ERPs para obter parte das informações necessárias para a programação.

**BOM:** Bill of materials, é uma das informações fundamentais da manufatura, pois nela registram-se as informações de produtos utilizadas por todos os setores e processos envolvidos com a manufatura do produto.

**BOP:** Bill of process, são as informações de processo necessárias para se produzir um produto.

**ERP:** Enterprise Resource Planning (Planejamento de Recurso do Empreendimento)

**FIT:** Folha de Instrução de Trabalho

**FPY:** First Pass Yield

**IQL:** Índice de Qualidade de Linha

**Job-shop:** tipo de processo onde é produzido um elevado número de artigos diferentes, normalmente em pequenas quantidades e frequentemente de acordo com determinadas especificações do cliente.

**LAP:** Laboratório de Análise de Produtos

**LCD:** do inglês liquid crystal display, ou tela de cristal líquido

**Make-to-order:** fabricar contra pedido ou manufatura sob encomenda.

**MES:** Manufacturing Execution System (Sistema de Execução de Manufatura)

**MOD:** Mão-de-obra Direta

**MRP:** Material Requirements Planning (Planejamento das Necessidades de Materiais) calcula quanto material de determinado tipo é necessário e em que momento

**OEE:** Overall Equipment Effectiveness (Eficiência Global de Equipamentos)

**PA:** Produto acabado

**PCPM:** Planejamento e Controle da Produção e Materiais

**SKU:** Stock Keeping Unit, ou unidade de manutenção de armazenamento. São os diferentes produtos fabricados, cada um identificado por um código diferente, sendo que qualquer diferença de cor, tamanho, tensão, potencia representa um SKU diferente.

**6-Sigma:** é um conjunto de práticas, baseados em métodos estatísticos, para melhorar sistematicamente os processos a eliminar defeitos.

**TA:** Tecnologia de Automação

**TI:** Tecnologia de Informação

**UGB:** Unidade Gerencial Básica

## Capítulo 1: Introdução

O mercado global tem exigido das empresas uma eficiência maior e sempre crescente em tudo o que fazem. Melhorar a produtividade, reduzir custos e oferecer produtos de qualidade são fatores vitais para toda e qualquer empresa do mundo. Quem decide o preço do produto é o consumidor, e para isto as empresas de manufatura devem se desdobrar para entregar o que o consumidor deseja, no preço que ele deseja, e no tempo que ele deseja. Nem sempre isto é possível, e a empresa algumas vezes tem que trabalhar com a presença de prejuízos. Um produto não será produzido da forma economicamente mais eficiente a menos que os recursos corretos estejam disponíveis na quantidade adequada, no lugar certo, na hora certa e com os custos certos ao longo de todo o processo produtivo.

O aumento da necessidade de produtos acabados em grandes quantidades levou os cientistas e os engenheiros a criar e desenvolver novos métodos de manufatura, entre os quais merece destaque a Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*), que consiste em um sistema alternativo de produção de bens e serviços. A Manufatura Enxuta alcançou muito sucesso na indústria automobilística, tornando-se uma referência para toda a indústria mundial.

Com a crescente valorização do Real frente às moedas mais importantes do mercado, como o Dólar norte-americano, o Euro e a Libra Esterlina, juntamente com a alta carga tributária brasileira e o alto custo trabalhista no Brasil, nosso país está deixando de ser um país de mão-de-obra barata. Portanto, o diferencial do Brasil frente aos países desenvolvidos, que era o baixo custo da mão-de-obra, está deixando de ser realidade, e para continuar competindo com os maiores mercados, o Brasil deve investir em ganhos de produtividade.

Inserido neste contexto, este trabalho de mestrado tem como foco a redução de custo e o aumento de produtividade e qualidade. Na manufatura enxuta os resultados obtidos geralmente implicam em um aumento da capacidade de oferecer os produtos que os clientes querem, no momento que eles querem, nos preços que eles estão dispostos a pagar, com custos menores, qualidade superior, *lead times* curtos, garantindo-se assim uma maior rentabilidade ao negócio. Para alcançar os resultados esperados de produtividade e qualidade desejados com a implantação de um Sistema Enxuto de Produção, é essencial a existência de um sistema com informações atualizadas em tempo real, que meça os indicadores do chão de fábrica, tais como OEE (*Overall Equipment Effectiveness* – Eficácia Global de

Equipamentos), tempos de ciclo das máquinas, índice de manutenção, tempos de setup, índice de refugo, produtividade de linhas de montagem, entre outros. Os sistemas que são capazes de fazer tudo isso são chamados de *Manufacturing Execution System* (MES - Sistemas de Execução de Manufatura), que correspondem a sistemas informatizados que efetuam a gestão da produção em fábricas, preenchendo assim a lacuna existente entre os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) e os sistemas específicos do chão de fábrica.

Sistemas de Execução de Manufatura (MES) e a Manufatura Enxuta se tornaram temas muito conhecidos no meio industrial nos últimos anos. O presente trabalho visa contribuir no desenvolvimento de uma solução MES visando a redução de desperdícios tendo como base conceitos da Manufatura Enxuta.

Segundo MacClellan (1997), a ideia de sistemas de execução de manufatura não é nova. O esforço coordenado entre planejamento e equipamentos de fábrica sempre fizeram parte da manufatura. Com o MES, tem-se a oportunidade de proporcionar uma estrutura que fornece entregas consistentes de informações coordenadas que estão em curso e disponíveis quando necessárias. Segundo Meyer (2009), os sistemas MES se tornaram a ferramenta estratégica central para implementar os requisitos da fábrica do futuro.

## **1.1: Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho consiste em especificar e desenvolver, em conjunto com um fornecedor, e implantar um MES (*Manufacturing Execution System*) voltado à redução dos desperdícios, utilizando conceitos da Manufatura Enxuta. Após o desenvolvimento do sistema, será elaborada uma sistemática de utilização da solução MES para linhas de montagem de produtos de linha branca.

### **1.1.1: Objetivos Específicos**

- Desenvolver um sistema que calcule um índice equivalente ao OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) para linhas de montagem.
- Criar um método de integração entre Manufatura Enxuta e MES,
- Reduzir desperdícios em uma fábrica de refrigeradores através da utilização do MES

## 1.2: Contribuições

O presente trabalho busca contribuir tanto para a área empresarial como para a área acadêmica. No aspecto empresarial, o trabalho realizado contribui para tornar a empresa mais estável, tendo em vista os resultados operacionais, uma vez que, após a aplicação da proposta, os dados disponibilizados pelo chão de fábrica terão uma base de dados única com dados confiáveis, além de ganhos obtidos na redução de tempo de ciclo, na redução do tempo gasto para o registro manual de dados, na redução dos tempos de espera, no aumento da produtividade dos empregados e na redução dos gastos administrativos. No aspecto acadêmico, este trabalho tem um caráter de inovação, por propor e mostrar que uma empresa que tem a Manufatura Enxuta como filosofia de produção pode ser auxiliada por ferramentas de tecnologia da automação como o MES. Além disso, esta dissertação aborda um tópico que é pouco desenvolvido, que corresponde a um MES aplicado a indústrias de produção discreta, especialmente linhas de montagem.

## 1.3: Método de Trabalho

A Manufatura Enxuta, que apesar de ser um tema relativamente recente na indústria ocidental, já se tornou um tema consolidado tanto no meio acadêmico quanto no meio empresarial. Entretanto, sua adoção em conjunto com MES é um tema pouco abordado nos dois meios acima citados.

Como a empresa onde esta pesquisa foi desenvolvida estava utilizando ferramentas da Manufatura Enxuta e também possuía um sistema MES nas áreas de fabricação de peças plásticas e metálicas, buscou-se desenvolver um trabalho de pesquisa combinando-se Manufatura Enxuta e MES.

Como atividade inicial, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre os seguintes temas:

- Manufatura Enxuta, com foco na metodologia de implantação e nas ferramentas disponíveis,
- *Manufacturing Execution System* (MES), incluindo suas funcionalidades, arquitetura de sistema, normas existentes, e integração com a Manufatura Enxuta,
- Linhas de montagem e células de produção.

Em seguida, uma equipe de trabalho foi criada para implantar um sistema MES nas linhas de montagem da unidade de refrigeradores da empresa. O processo de pesquisa e implantação do sistema envolveu observação, planejamento, diagnóstico, ação e reflexão, num ciclo permanente. Esta dissertação de mestrado foi escrita após o término do trabalho em campo, o qual foi desenvolvido para linhas de montagem de refrigeradores.

#### **1.4: Estrutura da Dissertação**

O texto desta dissertação está estruturado em 7 capítulos, os quais são os seguintes:

Capítulo 1: **Introdução:** são apresentados em linhas gerais os assuntos abordados, o contexto e o escopo da pesquisa, além dos objetivos gerais e específicos.

Capítulo 2: **MES e Manufatura Enxuta:** Revisão bibliográfica dos trabalhos realizados em temas relacionados à pesquisa desenvolvida, com referências a MES e Manufatura Enxuta.

Capítulo 3: **Apresentação do cenário e descrição do campo de trabalho:** Apresenta a empresa onde o trabalho foi realizado, descrevendo uma linha de montagem de refrigeradores e os indicadores utilizados.

Capítulo 4: **Desenvolvimento da solução MES:** Descreve o desenvolvimento da solução MES para a empresa, apresentando-se com detalhes o sistema implantando.

Capítulo 5: **Utilização do MES na empresa:** Mostra a implantação da solução MES na empresa e descreve o método de utilização da solução nas linhas de montagem.

Capítulo 6: **Conclusões e Recomendações:** Apresenta as considerações finais do trabalho, e sugere oportunidades de aperfeiçoamento e aprofundamento da linha de pesquisa considerada nesta dissertação.

Capítulo 7: **Referências Bibliográficas:** Apresenta as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

## Capítulo 2: MES e Manufatura Enxuta

### 2.1: MES

*Manufacturing Execution System*, ou Sistema de Execução de Manufatura (MES), é um sistema integrado e informatizado, *on-line*, que reúne todos os métodos e instrumentos necessários a realizar a produção (MacClellan, 1997). Eles surgiram para preencher a lacuna existente entre os sistemas de planejamento de manufatura (ERP, MRP, MRPII etc.) e os sistemas de controle e equipamentos de chão-de-fábrica. Ele é um sistema de controle para gerenciamento e monitoramento de estoque em processo em um chão-de-fábrica. Um MES mantém registro de todas as informações de produção em tempo real, recebendo dados atualizados de máquinas, robôs e empregados.

Os sistemas ERP não são apropriados para o controle do dia a dia de um chão-de-fábrica, e por esse motivo surgiu na década de 1990 um novo tipo de software para a indústria denominado MES (Byoung, 2002). Segundo MacClellan (1997), um MES corresponde a um conjunto de sistemas informatizados que auxiliam os gerentes de produção a executar o plano da manufatura.

Antes da existência do MES, as informações de gerenciamento de produção chegavam em inúmeras folhas de papel impresso, ou em várias planilhas eletrônicas alimentadas por dados coletados manualmente no chão-de-fábrica. Esse excesso de informação desconhecida por muitas vezes não era considerada confiável, pois os dados eram normalmente desatualizados, volumosos e difíceis de assimilar. Além disso, parte da informação gerada era necessária somente a outros departamentos da empresa que não o chão-de-fábrica.

O MES é geralmente um sistema específico para cada tipo de sistema de manufatura, correspondendo à fronteira entre os planos provisórios e a realização dos mesmos. O MES é responsável pela programação detalhada de atividades em um sistema de produção, o lançamento das ordens, a resposta a eventos aleatórios, as adaptações dos planos e o acompanhamento das atividades (BLANC, 2008).

Segundo uma pesquisa conduzida pela MESA International (*Manufacturing Execution Systems Association*) (MESA, 1997) e realizada em empresas que utilizam o MES, os ganhos gerados pela utilização de MES são:

- redução de tempo de ciclo
- redução ou eliminação do tempo de entrada dos dados
- redução do *work-in-process* (WIP – estoque em processo)
- redução ou eliminação da papelada entre turnos de trabalho
- redução de *lead-time* (tempo de atravessamento)
- melhoria da qualidade do produto
- melhor capacitação das pessoas do chão-de-fábrica
- melhoria no planejamento de processo
- melhoria nos serviços aos consumidores

## **O modelo MES**

Ao longo dos anos, diferentes instituições se preocuparam em definir o MES. Duas instituições se tornaram as mais relevantes na definição do modelo MES, que foram a MESA e a ISA.

### **2.1.1: MESA**

A Manufacturing Enterprise Solutions Association (MESA) foi a primeira instituição a dedicar-se ao tema MES. Ela é uma organização mundial sem fins lucrativos que reúne empresas de manufatura, fornecedores de tecnologia da informação, empresas de sistemas integradores, empresas de consultoria, analistas, acadêmicos e estudantes. O objetivo da organização é buscar melhorias nos processos produtivos mediante a otimização de aplicações existentes ou através de sistemas de informação inovadores.

#### **2.1.1.1: O modelo MES da MESA**

Segundo a MESA, para um apoio eficaz à gestão da produção são necessárias 11 funcionalidades em um MES, que são ilustradas na figura 2-1 e descritas brevemente logo após a figura.

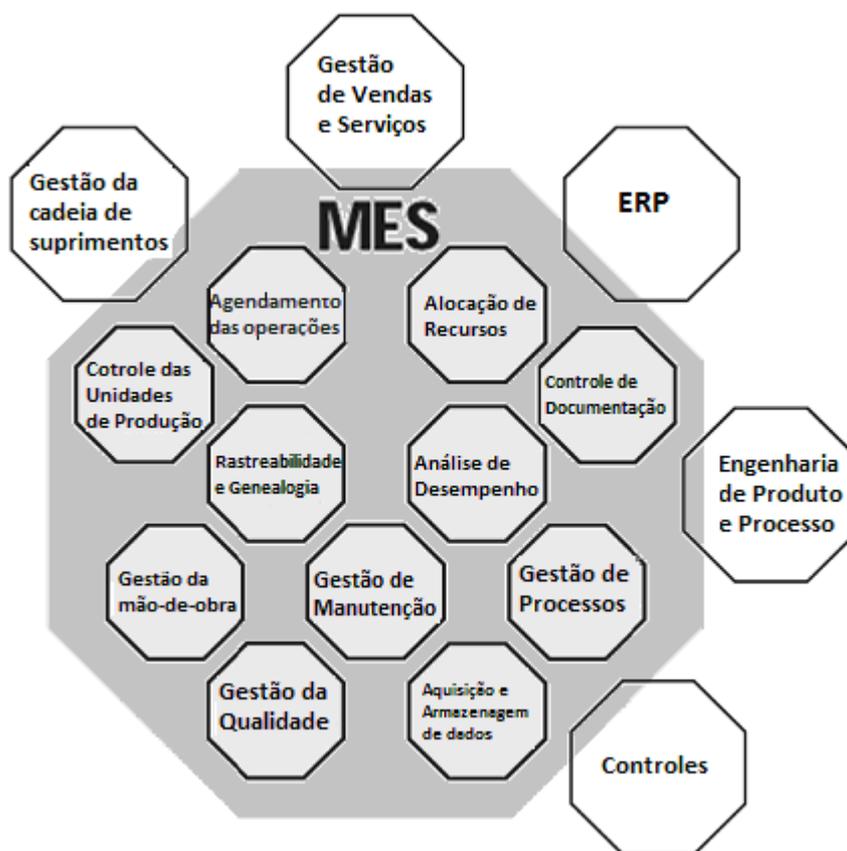


Figura 2-1: Funcionalidades do MES

Fonte: MESA (1997)

### 1) Alocação de Recursos

É o gerenciamento de recursos como máquinas, equipamentos, matéria-prima e documentação necessária para realizar as operações.

A alocação de recursos é o elo entre o plano gerado pelo sistema de planejamento da produção e os recursos de fabricação. Os planos são detalhados levando-se em conta a disponibilidade de recursos produtivos, sua capacidade, tempos e custos de produção.

Detalhes deste item: Controle da taxa de utilização dos equipamentos (horas); controle das paradas de máquina (frequência e motivo); cadastro do lead-time das operações de preparação (setups); cadastro do *lead time* dos processos.

## 2) Programação de Operações

Através da definição de prioridades, atributos e características, a programação de operações permite que seja feito o cálculo do tempo necessário para uma determinada operação, permitindo visualizar sobreposições ou otimizações.

## 3) Controle das unidades de produção

Gerencia o fluxo nas unidades de produção por meio do controle de trabalhos, ordens, agrupamentos, lotes, entre outros.

Detalhes associados ao controle das unidades de produção: Instruções de trabalho detalhadas por posto de trabalho; controle dos processos; acompanhamento do cumprimento do plano mestre; monitoramento das etapas dos processos; status da ordem.

## 4) Controle de documentação

Gerencia a documentação necessária em uma unidade de produção, como instruções, desenhos, procedimentos operacionais, entre outros.

Detalhes associados ao controle de documentação: Cadastro dos documentos; edição de documentos; hipertexto; procedimentos operacionais; normas técnicas.

## 5) Aquisição e armazenagem de dados

Interface que permite a visualização dos dados referentes à produção, que podem ser coletados manualmente ou automaticamente nas unidades de produção.

Detalhes relativos à aquisição e armazenagem de dados: Coleta de dados de hora/dia de entrada/saída de ordens de produção das máquinas; coleta de dados de hora/dia de ocorrência de refugos por máquina/ordem/produto; coleta de dados de dia/hora de paradas de equipamentos com motivo.

## 6) Gestão de mão-de-obra

Fornece a situação, qualificação dos trabalhadores, assim como as atividades que cada trabalhador pode executar.

## 7) Gestão da qualidade

Fornece uma análise em tempo real de medições coletadas para garantir qualidade na produção e identificar problemas.

Detalhes referentes à gestão da qualidade: Cadastro das especificações dos produtos; cadastro da capacidade das máquinas; cadastro dos parâmetros de controle dos processos; procedimentos de inspeção; histórico da qualidade no recebimento; ferramentas estatísticas (Pareto, Controle Estatístico de Processos - CEP, Regressão, Correlação, ANOVA - Análise de Variância); monitoração dos problemas de qualidade; rastreabilidade; método de análise e solução de problemas.

## 8) Gestão de processos

Monitora a produção e pode corrigir automaticamente um problema ou auxiliar o operador na decisão de correção. Esta função está disponível somente às máquinas e equipamentos que estejam sendo monitorados.

Detalhes associados à gestão de processos: Monitoração da eficiência dos processos; gerenciamento das filas; gerenciamento dos gargalos; *lead time* dos processos; estatística dos processos.

## 9) Gestão de Manutenção

Determina manutenções preventivas, assim como guarda histórico de manutenções corretivas e preventivas para posterior análise e auxílio no diagnóstico de problemas.

Detalhes referentes à gestão da manutenção: Plano de manutenção preventiva; cadastro dos principais defeitos com soluções para recuperação; estatística dos defeitos (diagrama de Pareto); gerenciamento de materiais de manutenção; gerenciamento da documentação da manutenção corretiva; cadastro de dados históricos de máquinas, equipamentos e ferramentas; monitoração do desempenho da manutenção; registros de manutenções corretivas; manutenção preditiva; análise de riscos; análise de confiabilidade; emissão da ordem de serviço; gerenciamento de recursos: cadastro de máquinas, instalações, espaço para estoque, equipamentos; ferramentas, pessoal, materiais em elaboração, insumos e matérias primas; capacidade dos recursos; dados históricos de desempenho de recursos; controle de acidentes; acompanhamento da vida útil de recursos; relação de desempenho ferramenta X equipamento; gerenciamento de ferramenta; cadastro do fluxo dos produtos nos recursos (seqüência de máquinas e materiais componentes); monitoração da eficiência dos recursos.

#### 10) Rastreabilidade e genealogia

Permite visualizar a localização de um produto, assim como quem está trabalhando nele, materiais utilizados, lote, número de série e situação da produção, armazenando estes dados.

#### 11) Análise de desempenho

Fornecer relatórios atualizados da produção, comparados aos resultados obtidos anteriormente e ao desempenho esperado.

### **2.1.1.2: ISA**

A *Instrumentation, Systems and Automation Society* (ISA) foi fundada em 1945, e tem como objeto a elaboração de normas e diretrizes para processos de automação industrial, além da organização de conferências e feiras de automação industrial. Vários trabalhos de diferentes organizações foram baseados em conceitos estabelecidos pela ISA. A ISA atualmente possui mais de 30 mil membros em mais de 100 países.

#### **2.1.1.2.1: O modelo MES da ISA**

Na produção, diferentes esferas de informação se desenvolveram ao longo dos anos com diferentes propósitos e mentalidades. Por exemplo, os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) têm foco econômico, enquanto o MES possui foco na produção.

A produção requer dados em tempo real enquanto o gerenciamento requer dados de médio e longo prazo, porém ambos necessitam das mesmas informações para o planejamento da produção, avaliação do desempenho e capacidade da produção etc.

Foi pensando nisso que a ISA criou a norma ISA S95, que além de tratar do assunto MES, ela define um modelo de integração entre os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) de gestão empresarial com a automação do chão-de-fábrica.

A norma ISA S95 divide a empresa em três camadas (figura 2-2):

- Gestão empresarial (ERP) ou nível 4
- Gestão da produção (MES) ou nível 3
- Produção ou níveis 0, 1 e 2

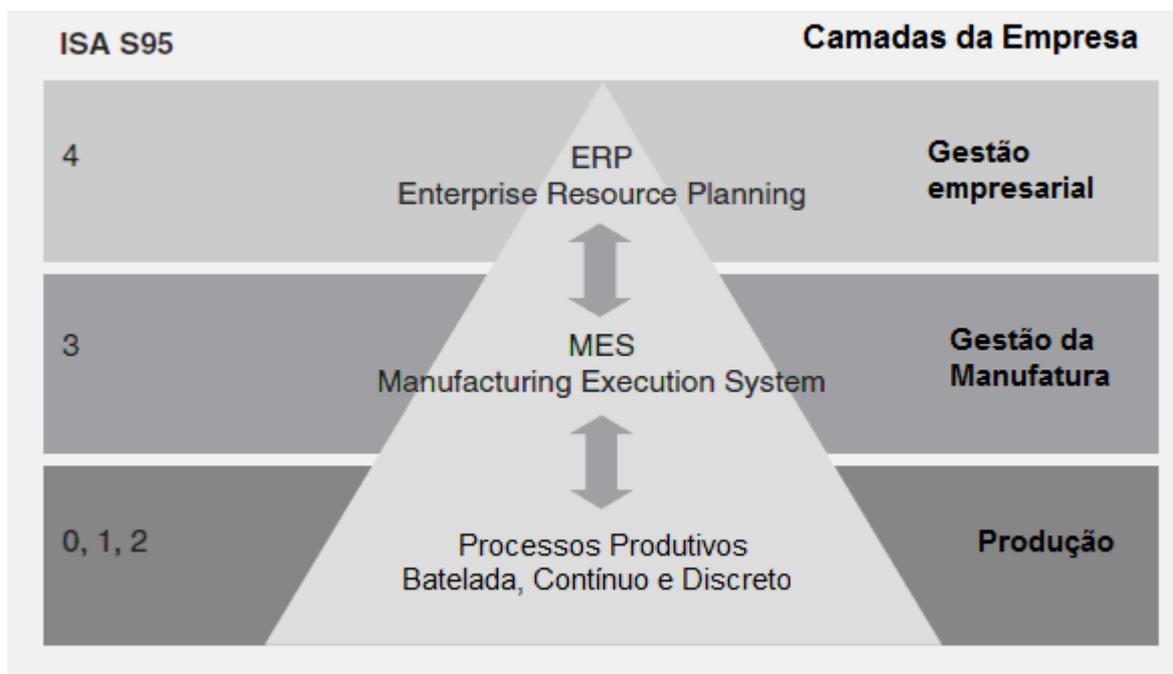


Figura 2-2: Camadas da empresa

Fonte: Meyer (2009)

Segundo a norma ISA S95, a camada de gestão da produção (MES) deve possuir as seguintes funcionalidades:

- Avaliação de dados relevantes para a produção, incluindo os custos reais da produção
- Gestão e manutenção de dados relacionados à produção, estoque, matéria-prima, peças de reposição e energia. Além disso, efetua-se a gestão dos dados relativos aos funcionários, tais como pontualidade, planejamento de recursos humanos, qualificação dos funcionários, calendário de feriados etc.
- Criação e otimização de um índice de paradas ou perdas de cada divisão ou departamento, incluindo qualquer tipo de manutenção possível, tempos de transporte e tudo que for relevante à produção.
- Reserva de recursos importantes às ordens de produção (instalações, pessoal, material etc.). Quaisquer alterações, como, por exemplo, uma quebra de máquina, deve ser registrada imediatamente para que os planos possam ser alterados, se necessário. Os dados deverão ser arquivados. Pelo sistema, as ordens de produção são transmitidas

aos recursos disponíveis. Elas são redistribuídas automaticamente no caso de qualquer interrupção.

- Funções gerais de monitoramento (gerenciamento de alarmes, acompanhamento, rastreabilidade etc.).
- Funções para a gestão da qualidade.

A norma ISA S95 oferece ao leitor muita margem para interpretação e muitas áreas são descritas insuficientemente (MEYER, 2009).

### 2.1.2: Principais fornecedores de soluções MES

Existem vários fornecedores de soluções MES, porém todas estas soluções foram desenvolvidas para serem utilizadas na indústria de processos contínuos. Na tabela 2-1 são apresentados os principais fabricantes de soluções MES.

Fornecedor	Produto
ABB	KM
Aspen Technology	AspenOne
GE Automation	Proficy
Honeywell	BusinessFlex
Invensys	WonderWare P&PM
Matrikon	Mine to Port
OSI	RtPM
Rockwell Automation	Propack
Siemens	Simatic IT
Yokogawa	Yokogawa MIPP

Tabela 2-1: Fornecedores e Soluções MES

Fonte: dados do pesquisador

Como o presente trabalho foi realizado em uma indústria de produção em massa de produtos discretos, com os produtos montados em linhas de montagem, nenhuma das soluções antes mencionadas pôde ser utilizada.

### **2.1.3: ERP**

*Enterprise Resource Planning* (ERP), ou Planejamento de Recursos do Empreendimento, é um software de gestão empresarial que abrange módulos nas áreas de planejamento, manufatura, vendas, distribuição, financeira, contabilidade, gestão de projetos, gestão de recursos humanos, gestão de estoque, manutenção etc.

Segundo Byuong (2002), o ERP é um sistema de processamento de informações integrado que dá suporte a vários processos de uma empresa, tais como finanças, distribuição, recursos humanos e manufatura.

A Sociedade Americana de Controle de Estoque e Produção (APICS, 2001) definiu ERP da seguinte forma: um método eficaz para o planejamento e controle de todos os recursos necessários para receber, elaborar, despachar e contabilizar os pedidos dos clientes em uma empresa de manufatura, distribuição ou serviço.

ERP são sistemas informatizados projetados para processar as transações de uma organização e facilitar o planejamento integrado e de tempo real, a produção e a interface com o cliente.

ERP é possivelmente o desenvolvimento mais significativo derivado do MRP. Atualmente, ele é usado por muitos tipos diferentes de empresas, integrando as atividades de planejamento, vendas e marketing, finanças e recursos humanos (figura 2-3) (SLACK, 2002).

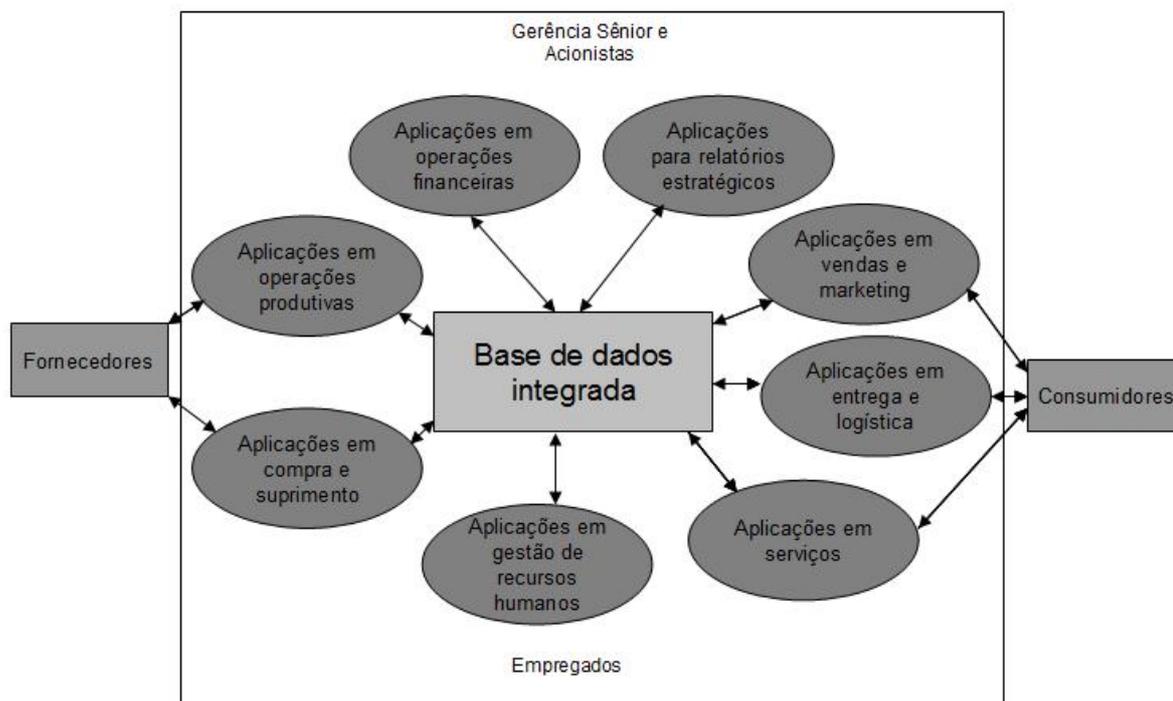


Figura 2-3: Funcionalidades do ERP

Fonte: Slack (2002)

### 2.1.3.1: O modelo ISA para ERP

Segundo a norma ISA S95, a camada de gestão empresarial (ERP) deve possuir as seguintes funcionalidades:

- Gestão de matéria-prima e de peças de reposição. Fornecimento de dados para a compra de matéria-prima e de peças de reposição.
- Gestão dos recursos energéticos.
- Gestão de manutenção, mediante o fornecimento de dados necessários à realização de manutenção preventiva e preditiva.
- Gestão de recursos humanos.
- Gestão de estoque.
- Otimização de estoque, fornecimento de energia, estoque de peças de reposição e estoque da produção.

### 2.1.4: O nível da produção

Uma empresa de manufatura é comumente organizada seguindo a hierarquia mostrada na figura 2-4, onde combinações dos níveis inferiores formam os níveis superiores. Uma descrição dos elementos desta figura é feita nos próximos subitens.

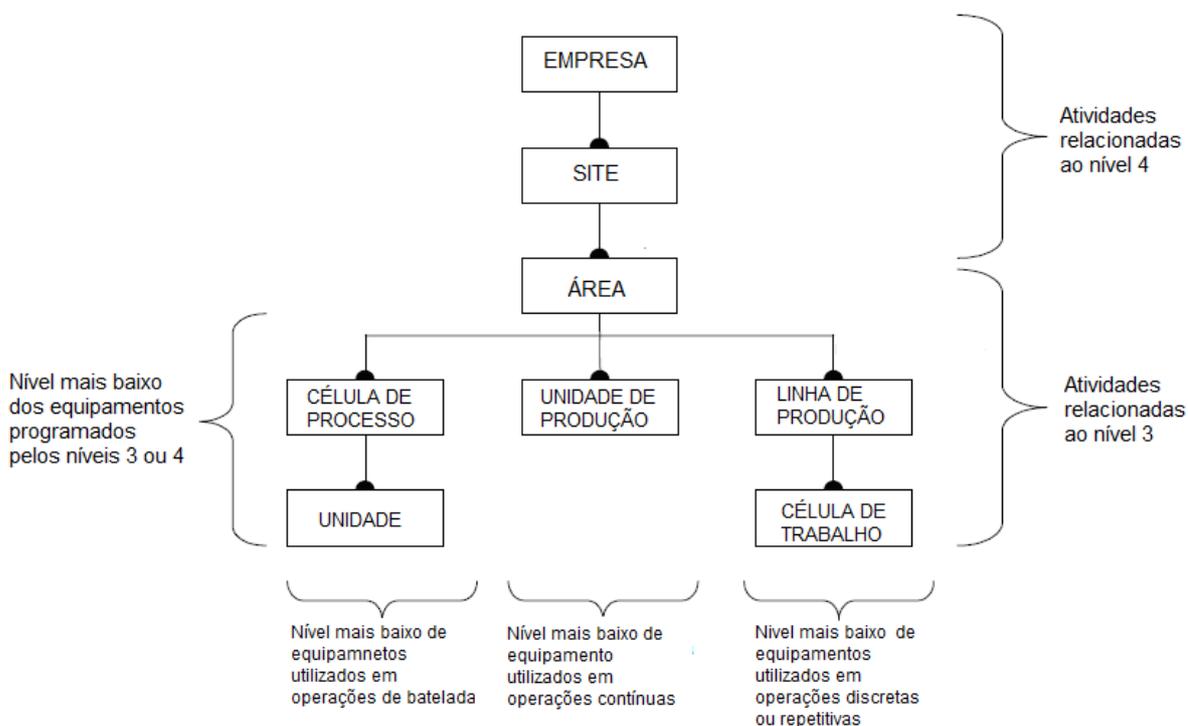


Figura 2-4: Hierarquia da Empresa

Fonte: Norma ANSI/ISA-95.00.01-2000 (2000)

#### 2.1.4.1: Empresa

Uma empresa reúne um ou mais *sites* e áreas. A empresa é responsável por determinar de que forma os produtos serão fabricados, em quais sites serão fabricados e que tipo de produtos serão fabricados. As funções do nível de gestão empresarial geralmente têm relação com os níveis da empresa e do *site*. No entanto, o planejamento da empresa e a programação da produção, que são funções do nível de gestão empresarial, podem envolver as áreas, as células, as linhas ou as unidades dentro de uma área.

#### 2.1.4.2: Site

*Site* é um agrupamento geográfico, físico ou lógico determinado pela empresa. O *site* contém áreas, linhas de produção, células de produção, unidades produtivas e possui capacidade e

competência bem definida. Exemplos de nomes de sites são: General Motors do Brasil; Unidade de Fabricação de Motores ou Gerdau; Unidade de Corte e Dobra de Aço. O planejamento do site e a programação envolvem células, linhas e unidades dentro das áreas. No *site*, as funções do nível 4 estão relacionadas com a gestão do *site* e otimização dos recursos.

#### **2.1.4.3: Área**

Uma área é um agrupamento físico, lógico ou geográfico determinado pelo *site*. É composto por células de produção, unidades produtivas e linhas de produção. A identificação do site normalmente é dada pela localização geográfica e pelo principal produto produzido, como por exemplo: Área de Usinagem de Eixos ou Área de Injetoras da Fábrica III. Assim como os sites, as áreas possuem capacidades, competências e habilidades bem definidas e são utilizadas para o planejamento e para a programação nos níveis de gestão da produção (nível 3) e de gestão empresarial (nível 4). Uma área é composta por elementos dos níveis inferiores que realizam as funções de manufatura, sendo que eles podem ser de 3 tipos: contínuo, discreto (repetitivo e não repetitivo) e batelada. Uma área pode ser uma combinação dos 3 tipos elementos de manufatura, dependendo dos requisitos dos produtos. As funções do nível 4 podem chegar até o nível da área ou ir até níveis mais baixos dependendo da estratégia de planejamento e programação escolhida.

#### **2.1.4.4: Unidade de produção**

Em processos contínuos de manufatura as unidades de produção são o nível mais baixo de equipamentos programados pelos níveis 4 e 3. As unidades de produção são compostas de sensores, atuadores e módulos de equipamentos, e geralmente engloba todos os equipamentos requeridos para que um segmento da produção contínua opere de maneira autônoma, onde uma ou mais matérias-primas são convertidas, separadas ou reagidas de modo a produzir um produto final ou intermediário. A unidade de produção é geralmente batizada com o nome do processo ou do produto, como por exemplo uma Unidade de Remoção de Sulfato ou um Módulo de Injeção Química. A capacidade de produção de uma unidade de produção é bem definida e utilizada em funções do nível 3.

#### **2.1.4.5: Linha de produção e célula de trabalho**

Linhas de produção e células de trabalho são os níveis mais baixos de equipamentos programados pelos níveis 4 ou 3 em processos discretos de manufatura. Linhas de produção e células de trabalho têm capacidades de produção bem definidas, as quais são utilizadas em funções no nível 3 e eventualmente no nível 4, onde são utilizadas como entrada da programação, mesmo que essas não sejam programadas pelo nível 4. O nome dado às linhas de produção tem relação com o nome do produto ou do processo, como por exemplo, uma Linha de Montagem de Refrigeradores ou uma Linha de Montagem de Compressores Herméticos. Células de trabalho só são consideradas quando existe uma flexibilidade no fluxo de trabalho dentro de uma linha de produção.

#### **2.1.4.6: Célula de processo e unidade**

Células de processo ou unidades são o nível mais baixo de equipamentos programados pelos níveis 4 e 3 em processos de manufatura por batelada. Unidades só são consideradas quando existe uma flexibilidade no fluxo de trabalho dentro de uma linha de produção. A célula de processo é geralmente batizada com o nome do processo ou do produto, como por exemplo uma Linha de Detergentes Biodegradáveis. Assim como nas unidades de produção e nas linhas de produção, as células de processo também têm suas capacidades bem definidas e esses dados são utilizados principalmente em funções do nível 3 e eventualmente em funções do nível 4.

#### **2.1.5: Os tipos de produção**

Um processo é uma seqüência de atividades físicas, químicas ou biológicas para a conversão, transporte ou armazenamento de energia (ISA, 2000). Os processos de manufatura industrial podem ser classificados em contínuo, manufatura de peças discretas ou batelada. A classificação do processo depende se a saída do processo aparece em um fluxo contínuo, em quantidades de peças finitas (manufatura de produtos discretos) ou em quantidades finitas de material (batelada).

A divisão da empresa em 3 camadas feita pela ISA serve para todos os tipos de produção, ou seja, a camada da produção pode ser do tipo contínuo, batelada ou discreta.

### **2.1.5.1: Contínuo**

Muitas vezes os produtos são literalmente contínuos, sendo que eles são produzidos em fluxo ininterrupto e os produtos são inseparáveis. Operam em volumes muito grandes, possuem uma variedade muito baixa e operam por períodos de tempo muito longos. Normalmente estão associados a tecnologias relativamente inflexíveis, de capital intensivo com fluxo altamente flexível. Exemplos de processos contínuos são as plataformas de extração de petróleo, as refinarias petroquímicas, as indústrias de siderurgia, as usinas geradoras de energia elétrica e as usinas de minério.

### **2.1.5.2: Batelada**

Na produção em batelada ou lote, a cada ciclo de produção é produzido mais do que uma unidade e as operações se repetem a cada lote ou batelada processados. Processos em batelada não são discretos nem contínuos, entretanto, eles possuem características de ambos. Nos processos em batelada produz-se quantidades finitas de material (batelada), submetendo-se quantidades de matérias-primas a uma seqüência de processos. Como exemplos desse tipo de produção tem-se as fábricas de produtos de limpeza ou uma fábrica de macarrão.

### **2.1.5.3: Produção em massa**

A produção em massa reúne sistemas, máquinas e operadores formando linhas de montagem que normalmente produzem grandes quantidades de um produto discreto com pouca variedade entre eles. São exemplos de produção em massa as fábricas de automóveis e de bens duráveis, como eletrodomésticos e eletroeletrônicos.

## **2.1.6: Integração entre MES e ERP**

Antigamente, a maioria das informações era trocada manualmente entre os níveis de automação e o nível de ERP. A resolução entre a troca de informações entre esses dois níveis chegava a dias. Com o desenvolvimento do MES, que se posicionou entre o nível de produção e o nível de gestão empresarial (ou corporativa), foi criado o nível de gestão da produção.

Sistemas corporativos tendem a trabalhar no longo prazo, com um horizonte de tempo de semanas ou meses. O planejamento da produção em médio prazo lida com semanas ou dias,

enquanto o planejamento detalhado atua no curto prazo, considerando dias e turnos. Decisões tomadas no âmbito da gestão da produção devem ser feitas dentro de um intervalo de tempo que vai do turno de produção até os minutos, enquanto os sistemas de automação, com suas máquinas e sistemas de controle devem reagir dentro de minutos ou até segundos (figura 2-5) (KLETTI, 2007).

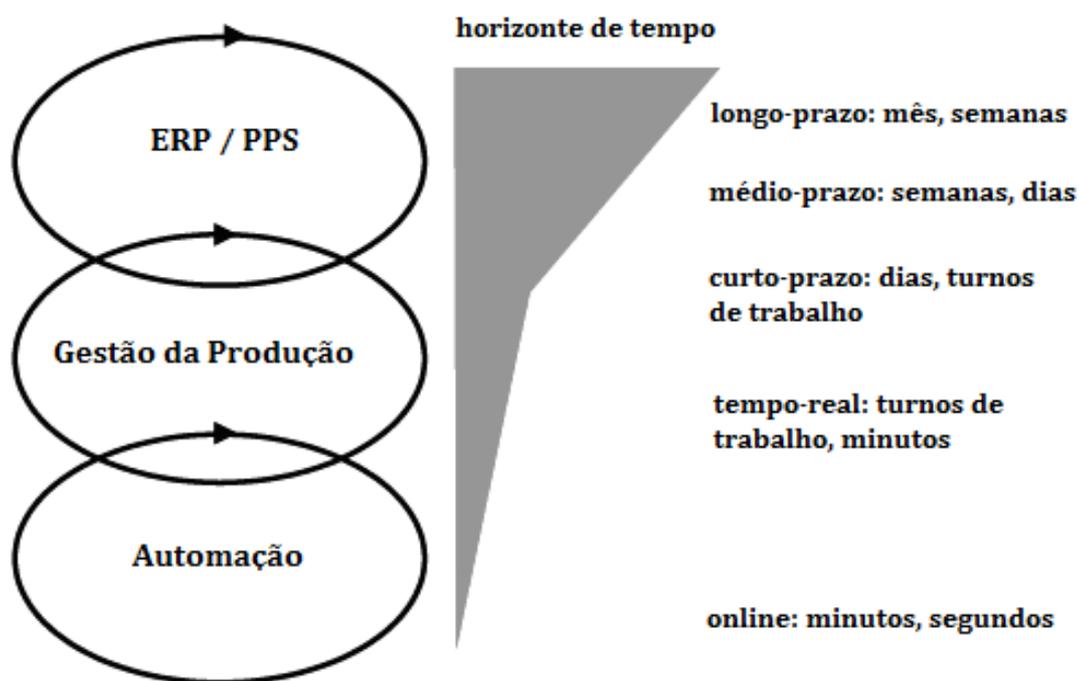


Figura 2-5: Horizonte de tempo nas operações da empresa

Fonte: Kletti (2007)

Diferentes tipos de produção necessitam de diferentes tipos de funcionalidades MES. A figura 2-6 mostra que para cada tipo de produção algumas funcionalidades MES podem ser executadas pelo ERP ou pela automação.

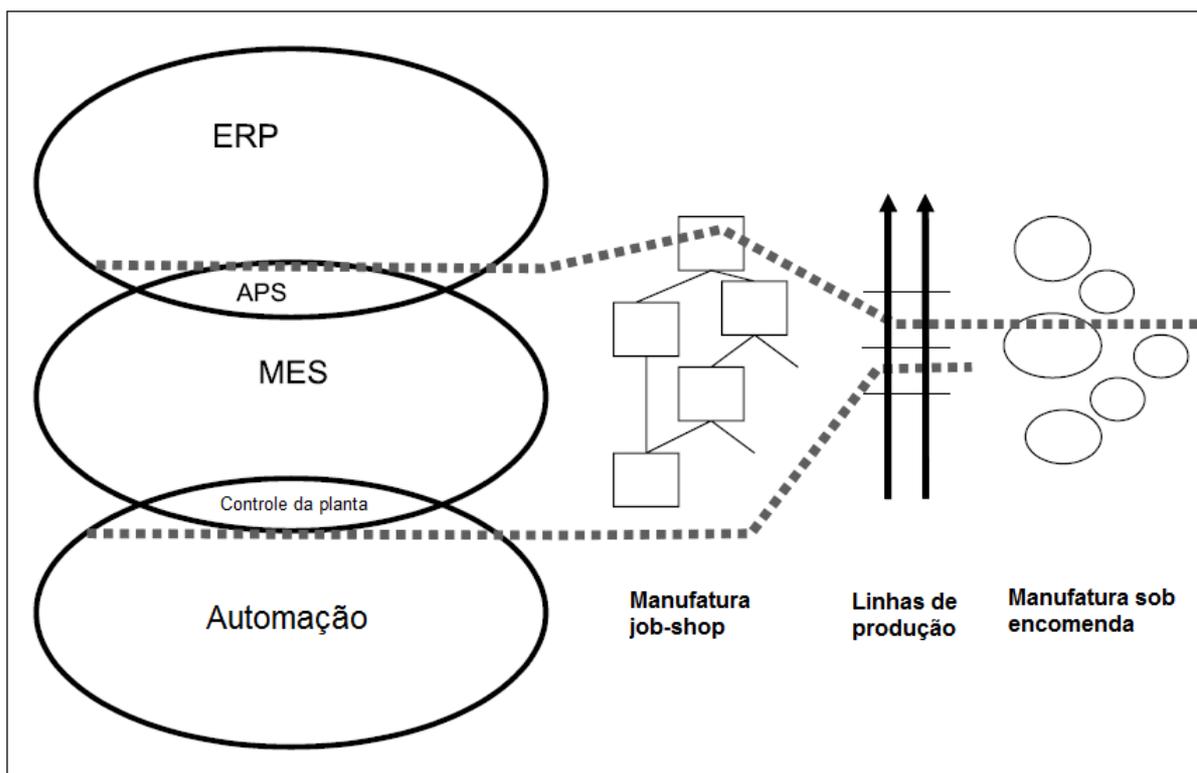


Figura 2-6: MES para cada tipo de manufatura

Fonte: Kletti (2007)

Entre o ERP e o MES encontram-se as funções APS (*Advanced Planning and Scheduling*) que, dependendo do tipo de produção, tende a ficar mais perto do ERP ou do MES. As funcionalidades do APS e do sistema de controle são localizadas em áreas sobrepostas nos três níveis da corporação. O APS é um processo de gerenciamento de produção em que as matérias-primas e a capacidade produtiva são alocadas otimamente para atender à demanda.

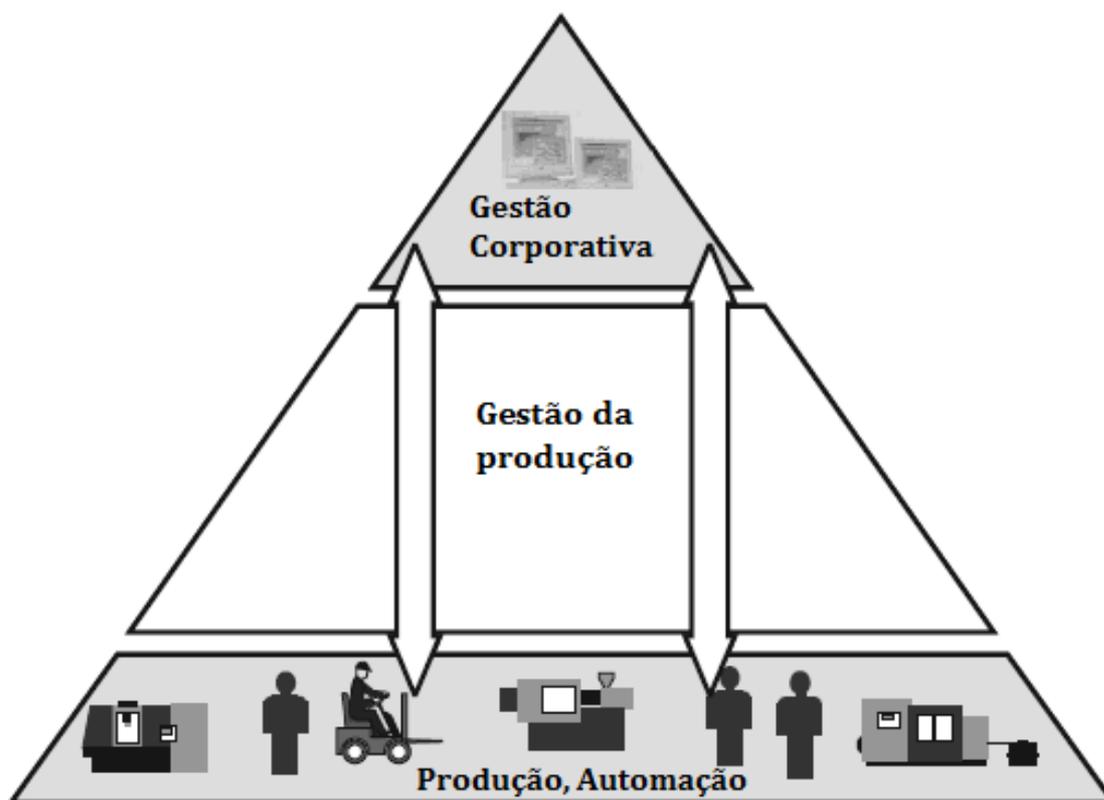
A definição do tipo de produção discreta indica que o processo tem vários graus de liberdade e que dependendo da ordem, a produção pode ser canalizada pelos processos de diferentes formas. Por outro lado, vários graus de liberdade também podem significar tempos longos para transferências, tempos de espera e ineficiência no seqüenciamento das ordens. Neste caso, recomenda-se um planejamento orientado à situação, que permite à gestão da produção reagir rapidamente e de forma adequada a erros, ou seja, o papel do APS seria desenvolvido dentro do MES.

Já quando a produção é feita em linhas de montagem, a maior parte das atividades de curto-prazo são executadas no nível de automação, ou seja, na máquina ou nos sistemas de controle

da planta. Neste tipo de produção o nível de automação é muito desenvolvido. Com isso, a porção do planejamento feito no MES é reduzido a uma apresentação da situação em curto prazo e avaliações relativas a tempos de produção, falhas e qualidade.

Na manufatura sob encomenda, a função do MES é parcialmente limitada ao acompanhamento de produtos de pequenos lotes, à coleta de tempos e ao acompanhamento do projeto dentro da planta de engenharia.

Na estrutura de três níveis, o MES pode atuar como um elemento que permite a comunicação entre a gestão corporativa e a produção, atingindo uma integração vertical de toda a planta. Com o MES, o nível de gestão empresarial (corporativa) pode fornecer à produção informações em tempo real e a produção envia à gestão empresarial informações corretas no tempo correto (figura 2-7). A atenção dada atualmente à integração vertical mostra a importância do papel do MES na arquitetura das empresas (KLETTI, 2007).



**A integração vertical garante que diferentes níveis na empresa sejam supridos com informação de outros níveis no tempo correto**

Figura 2-7: Integração vertical na empresa

Fonte: (Kletti, 2007)

O MES não é um sistema de gestão da produção *standalone* e frequentemente é implementado para proporcionar a troca de informações com o sistema ERP, e conseqüentemente uma interface entre os dois sistemas deve existir. O tipo e a extensão da troca de dados depende dos sistemas instalados na empresa. Na figura 2-8 é mostrado um compartilhamento padrão de informações entre um sistema ERP e um MES.

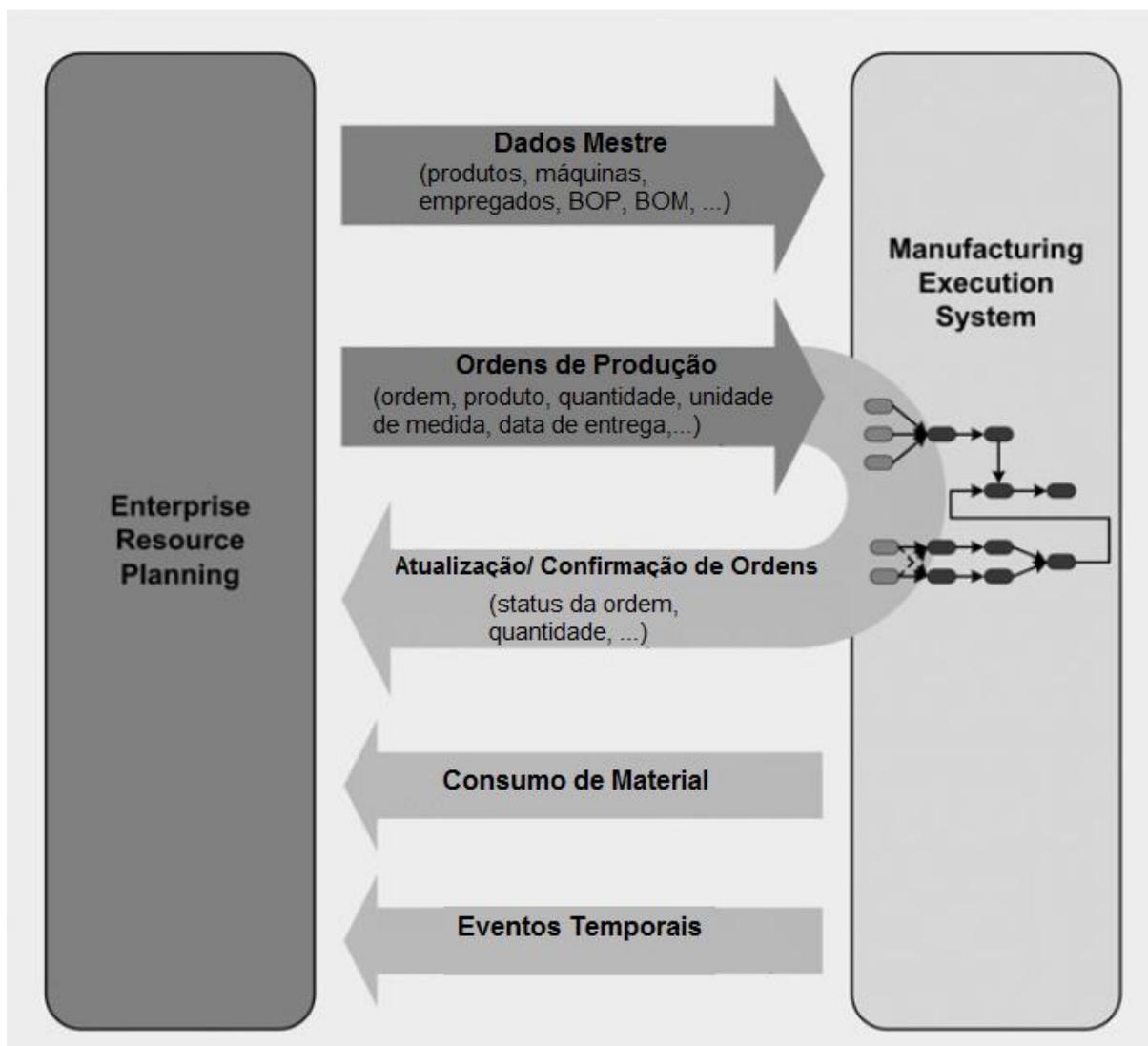


Figura 2-8: Conteúdo da interface entre ERP e MES

Fonte: Meyer (2009)

Atualmente, o MES permite o fluxo de dados entre projeto, processos e sistemas de manufatura. Os sistemas de ERP servem como um motor para a condução das operações e os sistemas de cadeia de suprimentos. (KOÇ, 2005)

## 2.2: Manufatura Enxuta

Em 1988 um grupo de pesquisadores do MIT (Massachusetts Institute of Technology) coordenados por James P. Womack, examinaram várias indústrias automotivas internacionais e observaram um comportamento singular na maior de todas as montadoras de carro japonesas, a Toyota Motor Company. Os pesquisadores compararam a produção em massa, tradicional nas outras indústrias, com o estilo Toyota de produção. Nesta comparação, os pesquisadores concluíram que a Toyota:

- Precisava de menos investimentos para atingir o nível de produção necessária
- Necessitava de menos esforço para projetar e fabricar seus produtos e serviços
- Utilizava poucos fornecedores
- Fabricava produtos com poucos defeitos
- Requeria pouco estoque em cada etapa de produção
- Realizava seus principais processos, como do “conceito ao lançamento”, da “ordem à entrega” e do “problema ao conserto”, com muito menos esforço em muito menos tempo

Womack e sua equipe concluíram que uma empresa com essas características, que usa menos em tudo, seria uma companhia *lean*, ou em português, enxuta.

Pouco depois, o Sistema Toyota de Produção obteve tamanho sucesso na indústria automobilística que se tornou um *benchmarking* na indústria internacional. São inúmeras as terminologias que são usadas para se referir aos princípios, as técnicas e os métodos do Sistema Toyota de Produção:

- Manufatura Enxuta;
- Sistema de Produção Enxuta;
- Just-In-Time;
- Just-In-Time/TQC (Total Quality Control);
- Sistema de Produção Enxuta;
- Kanban.

O Sistema de Produção Enxuta, segundo Womack (1992), une as vantagens da produção artesanal, onde os trabalhadores são altamente qualificados e as ferramentas são flexíveis

para produzir exatamente o que o consumidor deseja, às vantagens da produção em massa, com baixo custo e elevada produtividade. Na tabela 2-2 tem-se uma comparação entre o sistema de produção em massa e o sistema de produção enxuta.

	Produção em massa	Produção enxuta
Negócio	Estratégia centrada no produto. O foco está em explorar a economia de escala de projetos estáveis de produtos e processos não exclusivos.	Estratégia focada no consumidor. Foco na identificação e aproveitamento das mudanças.
Estrutura organizacional	Estruturas hierárquicas ao longo de linhas funcionais. Inibe fluxo de informações vitais que realcem os defeitos, os erros dos operadores, as anormalidades de equipamentos e as deficiências organizacionais.	Nivelado, estruturas flexíveis ao longo dos fluxos de criação de valor. Incentiva a iniciativa de cada funcionário e não inibe o fluxo de informações onde os defeitos, deficiências e anormalidades da cadeia de valor possam ser detectados.
Estrutura operacional	Aplicação de ferramentas ao longo dos postos de trabalho. Trabalhadores seguem ordens e tem poucas habilidades de resolução de problemas.	Aplicação de ferramentas que levam ao trabalho padronizado. Foco na identificação e resolução de problemas.
Volume e Produção	foco no volume de produção	alto volume de produção se existir demanda.
Ferramentas	Máquinas caras e pouco versáteis.	Ferramentas corretamente dimensionadas.
Qualidade	Bom o suficiente.	Busca constante pela perfeição.
Cliente/mercado	Produz uma opção padrão para o mercado.	Produz diversas opções de produtos para escolha.
Funcionário	semi-qualificado em trabalho monótono.	Qualificado e multifuncional.
Custo	Baixo.	Mais baixo ainda.

Tabela 2-2: Comparação entre Produção em Massa e Produção Enxuta

Fonte: Dados do pesquisador, 2010

Este sistema inovador objetivava produzir muitos modelos em pequenas quantidades sem elevar os custos de produção.

A manufatura enxuta foca a remoção do desperdício, que é definido como algo desnecessário, que não agrega valor, para produzir um produto ou serviço. O desperdício, ou *muda*, em japonês, pode ser dividido em 8 tipos:



Figura 2-9: Os oito desperdícios

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

1. **Superprodução:** produção de itens para os quais não há demanda, o que gera perda em excesso de pessoal e de estoque, bem como com custos de transporte devido ao estoque excessivo.
2. **Espera (tempo sem trabalho):** Funcionários que servem apenas para vigiar uma máquina automática ou que ficam esperando pelo próximo passo no processamento, ferramenta, suprimento, peça, etc., ou que simplesmente não têm trabalho para fazer devido à falta de estoque, atrasos de processamento, interrupção do funcionamento de equipamentos e gargalos de capacidade. O desperdício não se resume somente às pessoas, mas também às peças que aguardam o próximo processo.
3. **Transporte ou movimentação desnecessários:** Movimento de estoque em processo por longas distâncias, criação de transporte ineficiente ou movimentação de materiais, peças ou produtos acabados para dentro ou fora do estoque ou entre processos.

4. **Superprocessamento ou processamento incorreto:** Passos desnecessários para processar as peças. Processamento ineficiente devido a uma ferramenta ou projeto de baixa qualidade de produto, causando movimento desnecessário e produzindo defeitos. Geram-se perdas quando se oferecem produtos com qualidade superior à necessária.
5. **Excesso de estoque:** Excesso de matéria-prima, de estoque em processo ou de produtos acabados, causando *lead times* mais longos, obsolescência, produtos danificados, custos de transporte e de armazenagem e atrasos. Além disso, o estoque extra oculta problemas, como o desbalanceamento de produção, entregas atrasadas dos fornecedores, defeitos, equipamentos em manutenção e longo tempo de *setup* (preparação).
6. **Movimento desnecessário:** Qualquer movimento inútil que os funcionários têm que fazer durante o trabalho, tais como procurar, pegar ou empilhar peças, ferramentas, etc. Caminhar também é perda.
7. **Defeitos:** Produção de peças defeituosas ou correção. Consertar ou re-trabalhar, descartar ou substituir a produção e inspecionar significam perdas de tempo e esforço.
8. **Intelectual:** Perda de tempo, idéias habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não envolver ou ouvir seus funcionários.

A superprodução é considerada a principal perda, pois gera a maioria dos outros tipos de perdas.

A casa do Sistema Toyota de Produção se tornou um dos símbolos mais conhecidos na manufatura moderna. E por que uma casa foi escolhida para representar o STP? Ela foi escolhida porque é um sistema estrutural, o qual só será forte se o telhado, os pilares e as fundações também forem. Ela representa graficamente que a qualidade da Toyota é definida pela combinação de just-in-time, qualidade embutida (*jidoka*) e pessoas muito motivadas, os três apoiados sobre uma fundação feita de estabilidade operacional, kaizen, sustentadas por pela gestão visual e pelo trabalho padronizado.

Cada elemento da casa isoladamente é crítico, mas o mais importante é a forma que os elementos da casa se interligam. Caso um elemento esteja fragilizado, todo o sistema fica fragilizado.

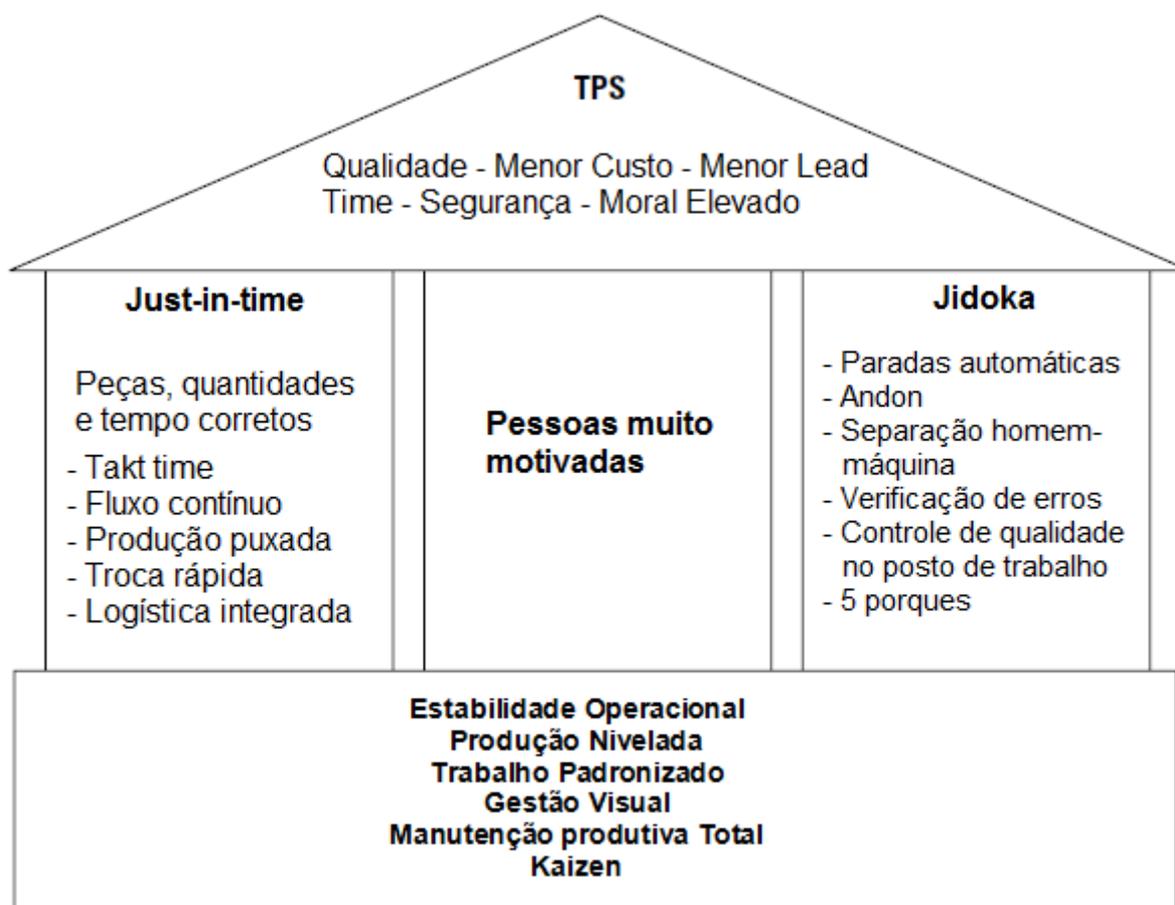


Figura 2-10: A casa do Sistema Toyota de Produção

Fonte: Dados do pesquisador, 2010

### 2.2.1: Os 5 Passos da Manufatura Enxuta

O pensamento enxuto pode ser descrito nos requisitos principais a seguir, que coletivamente formam um quadro geral que incluem todos os princípios, métodos, ferramentas e modelo de liderança. Eles podem ser considerados os cinco passos essenciais na manufatura enxuta, os quais são descritos a seguir.

1. Identificar as operações que agregam valor (cadeia de valor)
2. Identificar a seqüência de atividades, chamado de VSM (*Value Stream Mapping*), ou Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV).
3. Criar fluxo.
4. Fazer os consumidores puxarem a produção (produção puxada)

## 5. Busca da perfeição.

1. **Identificar a cadeia de valor:** A determinação de quais operações criam valor no produto são feitas sob os pontos de vista do consumidor interno e externo. Valor é expresso em termos de como um produto específico satisfaz as necessidades do consumidor, num preço específico, num tempo específico. O valor pode ser determinado pela perspectiva do consumidor final ou do consumidor interno (isto é, do processo subsequente).
2. **Identificação do fluxo de valor:** Uma vez que o valor é identificado, as atividades que agregam valor são identificadas. A seqüência inteira das atividades é chamada cadeia de valor. Então determina-se as atividades que não agregam valor ao produto ou serviço, mas são necessárias. Operações necessárias são definidas como pré-requisito para outra atividade que agrega valor, ou que seja essencial para o negócio. Um exemplo de atividade que não agrega valor, mas é extremamente necessária, é a folha de pagamentos da empresa. Afinal, as pessoas devem ser pagas. As atividades necessárias devem ser minimizadas, reduzidas ao mínimo, e todas as outras atividades que não agregam valor devem ser eliminadas.
3. **Criar fluxo:** Uma vez que as atividades agregadoras de valor e as necessárias são identificadas, melhorias no fluxo devem ser executadas. Fluxo é a movimentação ininterrupta de produtos ou serviços através do sistema para o consumidor. Os maiores inibidores de fluxo são as filas, ou esperas, o processamento em lotes, e o transporte. Esses estoques retardam o tempo desde o início da produção do produto ou serviço até a sua entrega. Estoque também é dinheiro parado o qual poderia ser usado para outras atividades na organização
4. **Produção puxada:** Depois que os desperdícios são removidos e o fluxo estabelecido, os esforços focam a produção puxada, ou seja, buscam com que os consumidores ditem a produção dos processos anteriores. A empresa deve prover o produto ou serviço somente quando o consumidor necessita, nem antes, nem depois.
5. **Busca da perfeição:** Esse esforço é repetido na tentativa constante de remover as atividades que não agregam valor, melhorar o fluxo e satisfazer as necessidades de entrega do consumidor.

Enquanto o pensamento enxuto foca na eliminação dos desperdícios e melhoria nos fluxos, há também alguns efeitos secundários. A qualidade é melhorada. O produto gasta menos tempo em processo, reduzindo as chances de danos ou obsolescência. A simplificação dos processos resulta em redução da variação nos tempos de execução das tarefas. Como a empresa enxerga todas as atividades numa cadeia de valor, os gargalos do sistema são removidos, e o desempenho é melhorado.

O pensamento enxuto também faz algumas suposições, tais como:

- As pessoas avaliam o efeito visual do fluxo;
- Desperdício é a maior restrição para a lucratividade;
- Várias pequenas melhorias em rápidas implementações são mais benéficas que o estudo analítico;
- Os efeitos da interação dos processos serão resolvidos com o refinamento do fluxo de valores.

A mentalidade enxuta envolve várias pessoas na cadeia de valor. A mudança para esta mentalidade causa grandes mudanças em como as pessoas percebem o seu papel na organização.

## **2.2.2: As ferramentas**

As ferramentas da Manufatura Enxuta são os mecanismos pelas quais a filosofia Toyota é aplicada na prática. Elas são técnicas que permitem eliminar desperdícios, melhorar a qualidade e fazer mais com menos. Entretanto, o STP é muito mais do que a utilização de algumas ferramentas de melhoria e a essência do STP é muito mais profunda que as próprias ferramentas.

### **2.2.2.1: MFV**

O mapeamento do fluxo de valor é umas das ferramentas mais eficientes e poderosas da Manufatura Enxuta (Dirgo, 2006), e ele não é encontrado fora das práticas do *Lean*.

O MFV (Mapeamento do Fluxo de Valor) é um relatório dinâmico, de uma página, que mostra todo o fluxo de valor (fluxo de materiais e de informações) desde o pedido do cliente até a entrega do produto acabado.

Fluxo de valor, ou cadeia de valor, é toda ação que agrega valor ou não, necessária para produzir um produto desde a extração da matéria-prima até o consumo final. Ele proporciona os seguintes aspectos: (a) ajuda a visualizar mais do que processos individuais, podendo-se “enxergar o fluxo”; (b) padroniza uma linguagem para os processos de manufatura; (c) torna as decisões sobre o fluxo visíveis; (d) combina os conceitos e as técnicas enxutas, o que ajuda a evitar ações isoladas; (e) forma a base de um plano de implementação; (f) mostra relação dos fluxos de material e informação.

Inicialmente se faz o MFV do estado atual, que equivale a uma foto da atual situação do fluxo de valor escolhido, onde é possível identificar as maiores fontes de desperdício e os maiores causadores de atrasos (figura 2-11).

Após a finalização do MFV do estado atual, onde as maiores fontes de desperdício foram identificadas, faz-se o MFV do estado futuro, que visa a eliminação desses desperdícios (figura 2-12). Um plano de ação deve ser definido para que o estado futuro seja alcançado.

Quando as mudanças indicadas no estado futuro forem alcançadas, este passa a ser o estado atual e um novo MFV do estado futuro deve ser feito.

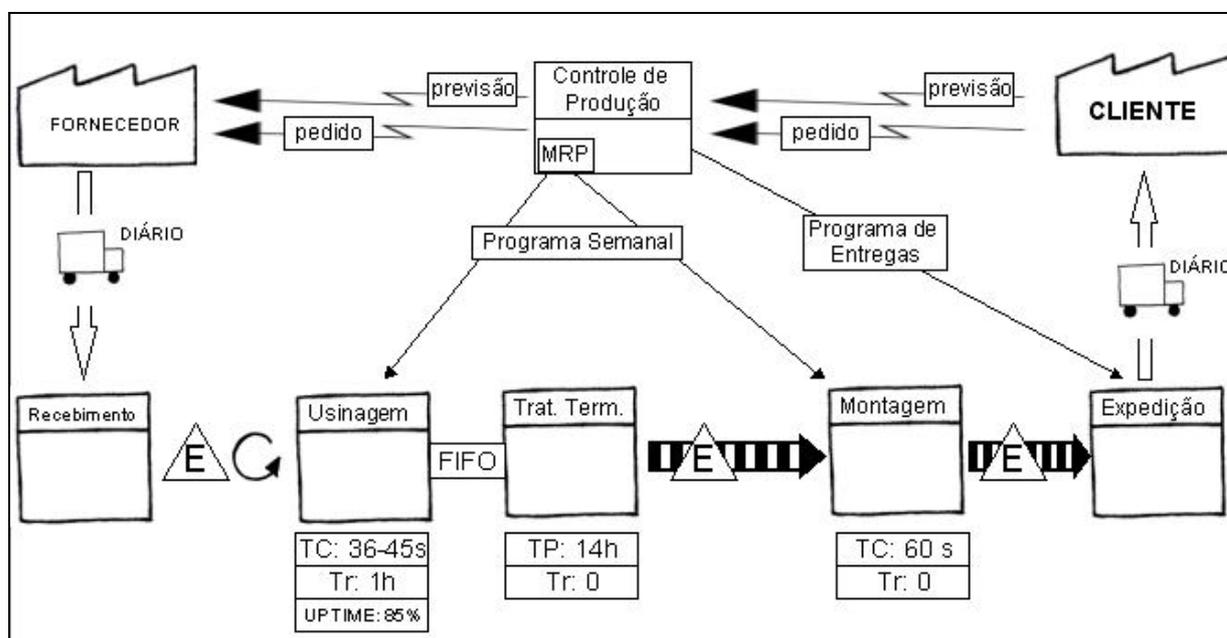


Figura 2-11: Exemplo de MFV do estado atual

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

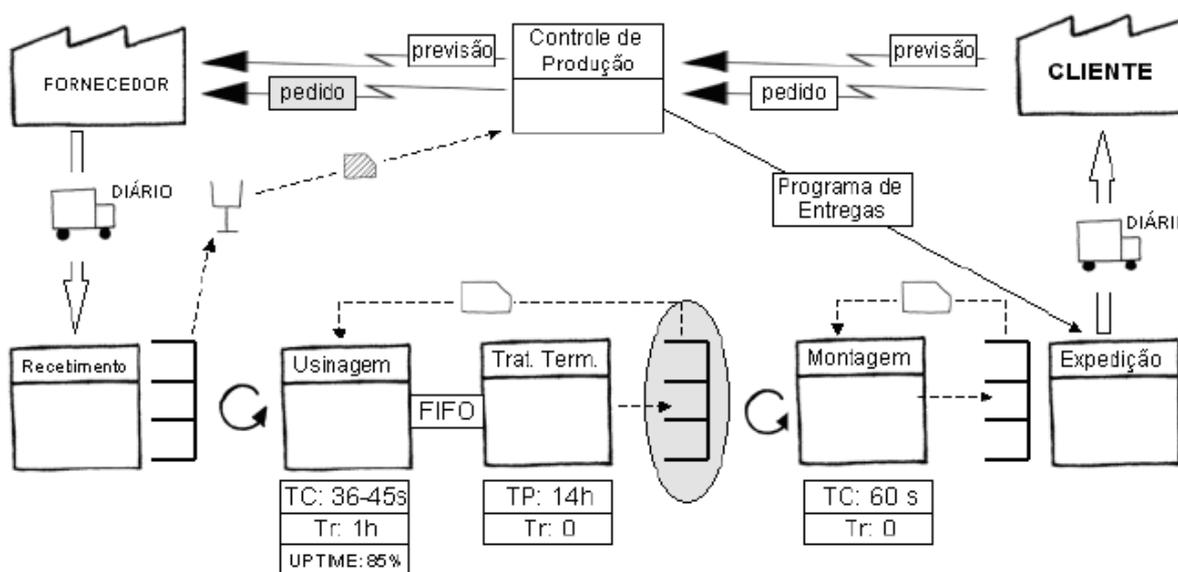


Figura 2-12: Exemplo de MFV do estado futuro

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

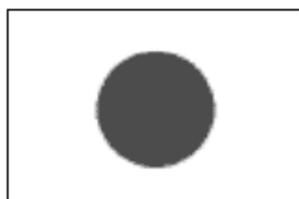
### 2.2.2.2: 5S

5S é uma ferramenta ou metodologia que busca assegurar que o ambiente de trabalho esteja limpo e livre de qualquer obstáculo que possa afetar negativamente a melhoria contínua. Esta ferramenta busca reformular atitudes e dar nova vida às atividades, melhorando as condições do ambiente de trabalho e estimulando uma produção criativa a fim de otimizar recursos e obter um trabalho de qualidade. Ela é baseada em 5 Sentidos (figura 2-13).

1. **Senso de utilização:** consiste em eliminar itens desnecessários da área de trabalho, removendo-os e mantendo apenas aqueles que são necessários para executar a tarefa em mãos.
2. **Senso de ordenação:** é a avaliação do posicionamento mais adequado dos itens escolhidos no senso de utilização, mantendo somente o que é necessário na área de trabalho e em local apropriado.
3. **Senso de limpeza:** é a eliminação das fontes de sujeira e a manutenção da limpeza na área de trabalho.
4. **Senso de saúde:** é a padronização das práticas de trabalho que levam à melhora da saúde física, mental e ambiental.

5. Senso de autodisciplina: consiste na manutenção e na revisão dos padrões.

## O Significado dos 5S



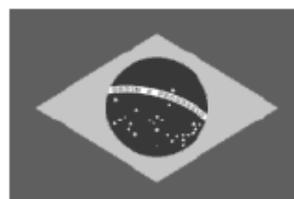
**SEIRI**

**SEITON**

**SEISO**

**SEIKETSU**

**SHITSUKE**



**Senso de Utilização**

**Senso de Ordenação**

**Senso de Limpeza**

**Senso de Saúde**

**Senso de Autodisciplina**

Figura 2-13: Os 5 Sensos

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

### 2.2.2.3: Trabalho Padrão

Trabalho padrão é a descrição do trabalho a ser executado, e que inclui o tempo takt, seqüência ou atividades específicas e definidas. É o padrão com o qual o processo real é comparado, e representa a base de onde será feita a melhoria.

A padronização é um processo dinâmico, e documentado, acompanhado e executado de acordo com padrões, terminologia, princípios, métodos e processos para assegurar que uma tarefa seja executada sempre da mesma forma, com o mínimo de desperdício, sendo que o desenvolvimento das melhorias deve ser feito de maneira disciplinada. Ele estabelece estabelecer métodos claros, específicos, compreendidos e principalmente consensados entre os turnos, líderes e operadores.

É uma ferramenta para garantir a segurança, a qualidade, a produtividade e a estabilização do processo, para que então se possa alcançar uma base para a evolução (melhoria contínua) (figura 2-14).



Figura 2-14: Padronização da melhoria

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

#### 2.2.2.4: Manufatura Celular

A manufatura celular é caracterizada pelo agrupamento de uma ou mais máquinas ligadas pela movimentação conjunta de materiais, sob o controle de uma célula centralizadora, com o objetivo de atender as necessidades de fabricação de uma família de peças (Burbidge, 1989).

A manufatura celular, ou leiaute em célula busca encontrar a combinação ótima entre homem, método, máquina e material para assegurar que uma tarefa seja realizada. Para isso, são utilizados três conceitos principais:

- Tempo Takt;
- Fluxo Contínuo;
- Gráfico de balanceamento de operadores;

**Tempo Takt:** A palavra Takt, em alemão, significa um intervalo preciso de tempo, como na métrica musical. O tempo Takt indica o ritmo ideal para uma produção ou atividade a ser executada. Tempo Takt é a frequência em que se deve produzir uma peça ou um produto baseado na taxa de vendas (equação 1) (Rother, 2002).

$$\text{Tempo Takt} = \frac{\text{Tempo Disponível}}{\text{Somatório da Demanda}}$$

(1)

No fluxo tradicional (isto é, trabalho em lote), os colaboradores encontram-se separados e não se ajudam para a realização do trabalho. Há existência de estoque entre os processos (figura 2-15).

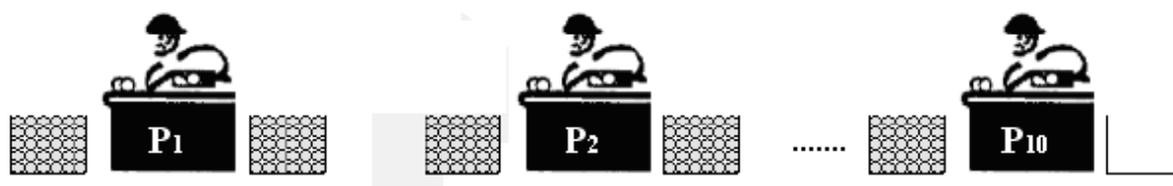


Figura 2-15: Fluxo Tradicional

Fonte: Rother (2002)

No caso do fluxo contínuo, realiza-se a produção de uma peça por vez, eliminando-se o acúmulo de peças entre os processos (figura 2-16).

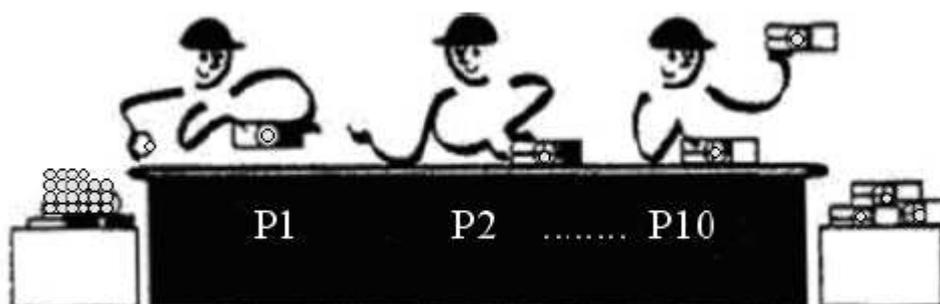


Figura 2-16: Fluxo Contínuo

Fonte: Rother (2002)

O Gráfico de balanceamento de Operadores é criado a partir da identificação dos elementos de trabalho de cada pessoa em uma área (figura 2-17). Ele é utilizado como base para o nivelamento da distribuição das cargas de trabalho para o tempo takt, através da redistribuição de tarefas e eliminação de atividades que não agregam valor ao produto.

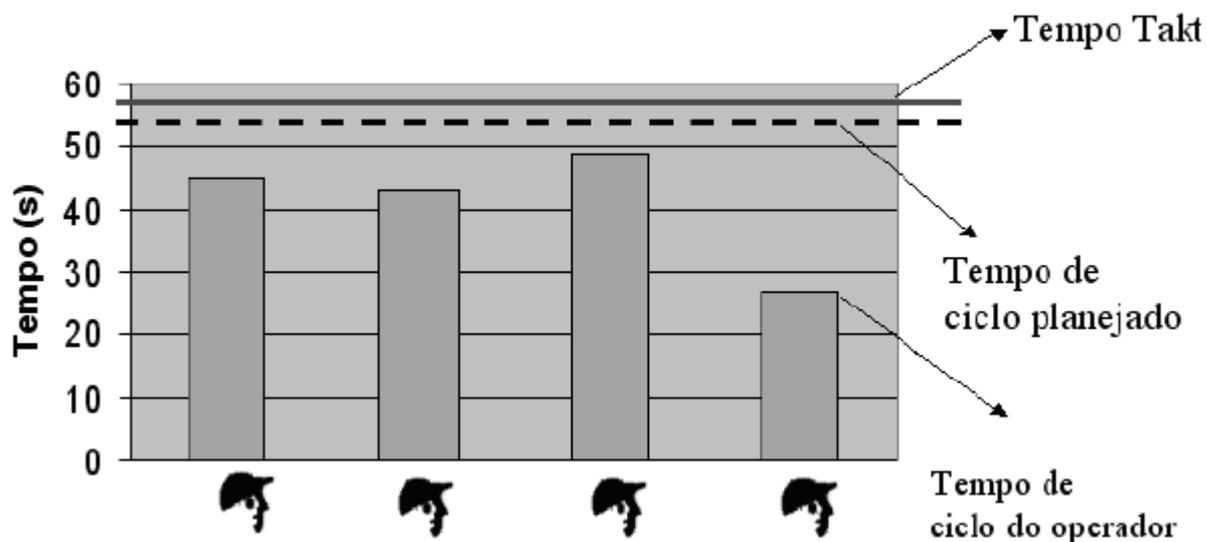


Figura 2-17: Gráfico de Balanceamento de Operadores

Fonte: Rother (2002)

### 2.2.2.5: Manutenção Produtiva Total

O objetivo do TPM (*Total Productive Maintenance*) ou Manutenção Produtiva Total é assegurar o fluxo de produção, garantindo que o equipamento esteja 100% disponível e produzindo peças de qualidade para atender a demanda do cliente. O TPM é dividido em 3 áreas:

- **Manutenção autônoma:** é um processo de capacitação dos operadores, com o propósito de torná-los aptos a promover, no seu ambiente de trabalho, mudanças que garantam altos níveis de produtividade e qualidade sem desperdícios. Significa modificar o raciocínio de “Eu fabrico, você conserta” para “Do meu equipamento cuidado eu”.
- **Manutenção planejada:** diz respeito à prevenção da falha do equipamento, seja com base no tempo ou com base nas condições do equipamento. Um plano de manutenção é vital em um ambiente *Lean*. Pró-ativamente uma máquina é retirada de serviço, a fim de substituir suas peças com maior risco de quebra. Como as peças são substituídas, os dados são coletados para desenvolver cenários de previsão de falhas.
- **Manutenção preditiva:** Quando a equipe de manutenção consegue antecipar as falhas, ela pode controlar melhor os custos e realizar as suas atividades de manutenção no tempo certo, não apenas no tempo programado. Além disso, pode-se

identificar quais as peças e que quantidade deve ser mantida em estoque para a manutenção de rotina e para a manutenção planejada.

#### **2.2.2.6: Sistema Puxado**

A diferença entre o sistema de produção puxado e o empurrado é a filosofia que rege a programação das operações. Na produção empurrada, a empresa faz uma previsão de demanda, fabrica os produtos conforme a previsão, e como consequência cria-se um estoque, que deve ser empurrado aos clientes através das vendas. Da mesma forma ocorre dentro da fábrica, onde o processo anterior empurra subprodutos ao processo posterior.

Já no sistema puxado de produção cada etapa do processo só deve produzir um bem ou serviço quando um processo posterior, ou o cliente final, o solicite. Esta solicitação se dá através do consumo de um estoque controlado de peças, chamado de supermercado, localizado entre os processos.

O processo cliente vai ao supermercado e retira aquilo que é necessário, quando necessário. O processo fornecedor produz para repor aquilo que foi retirado do supermercado. Essa ordem de produção é dada através do Kanban e todos os processos anteriores devem produzir rigorosamente conforme a seqüência e quantidades estabelecidas pelo Kanban.

Kanbans são os sinais para movimentar e produzir. Em um sistema puxado de produção, onde o material ou o trabalho é puxado por um processo de demanda, Kanban é a instrução que declara que a retirada foi feita, para que se possa produzir mais. O sinal pode vir de várias formas: um recipiente vazio, um cartão etc. Kanban também identifica uma quantidade de produção padrão.

Segundo Tubino (2007), o sistema Kanban baseia-se no uso de dois tipos de cartões: um de movimentação, que permite que as movimentações de itens dentro da fábrica sejam incluídas na lógica do sistema puxado; e um de produção, que é empregado para autorizar a fabricação ou montagem de determinado lote de itens (figura 2-18).

### Diagrama conceitual do sistema Kanban

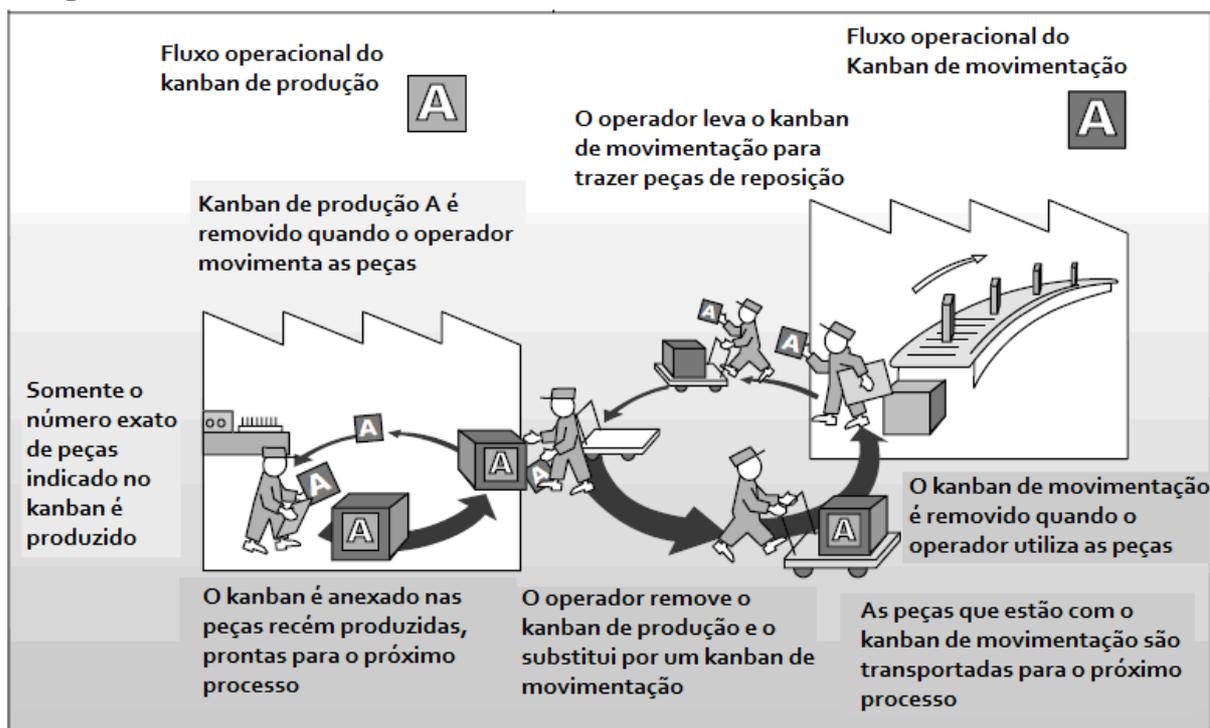


Figura 2-18: Sistema Kanban

Fonte: Sayer (2007)

#### 2.2.2.7: QCO (*Quick Changeover* - Troca Rápida)

O tempo de troca consiste no intervalo de tempo desde a produção da última peça do tipo A até a primeira do tipo B, aprovada e liberada para a produção. A troca pode ser classificada em dois tipos:

- **Troca Interna:** são todas as tarefas que para serem executadas o equipamento deve estar parado;
- **Troca Externa:** são as tarefas que podem ser realizadas enquanto o equipamento ainda está produzindo o lote anterior (Shingo, 1989).

A troca rápida visa transformar as trocas internas em trocas externas e reduzir ao mínimo o tempo de trocas internas e externas remanescentes.

O estado da arte para se obter uma troca rápida é alcançar o SMED (*Single Minute Exchange of Dies*) ou troca de ferramenta em menos de 1 minuto, fazendo com que seja possível responder rapidamente as mudanças no mercado. O tempo de troca de ferramentas reduzido faz com que o tempo total para produzir N peças seja reduzido. Porém, quando se reduz os

tempos de troca é importante considerar que, em certas circunstâncias, a economia de tempo conquistada na redução do tempo de troca pode significar maior estoque, e conseqüentemente os custos irão aumentar. Com a redução dos tempos de setup, o tempo disponível para a produção e a quantidade de peças produzidas serão maiores, se a demanda não aumentar e o sistema em que esta máquina faz parte não for puxado, o estoque será maior.

#### **2.2.2.8: Gestão Visual**

Quando se usa gestão visual pode-se ver facilmente se as coisas estão correndo de acordo com o plano ou não. É um processo padronizado nas quais as condições atuais tornam-se rapidamente visíveis no local de trabalho. O gerenciamento visual permite que todos os funcionários visualizem imediatamente a situação e tomem ações para retornar à condição de trabalho normal (padrão).

Uma das formas utilizadas para se fazer gestão visual é utilizando o Andon, que é uma dispositivo de sinalização ou informação eletrônica que pode incluir gráficos, texto colorido, e até mesmo áudio. Andons são utilizados para mostrar informações importantes e mensagens de falha para funcionários e clientes.

Outra maneira utilizada são os quadros informativos (figura 2-19), que são importantes centros de comunicação, onde informações vitais sobre o cliente, desempenho do processo, melhorias kaizen e trabalho padronizado são mostradas.

Quadros informativos são centros operacionais da organização localizados onde a ação acontece. Muitas vezes, eles são feitos à mão e incluem dados gráficos, fotos de contatos de clientes ou membros da equipe, e dados do processo de antes e depois das melhorias Kaizen (SAYER, 2007).

## Linha de Montagem A

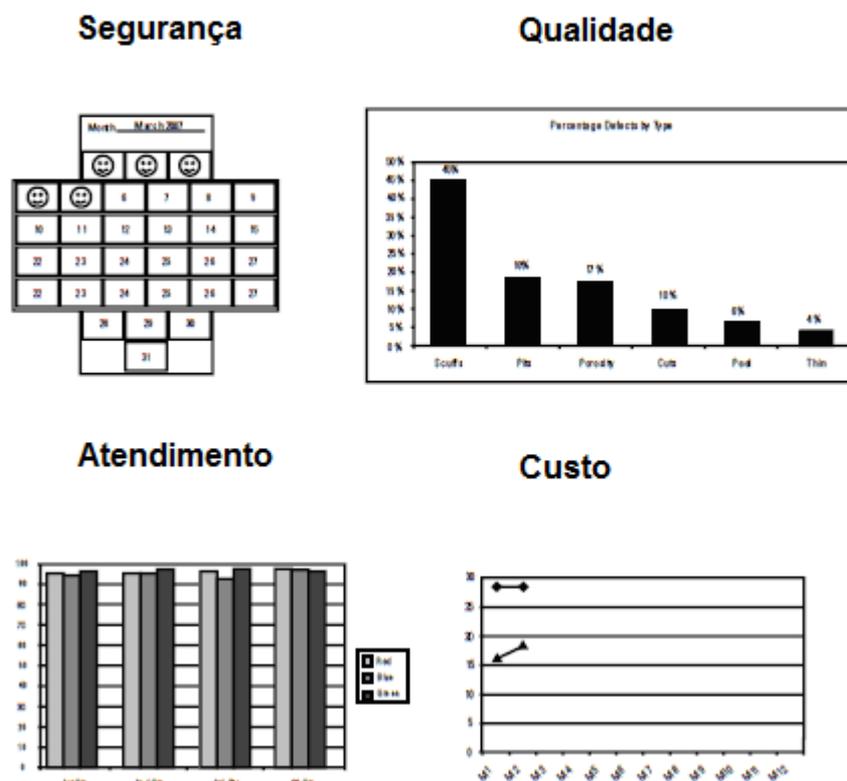


Figura 2-19: Quadros informativos

Fonte: Sayer (2007)

### 2.2.2.9: Lean Office (Escritório enxuto)

O *lean office* não faz parte dos princípios iniciais do STP, mas essa ferramenta já é utilizada em várias empresas que não implementam *lean* como a Toyota, mas estão se tornando *lean*. É a aplicação dos conceitos e ferramentas do *Lean* em processos administrativos, com o objetivo de tornar mais enxutos os fluxos de trabalho nos escritórios. Os processos administrativos devem sustentar os fluxos de valor de uma empresa *lean*, evitando que os projetos estejam em processos administrativos “não *lean*”.

### 2.2.2.10: Kaizen (Melhoria Contínua)

O Kaizen é uma das ferramentas utilizadas pela Toyota que tem como foco “melhorar continuamente”. Essencialmente o Kaizen consiste no modo de pensar de todos os líderes e

funcionários, uma atitude de auto-reflexão e até mesmo de autocrítica, um ardente desejo de melhorar (Liker, 2005).

Melhoria contínua é um processo, em toda a empresa, focado na inovação incremental e contínua. A essência da melhoria contínua está na busca rumo à evolução constante e consciente, superando obstáculos, solucionando problemas, aprendendo com erros e acertos, ensinando, conhecendo, contribuindo, assim, não somente para o crescimento pessoal e individual, mas também profissional e organizacional (RENO, 2008).

Muitas empresas utilizam o kaizen como uma ferramenta aplicada de maneira intensiva durante um determinado período, sendo frequentemente denominado de semana Kaizen, onde funcionários da fábrica, sob a supervisão de pessoas treinadas e experientes nos conceitos de manufatura enxuta, analisam inicialmente a situação atual. A partir das observações obtidas no local do trabalho, identificam oportunidades de melhoria e então definem ações de melhoria que são implementadas na mesma semana. No final da semana Kaizen, os trabalhos realizados e os resultados obtidos são apresentados à alta direção da empresa, que normalmente reconhece e parabeniza o trabalho das equipes.

Segundo Rother e Shook (2003) existem dois tipos de kaizen (figura 2-20):

- kaizen de fluxo
- kaizen de processo

O kaizen do fluxo é uma maneira de melhorar os fluxos de valor do sistema de manufatura e não apenas dos processos técnicos pontuais. Ele tem foco nos fluxos de materiais e de informações. Já o kaizen de processo visa a eliminação de desperdícios somente no nível do chão-de-fábrica e é focado no fluxo de processo e nas pessoas da área. Ambos são necessários à empresa.



Figura 2-20: Kaizen de fluxo e kaizen de processo

Fonte: Rother (2003)

### 2.3: Manufatura Enxuta e MES

Segundo Meyer (2009), pode-se afirmar que um sistema MES em funcionamento é uma condição para alcançar os objetivos da Manufatura Enxuta. A coleta de dados em tempo real e a facilidade de acesso a esses dados são necessárias à rápida tomada de decisão. Um sistema produtivo, como a Manufatura Enxuta, é altamente dependente da exatidão e atualidade dos dados produzidos e coletados durante os processos de produção. Exemplos incluem o tempo de funcionamento da máquina, tempo de ciclo do processo, ou mesmo as quantidades de peças produzidas.

Um sistema informatizado de produção em tempo real, principal função do MES, reduz a espera, estoque e tempo de transporte pela sincronização dos processos de produção. O MES também garante a padronização dos processos – empregados são guiados com informações eletrônicas, que contribuem significativamente para a melhoria da produtividade (MEYER, 2009).

Além disso, desvios são imediatamente reconhecidos pelo controle em tempo real de todos os parâmetros que influenciam no processo de produção, e assim medidas podem ser tomadas conforme a necessidade.

De acordo com Cottyn (2009), os sistemas MES foram idealizados para dar suporte às práticas de manufatura enxuta (figura 2-21).

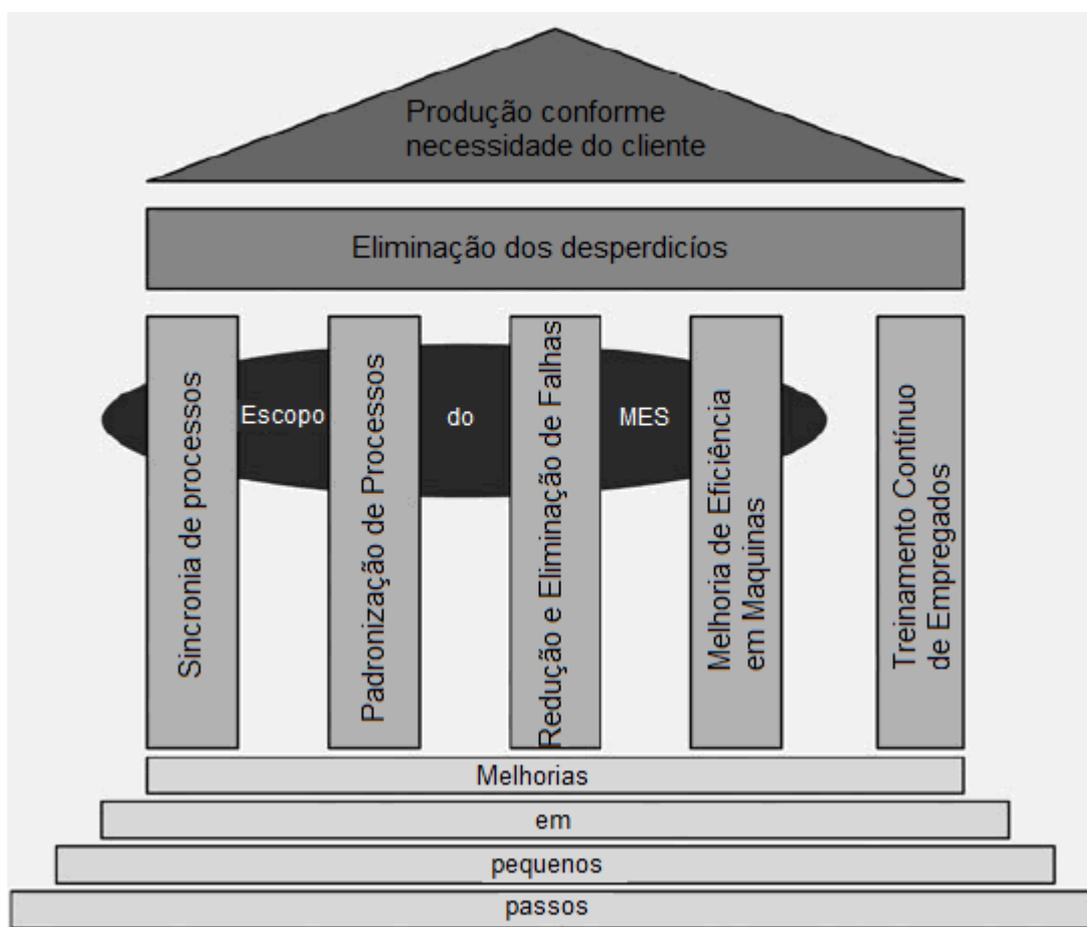


Figura 2-21: Conceitos e objetivos do STP com o escopo do MES

Fonte: Meyer (2007)

### 2.3.1: Manufatura Enxuta e a norma ISA 95

Segundo Cottyn (2009) pode-se alocar três práticas enxutas no modelo de atividades da ISA 95:

- Kanban: não importa se é um sistema manual ou um kanban eletrônico, existe um link com as quatro bolhas funcionais do modelo de atividades: programação detalhada, gestão de recursos, expedição e monitoramento. Num sistema de kanban manual, o fluxo de informações é realizado pelo deslocamento físico dos cartões kanban, já no sistema de kanban eletrônico, o fluxo de informações é realizado pelo intercâmbio eletrônico de dados.

- Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV): interliga-se à coleta de dados, monitoramento e análise. A coleta de dados e análise das informações podem ser feitas de forma totalmente manual, semi-automática através de planilhas de Excel ou totalmente integrados ao MES.
- Gestão Visual: Esta prática se sobrepõe às bolhas de definição de gestão, gestão de execução, coleta de dados e análise. Uma versão em papel ou em formato digital das instruções de trabalho padrão podem ser usados. Os alarmes podem ser acionados manualmente ou automaticamente.

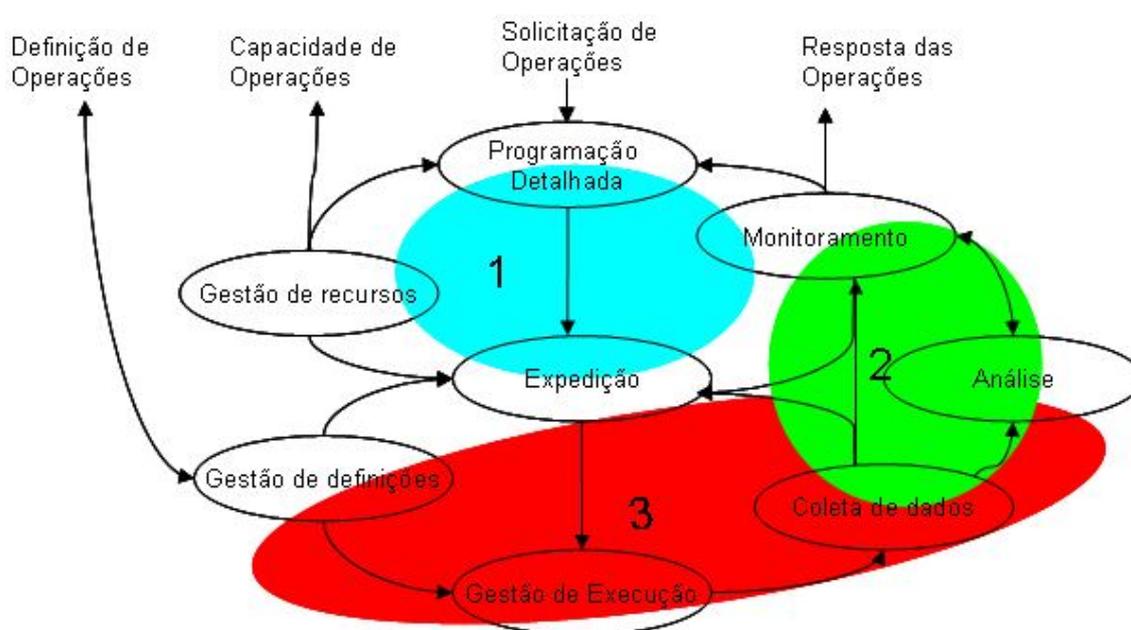


Figura 2-22: Localização de três práticas da Manufatura Enxuta no modelo ISA 95.  
(1) Kanban, (2) MFV e (3) Gestão Visual

Fonte: Cottyn (2009)

### 2.3.2: MES e a redução de desperdícios

Na década de 1990, a MESA (Meyer, 2007) realizou diversas pesquisas em mais de 100 empresas de diferentes ramos de atividade que tinham um sistema MES funcionando adequadamente em suas instalações para avaliar os benefícios trazidos pelo MES. As empresas pesquisadas destacaram os seguintes benefícios mais importantes:

### **2.3.2.1: Integração de dados confiáveis**

Geralmente, não existe um sistema integrado de dados de manufatura em que seja possível fazer uma avaliação global da situação da fábrica. Um sistema MES é um instrumento de registro de dados integrados e de monitoramento de desempenho, sendo ao mesmo tempo um sistema de informação em tempo real e de análises de longo prazo.

### **2.3.2.2: Redução de tempo de ciclo**

As empresas que responderam a uma pesquisa da MESA em 1997, afirmaram que é possível reduzir tempos de ciclo consideravelmente mediante a implementação de um sistema MES. Deve-se ressaltar que essas melhorias em tempo de ciclo não são alcançadas somente com a instalação de um MES, mas em grande parte pelas melhorias de processo ou de uma organização mais racional do trabalho.

### **2.3.2.3: Redução do tempo de troca**

Com uma metodologia de planejamento integrada ao MES, a seqüência de produção pode ser otimizada, obtendo-se ganhos. Além disso, o simples acompanhamento do tempo de troca pode gerar pequenas melhorias.

### **2.3.2.4: Redução do tempo gasto para o registro manual de dados**

Na mesma pesquisa realizada em 1997 pela MESA, várias empresas disseram que os gastos com o registro de dados podem ser reduzidos em mais de 50% simplesmente pela implementação do MES.

Um dos objetivos do MES é manter o custo de armazenamento de dados o mais baixo possível (MEYER, 2009).

### **2.3.2.5: Redução dos tempos de espera**

Os tempos de espera geralmente ocorrem devido ao fornecimento tardio dos recursos necessários para as operações individuais, afetando freqüentemente as matérias-primas e subprodutos. A razão para isto é um sistema de planejamento falho que não é capaz de planejar as ordens de uma forma sincronizada, livre de superposições, tendo em conta a

disponibilidade de recursos. Uma ferramenta de planejamento integrado dentro de um MES ajuda a eliminar essas perdas.

#### **2.3.2.6: Aumento da produtividade dos empregados**

Um MES integrado fornece aos operadores de máquinas informação eletrônica em tempo real necessária para a produção ordenada, com o mínimo de erros possível. Entretanto, é impossível quantificar estes ganhos, mas seus benefícios podem ser vistos claramente. O estudo MESA (1997) revelou que a maioria das empresas conseguiu aumentar a produtividade dos funcionários após a implantação de um sistema MES.

#### **2.3.2.7: Redução dos gastos administrativos**

O mesmo estudo da MESA (1997) revelou que mais de 60% das empresas pesquisadas indicaram que o número de documentos utilizados poderia ser reduzido em mais de 50% através da implementação de um MES. Com uma boa ferramenta de planejamento integrada ao MES, a quantidade de pessoas necessárias poderia ser reduzida em pelo menos 20%.

#### **2.3.2.8: Outros ganhos**

De acordo com Kletti (2009), na indústria metal-mecânica a média de utilização das máquinas é muitas vezes inferior à previsão, mas o planejamento e os cálculos são realmente baseados em uma maior utilização. A adoção de uma sistemática de registro e avaliação de todos os casos de paradas não programadas com o auxílio de um sistema MES ajuda a revelar as causas da paralisação, eliminá-los e, assim, melhorar consideravelmente a utilização da máquina.

A redução de lead-time pode ser considerada como o fator mais importante para a eficiência econômica na produção. Relacionados ao *lead time* das ordens estão o tempo de entrega (vantagem competitiva), confiabilidade de entrega (a satisfação do cliente), inventário (liquidez) e rendimento (lucros). Usando um sistema MES torna-se possível reconhecer essas potencialidades e explorá-las sistematicamente. Estes exemplos mostram que melhorias em potencial podem estar escondidas em uma empresa, e com o auxílio do MES elas podem ser descobertas (figura 2-23; KLETTI, 2009).

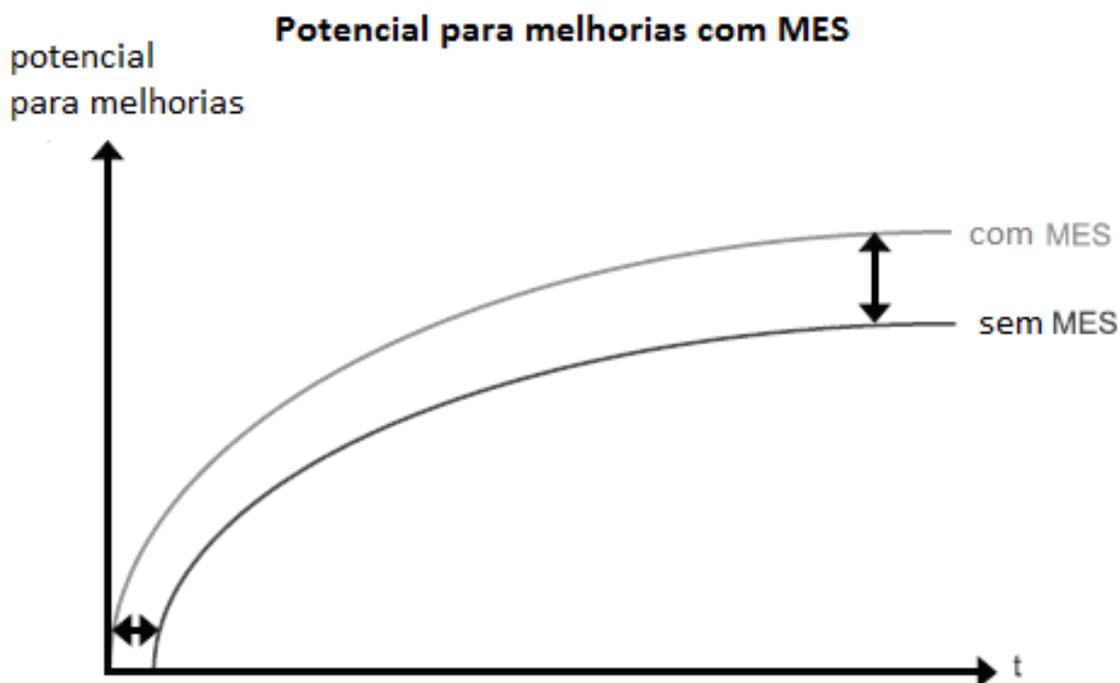


Figura 2-23: Mais rápida detecção e utilização do potencial de melhoria, com o auxílio de um MES

Fonte: Kletti (2009)

Outra grande vantagem de um Sistema MES é que ele pode determinar, a qualquer hora, em qual lugar do chão-de-fábrica está o produto.

Em áreas produtivas com um nível elevado de automação, como a injeção de termoplásticos, o mais importante será coletar informações das máquinas, como parâmetros de processo, malfuncionamento, quantidade produzida, etc. Em uma área de produção onde o uso de mão-de-obra é intenso, como nas linhas de montagem, o que é importante é o registro dos tempos e a exibição de informações na tela, como instruções de trabalho, por exemplo.

## 2.4: Próximo Capítulo

O próximo capítulo apresentará a empresa onde o trabalho foi realizado, descrevendo uma linha de montagem de refrigeradores, os indicadores utilizados e como é feita a gestão das linhas de montagem.

## **Capítulo 3: Apresentação do cenário e descrição do campo de trabalho**

### **3.1: Apresentação da empresa**

Este trabalho foi realizado em uma empresa do setor de linha branca com operações globais, presente no mercado nacional há mais de 60 anos e atualmente está entre as 100 maiores empresas exportadoras do país. Foi pioneira no país na fabricação de todos os produtos de linha branca em território nacional. Há 13 anos, foi adquirida por uma multinacional estadunidense e passou a fazer parte da maior empresa de produtos de linha branca do mundo.

#### **3.1.1: A unidade fabril**

A unidade fabril onde o trabalho foi realizado é a maior fábrica de produtos de refrigeração da América Latina e a maior pertencente ao grupo em todo o mundo. Nesta planta são fabricados refrigeradores, *freezers* (horizontais e verticais) e secadoras.

A unidade é certificada pelo Sistema de Gestão Integrada (SGI), que a credencia com a ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, que tratam da qualidade, do meio ambiente e da saúde e segurança, respectivamente.

É uma unidade altamente verticalizada, pois além das linhas e células de montagem, possui processos de fabricação de termoplásticos tais como: injetoras, extrusoras e termoformadoras e processos metal-mecânicos tais como: prensas, perfiladoras e pintura em metal.

#### **3.1.2: A Manufatura Enxuta na empresa**

No cenário competitivo e de concorrência altamente agressiva, em meados da década de 2000, a empresa deu início à implantação de um sistema enxuto de produção, visando elevar ao máximo o seu desempenho mediante o aumento do valor agregado do produto, serviços e sistemas para o atendimento das necessidades do negócio e do cliente. Isto só seria possível através da busca incessante pela eliminação dos desperdícios ao longo de todos os processos, produtivos ou não.

Na visão da empresa, este sistema de gestão prega que o consumidor deve ser o foco principal da manufatura, ou seja, que a manufatura deve entregar o produto certo, no custo menor possível, livre de defeitos e quando o consumidor solicitar.

### **3.2: Linha de montagem**

Trabalhos de montagem existem há muito tempo. Povos pré-históricos sabiam como criar objetos úteis unindo múltiplas peças. Mas a preocupação dos processos de montagem modernos é de produzir bens com custo reduzido e de alta qualidade.

Uma linha de montagem é um processo de manufatura em que as peças, normalmente intercambiáveis, são adicionadas a um produto final de uma forma seqüencial utilizando um planejamento logístico ideal de modo a criar produtos mais baratos que os fabricados artesanalmente. Linhas de montagem unem e encaixam diferentes peças, formando um subproduto ou um produto final. O trabalho em uma linha de montagem é repetitivo.

A história das linhas do desenvolvimento de processos de montagem está fortemente relacionada ao desenvolvimento de métodos de produção em massa. A linha de montagem foi criada por Henry Ford, fundador da Ford Motor Company, no ano de 1913 para a fabricação do modelo Ford T, e é considerada uma das maiores inovações tecnológicas da indústria.

Algumas ações foram muito importantes para que a montagem em linha fosse possível. A primeira de todas é que as peças tiveram de ser padronizadas, ou seja, peças do mesmo tipo tem que possuir as mesmas especificações. Peças advindas de diferentes máquinas e processos podem ser montadas formando um produto final, sendo que os produtos que saem de uma linha de montagem devem ser o mais parecidos possíveis (devido a variações no processo é impossível que eles sejam idênticos).

A linha de montagem é o método mais comum de produção em massa, e com ela é possível a montagem de produtos por trabalhadores com pouco treinamento.

#### **3.2.1: Linha de montagem de refrigeradores**

Uma linha de montagem de refrigeradores deve ser flexível o suficiente para possibilitar a montagem de diferentes produtos, tais como refrigeradores de uma porta, de duas portas,

freezers etc. Uma linha de montagem de refrigeradores pode ser dividida em três fases (figura 3-1):

**1) Injeção de Poliuretano:** É a primeira fase da linha de montagem de um refrigerador, nela a capa externa e a caixa interna são montadas e colocadas dentro dos moldes das máquinas de injeção de poliuretano (PU). O PU é injetado entre a capa externa e a caixa interna e o mesmo tem o papel de ser o isolante térmico do refrigerador.

**2) Montagem:** É a segunda fase da linha de montagem, e é nessa fase que é realizada a montagem propriamente dita. O compressor, evaporador, condensador, portas, componentes eletroeletrônicos e *features* (prateleiras, porta-ovos, gavetas, etc.) internos são agregados ao produto.

**3) Testes e Embalagem:** A terceira fase da linha de montagem termina com o produto embalado e pronto para ser levado à área de estoque. Antes disso são executados alguns testes no produto, como teste de vazamento, de desempenho e de segurança elétrica. Caso o produto não seja aprovado em algum teste, ele retornará ao posto de trabalho responsável pelo defeito encontrado para que o reparo seja feito.

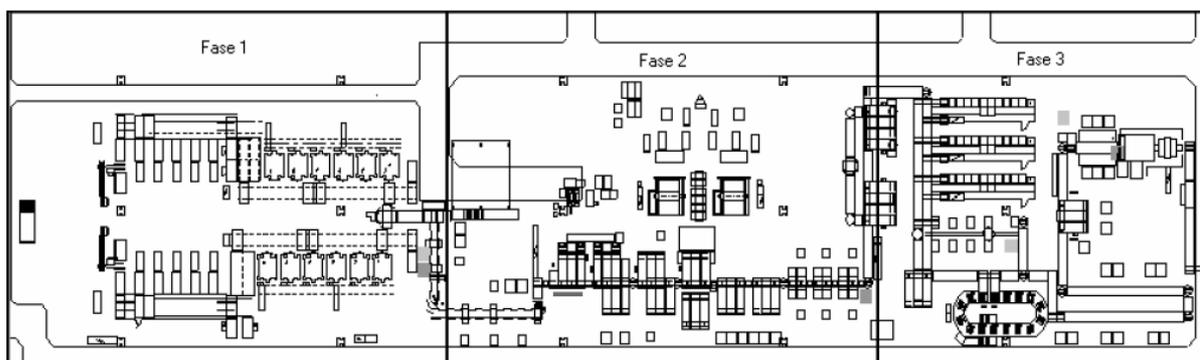


Figura 3-1: Linha de montagem de refrigeração

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

### 3.2.1.1: Indicadores de linhas de montagem

A medição do nível de desempenho de uma linha de montagem é feita através de vários indicadores, os quais são apontados a seguir.

**Produtividade:** mede a utilização da linha de montagem, comparando-se a quantidade de produtos produzidos, frente aos recursos de mão-de-obra disponíveis para essa mesma linha. O cálculo da produtividade pode ser resumido pela fórmula abaixo:

$$PRODUTIVIDADE = \frac{PRODUÇÃO}{CAPACIDADE PRODUTIVA}$$

A Produção refere-se à quantidade de produtos produzidos, enquanto a Capacidade Produtiva corresponde à máxima produção que pode ser realizada pela linha de montagem em função do dimensionamento dos recursos. A produtividade de uma linha de montagem pode ser medida para qualquer período desejado.

**Desvios de produção:** é a quantidade de produtos que não foram produzidos tendo como referência a programação da linha de montagem. Pode ser quantitativo e qualitativo:

- quantitativo: calculado pela diferença da quantidade de produtos programados pela quantidade de produtos produzidos;
- qualitativo: calculado pela diferença da quantidade de produtos programados de cada modelo pela quantidade de produtos produzidos de cada modelo.

**FPY** (“*first pass yield*”): é o indicador que mede o retrabalho em uma linha de montagem, sendo calculado pela fórmula abaixo:

$$FPY = \left[ 1 - \left( \frac{QUANTIDADE\_DE\_PRODUTOS\_COM\_DEFEITO}{QUANTIDADE\_DE\_PRODUTOS\_PRODUZIDOS} \right) \right] * 100$$

Se nenhum produto sofrer retrabalho ao longo da linha de montagem por um determinado período de tempo, o FPY desta linha será igual a 100%. Este indicador não mede a quantidade de defeitos e conseqüentes retrabalhos efetuados na linha de montagem, mas sim a quantidade de produtos que passaram por algum retrabalho. Se um mesmo produto tiver dois ou mais defeitos, ele será considerado apenas uma vez para o cálculo do indicador.

**IQL** (índice de qualidade de linha): é o índice que relaciona a quantidade de defeitos com a quantidade produzida e é calculado pela fórmula a seguir:

$$IQL = \left[ 1 - \left( \frac{QUANTIDADE\_DE\_DEFEITOS}{QUANTIDADE\_DE\_PRODUTOS\_PRODUZIDOS} \right) \right] * 100$$

Se todos os produtos não apresentarem nenhum defeito ao longo da linha de montagem por um determinado período de tempo, o IQL deste período será igual a 100%.

**Schedule:** é o indicador que mede o cumprimento da programação da linha de montagem por um período de tempo e é calculado pela seguinte fórmula:

$$SCHEDULE = \left[ 1 - \left( \frac{\sum |DESVIOS\_SKU|}{\sum PROGRAMACÃO\_SKU} \right) \right] * 100$$

Supondo que a Linha de Montagem X foi programada para produzir 600 produtos em um turno de trabalho de 8 horas. Desses 600 produtos, 200 são do modelo A, 150 do modelo B, 100 do modelo C, 75 do modelo D e 75 do modelo E.

Entretanto, a Linha de Montagem X, neste turno de trabalho de 8 horas produziu 160 produtos do modelo A, 110 do modelo B, 0 do modelo C, 200 do modelo D e 100 do modelo E. Essas quantidades produzidas geraram um desvio qualitativo de produção de 330 produtos, resultando em um Schedule da Linha de Montagem X de 45,0%, significando que apenas 45,0% da programação foi atendida (ver tabela 3-1). Mesmo que a linha tenha alcançado uma produtividade de 95% (supondo que a programação de 600 unidades é a capacidade produtiva da linha), a maioria dos produtos não estava programada, gerando superprodução e atrasos futuros.

SKU	Quantidade programada	Quantidade Produzida	desvios (em módulo)	Schedule da linha(%)
modelo A	200	160	40	
modelo B	150	110	40	
modelo C	100	0	100	
modelo D	75	200	125	
modelo E	75	100	25	
<b>Total</b>	<b>600</b>	<b>570</b>	<b>330</b>	<b>45.0%</b>

Tabela 3-1: Schedule de linha de montagem

Fonte: Dados do pesquisador, 2008

O Schedule de uma linha de montagem pode ser medido para qualquer período desejado, sempre se comparando a programação com a produção do período de tempo desejado.

**Tempo de ciclo:** o tempo de ciclo é o tempo transcorrido entre a saída de uma peça e a saída da seguinte, em segundos, portanto é o tempo para fazer uma unidade ou uma peça. O tempo de ciclo também pode ser definido como o tempo que o operador leva para realizar todos os seus elementos de trabalho antes de repetí-las (ROTHER e SHOOK, 1999).

Quando uma operação isolada é analisada, o tempo de ciclo é igual ao tempo padrão, ou seja, é o tempo que consta nos roteiros de produção dos sistemas de PCPM. Por exemplo, para o caso de uma máquina dedicada com um tempo padrão de 50 segundos, o tempo de ciclo também será de 50 segundos; isto é, a cada 50 segundos uma peça pode ser produzida, repetindo-se um ciclo. Em uma linha de montagem, o tempo de ciclo é definido pelo tempo de execução da operação de um posto de trabalho ou máquina mais lenta, ou seja, pela operação gargalo, sendo que esta operação gargalo é definida em função de dois elementos: o número de trabalhadores na linha e os tempos unitários de processamento em cada posto ou máquina.

### **3.3: Situação anterior na empresa considerada**

As linhas de montagem da unidade considerada neste trabalho não possuem nenhum sistema de gestão em tempo real. Sem um sistema automático é muito difícil obter os indicadores descritos anteriormente, uma vez que eles são calculados mediante planilhas eletrônicas alimentadas com os dados de produção, e isto leva um tempo bastante elevado.

A contagem da produção nas linhas de montagem é feita através de contadores mecânicos posicionados em cada fase da linha de montagem: quando um produto passa por uma determinada fase da linha de montagem, o mesmo desloca uma haste que incrementa o contador mecânico. A contagem via contador mecânico não é confiável, e os principais motivos disto são: (a) um produto em reprocesso é contabilizado duas ou mais vezes; e (b) um contato acidental no contador pode ser interpretado como um item produzido. Uma foto do contador mecânico é apresentada na figura 3-2.

A ausência de um sistema mais confiável para a identificação dos problemas resulta em uma gestão ineficiente das linhas de montagem. Como mensurar as melhorias obtidas por kaizens se os dados obtidos são inexistentes ou não confiáveis? Como identificar e priorizar as áreas que realmente necessitam de melhorias? Essas eram perguntas que necessitavam de respostas.



Figura 3-2: Contador mecânico

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

### **3.3.1: Gestão das linhas de montagem**

Cada linha de montagem é uma unidade gerencial básica (UGB) e possui turnos de produção com 8 horas de duração, com um ou dois supervisores de produção responsáveis por cada turno, dependendo da complexidade da linha de montagem. Um chefe de produção é responsável por todos os turnos de duas ou três linhas, e por fim, um gerente de montagem é responsável por todas as linhas de montagem.

Uma das atividades do supervisor de produção consiste em acompanhar o ritmo da produção, e no caso de existir desvios de produção, é necessário quantificar estes desvios em número de produtos que deixaram de ser produzidos e identificar a causa de cada desvio. Ao término do turno, o supervisor preenche o relatório de produção, onde ele aponta a produção da linha e todos os desvios de produção que ocorreram, com a causa de cada desvio. A causa de cada desvio está sempre relacionada com uma UGB, como mostrado na tabela 3-2.

Linha	Produção	Programação	Quant Desvios	Descrição Desvios	UGB Resp.
<b>Linha A</b>	360	420	40	Manutenção Corretiva	UGB Manutenção
			20	Material não-conforme	UGB Injetoras
<b>Linha B</b>	450	500	35	Falta de Peças	UGB Suprimentos
			15	Falta de Pessoal / Atestado	UGB Montagem

Tabela 3-2: Exemplo de Relatório de Produção

Fonte: Dados do pesquisador, 2008

Todo dia útil, pela manhã ocorre a Reunião da Produção, que conta a participação de gestores (supervisores, chefes e gerentes) das linhas de montagem e de outras UGBs clientes das linhas de montagem, como a UGB Manutenção, a UGB Almojarifado, ou a UGB Injetoras, por exemplo. Nessa reunião é mostrada a produção efetiva de cada linha, do dia anterior ou do período compreendido entre a reunião anterior e a reunião atual, versus o planejado para o mesmo período. Com a consolidação do relatório de produção preenchido pelos supervisores das linhas, os maiores desvios de produção são apontados e a causa raiz é discutida. O objetivo da reunião é identificar as causas que levaram aos desvios de produção e evitar que as mesmas se repitam.

Como a quantidade e a causa dos desvios são apontados pelos supervisores sem a presença de um sistema confiável de contabilização, a quantificação e a identificação da causa raiz são constantemente colocados em dúvida, pois problemas internos na UGB de uma linha de montagem podem estar sendo minimizados e os externos maximizados. O relatório e a própria Reunião da Produção têm um alto teor de especulação.

Um outro problema do relatório de produção é que ele é preenchido em planilhas Excel<sup>®</sup>, e o excesso de dados torna-as lentas e difíceis de serem entendidas.

### 3.3.2: Entrada e saída de produtos nas linhas de montagem

Ao entrar na linha de montagem, um produto pode ter vários destinos além de se encaminhar para a expedição assim que a montagem e a embalagem forem terminadas, e dentre esses destinos tem-se o retorno à linha de montagem. Não há registros de quando os produtos saem ou retornam às linhas de montagem fora do seu fluxo normal (que corresponde a entrar na

fase 1 e sair na fase 3 rumo à expedição – ver figura 3-3). Consequentemente, não há controle algum desses produtos.

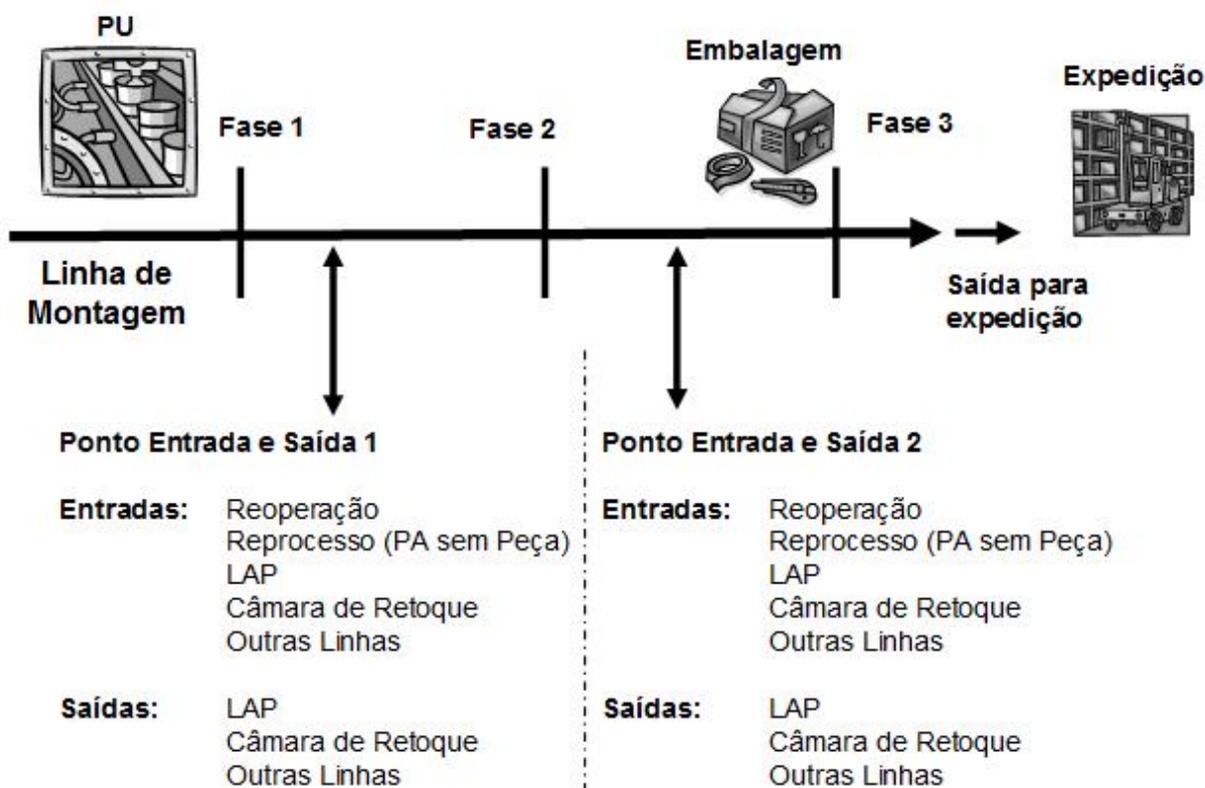


Figura 3-3: Entrada e saída de produtos nas linhas de montagem

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

Há dois pontos principais de entradas e saídas de produtos das linhas de montagem (figura 3-3): o primeiro, chamado de Ponto de Entrada e Saída 1, fica dentro da fase 2; o segundo, chamado de Ponto de Entrada e Saída 2, fica dentro da fase 3. Os motivos pelos quais os produtos entram e saem das linhas de montagem nesses dois pontos são os seguintes:

- **Reoperação:** quando produtos já embalados e estocados na expedição retornam à linha de montagem para algum reparo;
- **Reprocesso de PA sem peça:** produto sai da expedição e retorna à linha de montagem para que a peça faltante seja montada;
- **LAP:** alguns produtos são retirados da linha de montagem e são encaminhados ao Laboratório de Análise de Produtos (LAP), onde vários testes e inspeções mais

complexos que os realizados nas linhas são realizados nesses produtos. Se dois produtos da mesma família apresentarem o mesmo problema na análise feita no LAP, todos os produtos desta família presentes em alguma linha de montagem descem da linha para serem inspecionados e, caso necessário, consertados.

- **Câmara de retoque:** produtos com pequenos arranhões na pintura das portas ou do gabinete são encaminhados à câmara de retoque para que os reparos sejam efetuados;
- **Outras linhas:** durante a montagem, produtos podem ser encaminhados a outra linha para que a montagem seja terminada.

A falta de controle dos produtos que entram e saem das linhas de montagem faz com que se desconheça a localização de alguns produtos, ou seja, devido às grandes dimensões do parque fabril, alguns produtos se perdem dentro da fábrica.

Devido a esta falta de controle da entrada e saída dos produtos das linhas de montagem, ocorrem os seguintes problemas:

- Cerca de 5% dos produtos produzidos saem do fluxo produtivo para realizar reparos de pintura e testes de qualidade.
- São produzidos em torno de 150 produtos sem ordem por mês devido à ausência de visibilidade em tempo real da localização dos produtos.

### **3.3.3: Produtos sem peças e reprocessados**

Eventualmente, há problemas de fornecimento de peças as linhas de montagem. Quando uma peça está em falta e a mesma não prejudica a montagem integral do produto, para evitar que a linha de montagem pare, o produto é montado mesmo sem a peça e embalado na linha, sendo depois enviado à expedição. Quando a peça faltante, que normalmente é uma peça aparente (por exemplo, uma prateleira ou uma gaveta), estiver disponível, o produto retorna à linha para que a peça faltante possa ser montada no produto, e o mesmo retornará à expedição como um produto conforme. Esses produtos que são embalados com peças faltantes foram batizados de “PA sem peças”. Não existe nenhum controle dos PAs sem peças, não estando disponível a quantidade de cada modelo nem a quantidade total. Estima-se que 0,25% dos PAs produzidos são do tipo PA sem peça, enquanto os produtos reprocessados totalizam 1% dos PAs.

Os produtos reprocessados são aqueles que retornam à linha de montagem para que algum conserto seja feito. Assim como os PAs sem peça, também não há nenhum controle dos produtos reprocessados.

### 3.3.4: Expedição

A contagem oficial da produção somente é obtida na expedição, área sob gestão da UGB Logística, ou seja, em outro departamento. Após a embalagem, o PA (produto acabado) é deslocado para uma área chamada de pré-expedição (figura 3-4), que é um estoque intermediário onde os PAs são organizados, e quando formam um grupo de doze são contabilizados e encaminhados à área de expedição.

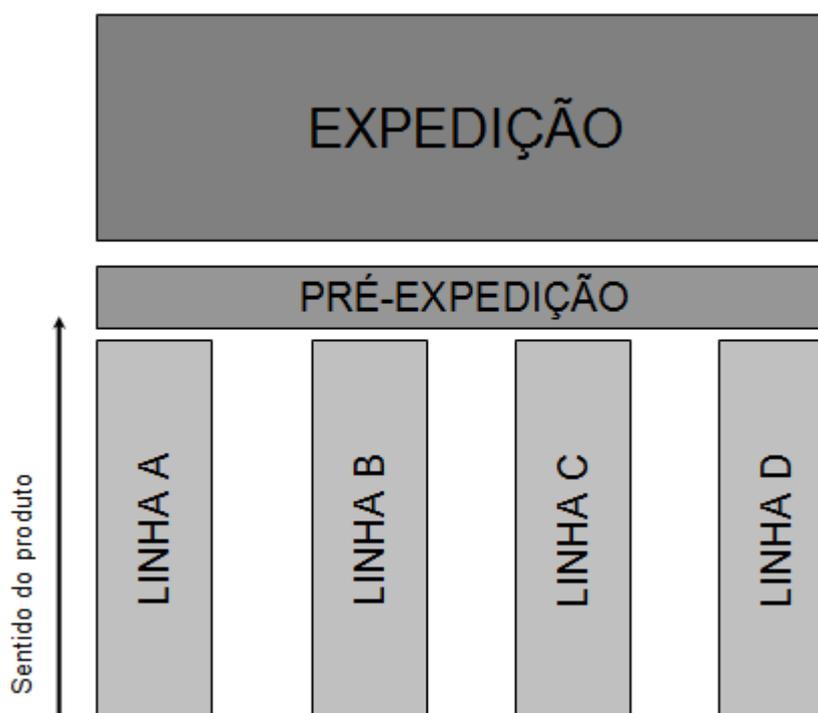


Figura 3-4: Linhas de Montagem e Expedição

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

A expedição é a área onde os PAs são armazenados e expedidos aos caminhões. A contagem é feita por leitores de código de barra, e os dados são inseridos no sistema ERP da empresa. Cada produto possui um código único, composto por 21 dígitos alfanuméricos, que incluem as seguintes informações: modelo, número de série e dígitos verificadores (figura 3-5). A cada código inédito lido pelo sistema, um novo PA é adicionado ao sistema.



Figura 3-5: Identificação única presente em cada produto

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

Como a contagem oficial dos produtos é feita na área de expedição, a quantificação oficial da produção não pode ser separada em turnos e nem todos os PAs produzidos no dia são transferidos para a expedição no mesmo dia, pois eles podem ficar parados na pré-expedição aguardando a formação de um grupo de doze produtos similares. Discussões entre as áreas sobre a quantidade real produzida pelas linhas de montagem são comuns. Além disso, somente o sistema de gerenciamento de qualidade registra a passagem dos PAs na linha de montagem, e como este sistema é isolado de outras redes da empresa, é muito difícil rastrear os PAs.

### **3.3.5: Sistema de gerenciamento de Qualidade**

A empresa possui um sistema de gestão da qualidade dos produtos das linhas de montagem. Entretanto, este sistema é isolado de todas as outras redes da empresa, o que dificulta o acesso às informações contidas neste sistema.

O sistema de qualidade monitora os produtos em processo na linha de montagem. Os operadores no chão de fábrica inserem no sistema dados das inspeções visuais feitas nos produtos. Todos os problemas e/ou defeitos encontrados são registrados na base de dados mediante leitores de códigos de barra (figura 3-6).

Os dados coletados por este sistema poderiam ser mais bem utilizados para identificar tendências e oportunidades de melhoria no processo produtivo da empresa.



Figura 3-6: Pistola de leitura de código de barras

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

### **3.4: Próximo capítulo**

O próximo capítulo descreverá o desenvolvimento da solução MES para a empresa, com detalhes do sistema implantado.

## Capítulo 4: O desenvolvimento da Solução MES

A unidade fabril onde o trabalho foi realizado já possuía um sistema MES nas áreas de fabricação de peças plásticas e metálicas, que posteriormente são montadas nas linhas de montagem. O sistema MES nas áreas de fabricação da unidade elevou a produtividade, melhorou a qualidade dos produtos e diminuiu as perdas por máquinas em manutenção, ou seja, foi um sucesso em todas as áreas em que foi instalado. Tendo em conta o sucesso obtido por este sistema MES nas áreas de fabricação, que de fato, está mais para um supervisor integrando máquinas de fabricação, a direção da empresa decidiu investir num sistema similar a este para as linhas de montagem fábrica de refrigeradores.

Buscou-se implantar um sistema para permitir o monitoramento e gerenciamento em tempo real do desempenho do processo produtivo das linhas de montagem, realizar análises de desempenho por grupo de linhas de montagem, por fases, por produtos, por turnos, por hora, por qualquer período desejado. Assim, ter-se-ia uma ferramenta de apoio estratégico para formular planos de ações buscando proporcionar o ganho contínuo de produtividade com rentabilidade do processo produtivo. Este ganho de produtividade deveria ser obtido pelo aumento da eficiência da produção, através da capacidade de diagnóstico das perdas de processo e a avaliação dos ganhos das ações preditivas e corretivas em tempo real, ou seja, uma ferramenta de gestão integrada com os princípios da manufatura enxuta.

Com o sistema MES para linhas de montagem instalado, pode-se gerar uma memória industrial do conhecimento de processos adquirido durante seu histórico de produção, possibilitando a avaliação e comprovação dos ganhos realizados no processo produtivo. Além disso, o conhecimento acumulado pela memória industrial subsidia a capacidade de inovação dos gestores da empresa no objetivo de melhorar suas metas de produtividade.

### 4.1: Desenvolvimento do sistema

A Engenharia de Processos de Manufatura é formada por uma equipe de engenheiros e técnicos que são responsáveis por todos os processos de fabricação existentes na fábrica. Os processos são divididos em 4 áreas, cada uma liderada por um profissional diferente (ver figura 4.1).

- **Processos Metais:** equipe responsável pelos processos de metais, pintura, fabricação e pintura de evaporadores e sistemas de refrigeração por absorção e por compressão;
- **Processos de Montagem:** equipe responsável pelos processos de montagem que ocorrem ao longo da linha de montagem;
- **Processos Polímeros:** equipe responsável pelos processos de transformação de polímeros, que incluem os processos de laminação, termoformagem e injeção de termoplásticos, e injeção de poliuretano;
- **Processos de Automação:** equipe responsável pelos sistemas de automação presentes em toda a fábrica, além de dar suporte em processos de automação a todas as outras 3 equipes da Engenharia de Processos de Manufatura.

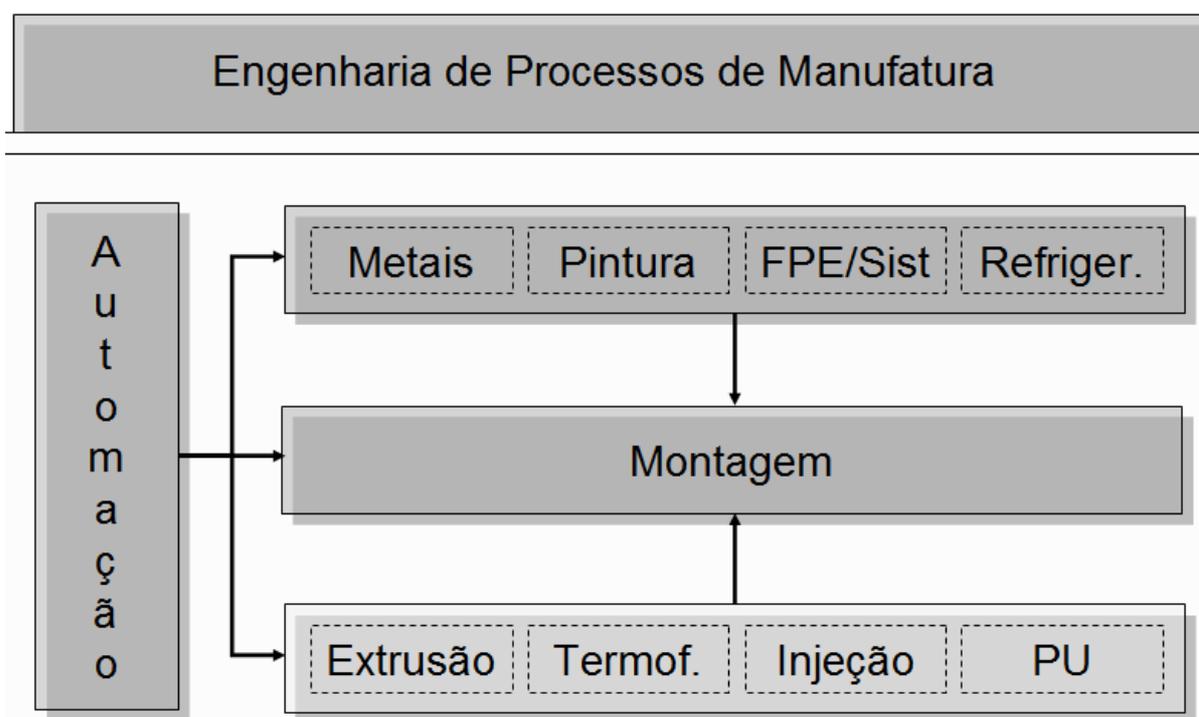


Figura 4-1: Estrutura da Engenharia de Processos de Manufatura

Fonte: Dados do pesquisador, 2010

O projeto de desenvolvimento e implantação do sistema MES para linhas de montagem foi conduzido em conjunto pelas áreas de Processos de Automação, pertencente à Engenharia de Processos de Manufatura, e Tecnologia da Informação, tendo sido co-liderado pelo autor deste trabalho e por um integrante da área de Tecnologia da Informação.

As principais responsabilidades do líder do projeto são as seguintes:

- Elaboração ou revisão das especificações técnicas;
- Elaboração e execução do plano de testes;
- Responsável pelas interfaces internas e externas;
- Estabelecer e manter o planejamento do projeto;
- Preparar, treinar e difundir o sistema às áreas impactadas.

Para especificar e desenvolver a solução MES para linhas de montagem, foi formada uma equipe multidisciplinar composta por representantes das áreas de Processos Automação e Processos de Montagem, gestores das linhas de montagem, representantes da área de Tecnologia da Informação (TI) e eventualmente, representantes do PCPM.

O fornecedor da solução foi o mesmo que já havia desenvolvido a solução MES nas áreas de fabricação de peças plásticas e metálicas.

#### **4.1.1: Fluxograma de desenvolvimento da solução**

O desenvolvimento da solução MES para linhas de montagem ocorreu de acordo com o fluxograma apresentado na figura 4.2. Uma descrição das etapas do fluxograma é feita a seguir:

- 1) As necessidades e os requisitos de uma solução MES para linhas de montagem eram discutidos em reuniões entre as áreas mais impactadas pelo sistema; cada área trazia suas necessidades. Cada reunião era documentada mediante uma ata, que continha as principais discussões e ideias apresentadas;
- 2) Todas as atas foram consolidadas pela equipe de Automação e TI; algumas idéias foram descartadas e outras foram acrescentadas, e como resultado foi criada uma Especificação Conceitual da solução a ser desenvolvida. A Especificação Conceitual continha a arquitetura e os requisitos básicos da solução, o custo total de instalação e um estudo de viabilidade econômica do projeto;
- 3) A Especificação Conceitual foi apresentada e aprovada junto à alta gerência e à direção da empresa;
- 4) Após a aprovação da direção da empresa, uma especificação com um nível maior de detalhes, chamada de Especificação Básica, foi gerada pelas equipes de Automação e TI;
- 5) A Especificação Básica é enviada ao fornecedor da solução;

- 6) O fornecedor gera uma especificação própria, rica em detalhes, chamada de Especificação Detalhada, que apresenta todos os detalhes de desenvolvimento da solução, cronograma de desenvolvimento e custos envolvidos;
- 7) A Especificação Detalhada é analisada e comentada pela equipe de Automação e TI, e é enviada ao fornecedor;
- 8) O fornecedor corrige a Especificação Detalhada até que a mesma seja aprovada pela equipe de Automação e TI;
- 9) Após a aprovação da Especificação Detalhada pela empresa, o fornecedor inicia, em suas próprias dependências, o desenvolvimento da solução;
- 10) Quando um pacote da solução é terminado pelo fornecedor, o mesmo o envia a empresa para que o pacote desenvolvido possa ser testado. Os testes são executados em um ambiente de testes, desenvolvido pelo próprio fornecedor. Nos primeiros testes, não houve a necessidade da existência de um ambiente de teste, pois ainda não existia um sistema funcionando em um ambiente real de produção. Porém, depois que o sistema já esteja instalado e sendo executado no ambiente de produção, é imprescindível que os testes sejam executados em um ambiente simulado, pois erros podem ser identificados e corrigidos antes de o sistema ser disponibilizado à fábrica;
- 11) Durante os testes, erros são encontrados e melhorias são observadas. Os erros e as melhorias são descritas em um relatório que é enviado ao fornecedor;
- 12) Os erros encontrados são corrigidos pelo fornecedor e o pacote é reenviado à empresa para que seja testado;
- 13) Quando os testes não encontram mais nenhum erro, o pacote da solução está pronto para ser disponibilizado ao ambiente de produção.

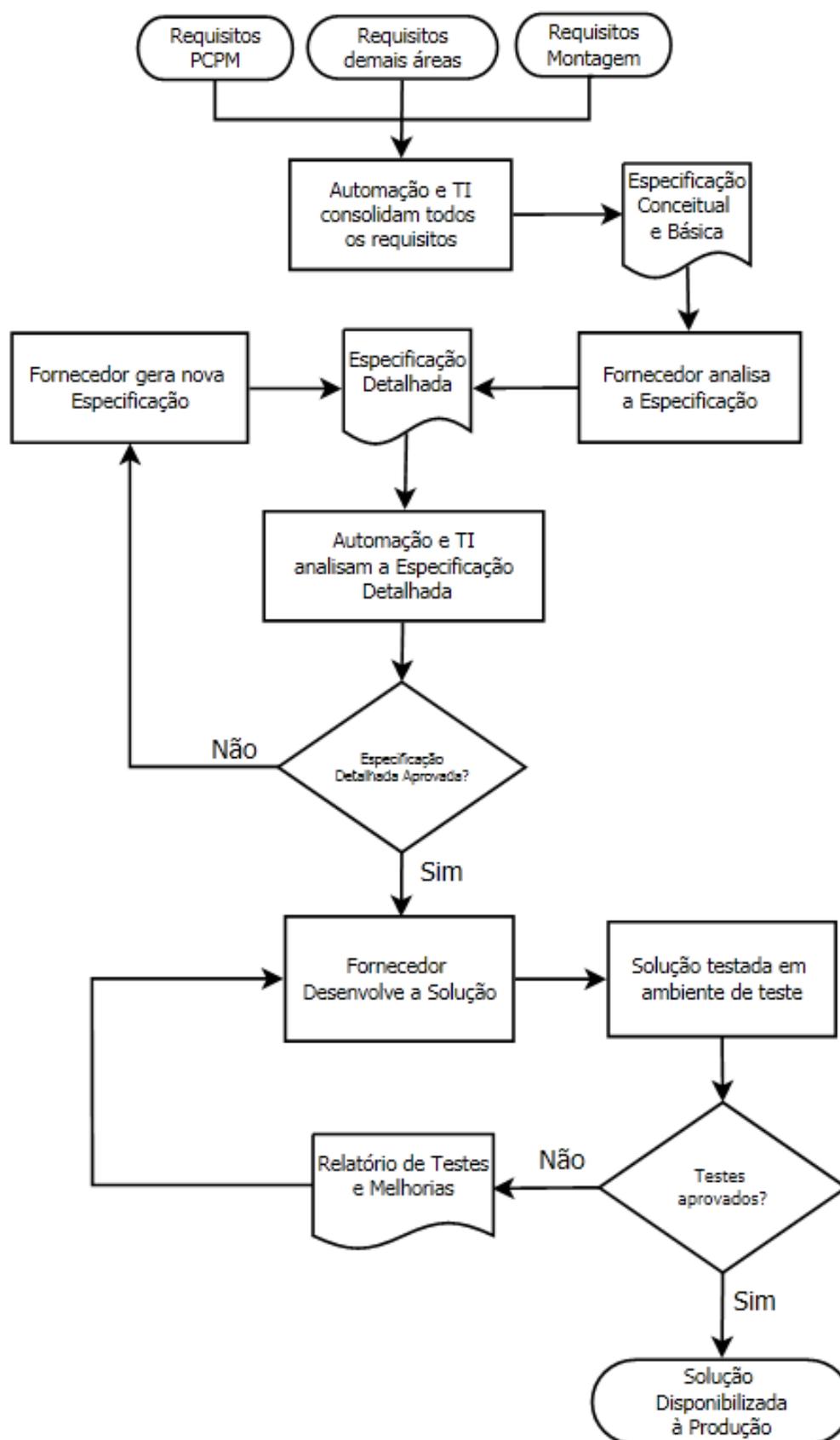


Figura 4-2: Fluxograma de desenvolvimento da solução

Fonte: Dados do pesquisador, 2010

O fluxograma apresentando anteriormente refere-se somente ao desenvolvimento da parte de software. A parte de instalação de infra-estrutura e equipamentos, treinamento e preparação das áreas para a utilização do sistema serão explicados posteriormente.

#### **4.1.2: Especificação dos equipamentos**

A compra dos equipamentos necessários à instalação da solução é de responsabilidade da equipe de Automação. Uma Especificação Técnica é gerada para cada equipamento e encaminhada a área de Suprimentos da empresa, a qual faz uma cotação de cada equipamento, com no mínimo três fornecedores. Após o recebimento das cotações, será selecionada a empresa que além de estar tecnicamente aprovada pelo engenheiro da área de Automação, apresentar o menor preço dos equipamentos.

#### **4.1.3: Instalação dos equipamentos**

Na empresa onde o trabalho foi realizado, existe uma área responsável pela infra-estrutura e instalação de equipamentos diversos, chamada de Engenharia de Infra-Estrutura. Para a instalação dos equipamentos, tais como mestres, coletores, leitores de códigos de barras e toda a infra-estrutura de rede necessária para o sistema a equipe de Automação delegou esta atividade à equipe de Engenharia de Infra-Estrutura, pois este é o procedimento padrão da empresa.

A área de Automação gerou uma Especificação Técnica, com a descrição detalhada de todos os equipamentos a serem instalados com suas respectivas localizações físicas no chão de fábrica. A Especificação Técnica é entregue à Engenharia de Infra-Estrutura e conforme a disponibilidade, um engenheiro é alocado para realizar a atividade, que consiste em orçar o serviço de instalação dos equipamentos com, no mínimo, três empresas diferentes. Após o recebimento dos orçamentos de três empresas diferentes, executará o serviço a empresa que, além de estar tecnicamente aprovada pelo engenheiro de infra-estrutura, tiver o menor preço. Toda interface com a empresa que efetuará o serviço é feita pelo engenheiro de infra-estrutura, inclusive o acompanhamento da execução dos serviços, prezando pela qualidade e pelo prazo de execução. Após terminado o serviço, um engenheiro da equipe de Automação inspeciona os serviços de instalação executados, e caso não esteja conforme, ele delega ao engenheiro de infra-estrutura a correção ou melhoria das instalações.

## 4.2: Descrição do sistema

O fornecedor já possuía uma arquitetura padrão do sistema MES nas áreas de fabricação de peças plásticas e metálicas, formado basicamente por coletores, mestres e servidor (figura 4.3). Os mesmos foram adaptados para a sua aplicação em linhas de montagem.

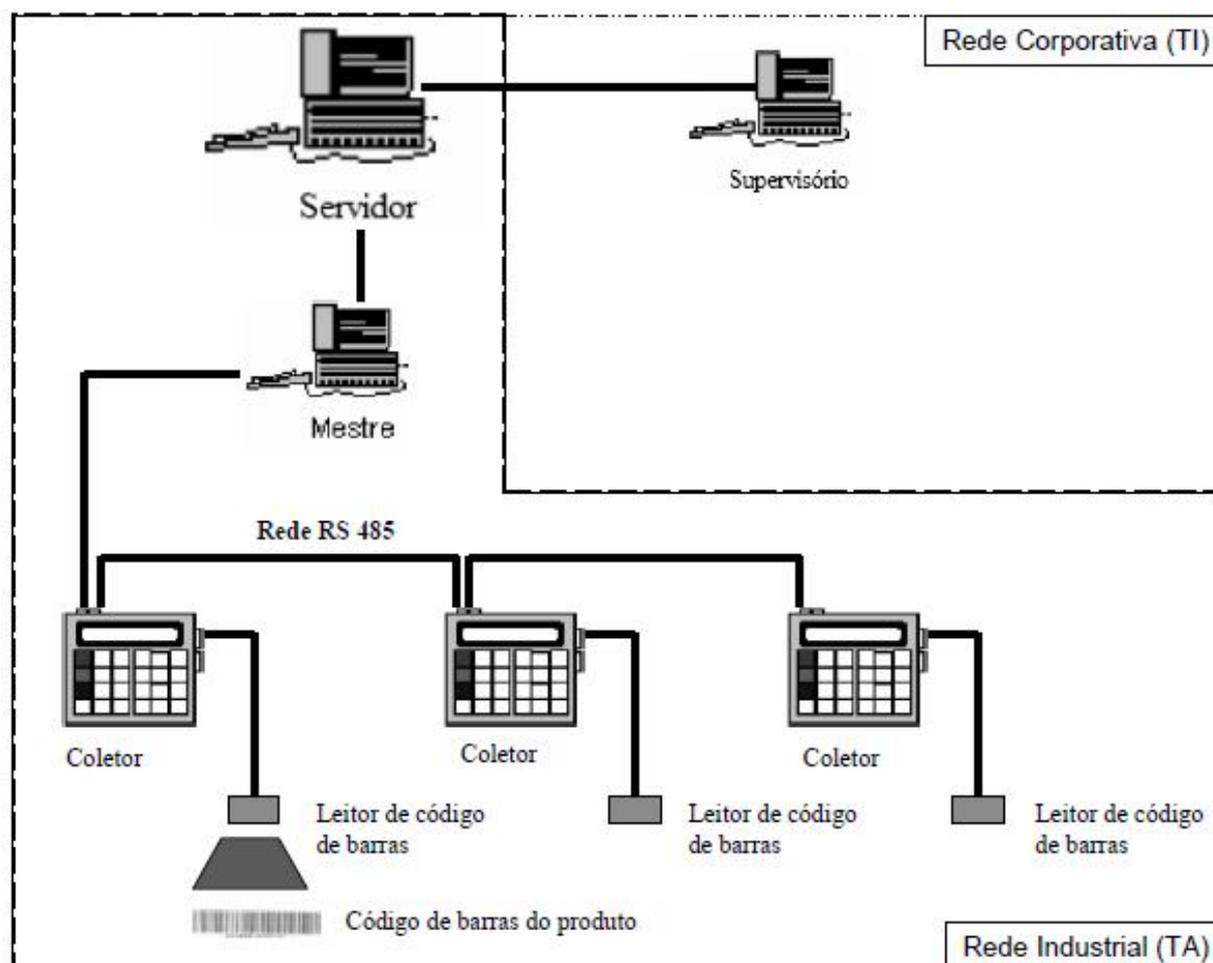


Figura 4-3: Arquitetura da solução MES para linhas de montagem

Fonte: Dados do pesquisador, 2010

O sistema MES lê o código de barras único de cada produto nas três fases da linha de montagem. A partir dessa leitura, pode-se obter inúmeras informações e diversos indicadores importantes, já explicados no capítulo 3, para a gestão das linhas de montagem, como por exemplo:

- Produção em tempo real, ou por qualquer período de tempo;
- Tempo de ciclo;

- Produtividade;
- Desvios de produção;
- Schedule;
- FPY;
- IQL.

Uma rede industrial está inserida do contexto da Tecnologia de Automação (TA) e são os protocolos de comunicação utilizados para supervisionar, controlar ou monitorar um determinado processo, com troca rápida e precisa de informação entre sensores, atuadores, computadores, controladores lógicos programáveis (CLP) e outros dispositivos conectados à rede. Uma rede corporativa está inserida no contexto da Tecnologia da Informação (TI), e nela estão presentes todos os sistemas da empresa, como o ERP, o acesso à internet, sistema de e-mail e todas as pastas e diretórios de arquivos da empresa. O sistema MES para linhas de montagem é composto de 5 tipos de equipamentos: servidor, supervisórios, mestres, coletores e leitores de código de barras. Com exceção do supervisório, todos os equipamentos estão inseridos em uma rede industrial (TA), sendo que o supervisório está conectado a rede corporativa (TI):

- **Servidor:** é o computador onde todas as informações coletadas nas linhas de montagem são armazenadas sob a forma de um banco de dados relacional. O sistema supervisório presente em inúmeros computadores da fábrica acessa os dados deste servidor;
- **Mestre:** cada linha de montagem possui um computador mestre, que é responsável por consolidar as informações recebidas de cada coletor e enviá-las ao servidor;
- **Supervisório:** é o software presente em vários computadores da unidade que permite visualizar, monitorar e gerenciar dados obtidos em tempo real de todas as linhas de montagem;
- **Coletor:** cada fase de uma linha de montagem possui um coletor, que está conectado em série com os outros coletores e o mestre da mesma linha de montagem. O coletor recebe o código de barras lido pelo leitor, e o envia para o mestre da respectiva linha;
- **Leitor de código de barra:** é o responsável pela leitura de todos os códigos de barra dos produtos em cada fase da linha de montagem. Ele é normalmente do tipo fixo, como mostrado na figura 4.4, mas também pode ser do tipo pistola, como mostrado no capítulo 3.



Figura 4-4: Leitor fixo de código de barras

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

#### 4.2.1: Leitura do código de barras

Assim como na área de expedição, o sistema MES para linhas de montagem utiliza o código de barras exclusivo de cada produto para efetuar suas leituras. Cada coletor possui um código interno que identifica a fase da linha em que ele está posicionado, o mestre também possui um código interno que identifica a linha de montagem onde ele está posicionado.

Quando, na linha de montagem, o produto passa pelo ponto de leitura do sistema MES, o seu código de barras do produto é lido pelo leitor, e os 21 dígitos do código são armazenados momentaneamente no coletor, que envia as informações ao mestre e, em seguida, as informações são enviadas e armazenadas no servidor. O sentido da informação ocorre conforme mostrado na figura 4.5.

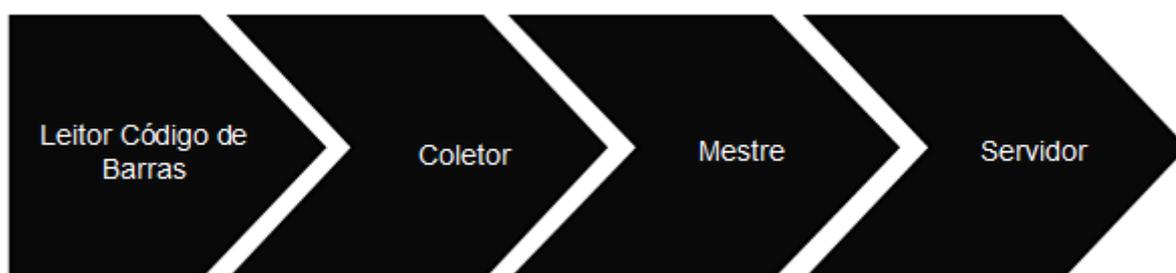


Figura 4-5: Fluxo de informação do sistema MES para linhas de montagem

Fonte: Dados do pesquisador, 2010

Quando o dado coletado é transferido ao próximo nível, o mesmo é apagado do nível anterior.

No momento da leitura, os dados do produto que são enviados ao servidor são:

- Código de barras;
- Data e Hora;
- Linha de Montagem;
- Fase.

Com estas informações armazenadas no servidor, pode-se obter inúmeros tipos de relatórios (que serão mostrados no item 4.2.5:) e informações em tempo real das linhas de montagem.

Cada coletor possui uma tela de LCD, que no momento da leitura do código de barras, mostra os 21 dígitos deste código por dois segundos, e logo em seguida mostra a quantidade produzida na hora atual (50 na figura 4.6) e a quantidade produzida no turno (310 na figura 4.6) da respectiva fase da linha de montagem, até que outra leitura seja efetuada.



Figura 4-6: Tela de LCD do coletor

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

A quantidade produzida só é incrementada em cada fase, se o código de barras do produto, para a respectiva fase, não estiver armazenado no banco de dados. Caso o código de barras do produto já estiver armazenado no banco de dados, significa que o mesmo já foi lido anteriormente, e portanto não pode ser contabilizado como um novo item produzido. Isto garante que os produtos que retornam a qualquer linha de montagem não sejam contabilizados como um novo produto.

### 4.2.2: Contingências

Um sistema responsável pela gestão de todas as linhas de montagem deve ser suficientemente robusto e confiável, e por esta razão o sistema foi preparado para eventualidades que possam acontecer devido a falhas em algum dos equipamentos do sistema. Quando um dos equipamentos falha, o sistema entra em modo de “contingência”, conforme demonstrado na tabela 4.1.

<b>Tipo de falha</b>	<b>Consequência</b>	<b>Contingência</b>
defeito no servidor	falha comunicação entre mestre e servidor	os dados ficam armazenados no mestre e quando a conexão é reestabelecida, os dados são enviados ao servidor
falha no mestre	falha comunicação entre mestre e coletores	os dados ficam armazenados nos coletores, que possuem a capacidade de armazenar 2000 produtos lidos, e quando a conexão é reestabelecida, os dados são enviados ao mestre
defeito no coletor	falha na leitura	Linha de montagem trava e equipe de manutenção, que possui alguns coletores reservas, configurados para cada fase, troca o coletor com defeito
defeito no leitor	falha na leitura	Linha de montagem trava e equipe de manutenção, que possui alguns leitores reservas, troca o leitor com defeito

Tabela 4-1: Contingências

Fonte: Dados do pesquisador, 2010

### 4.2.3: Intertravamento

Eventualmente, alguns produtos deixavam de ser lidos, e, portanto não eram contabilizados pelo sistema. Para evitar que isto ocorresse, as leituras dos produtos na fase 3 das linhas de montagem (embalagem) passaram a ser intertravadas. Logo após o produto ser embalado numa máquina chamada *shrink*, a última operação para que o produto saia da linha de montagem é a leitura do código de barra do produto na fase 3. Caso este código não consiga ser lido automaticamente pelo leitor de código de barras fixo, a esteira da linha de montagem pára imediatamente e um alerta audiovisual é disparado. Para que a linha de montagem seja destravada, o operador mais próximo se encaminha ao coletor e faz a leitura do respectivo

produto com uma pistola manual, conectada ao mesmo coletor do leitor fixo de código de barras.

Inicialmente, somente na fase 3 de cada linha de montagem foi habilitado o sistema de intertravamento, pois a fase 3 é a mais importante, porque é nela que é contabilizada a produção de cada linha de montagem. Posteriormente, na fase 1 das linhas, foi habilitado o intertravamento, pois esta é a fase onde acontece o “nascimento” dos produtos.

Resumidamente, o intertravamento garante que todos os produtos sejam lidos, ou seja, garante a fidelidade dos números apontados pelo sistema.

#### **4.2.4: Procedimentos excepcionais**

Alguns produtos que passam pela linha de montagem não devem ser contabilizados pelo sistema como um item produzido, pois são produtos que não podem ser considerados como um produto completo para ser destinado à venda. São dois os casos em que esta situação ocorre:

##### **4.2.4.1: PAs sem peça**

Como já explicado anteriormente, os produtos acabados sem peças (PAs sem peça) são produtos embalados sem que os mesmos estejam completamente fabricados, e portanto, estes produtos não podem ser contabilizados como produtos acabados. Para que o sistema MES para linhas de montagem não contabilize este produto, um procedimento teve de ser criado nas linhas de montagem.

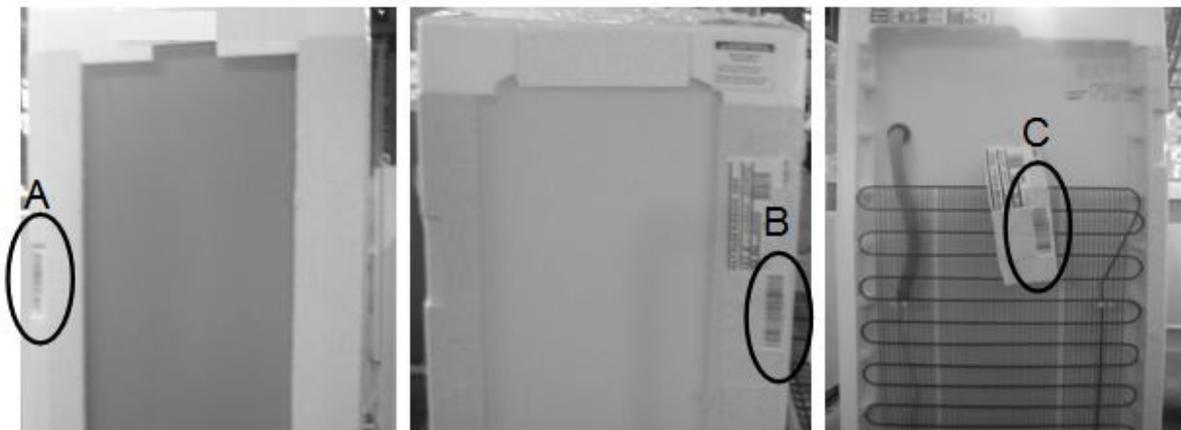


Figura 4-7: Posicionamento dos códigos de barra: A) posicionamento padrão; B) posicionamento de produto sem peça; C) posicionamento de produto sem peça.

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

Para que os PAs sem peças, ao passarem pelo leitor posicionado na fase 3 das linhas de montagem, não sejam contabilizados como um PA, o código de barras do produto não poderia estar posicionado no local padrão. Por isso, dependendo da linha de montagem em que se encontram, houve a necessidade de adaptação de dois novos lugares (vide figura 4.7), e assim a leitura automática não pode ser realizada. Ao mesmo tempo, o código de barras deve ser acessível para que o operador possa efetuar a leitura do código de barras com a pistola manual.

Quando um PA sem peça passa pelo ponto de leitura da fase 3 da linha de montagem, a linha é intertravada, pois nenhum código é lido. Para destravar a linha, o operador mais próximo lê com a pistola um código de barras especial, fixado junto ao coletor, significando que o próximo código a ser lido será um PA sem peça. Assim, o sistema não interpretará este produto como um produto acabado, e o mesmo será armazenado no sistema como um PA sem peça.

#### 4.2.4.2: Atendimento ao Consumidor (AC)

Este item corresponde a um gabinete de refrigerador e, portanto, não corresponde a um produto acabado. Ele é um conjunto destinado às assistências técnicas das marcas fabricadas pela empresa. Como esses itens não possuem códigos de barra, ao passar pelos pontos de leitura a linha de montagem será intertravada. Para liberar a linha de montagem, há um

código de barras especial de produtos AC junto ao coletor, e toda vez que este tipo de produto parar a linha de montagem, este código de barras deve ser lido para liberar a linha.

#### **4.2.5: O Supervisório**

O supervisório é o software presente em vários computadores da unidade que permite visualizar, monitorar e gerenciar dados obtidos em tempo real de todas as linhas de montagem. A partir das leituras feitas na linha de montagem e armazenadas no servidor, o supervisório disponibiliza aos usuários diversas informações de qualquer linha de montagem, tanto em tempo real quanto históricos. É o supervisório que permita monitorar e fazer a gestão em tempo real do desempenho do processo produtivo das linhas de montagem, realizar análises de desempenho relacionadas por grupo de linhas de montagem, por fases, por produtos, por turnos, por hora, por qualquer período desejado.

Cada usuário possui uma senha e um perfil de acesso de acordo com as funções exercidas na empresa. Caso o usuário seja um supervisor de linhas de montagem, o seu perfil de acesso ao supervisório permitirá que ele tenha acesso ao monitoramento em tempo real e a qualquer relatório, porém ele não terá acesso às telas de configuração e parametrização do sistema. Há três tipos de perfil de acesso:

- Perfil Monitoramento: tem acesso ao monitoramento em tempo real e a qualquer relatório. É o perfil de acesso dos usuários do chão de fábrica;
- Perfil Engenharia: tem acesso ao monitoramento em tempo real e a qualquer relatório, e acesso às telas de parametrização das linhas de montagem. É o perfil dos usuários da área de Engenharia de Processos de Manufatura, exceto do grupo de Automação;
- Perfil de acesso total: tem acesso a todas as telas disponíveis no supervisório, que inclui o monitoramento em tempo real, qualquer relatório, as telas de parametrização das linhas de montagem e as telas de configuração do próprio sistema. É o perfil dos usuários do grupo de Automação.

##### **4.2.5.1: As principais telas do supervisório**

O supervisório possui várias telas, sendo que somente as principais serão mostradas. A tela mostrada na figura 4.8 ilustra os indicadores de uma linha de montagem de hora em hora para um turno completo. Nesta tela, é possível obter informações da produção, do plano

(programação), atendimento (schedule), índice de qualidade (IQL) e o total defeitos encontrados. A tela está disponível para qualquer fase de qualquer linha e também é possível agrupar informações da mesma fase de todas as linhas de montagem.

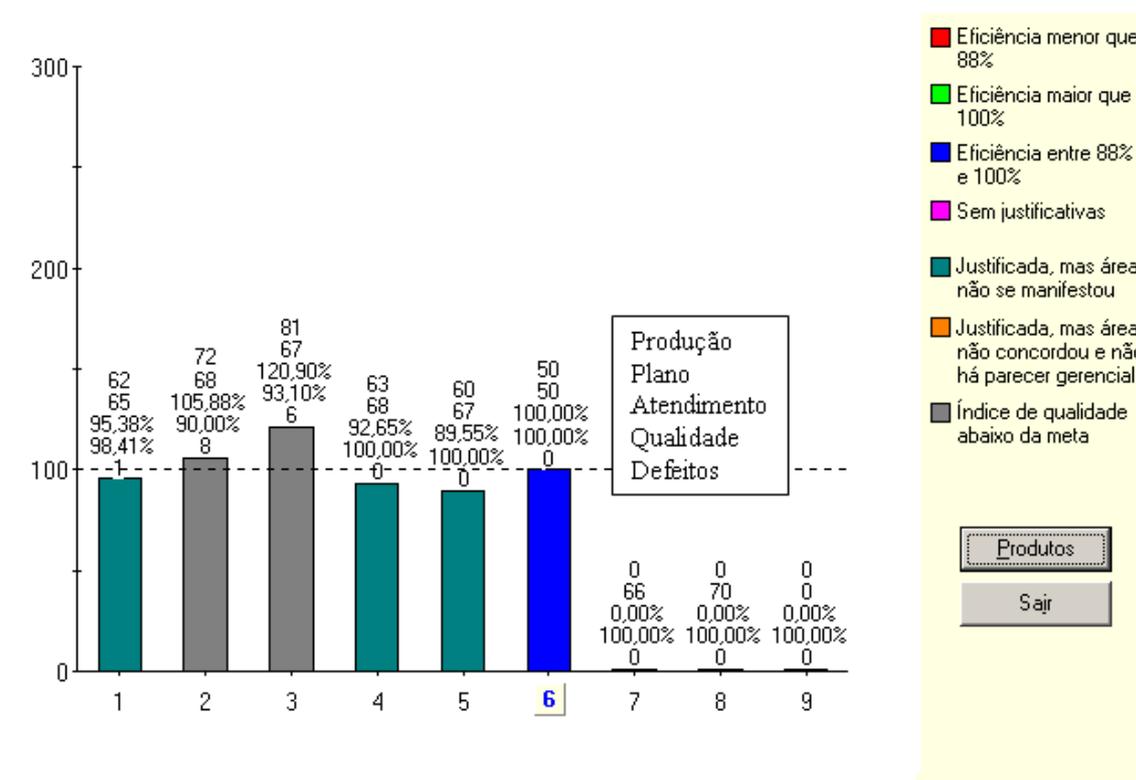


Figura 4-8: Indicadores hora a hora de uma linha de montagem

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

Na solução MES para linhas de montagem, o cálculo da capacidade de produção de cada linha de montagem por turno é chamada de Capacidade Máxima MOD (mão-de-obra direta), e é feito através da seguinte equação:

$$Capacidade\_MAX\_MOD = \{Total\_Mix \times [2 - (Taxa\_MOD)]\}$$

onde:

- Total\_MIX: é o total de produtos a serem fabricados no turno e que foram definidos pela programação feita pela equipe do PCPM através do ERP. A programação feita no ERP é automaticamente migrada ao MES para linhas de montagem;

- Taxa\_MOD: é a taxa de mão-de-obra direta definida pela equipe de Montagem da Engenharia de Processos de Manufatura, sendo um percentual normalmente entre 80% e 90%, mas para efeito de cálculo esse percentual é um número dentro do intervalo [0, 1]. Essa taxa representa o aproveitamento da MOD nas linhas de montagem. Por exemplo, se a Taxa\_MOD de uma linha for de 85%, significa que, na média, 15% do tempo dos operadores é desperdício (isto é, é gasto com atividades que não agregam valor).

Na figura 4.9 é apresentada a tela onde pode-se visualizar a programação das linhas de montagem, a Capacidade Máxima MOD (= 847) e o Total MIX (= 770, três modelos diferentes). Nesta tela, três modelos deverão ser produzidos ao longo do turno, sendo 92 unidades do Modelo A, 213 unidades do modelo B e 465 unidades do modelo C. As colunas H1, H2 etc., mostram as quantidades de cada produto que devem ser produzidas a cada hora. Mais abaixo, é mostrada a distribuição horária do Mix, que é a quantidade total que deve ser produzida a cada hora, ou seja, a soma da produção horária de cada modelo.

Planejamento de linha, material e turno

Linha de produção  Data plano

Versão Seq.  Turno

Material

Material	SAP	Conf	QTD	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9
Modelo A	SIM	NÃO	92	11	12	11	12	12	11	11	12	0
Modelo B	SIM	NÃO	213	26	27	26	27	26	27	27	27	0
Modelo C	SIM	NÃO	465	58	58	58	58	58	58	58	59	0

Total MX: 770

Capacidade Máxima MOD: 847

Distribuição horária do MX:

H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9
95	97	95	97	96	96	96	98	0

SAP - Não Confirmado  
 SAP - Confirmado  
 Inserido Manualmente

Figura 4-9: Programação das linhas via sistema ERP

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

Na solução MES para linhas de montagem, há dois tipos de desvios de produção, o desvio por ritmo e o desvio por parada. O desvio por ritmo é quando a linha de montagem produz em um ritmo mais lento, porém nenhuma parada é identificada pelo sistema. Já o desvio por parada, é quando a linha fica realmente parada, ou seja, por um determinado período de tempo, nenhum código de barras de produtos foi lido. O tempo necessário para que um desvio por parada seja aberto pode ser configurado.

Todos os desvios de produção ocorridos em todas as fases de todas as linhas de montagem são identificados e podem ser justificados na tela mostrada na figura 4.10. No próximo capítulo a sistemática de justificativas de desvios de produção será explicada.

**Justifica Desvios**

Empresa  Unidade

Fábrica

Linha  Fase

Data  Turno

Submeter Filtro

Horário início  Horário fim

Paradas | Ritmos

X	HI - HF	Peças	Ocorrência	Área
<input type="checkbox"/>	08:34:03 - 09:00:00	46	Não informado	Nao Informada
<input type="checkbox"/>	09:00:00 - 09:09:41	17	Não informado	Nao Informada

Total de Perdas: 63

**Descrição da Ocorrência**

Pesquisar por Ocorrência

Pesquisar por Área Responsável

Área Responsável

Diário de Bordo

Salvar

Sair

Marcar todos

Desmarcar todos

Figura 4-10: Tela de justificação de desvios

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

Os desvios justificados podem ser estratificados de duas formas, em formato de relatório (figura 4.11) ou como gráfico de pizza (figura 4.12). Vale ressaltar que todos estes relatórios ou telas podem ser gerados de qualquer fase e de qualquer linha de montagem, inclusive de todas as fases de todas as linhas de montagem.

Consulta de Desvios			
Empresa	Unidade	Fabrica	Linha
Mês	Data	Turno	UGB Resp
Consulta			
Descrição UGB	Total	Descrição desvio	Total
UGB ENG. INSTALAÇÕES	827	MANUTENÇÃO CORRETIVA	1694
UGB MANUTENÇÃO	757	MATERIAL NÃO CONFORME	480
UGB ENG. PRODUTO	432	FALTA PESSOAL / ATESTADO	288
UGB MONTAGEM / POLIURETANO	338	NECESSIDADES FISIOLÓGICAS	288
UGB RECURSOS HUMANOS	288	FALTA DE PEÇAS INTERNA	282
PARADAS ESTRATÉGICAS	186	DESVIO PROGRAMAÇÃO	186
UGB ALMOXARIFADO	154	REJEITO / REPROCESSO	159
UGB GAR. QUALIDADE	87	ALTERAÇÃO DE PROCESSO	84
UGB PRENSAS	85	LANÇAMENTO DE PRODUTO	53
ENG. MATERIAIS	80	FALTA DE AGUA/ENERGIA/AR	25
UGB SUPRIMENTOS SBM	65	MANUTENÇÃO AUTÔNOMA	15
UGB SUPRIMENTOS INDIRETO	50	GANHO DE PRODUTIVIDADE	8
UGB PERFILADORAS	48	Total Global	3562
UGB ENG. RESIDENTE MONT.	45		
UGB ENG. DESENVOLVIMENTO	37		
UGB PCPM	36		
UGB PINTURA	27		
UGB INJETORAS	20		
Total Global	3562		

Figura 4-11: Tela de Consulta de desvios de produção

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

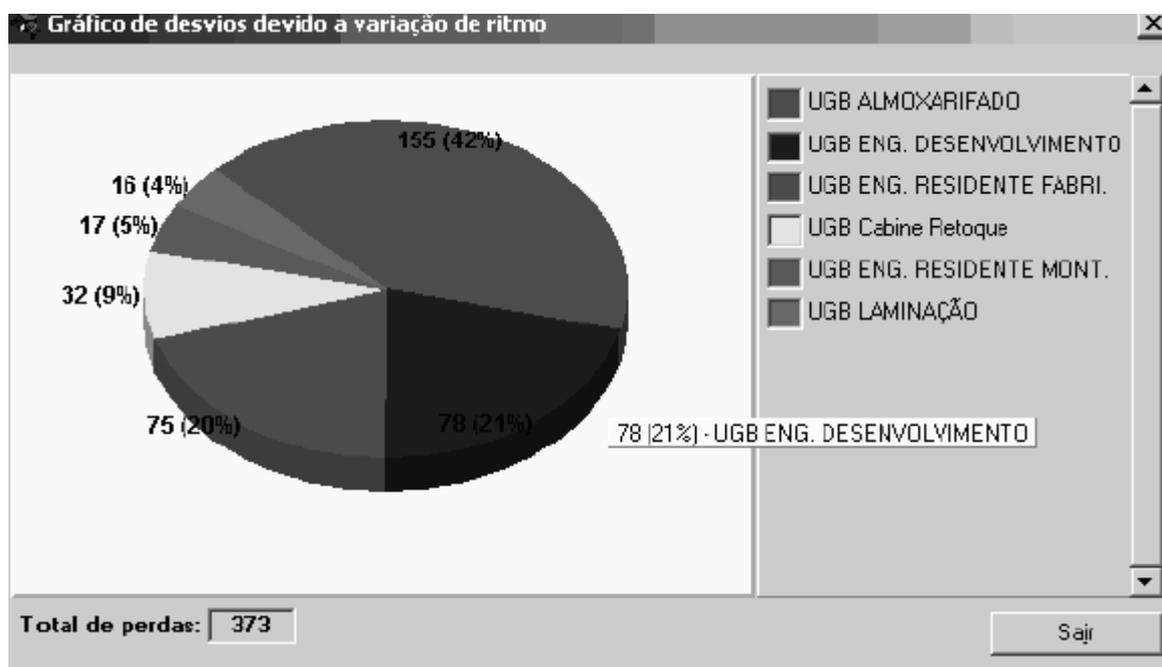


Figura 4-12: Gráfico de desvios de produção

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

A tela de gestão da produção (figura 4.13) pode ser considerada a tela mais importante da solução MES para linhas de montagem, pois nela é possível visualizar ao mesmo tempo todas as linhas de montagem, com seus respectivos indicadores, desvios de produção e justificativas de desvios. É a tela mais utilizada pelo nível gerencial da empresa.

Gestão da produção													
Empresa		Unidade		Fabrica		FÁBRICA 2							
Dt. inicial		Dt. final		Turno		Linha		L-1 F-2					
Fase				Gerar Dados									
Linha	Produção	Produtividade	Schedule	Plano Total Fixo	Capacidade Total	Ciclo Padrão	Média Ciclos	Eficiência Ciclos	Quant Produtos	Desvios	Descrição Desvios	UGB Responsável	Justificativas dos desvios
L-8	508	99,22%	80,53%	512	512	56,25	36,49	154,94%	10	15	falta caixa interna falta capa externa br	Termoformagem Pintura	
L-2	555	88,94%	86,63%	549	624	46,15	31,48	146,62%	10	15	falta gaveta legumes banheiro	Injetoras Montagem	
L-6	101	134,67% 114,77%	114,77% 95,60%	75	88	327,27	54,99	595,15%	0				
L-1	816	96,23%	94,32%	763	848	33,96	24,69	137,53%	25		Queda sistema A'Gra	Eng. Processos	
L-3	559	72,04%	75,62%	698	776	37,11	39,03	95,09%	13	6	falta caixa interna falta capa externa	Termoformagem Pintura	
<b>Total</b>	<b>2539</b>	<b>89,15%</b>	<b>87,53%</b>	<b>2597</b>	<b>2648</b>				<b>94</b>				

Figura 4-13: Tela de gestão da produção

A tela de gestão da produção é um sumário da situação da fábrica, fornecendo de forma sucinta aos gestores um panorama geral das linhas de montagem. Em poucos segundos de observação, os gestores obtêm as informações mais importantes das linhas de montagem e, se as informações de uma determinada linha de montagem despertarem maior interesse, o gestor deve acessar a tela Informações Detalhadas (figura 4-14). Um possível caso de utilização desta tela por um gerente de uma linha de montagem é a seguinte: “O gerente acabou de chegar à fábrica cedo de manhã, liga o seu computador e quer visualizar rapidamente a situação da produção do turno atual. Ele abre a tela Gestão da Produção e logo vê que a Linha de Montagem 1 produziu 40 produtos a menos que o programado. Para saber mais detalhes do ocorrido, ele abre a tela Informações Detalhadas e descobre que o problema está relacionado com um absenteísmo de operadores desta linha maior que o normal. Como a linha de montagem 2, nesta mesma manhã, estava parada para manutenção preventiva, o gerente resolve deslocar alguns operadores que estavam ajudando na manutenção da linha de montagem 2 para a linha de montagem 1”. Através da ferramenta, o gerente pode rapidamente tomar uma ação para minimizar as perdas ocorridas na linha de montagem 1.

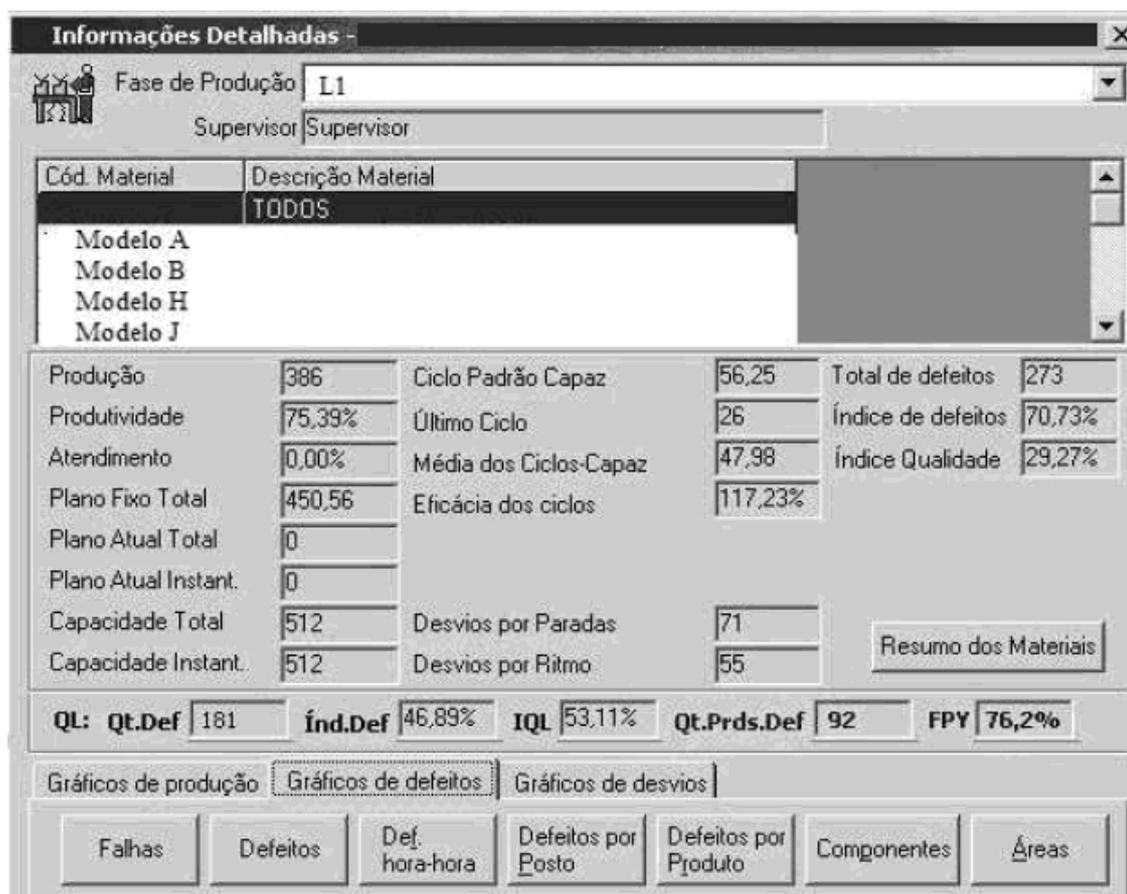


Figura 4-14: Tela de Informações Detalhadas

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

Na tela de Informações Detalhadas, é possível gerar gráficos de produção, de defeitos, de desvios, com detalhes de hora em hora, modelo por modelo ou produto por produto, de todas as três fases das linhas de montagem.

#### 4.2.6: Indicadores de Qualidade

Os dados coletados pelo sistema de gestão da qualidade são importados pela solução MES para linhas de montagem, e através da junção dos dados provenientes dos dois sistemas pode-se gerar relatórios de qualidade. Estes relatórios podem ser utilizados para identificar tendências e oportunidades de melhoria no processo produtivo da empresa.

O relatório da figura 4.15 mostra os defeitos mais comuns, como gráfico de Pareto em formato texto, e ele pode ser gerado para toda a fábrica, ou somente para as linhas de montagem desejadas. Pode-se observar nesta figura, 71 ocorrências de defeitos de Vedação Deficiente, sendo que todas elas foram decorrentes da área de Montagem, e todas ocorreram

na porta do refrigerador. Já o defeito do tipo Mal Fixado/Solto, ocorreu 40 vezes, sendo 23 ocorrências da área de Montagem e 17 da área de PU Portas. Das 23 ocorrências da área de Montagem, 8 foram por causa da capa do relé, 5 do termostato, 3 do conector, 3 da base do compressor e 2 do relé. Já as 17 ocorrências de defeito do tipo Mal Fixado/Solto da área de PU Portas foram causadas pela gaxeta da porta.

Relatório de defeitos - Ordenado por defeito						Emissão: 16/10/2008 10:00:38	
						De 16/10/2008 a 16/10/2008	
<b>Empresa:</b>	<b>Posto(s): TODOS</b>					<b>Qt. Produzida: 1071</b>	
<b>Unidade:</b>	<b>Área Responsável (ies): TODAS</b>					<b>Qt. Defeitos: 338</b>	
<b>Fabrica:</b>	<b>Componente(s): TODOS</b>					<b>% Defeitos: 31,56%</b>	
<b>Linha(s):</b>	<b>Classe de Defeitos(s): TODAS</b>						
<b>Horario(s): TODOS</b>	<b>Defeitos(s): TODOS</b>						
<b>Material(s): TODOS</b>							
DEFEITO	QTD	ÁREA	QTD	COMPONENTE	QTD		
105 - Vedação Deficiente	71	Montagem	71	Porta Refrig.	71		
031 - Mal Fixado/Solto	40	Montagem	23	Capa do Rele	8		
				Termostato	5		
				Conector	3		
				Base Compressor	3		
				Rele	2		
		PU Portas	17	Gaxeta da Porta	17		
176 - Vazamento de PU	33	PU Gabinetes	19	Acabamento de Canto	7		
				Gabinete (Fundo Inferior)	4		
				Gabinete (Flange Dir)	2		
				Valvula Ice Maker	1		
				Unidade Selada Ponto 5 (	1		
		PU Portas	14	Porta Refrig.	8		
				Cabeceira Superior	6		

Figura 4-15: Relatórios de defeitos de produtos

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

### 4.3: Replicação da Solução

Apesar de alguns relatórios serem bem específicos, a solução MES para linhas de montagem pode ser replicada para outras linhas de montagem de outras empresas e também para outras linhas de montagem desta mesma empresa. Como este é um sistema específico para linhas ou células de montagem, a solução somente pode ser replicada para estes tipos de processos de manufatura.

Vários conceitos apresentados na solução podem ser utilizados em qualquer linha de montagem, entre os quais, o conceito de desvios de produção por perda de ritmo ou por parada de linha. Os indicadores calculados pela solução, tais como a quantidade produzida, as taxas de produtividade, o schedule, os tempos de ciclo e o FPY são usuais em muitas linhas

de montagem, e a solução está apta para realizar esses cálculos para outros tipos de linhas de montagem.

#### **4.3.1: Como replicar a solução MES para outros tipos de linhas de montagem**

Para que a solução possa ser implantada em uma linha de montagem qualquer, os produtos montados nessa linha devem ter, obrigatoriamente, uma identificação única, ou seja, um código de barras exclusivo para cada produto. A arquitetura do sistema e a infra-estrutura necessária são as mesmas descritas neste capítulo. Coletores e leitores de código de barras devem ser instalados na linha conforme a necessidade. Com isso, é possível obter indicadores de tempo de ciclo, quantidade produzida, produtividade e também obter informações de rastreabilidade dos produtos. Como cada fábrica e cada linha de montagem têm as suas particularidades, outras funcionalidades podem ser customizadas de acordo com a necessidade da fábrica, da linha e do produto.

#### **4.4: Contribuição Científica**

Na literatura científica, o pesquisador não encontrou registros de um sistema MES implantado em qualquer tipo de linha de montagem de produtos discretos. O pesquisador fez uma pesquisa em empresas da região de Curitiba e do norte catarinense e só encontrou um sistema parecido, porém muito mais simples, em uma fábrica de placas eletrônicas, onde a principal função do MES era a rastreabilidade dos principais componentes eletrônicos montados na placa.

#### **4.5: Próximo Capítulo**

O próximo capítulo mostra a implantação da solução MES na empresa e descreve o método de utilização da solução nas linhas de montagem.

## **Capítulo 5: A utilização do MES na empresa**

### **5.1: A implantação da solução da fábrica**

A utilização do sistema MES para linhas de montagem pela fábrica ocorreu de forma gradativa. Após o término do desenvolvimento, a solução foi instalada em todas as linhas de montagem, e o supervisório foi instalado em alguns computadores da fábrica. Logo depois de instalado, o sistema não foi utilizado pela fábrica, tendo sido apresentado somente aos gestores de toda a fábrica e disponibilizado aos colaboradores que quisessem conhecer o sistema.

Nesta etapa de sistema instalado e não utilizado, a equipe da Engenharia de Automação corrigiu pequenos erros que não foram identificados durante a fase de testes. Além dos testes realizados no ambiente de testes, outros testes também foram realizados no sistema real. Quando todos os erros identificados foram resolvidos, a solução estava pronta para a utilização no chão de fábrica.

Antes de implantar oficialmente a solução, a Engenharia de Automação apresentou o sistema aos gestores da fábrica e depois treinou todos os futuros usuários.

O que realmente foi mais relevante na implantação do sistema e na sua utilização pela fábrica foi que os usuários do sistema o viram como um aliado e parceiro da manufatura enxuta, e que em conjunto um sistema MES e a manufatura enxuta poderiam ser parceiros para desenvolver conjuntamente soluções que visam aumentar a produtividade e reduzir os desperdícios do chão de fábrica.

#### **5.1.1: A central de monitoramento**

Uma central de monitoramento foi criada para acompanhar 24 horas por dia as linhas de montagem com a utilização da solução MES. O monitor de produção, nome dado a esta função, é um operador responsável por monitorar todas as linhas de montagem da fábrica utilizando o supervisório da solução MES para linhas de montagem. O monitor de produção utiliza principalmente a tela de justificção de desvios (figura 4-10) para observar o que ocorre em todas as linhas de montagem.

O trabalho de monitoramento executado por este funcionário consiste em:

1. Ao final de cada hora de produção, o monitor identifica os desvios de produção de cada linha de montagem e entra em contato, via rádio ou via telefone, com os facilitadores de cada linha para obter informações das causas dos desvios.
2. Em seguida, eles comunicam e/ou confirmam com os supervisores de produção, os desvios ocorridos nas linhas de montagem.
3. Depois, os monitores preenchem, na tela justificação de desvios (figura 4-10) do supervisor, a causa, identificada como ocorrência no supervisor e a UGB responsável, identificada como área no supervisor, para cada desvio de produção ocorrido. Além disso, detalhes do desvio podem ser adicionados no campo diário de bordo (ver figura 5.1).

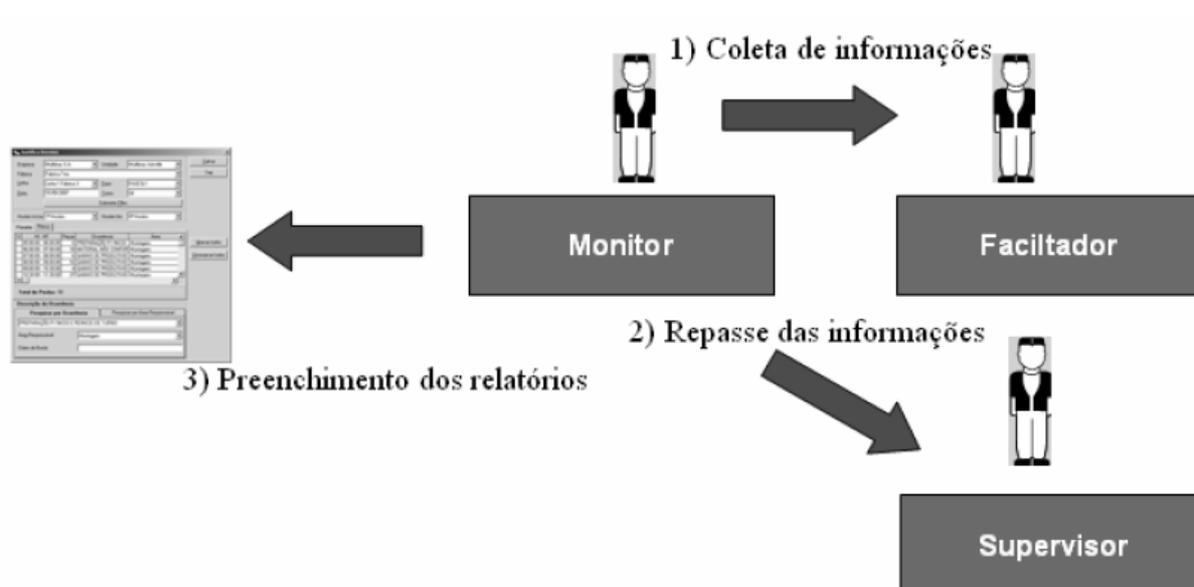


Figura 5-1: Monitoramento de produção via MES para linhas de montagem

Fonte: Dados do pesquisador, 2010

O facilitador é um trabalhador polivalente que desenvolve mais de uma função na linha de montagem ou célula, e com isso pode-se proporcionar rotatividade aos trabalhadores nos postos. O conceito de facilitador consiste em um funcionário extra (além do estritamente necessário ao funcionamento da célula) que dá suporte a cada célula de manufatura, abastecendo-a, substituindo um funcionário ausente e servindo de elo de comunicação entre a supervisão e os funcionários.

Toda a comunicação entre os monitores de produção com os supervisores e facilitadores é feita preferencialmente através de rádios de comunicação, onde cada linha de montagem possui um canal próprio; e como segunda opção, o contato é feito por telefone.

Existe uma lista padrão de tipos de desvios, conforme a tabela 5.1. O monitor preenche os desvios de produção no supervisório utilizando a lista padrão.

Tipos de Desvio		Tipos de Desvio	
CÓD.	DESCRIÇÃO	CÓD.	DESCRIÇÃO
1	GANHO DE PRODUTIVIDADE	15	SETUP DE EQUIPAMENTO/LIMPEZA
2	ALTERAÇÃO DE PROCESSO	16	SUBIR PRODUTOS DO CHÃO
3	EQUIPAMENTO DESREGULADO	17	CURVA DE APRENDIZAGEM
4	FALHA TESTE	18	DESVIO PROGRAMAÇÃO
5	FALTA DE AGUA/ENERGIA/A R	19	REOPERAÇÃO
6	FALTA PESSOAL / A TESTADO	20	LANÇAMENTO DE PRODUTO
7	PROBLEMAS O EXPEDIÇÃO	21	FALTA DE PEÇAS INTERNA
8	MANUTENÇÃO AUTÔNOMA	22	FALTA DE PEÇAS EXTERNA
9	MANUTENÇÃO CORRETIVA	23	NECESSIDADES FISIOLÓGICAS
10	MATERIAL NÃO CONFORME	24	RELATÓRIO NÃO DIGITADO
11	PREP. INÍCIO E REINÍCIO DE TURNO	25	MANUTENÇÃO PREVENTIVA
12	PRODUTOS A C	26	RAMP UP
13	REJETO / REPROCESSO	27	EVENTOS
14	REUNIÃO / TREINAMENTO		

Tabela 5-1: Tipos de desvios de produção

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

A solução MES permite que todas as fases das linhas de montagem sejam monitoradas, mas em decisão conjunta da Engenharia de Processos de Manufatura e dos gestores das linhas de montagem, foi decidido que somente a fase 3 seria monitorada pela equipe de monitores de produção.

### 5.1.2: A gestão da produção

Após a consolidação da solução MES para linhas de montagem, o relatório de produção preenchido em planilhas Excel foi substituído pelos relatórios presentes no supervisório do MES. A Reunião da Produção também passou a ser realizada com as informações presentes no supervisório, tendo como base a tela de Gestão da Produção. A subjetividade existente nos

relatórios e reuniões de produção foi minimizada, pois os dados apresentados são altamente confiáveis.

Todos os participantes em potencial da reunião da produção recebem automaticamente, via correio eletrônico, o relatório da produção do dia anterior, que contém as mesmas informações presentes na tela de Gestão da Produção.

A gestão das linhas de montagem passou a ser feita com os dados disponibilizados pela solução MES para linhas de montagem.

O monitoramento em tempo real das linhas de montagem auxiliou e conferiu rapidez à tomada de decisões, acabou com as discussões, entre as áreas, sobre as responsabilidades por perdas de produção, além de mostrar a realidade dos acontecimentos das linhas de montagem.

#### **5.1.2.1: Produtos sem peça, reprocessados e retirados da linha**

No capítulo 3 foi explicado que um produto, ao entrar na linha de montagem, pode ter vários destinos além de se encaminhar à expedição assim que a montagem e a embalagem forem terminadas. Anteriormente não havia registros de quando os produtos saíam ou retornavam às linhas de montagem fora do seu fluxo normal (que correspondia a entrar na fase 1 e sair na fase 3 rumo à expedição), e conseqüentemente não havia controle algum desses produtos. Através do Relatório de Localização e Situação de Produtos pode-se agora identificar as entradas e saídas de produtos das linhas de montagem, como mostrado na figura 5-2.

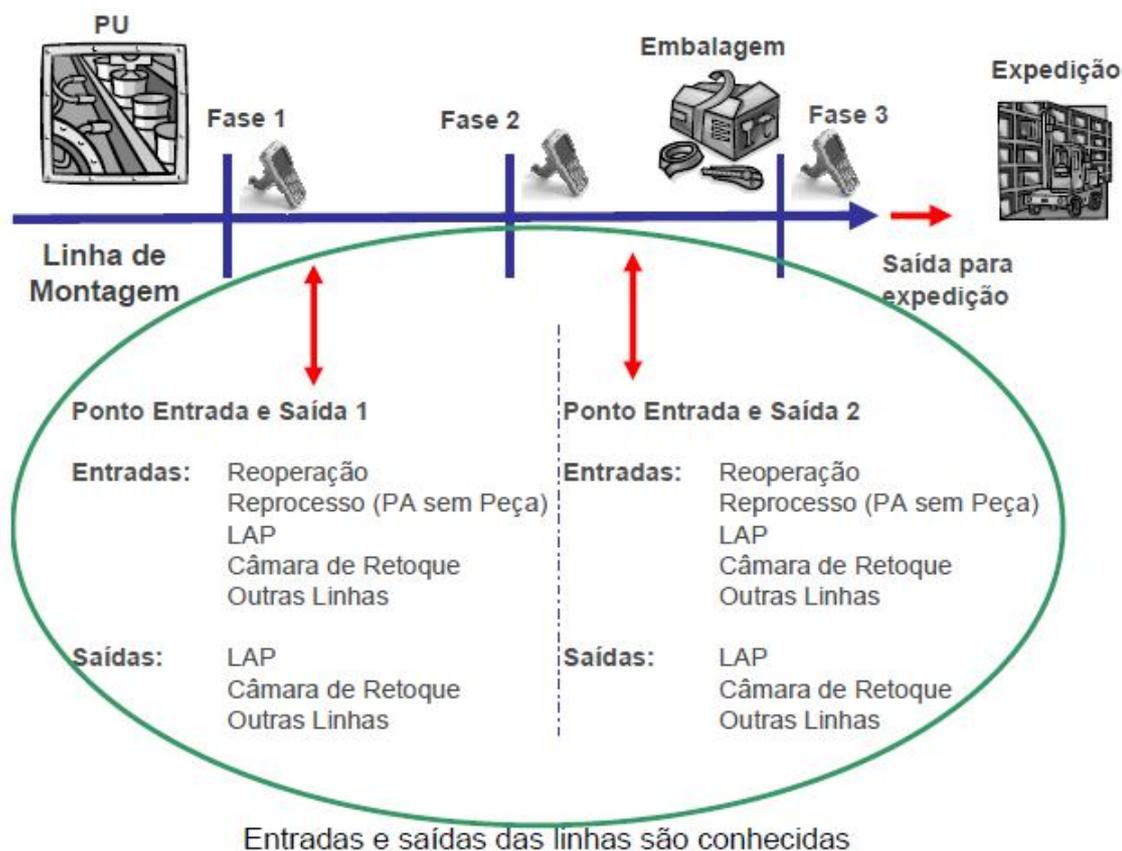


Figura 5-2: Identificação das entradas e saídas de produtos nas linhas de montagem

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

Através do Relatório de Localização e Situação de Produtos (figura 5-3) pode-se visualizar todos os produtos que já entraram em alguma linha de montagem, e seu último registro (última fase pelo qual ele passou) é mostrado. No relatório, a coluna “estado” mostra o status do produto: (a) no caso de PA (produto acabado), é porque o mesmo foi lido pela fase 3 e é um produto conforme; (b) caso seja um PA sem peça, o produto é indicado como um PA sem peça na coluna “estado”; (c) no caso do último registro ser a fase 1 ou 2 do sistema, o estado do produto é “em processo”; (d) caso um produto já tenha sido lido pela fase 3, ou seja, é um produto acabado, e posteriormente é lido pelas fases 1 ou 2 novamente, isto significa que este produto era um produto acabado que retornou à linha de montagem para algum reparo, portanto, o estado desse produto passará a ser chamado de “reoperação”.

Pode-se gerar este relatório para qualquer linha de montagem e para qualquer período entre o dia em que a solução foi instalada até a data presente. Na figura 5.3 é apresentado um exemplo do relatório.

**Localização e Situação de Produtos****EMISSÃO:**

PERÍODO: 20/03/10 a 21/03/10

CÓD. FÁBRICA: 5

CÓD. LINHA: L1

MODELO: TODOS

QTD. TOTAL: 6

CD. FAB (F)	QTD (F)	CD. LIN (LN)	QTD (LN)	MODELO (M)	QTD (M)	ESTADO (E)	QTD (E)	LOCALIZACAO (LC)	QTD (LC)	NUM. SÉRIE
5	6	L1	6	ABC40DBBNA	1	PA	1	DEPPA	1	JL6000001
				ABZ42DBANA	1	PA	1	DEPPA	1	JL6000002
				BDC59ARFNA	1	PA	1	DEPPA	1	JL6100002
				RCX32DBANA	1	PA	1	DEPPA	1	JL6000002
				RMB46ARTWA	1	EM PROC	1	L1	1	JL6100002
				CBM36ERTNB	1	SEM PEÇA	1	DEPPA	1	JL6000001

Figura 5-3: Relatório de Localização e Situação de Produtos

Fonte: dados do pesquisador

Para gerar o Relatório de Localização e Situação de Produtos, escolhe-se um período, uma fábrica e pelo menos uma linha de montagem desta fábrica (também pode-se escolher um modelo específico de produto). Para tornar a figura 5-3 mais didática, o resultado do relatório foi reduzido a seis produtos, mas normalmente este relatório contém dezenas ou centenas de produtos. Como resultado, pode-se observar as colunas em negrito: 1) CD. FAB(F): corresponde à fábrica escolhida para gerar o relatório; 2) QTD (F): quantidade de produtos presentes no relatório; 3) CD. LIN(LN): linha de montagem onde os produtos presentes no relatório foram ou estão sendo produzidos; 4) QTD(LN): é a quantidade de produtos presentes no relatório que foram ou estão sendo produzidos na linha L1; neste caso, como o relatório contempla somente uma linha de montagem, QTD(F) é igual a QTD(LN); 5) MODELO: são os modelos que foram, ou estão sendo fabricados; 6) QTD(M): quantidade de cada modelo; 7) ESTADO(E): estado da fabricação do modelo, que podem ser: PA (produto acabado), EM PROC (em processo), SEM PEÇA (produto embalado sem peça) ou REOP (reoperação). 8) QTD(E): é a quantidade de cada modelo em um determinado estado, 9) LOCALIZAÇÃO (LC): onde cada produto está localizado, podendo ser uma linha de montagem ou o DEPPA (depósito de produtos acabados); 10) QTD(LC): é a quantidade de cada modelo em um determinado estado e em uma determinada localização; 11) NUM. SÉRIE: é o número de série de cada produto, sendo que o código único de cada produto é formado pelo modelo mais número de série e mais dois dígitos verificadores.

Com o Relatório de Localização e Situação de Produtos, pode-se monitorar todos os produtos que saem e que podem entrar novamente nas linhas de montagem, como os produtos em reoperação, PAs sem peças, os produtos que dirigem-se ao Laboratório de Análise de Produtos ou para a Câmara de retoque, ou os produtos que são encaminhados a outras linhas.

Como já mencionado no capítulo 3, a falta de controle dos produtos que entram e saem das linhas de montagem resulta no desconhecimento da localização de alguns produtos, ou seja, devido às grandes dimensões do parque fabril, alguns produtos se perdem dentro da fábrica. A falta de monitoramento da entrada e saída de produtos das linhas de montagem fazia com que aproximadamente 150 produtos por mês fossem fabricados sem ordem porque não se tinha visibilidade em tempo real de onde estavam os produtos.

Com a utilização do Relatório de Localização e Situação de produtos, pode-se localizar rapidamente todos os produtos “perdidos” pela fábrica, evitando a produção de 150 produtos desnecessários por mês, resultando em uma redução de estoque anual de cerca de 1800 produtos.

#### **5.1.2.2: Rastreabilidade dos Produtos**

A rastreabilidade é um conceito que surgiu devido à necessidade de saber em que local um produto se encontra na cadeia logística, ou simplesmente, “de onde” veio e “para onde” foi. A rastreabilidade permite, no caso de surgir um problema no produto, identificar todo o lote não conforme rapidamente e, se necessário, efetuar o reparo somente dos produtos com defeito.

A tela de Rastreabilidade, mostrada na figura 5.4, indica em que instantes um determinado produto passou pelas três fases da linha de montagem. Os 21 dígitos do código de barras de um produto são inseridos na tela, que retorna todos os registros da passagem do produto pela linha de montagem.

**Consulta – Rastreabilidade**

Código de Barras

ABC40DBBNAJL6000010LN

Fase:

Resultado:

Fase	Data	Hora
Fase 1	05/08/10	05:31
Fase 2	05/08/10	06:45
Fase 3	05/08/10	08:10

Figura 5-4: Tela de rastreabilidade de produtos

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

A tela de Rastreabilidade é muito útil quando se constata a presença de uma peça defeituosa em cada produto de um lote após ser fabricado. Os produtos podem estar localizados na expedição, nos pontos de venda ou até mesmo na casa dos consumidores, sendo que quanto mais perto do consumidor o produto estiver, mais difícil e mais caro será o conserto do produto. A tela permite agilizar a identificação dos produtos defeituosos e segregar somente os PAs afetados por falhas de processo ou “epidemias”, que são uma grande quantidade de produtos com o mesmo defeito que foram detectados tardiamente e já se encontram na expedição, pontos de venda ou em utilização pelo consumidor final, e não em lotes estimados. Lote estimado é uma quantidade de produtos fabricada em um determinado período que contém produtos com defeitos, mas como é uma estimativa, também contém muito produtos sem defeito algum. A figura 5-5 mostra um lote estimado, onde pode-se observar que uma parte dos produtos não possui nenhum defeito. Com a funcionalidade da rastreabilidade, não é mais necessário estimar a quantidade de produtos que devem ser segregados, pois o sistema apontará quais produtos estão com defeito, reduzindo consideravelmente o tempo e o custo da operação de conserto dos produtos.

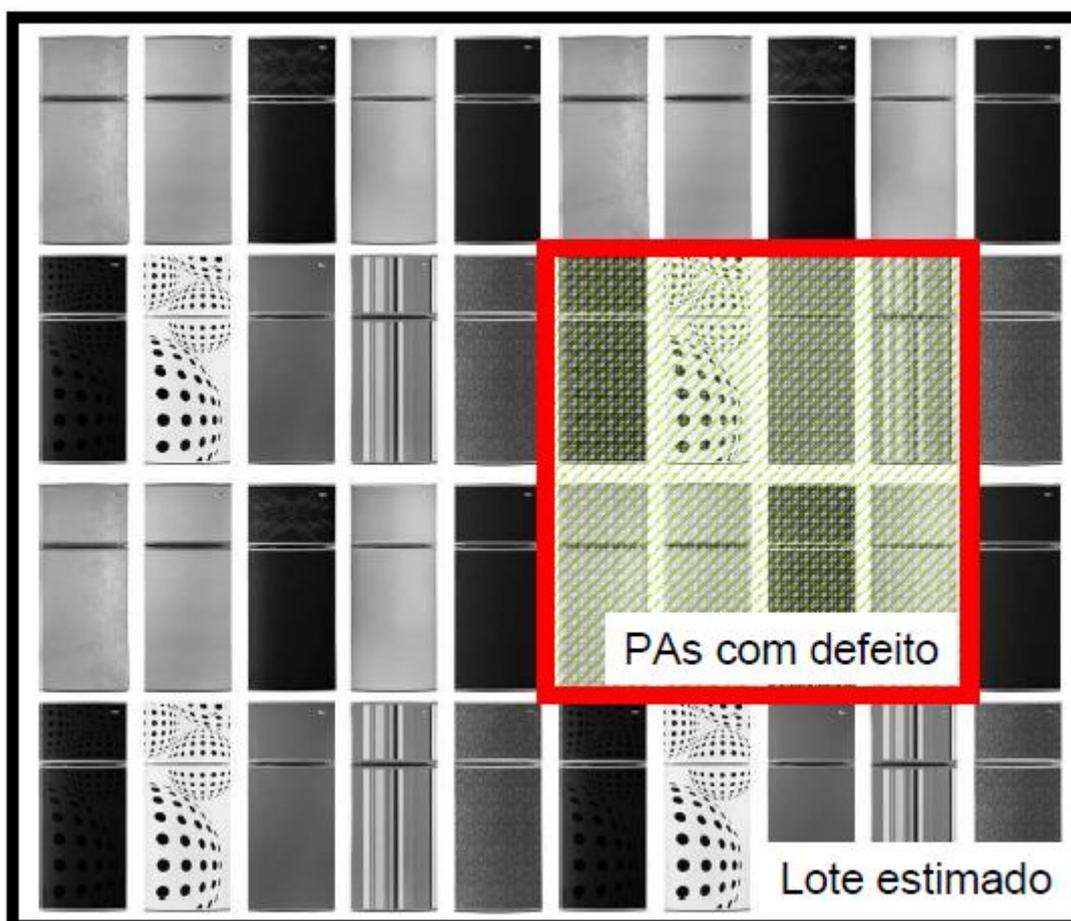


Figura 5-5: Lote estimado X PAs com defeito

Fonte: Dados do pesquisador, 2010

O conserto de produtos fora da fábrica (ponto de venda ou consumidor final) tem um custo muito elevado, pois implica em descolamentos de equipes técnicas até os locais aonde se localizam os produtos. Caso o produto seja direcionado ao mercado externo (exportação), os custos são ainda mais elevados. A identificação precisa de quais produtos estão com defeito reduz os custos dos consertos, pois somente produtos defeituosos serão verificados e consertados pelos técnicos.

Antes da implantação da solução MES para linhas de montagem, houve uma epidemia, segundo estimativas, de cerca de 1000 produtos direcionados ao mercado externo. Como não se sabia com precisão a quantidade de produtos com defeito, cerca de 2500 produtos foram verificados por técnicos na Europa, alguns se encontravam em estoques de um ponto de venda e outros já na casa dos consumidores. Dos cerca de 2500 produtos verificados, somente 1000 realmente tinham o problema. O custo médio, da verificação e conserto de um produto

por um técnico é de aproximadamente 50 reais, mesmo que o produto não tenha nenhum defeito, o custo médio é o mesmo. Caso a solução MES para linhas de montagem já estivesse funcionando, 75.000 reais teriam sido poupados nesta operação.

### 5.1.2.3: Gestão da Qualidade

A gestão da qualidade passou a ser feita pela Solução MES para linhas de montagem. As informações de garantia da qualidade coletadas nas linhas de montagem foram democratizadas pela simples integração dos dados inseridos no sistema de qualidade com os dados gerados pela Solução MES.

Os indicadores de IQL e FPY passaram a ser calculados em tempo real pela solução, o que possibilitou o acompanhamento desses índices. Posteriormente, as linhas de montagem passaram a ter metas de IQL e FPY. Há uma melhoria e a conseqüente redução de desperdícios pelo simples monitoramento dos indicadores.

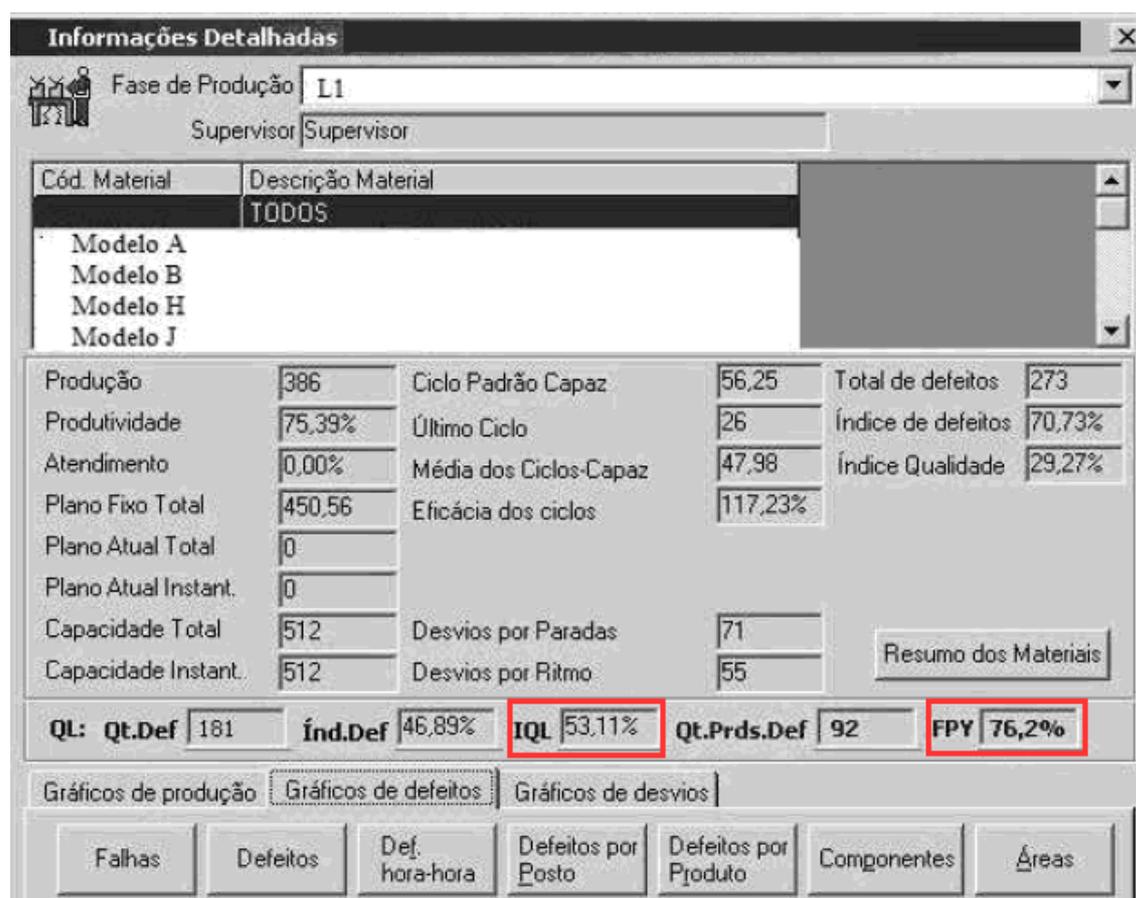


Figura 5-6: Tela de Informações Detalhadas com destaque para IQL e FPY

Fonte: Dados do pesquisador, 2007

A figura 5-6 mostra a tela de Informações Detalhadas, com destaque para os indicadores IQL e FPY. Quanto mais cedo um problema é identificado, menor é o custo envolvido da solução do problema. A geração de indicadores de qualidade calculados em tempo real faz com que os problemas encontrados nas linhas sejam solucionados mais rapidamente, pois com dados confiáveis disponíveis, não é mais necessário esperar que os indicadores sejam calculados dias depois dos acontecimentos.

#### **5.1.2.4: Aumento de Produtividade**

Aumentar a produtividade das linhas de montagem era o maior objetivo da solução MES para linha de montagem. Inúmeros fatores influenciam no aumento ou diminuição da produtividade, e não se pode atribuir ganhos de produtividade a uma única ação efetuada nas linhas de montagem. A figura 5-7 mostra os índices de produtividade de três linhas de montagem da fábrica onde foi realizado este trabalho. No gráfico pode-se observar que todas as três linhas analisadas alcançaram ganhos de produtividade ao longo dos oito meses analisados. Não se pode atribuir todo o ganho de produtividade dessas linhas somente à solução MES para linhas de montagem, mas boa parte dos ganhos pode ser creditada à nova ferramenta. A solução MES foi disponibilizada às linhas de montagem da fábrica no primeiro mês.

#### **5.1.3: Semanas Kaizen**

Como mencionado no capítulo 2, muitas empresas utilizam o Kaizen como uma ferramenta que freqüentemente é batizada de semana Kaizen, e este é o caso da empresa onde o trabalho foi realizado. Depois que a solução MES para linhas de montagem foi disponibilizada, vários trabalhos de Kaizen foram realizados tendo como motivação os dados encontrados na solução MES.

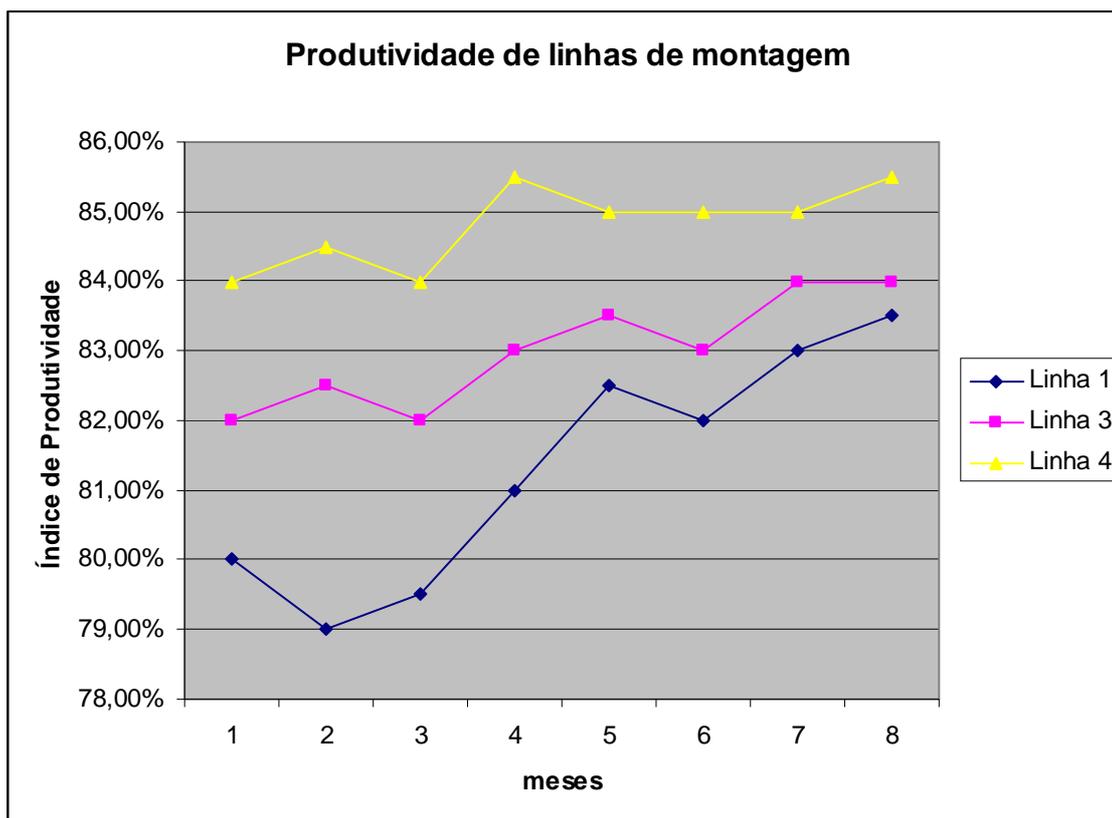


Figura 5-7: Produtividade das linhas de montagem

Fonte: Dados do pesquisador, 2010

Um exemplo da utilização da solução MES nos Kaizens foi o Relatório de Defeitos (figura 4-15). Neste relatório, é possível identificar os principais defeitos ocorridos nas linhas de montagem. Em uma determinada linha de montagem, o principal defeito encontrado era portas com riscos, ou levemente amassadas. Com isso, foi realizada uma semana Kaizen nesta linha de montagem, visando encontrar e resolver as causas do problema. Após a descoberta e correção das causas, as informações geradas pela solução MES determinarão se o trabalho realizado na semana Kaizen atingiu os objetivos esperados, que era diminuir a ocorrência de portas riscadas e amassadas nos produtos. Portanto, a solução MES também era utilizada para a análise de dados.

#### 5.1.4: Informações disponíveis nas linhas de montagem

Todas as linhas de montagem são monitoradas e têm seus dados armazenados em um banco de dados. Entretanto, poucos operadores têm acesso às informações contidas no supervisório da solução MES para linhas de montagem. Para disponibilizar algumas informações das

linhas de montagem a todos os operadores, em uma linha de montagem piloto, foram instalados alguns televisores de tela plana, que mostravam em tempo real a produção de cada turno da linha de montagem. Tornar as informações mais importantes das linhas de montagem disponíveis a todos, se alinha à ferramenta gestão visual da manufatura enxuta, pois ao olhar para as telas vê-se facilmente se as atividades estão correndo de acordo com o plano ou não.

As duas telas mostradas na figura 5.8 e 5.9 ficam uma do lado da outra, com o intuito de que elas formem uma única tela. As informações contidas nas telas são as seguintes:

- **Hora atual:** quantidade de produtos produzidos naquela hora.
- **Situação hora:** qual a diferença de produtos entre o realizado e a capacidade de MOD, baseando-se na capacidade da linha e na situação daquele exato instante.
- **Produzido no turno:** quantidade de produtos produzidos naquele turno.
- **Situação turno:** somatória das “Situação hora” daquele turno.

(Linha e Fábrica) (HH:MM)	Hora	Situação
Turno	Atual	Hora
T1	1 1 3	+ 0 0 2
T2	1 2 0	- 0 1 5
T3	4 7 8	- 0 1 6

Figura 5-8: Tela de gestão visual (esquerda)

Fonte: Dados do pesquisador, 2010

As informações dos dois turnos anteriores ao turno atual também são mostradas (figura 5.9). Assim, ao iniciar o turno de trabalho, os operadores já sabem oficialmente como foi o trabalho dos dois turnos anteriores.

Produzido				Situação				
Turno				Turno				
0	5	8	7	-	0	0	8	7
1	2	1	3	+	0	1	5	0
0	8	7	6	-	0	1	7	6

Figura 5-9: Tela de gestão visual (direita)

Fonte: Dados do pesquisador, 2010

## 5.2: Documentação e padronização

Todos os processos que envolvem a solução MES para linhas de montagem foram padronizados e documentados através de FITs (Folhas de Instrução de Trabalho). Desta forma, garantiu-se a estabilidade dos processos de monitoramento e apontamento de produtos nas linhas de montagem.

## 5.3: O modelo MESA

Segunda a MESA, são 11 funcionalidades necessárias a um sistema MES para um apoio eficaz da gestão da produção. O sistema MES para linhas de montagem apresentado neste trabalho possui 6 desses requisitos atendidos, conforme pode-se observar na figura 5.10, sendo eles:

- Controle das Unidades de Produção;
- Rastreabilidade e Genealogia;
- Análise de Desempenho;
- Gestão de Processos;
- Gestão da Qualidade;
- Aquisição e Armazenagem de Dados.

Os outros 5 requisitos não foram atendidos pelo sistema desenvolvido, uma vez que as funcionalidades não atendidas já eram atendidas anteriormente pelo sistema ERP da fábrica onde o trabalho foi realizado.

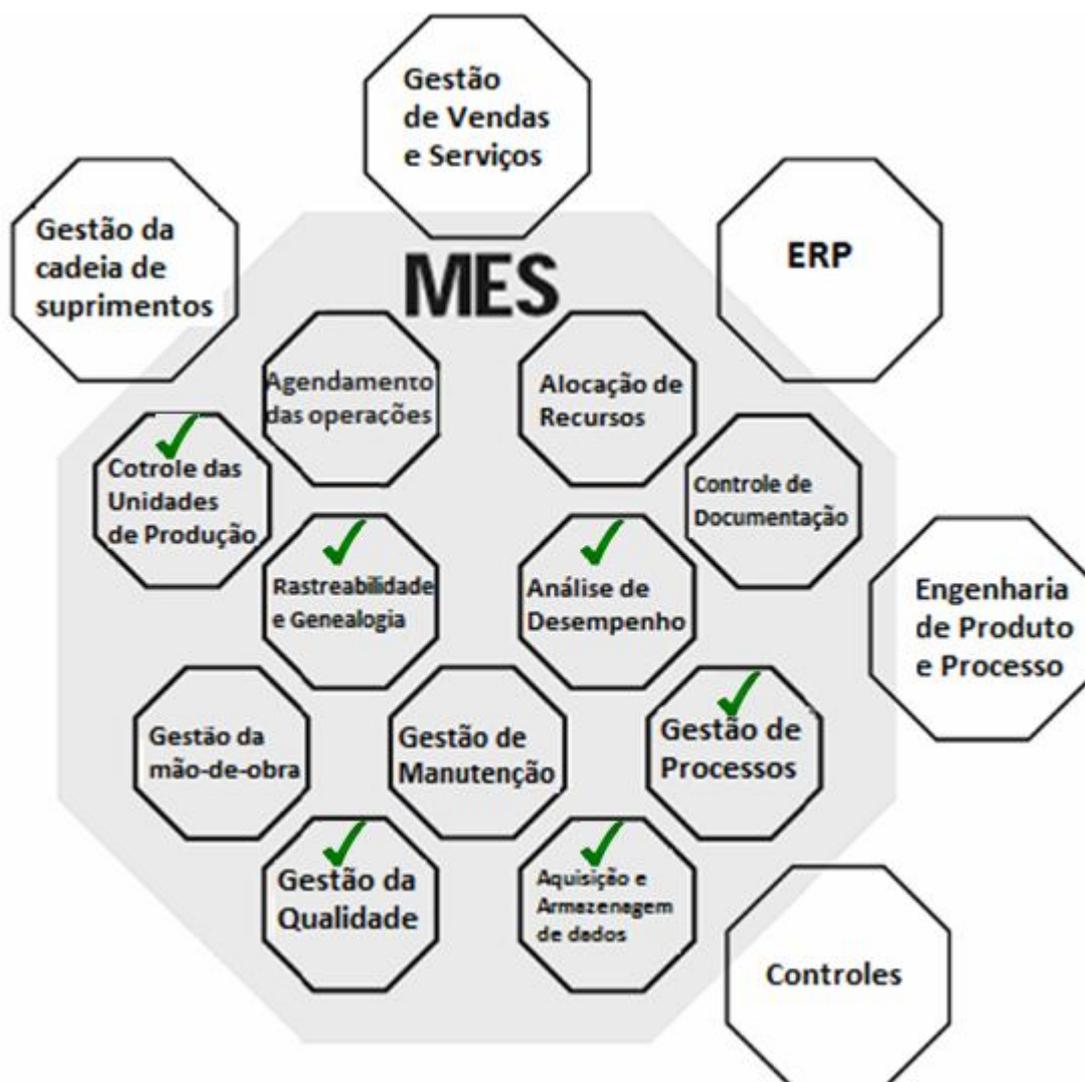


Figura 5-10: Arquitetura da MESA e o que foi atendido pelo Sistema MES para linhas de montagem (marcado com símbolos em verde)

Fonte: Dados do pesquisador, 2010

## 5.4: Próximo capítulo

No próximo capítulo, serão apresentadas as conclusões do trabalho e as sugestões e oportunidades de aperfeiçoamento e aprofundamento da linha de pesquisa.

## Capítulo 6: Conclusões e Recomendações

As novas exigências do mercado mundial observadas nos últimos anos obrigaram as empresas a buscarem novas filosofias e métodos de aprimoramento dos seus processos de produção, tendo em vista a importância das indústrias no desenvolvimento da economia dos países. A cada dia, a competição é maior, e para permanecerem no mercado, as empresas precisam reduzir seus desperdícios a todo o instante.

Nas operações de montagem, o trabalho intensivo do homem é dominante, e conseqüentemente a medição de indicadores é mais complexa do que em processos automatizados. A presente pesquisa explorou este aspecto, propôs e desenvolveu um sistema de medição em tempo real de indicadores para linhas de montagem, além de desenvolver um sistema de gestão da produção.

A manufatura enxuta e o MES são metodologias que exigem reorganização das pessoas e dos processos envolvidos, bem como mudanças filosóficas. A combinação de ambas habilita uma empresa a se ajustar rapidamente a uma mudança negativa na demanda de mercado ou no seu ambiente.

Neste trabalho foi especificado, desenvolvido e implantando um MES voltado à redução dos desperdícios em uma fábrica de refrigeradores, utilizando conceitos de Manufatura Enxuta. Após o MES ter sido implantado, foi elaborada uma sistemática de utilização do sistema de maneira a proporcionar a integração entre a Manufatura Enxuta e MES.

O trabalho desenvolvido mostrou que uma fábrica inserida no contexto da manufatura enxuta pode ser auxiliada por um sistema computadorizado em tempo real, e que ambos trabalhando concomitantemente contribuem para acelerar a redução dos desperdícios.

A interação entre a manufatura enxuta e o MES foi comprovada pelos resultados apresentados no capítulo 5, onde foram apresentados ganhos de produtividade em três linhas de montagem onde os gestores souberam aproveitar os benefícios da solução MES para linhas de montagem. Semanas Kaizen passaram a ser realizadas tendo como motivação os dados disponibilizados pelo MES, e após a realização de cada semana Kaizen, os ganhos obtidos são medidos e comprovados pela solução. A medição contínua da produtividade das

linhas de montagem proporcionou relevância a este indicador, que tornou-se um equivalente do OEE para linhas de montagem. Um início de gestão visual foi implantado nas linhas de montagem, o que propiciou uma comunicação rápida e efetiva de informações relevantes das linhas de montagem para os operadores. Os indicadores e os relatórios de qualidade existentes trouxeram rapidez na tomada de decisão e conseqüentemente reduziu os desperdícios causados por peças não-conformes.

A central de monitoramento foi essencial para que os ganhos desejados fossem alcançados. Ela deu rapidez à tomada de decisões, acabou com as discussões, entre as áreas, sobre as responsabilidades por perdas de produção e mostrou a realidade dos acontecimentos das linhas de montagem.

Neste processo de mudança de filosofia em uma fábrica, são essenciais o suporte da gerência e da direção da empresa, e o muito importante um bom plano de comunicação. Se o chão de fábrica não for a favor da ideia, ela definitivamente não irá adiante.

Sem a presença do sistema MES implantado nas linhas de montagem desta fábrica, era difícil identificar os problemas na linha, e o nível de subjetividade de qualquer informação vinda das linhas era muito alto.

Entre os ganhos obtidos com a implantação da solução MES para linhas de montagem destacam-se: (a) a rastreabilidade dos produtos, pois agora é possível saber por onde cada produto passou, e onde ele se encontra atualmente; (b) a gestão das linhas de montagem feita através dos dados coletados pela solução com o suporte da central de monitoramento; (c) importantes indicadores passaram a ser calculados e gerenciados pela solução MES para linhas de montagem, tais como IQL, FPY, schedule, produtividade, desvios de produção e tempo de ciclo; (d) a gestão da qualidade agora é efetuada de maneira integrada à solução; (e) o aumento da produtividade das linhas de montagem; (f) a gestão visual com informações atualizadas instantaneamente. Agora, as melhorias obtidas nos Kaizens podem ser mensuradas, e futuras melhorias podem ser identificadas e priorizadas de maneira mais clara.

A manufatura enxuta é altamente dependente da exatidão e atualidade dos dados produzidos e coletados durante os processos de produção e o MES é o sistema que garante a exatidão e a atualidade dos dados necessários à manufatura enxuta.

## **6.1: Oportunidades de aperfeiçoamento**

A seguir são apresentadas as recomendações para futuros trabalhos no tema, que foram identificadas durante a realização deste trabalho:

- Ampliar o escopo do MES, fazendo com que ele possua todas as 11 funcionalidades definidas pela MESA.
- Estudar um modelo para quantificar os benefícios e ganhos em uma linha de montagem com um sistema MES instalado e outra sem o sistema instalado.
- Em uma área da empresa com um sistema MES instalado, recomenda-se realizar atividades utilizando-se o conjunto de práticas do 6-Sigma, uma vez que os dados utilizados para realizar os trabalhos estatísticos do 6-Sigma seriam retirados do sistema MES.
- Desenvolver um sistema que possa rastrear os produtos, e todas as suas peças, por toda a cadeia de suprimentos, desde a origem até o consumidor final.
- Através dos conceitos e procedimentos apresentados neste trabalho, adaptar a solução MES para linhas de montagem para sua utilização em linhas ou células de montagem de outros produtos, pois o sistema pode ser replicado como descrito no item 4.3.

## Capítulo 7: Referências Bibliográficas

American National Standard ANSI/ISA–S88.01–1995, **Batch Control Part 1: Models and Terminology**, North Carolina: Instrument Society of America, 1995

American National Standard ANSI/ISA–S95.00.01–2000, **Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology**, North Carolina: Instrument Society of America, 2000

American National Standard ANSI/ISA–S95.00.02–2001, **Enterprise-Control System Integration Part 2: Object Model Attributes**, North Carolina: Instrument Society of America, 2001

American National Standard ANSI/ISA–S95.00.03–2005, **Enterprise Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management**, North Carolina: Instrument Society of America, 2005

BURBIDGE, J.L., **Production flow analysis for planning group technology**. Oxford: Clarendo Press, 1989.

BAUDIN, Michel, **Lean Assembly, The nut and bolts of making assembly operations flow**, New York, Productivity Press, 2002

BERTI, Rodrigo de Mattos, **Redução de Desperdícios e Aumento de Produtividade em Processos de Termoformagem e Laminação**, Monografia submetida à Universidade Federal de Santa Catarina, 2006

BESTEIRO, David B. S., **Análise de Movimentação de Processo – Aplicação na Especificação de um Sistema de Execução Fabril**, dissertação de mestrado integrado em engenharia eletrotécnica e de computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

BLANC, Pascal, DEMONGODIN, Isabel, CASTAGNA, Pierre, **A holonic approach for manufacturing execution system design: An industrial application**, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2008

BYOUNG, K. Choi, BYUNG, H. Kim, **MES (manufacturing execution system) architecture for FMS compatible to ERP (enterprise planning system)**, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 2002, VOL. 15, NO. 3, 274–284

CARVALHO, Marly Monteiro, **Gestão da Qualidade: teoria e casos**, Rio de Janeiro: Elsevier, 2005

COTTYN, Johannes, LANDEGHEM, Hendrik Van, STOCKMAN, Kurt, DERAMMELAERE, Stijn, **The Combined Adoption of Production IT and Strategic Initiatives – Initial Considerations for a Lean MES Analysis**, IEEE, 2009

DIOGUARDI, Gianfranco, **Network Enterprises, The evolution of Organizational Models from Guilds to Assembly Lines to Innovation Clusters**, Turim: Springer, 2010

DIRGO, Robert, **Look Forward Beyond Lean and Six Sigma: A Self-Perpetuating Enterprise Improvement Method**, Fort Lauderdale: J. Ross Publishing, 2006

FELD, William M, **Lean Manufacturing: Tools, Techniques and How to Use Them**, CRC Boca Raton, Florida, 2001.

KOÇ, Muammer, NI, Jun, LEE, Jay, BANDYOPADHYAY, Pulak, **Introduction to e-Manufacturing**, CRC Press, 2005

KLETTI, Jürgen, **Manufacturing Execution Systems – MES**, Berlin: Springer, 2007

LIKER, J. K., **O Modelo Toyota**, Editora Bookman, 2005.

LIKER, J. K, MEIER D. P., **Toyota Talent: Developing your People the Toyota Way**, New York: McGraw-Hill, 2007

LUCERO, Adrián G. R., **Um Método para Desenvolvimento de Medias de Desempenho como Apoio à Gestão de Sistemas de Manufatura**, Tese de doutorado em engenharia mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

MACCLELLAN, Michael, **Applying Manufacturing Execution Systems**, Boca Raton, USA, St. Lucy Press, 1997

MESA International. **The Benefits of MES—A Report from the Field. Manufacturing Enterprise Systems Association**, Chandler, Arizona., 1997.

MEYER, Heiko, FUCHS, Franz, THIEL, Klaus, **Manufacturing Execution Systems, Optimal Design, Planning and Deployment**, New York, McGrawHill, 2009

NAVE, D, **How to Compare Six Sigma, Lean and Theory of Constraints**, American Society for Quality, 2002

O'LEARY, Daniel, **Enterprise Resource Planning Systems**, Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

REKIEK, Brahim, DELCHAMBRE, Alain, **Assembly Line Design, The Balancing of Mixed-Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithms**, Brussels: Springer, 2006

RENÓ, Gece W. S., **Proposta de um Novo Modelo para Folha de Instrução de Trabalho – Um Estudo de Caso em uma Empresa de Eletrodomésticos**, dissertação de mestrado em engenharia mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008

ROTHER, Mike, HARRIS, Rick, **Criando Fluxo Contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção**. São Paulo: Lean Institute do Brasil, 2002

ROTHER, Mike, SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar: mapeando fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo. Lean Institute Brasil, 2003

SAYER, Natalie J., WILLIAMS, Bruce, **Lean for Dummies**, Indianapolis, Wiley Publishing, 2007

SHINGO, Shigeo, **A Study of the Toyota Production System**, Cambridge, Productivity Press, 1989.

SHOOK, John, ROTHER, Mike, **Learning to See, Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda**, Lean Institute, 1999.

SLACK, Nigel, CHAMBERS, Stuart, JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2002

TUBINO, Dalvio F, **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática**, São Paulo: Atlas, 2007

VALCKENAERS, P, VAN BRUSSEL, H, VERSTRAETE, P, SAINT GERMAN, B **Schedule execution in autonomic manufacturing execution systems**, Journal of Manufacturing Systems, 2008.

WOMACK, J. P., JONES, D.T. e ROOS, D., **A máquina que mudou o mundo**, Editora Campos, 2000.

WOMACK, J. P., JONES, D.T., **Enxergando o Todo**, Lean Institute Brasil, 2004.