

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

SISTEMÁTICA PARA MOVIMENTAÇÃO INTERNA DE MATERIAIS COMO
SUPORTE ÀS CÉLULAS DE MONTAGEM

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

VANESSA FAVARIN

Florianópolis, setembro de 2008.

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

SISTEMÁTICA PARA MOVIMENTAÇÃO INTERNA DE MATERIAIS COMO
SUPORTE ÀS CÉLULAS DE MONTAGEM

VANESSA FAVARIN

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA
sendo aprovada em sua forma final.

Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph D. – Orientador

Prof. Eduardo Alberto Fancello, D.Sc. – Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA

João Carlos Espíndola Ferreira, Ph D. – Presidente da Banca

Carlos Henrique Ahrens, Dr. Eng.

Fernando Antônio Forcelini, Dr. Eng.

“Nada detém um homem que quer chegar lá.
Os obstáculos que surgem servem apenas para
aumentar sua capacidade de realização, e o tornam
mais forte para alcançar o que quer que seja.”

Eric Butterworth

À Fernando, meu noivo, pelo carinho, paciência e amor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos ao professor Abelardo Alves de Queiroz pela oportunidade e por sua confiança, paciência e amizade que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Também agradeço aos colegas do GETEQ pela convivência e aprendizado dos últimos anos. Em especial aos amigos Carlos Martins, Fausto Cassemiro, Darlei Ditz e Cíntia Valente pela amizade, motivação e apoio.

À equipe da área de Gestão e Inovação do Instituto Euvaldo Lodi de Santa Catarina pelo incentivo no desenvolvimento do trabalho: Cristiane Iata, Edison Dacol, Lisiane Geisler, Milton Freyesleben, Mirela das Neves, Priscila Souza e Vinícius Ferreira de Castro.

Aos meus pais, Pedro Favarin e Marga Stoll Favarin, e aos meus irmãos Tatiane Favarin e Rodrigo Favarin, por todo apoio em todos os momentos da minha vida, pelo carinho e paciência. Minha sogra Sônia Lemonje Westrupp pelo incentivo. Eu os carrego no coração com amor, gratidão e respeito.

Ainda agradeço aos profissionais da empresa que fez parte do estudo de caso pela abertura e gentileza, fundamentais para o estudo do tema.

Por fim, a todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.1. A Manufatura Enxuta e o Sistema Toyota de Produção (STP): Contexto da Pesquisa.....	2
1.1.2. A Implementação de Células de Manufatura: Tema da Pesquisa	4
1.1.3 A Movimentação Interna de Materiais como Apoio às Células de Montagem: Foco da Pesquisa.....	6
1.2 Questão da Pesquisa	7
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo Geral.....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 Estrutura da Dissertação	8
CAPÍTULO 2	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 O Sistema Toyota de Produção e a Manufatura Enxuta.....	10
2.1.1 O Sistema Toyota de Produção.....	10
2.1.2 A Manufatura Enxuta.....	13
2.1.3 Princípios da Manufatura Enxuta.....	13
2.2 Considerações Gerais sobre Leiaute em Ambiente de Manufatura Enxuta	14
2.2.1 Tipos Básicos de Leiautes.....	15
2.2.2 Escolha do Tipo de Leiaute em uma Empresa.....	19

2.2.3 Comparação entre Montagem em Linha e em Célula.....	21
2.3 Manufatura Celular na Operação de Montagem.....	22
2.3.1 Considerações Iniciais	22
2.3.2 Definições para a Manufatura Celular	23
2.3.3 O Planejamento e Implementação de Sistemas de Manufatura Celular	25
2.3.4 Aspectos Estruturais e Operacionais do Projeto	26
2.3.5 Desempenho das Células de Manufatura.....	28
2.3.5.1 Considerações para a obtenção do desempenho da célula	28
2.3.5.2 Resultados	32
2.3.5.3 Fatores limitadores do desempenho	33
2.4 Movimentação Interna de Materiais.....	34
2.4.1 Considerações Iniciais	34
2.4.2 Definições para a Movimentação de Materiais.....	35
2.4.3 Organização do Sistema de Movimentação Interna de Materiais em Unidade Industrial	36
2.4.4 Benefícios, Limites e Restrições na Movimentação de Materiais	38
2.4.5 Princípios Básicos da Movimentação de Materiais	41
2.5 Relação entre a Movimentação de Materiais e o Leiaute.....	44
CAPÍTULO 3	46
3. PESQUISA DE CAMPO	46
3.1 Metodologia da Pesquisa	46
3.2 Estudo de Caso	49
3.2.1 Organização do Estudo de Caso	49
3.2.2 Descrição do Estudo de Caso.....	49
3.2.2.1 A Empresa	49
3.2.2.2 Informações sobre a Implementação da Manufatura Enxuta.....	50
3.2.2.3 Informações Sobre a Implementação e Funcionamento de Células de Manufatura na Empresa	51
CAPÍTULO 4.....	79

4. SISTEMÁTICA PARA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS	79
4.1. Aspectos Gerais da Sistemática Proposta.....	80
4.2. Estruturação da Sistemática.....	80
4.2.1. Fase 1 – Definição do Sistema de Armazenamento.....	81
4.2.2. Fase 2 – Definição do Sistema de Abastecimento	92
4.2.3. Fase 3 – Definição do Sistema de Programação de Abastecimento	96
CAPÍTULO 5	100
5. RECOMENDAÇÕES PARA A EMPRESA.....	100
5.1. Considerações sobre a Sistemática para a Aplicação na Empresa	100
5.2. Recomendações para a Empresa com Base na Sistemática Proposta	101
5.2.1 Recomendações Relativas à Fase 1.....	102
5.2.2 Recomendações Relativas à Fase 2.....	104
5.2.3 Recomendações Relativas à Fase 3.....	105
CAPÍTULO 6	107
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	107
REFERÊNCIAS	110
APÊNDICES	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: “Casa” do Sistema Toyota de Produção	11
Figura 2: Tipos de Leiaute	16
Figura 3: Organização Física para Combinação de Volume e Variedade.....	20
Figura 4: A Perspectiva de Transformação– Benefícios Ligados ao Processamento de Famílias de Produtos.....	29
Figura 5: A Perspectiva de Recurso – Benefícios Ligados e Pequenos Grupos de Recursos Dedicados	30
Figura 6: A Perspectiva de Espaço – Benefícios Ligados à Proximidade Física	31
Figura 7: A Perspectiva Organizacional– Benefícios Ligados à Célula como uma Unidade Administrativa.....	32
Figura 8: Análise do Tempo Total na Manufatura Convencional.....	35
Figura 9: O Fluxo de Materiais no Processo Industrial.....	37
Figura 10: Linha de Produção da Empresa para Produto Específico	54
Figura 11: Sistema <i>Flat Storage</i>	55
Figura 12: Sistema de armazenagem baseada no conceito FIFO.....	56
Figura 13: Armazenagem horizontal – Gestão Visual do Estoque.....	56
Figura 14: Armazenagem Vertical	57
Figura 15: Funcionamento do Sistema de Armazenagem.....	58
Figura 16: Leiaute Constando os Três Fluxos Principais.....	64
Figura 17: Leiaute da Célula Piloto Implementada.....	66
Figura 18: Funcionamento Atual do Sistema de Armazenagem.....	68
Figura 19: Fluxograma para o Dimensionamento das Embalagens	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desempenho na Montagem de Automóveis e Fabricação de Peças, 1993-94	4
Tabela 2: Resultados de Desempenho Relatados de Implementações da Manufatura Celular	5
Tabela 3: Vantagens e Desvantagens dos Diferentes Tipos de Leiautes	19
Tabela 4: Princípios de Movimentação de Materiais	42
Tabela 5: Etapas Seguidas no Desenvolvimento do Projeto	61
Tabela 6: Características da Célula de Manufatura Piloto Implementada.....	63
Tabela 7: Análise dos Recursos Humanos	71
Tabela 8: Análise das Instalações e do Ambiente de Trabalho	72
Tabela 9: Análise da Gestão do Processo.....	73
Tabela 10: Benefícios Obtidos com as Células de Manufatura.....	75
Tabela 11: Fases e Atividades da Sistemática.....	81
Tabela 12: Variáveis a Serem Consideradas no Cálculo do Pulmão de Peças Compradas.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS

ABMM - Associação Brasileira de Movimentação de Materiais

CCM - Manufatura Centrada no Consumidor

ERP - *Enterprise Resource Planning*

EUA - Estados Unidos da América

FIFO - *First In First Out*

FIT - Folha de Instrução de Trabalho

GBO - Gráfico de Balanceamento dos Operadores

GETEQ - Grupo de Estudo de Tecnologia e Qualidade

IMVP - *International Motor Vehicle Program*

JIT - *Just in Time*

MIT - *Massachusetts Institute of Technology*

MRP - *Material Requirement Planning*

PCP - Planejamento e Controle da Produção

PDU - Ponto-de-Uso

PPCP - Plano para Cada Peça

STP – Sistema Toyota de Produção

RESUMO

Na manufatura, a conversão de leiautes funcionais e lineares para células seguindo os conceitos do Sistema Toyota de Produção, vem promovendo importantes ganhos de competitividade para a indústria. A implementação da manufatura celular, entretanto, geralmente demanda uma alteração no sistema de gerenciamento da empresa. Uma modificação comum e essencial, decorrente da implementação deste sistema de produção, é com relação ao sistema de movimentação de materiais. Dentro deste contexto, esta dissertação propõe uma sistemática para a movimentação interna de materiais como suporte às células de montagem, que visa servir de guia para que empresas que utilizam os conceitos da manufatura celular sistematizem este processo tão importante. O estudo parte de uma revisão bibliográfica onde são abordados os principais conceitos concernentes à manufatura enxuta, células de manufatura e o sistema de movimentação interna de materiais, base para o desenvolvimento da sistemática proposta. Segue-se então com um estudo de caso junto a uma grande empresa nacional fabricante de equipamentos eletrodomésticos, onde foram realizadas entrevistas e coletados dados. O estudo de caso ressaltou a importância e a necessidade da utilização de um sistema de movimentação de materiais estruturado, com vistas à melhoria do desempenho através da flexibilidade, confiabilidade e entrega rápida dos produtos com alta qualidade. A sistemática foi idealizada em fases que se caracterizam por momentos importantes e distintos do processo de movimentação de materiais: Sistema de Armazenamento, Sistema de Abastecimento e Sistema de Programação de Abastecimento. Cada fase foi dividida em atividades que determinam os passos a serem seguidos pela empresa para a execução do processo. Alguns aspectos foram identificados como fundamentais: estabelecimento de um mercado de peças compradas, definição de uma rota de entrega para abastecimento das células, instalação de um sistema de informação para disparar e controlar o reabastecimento de peças.

Palavras-chave: Manufatura Enxuta, Células de Montagem, Movimentação Interna de Materiais.

ABSTRACT

In manufacturing, the conversion of linear and functional layouts to cells following the concepts of the Toyota Production System, has been promoting major gains in competitiveness for the industry. The implementation of cellular manufacturing, however, usually demand a change in the management system of the company. A common and essential modification, arising from the implementation of this production system, is related with the materials handling system. In this context, this research proposes a systematic for the materials internal movement like support to assembly cells, which aims to serve as a guide to companies (that use the concepts of cellular manufacturing) systemize this important process. The study part of a literature review where are addressed the main concepts concerning the lean manufacturing, cellular manufacturing and the system of materials internal movement, basis for the development of systematic proposal. It follows with a case study with a large national company manufacturer of home appliances, which were conducted interviews and collected data. The case study showed up the importance and necessity of using a structured materials movement system, with a view to improving performance through flexibility, reliability and delivery of products with high quality. The systematic was idealized in phases that characterized important and distinct moments of the process of materials handling: Storage System, Supply System and Programming of Supply System. Each stage has been divided into activities that determine the steps to be followed by the company for the execution of the process. Some aspects had been identified as important: establishment of a market for delivered parts, definition of a delivery route for supply of cells and installation of an information system to run away and control the parts restock.

Key-words: Lean Manufacturing, Cellular Manufacturing, Materials Internal Movement.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A crescente competição global que muitos setores industriais estão enfrentando, associada às rápidas mudanças tecnológicas, a proliferação de variedade de produtos e as maiores exigências por parte dos consumidores, tem levado a um novo cenário no qual as indústrias, para permanecerem competitivas, se vêem forçadas a, continuamente, investir em métodos e sistemas de aprimoramento de seus processos produtivos.

Há algumas décadas, surgindo dos escombros da Segunda Grande Guerra, nasceu no Japão, mais especificamente na empresa Toyota, um sistema alternativo de produzir – a manufatura enxuta. Os resultados alcançados pela Toyota, seus fornecedores e alguns discípulos demonstraram ao mundo que havia uma alternativa em substituição à produção em massa, mais eficiente e eficaz.

A manufatura enxuta possui vários componentes, e a implementação destes demanda algumas modificações profundas no sistema produtivo, inclusive no leiaute industrial. Entre as alternativas de leiaute disponíveis, destaca-se o leiaute celular.

A manufatura celular possibilita a eliminação de uma série de perdas existentes devido à movimentação e transporte de materiais e produtos, além de estimular o trabalho em equipe e facilitar o *feedback* de qualidade, gerando melhores índices de qualidade e produtividade (MONDEN, 1984). Apesar das inúmeras vantagens, alguns aspectos devem ser levados em consideração, pois podem impactar fortemente na definição por este tipo de leiaute. A combinação de alto mix de produto com baixo volume de produção pode tornar a implementação de células impraticável. Aplicações que envolvem equipamentos com alto capital investido podem também não serem aplicáveis às células, devido a baixa taxa de utilização dos mesmos.

A formação de células de manufatura a partir de leiautes funcionais e lineares dentro da indústria mundial, advindo da análise do sucesso da manufatura japonesa, em especial atenção aos conceitos do Sistema Toyota de Produção, vem crescendo amplamente. Esse sistema de

produção, quando devidamente adaptado e aplicado à empresa para a qual se destina, propicia excelentes resultados, pois são numerosas as fontes de oportunidades para redução e eliminação de desperdícios.

A manufatura celular, entretanto, exige disciplina e rigor na sua implementação e, muitas vezes, demanda uma alteração no sistema de gerenciamento da empresa. Uma modificação imprescindível com a implementação de células de manufatura é do sistema de movimentação de materiais. Segundo Tompkins et al. (1996), o leiaute e o sistema de manuseio do material devem ser desenvolvidos simultaneamente. A implementação de um sistema enxuto de movimentação de materiais poderá garantir estabilidade à célula e apoiá-la em fluxo contínuo.

Diante do exposto, o objetivo deste documento é apresentar um estudo realizado no Grupo de Estudo de Tecnologia e Qualidade (GETEQ) que tem como tema a elaboração de uma sistemática para movimentação interna de materiais visando o atendimento às células de montagem.

1.1 Motivação para a Pesquisa

A motivação para a realização desta pesquisa é desenvolvida nesta seção em três partes: o contexto da pesquisa, o tema da pesquisa e o foco da pesquisa.

1.1.1. A Manufatura Enxuta e o Sistema Toyota de Produção (STP): Contexto da Pesquisa

O paradigma da produção enxuta, adotado pelas organizações como resposta às pressões exercidas pelo mercado, ocorreu no Japão a partir do final da década de 40. No entanto, o despertar para estes conceitos, por parte do mundo ocidental, veio a ocorrer apenas no final da década de 80, em especial com o lançamento do livro “A máquina que mudou o mundo” de Womack, Jones e Ross (1992). Os autores concluíram que as empresas japonesas, mais especificamente da Toyota Motor Company, haviam conquistado importantes diferenciais competitivos e isso se devia a uma nova abordagem para a manufatura – a manufatura enxuta.

Por ter sido um grande rompimento aos paradigmas usuais de gerenciamento da produção, o STP passou a ser estudado e a ser uma referência mundial para empresas voltadas para a produção em massa. Atualmente, o termo denominado manufatura enxuta refere-se ao STP.

É possível perceber que o Sistema Toyota de Produção mesclou as melhores características dos sistemas de produção para construir um modelo que se adaptasse às necessidades dos clientes, com maior flexibilidade, produtividade e qualidade. O STP, de acordo com Corrêa *et al* (2001) trouxe conceitos até então não valorizados que são as vantagens defendidas pelas células de trabalho, produção em pequenos lotes, lotes mistos e com estoques mínimos, melhor aproveitamento das paradas de produção em função do melhor balanceamento, capacitação das pessoas, trabalho em equipe com um líder, entre outros.

Esses conceitos possibilitaram a evolução e o crescimento da Toyota rumo à liderança do mercado automobilístico mundial. A inacreditável consistência no desempenho da Toyota é um resultado direto da excelência operacional, baseada, em parte, nos métodos de melhoria da qualidade e ferramentas que a Toyota tornou famosos no mundo da indústria. Mas ferramentas e técnicas não são armas secretas para transformar uma empresa. O contínuo sucesso da Toyota na implementação dessas ferramentas baseia-se, essencialmente, em sua habilidade de cultivar liderança, equipes e cultura para criar estratégias, construir relacionamentos com fornecedores e manter uma organização de aprendizagem (LIKER, 2005). O desempenho da Toyota pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Desempenho na Montagem de Automóveis e Fabricação de Peças, 1993-94

	Toyota (no Japão)	Japão (média)	Estados Unidos (média)	Europa (média)
Produtividade (Toyota = 100)				
Montagem	100	83	65	54
Fornecedores de primeira camada	100	85	71	62
Qualidade (defeitos entregues)				
Montagem (por 100 carros)	30	55	61	61
Fornecedores de primeira camada (ppm)	5	193	263	1.373
Fornecedores de segunda camada (ppm)	400	900	6.100	4.723
Entregas (percentual de atraso)				
Fornecedores de primeira camada	0,04	0,2	0,6	1,9
Fornecedores de segunda camada	0,5	2,6	13,4	5,4
Estoques (fornecedores de primeira camada)				
Horas	nd*	37	135	138
Giros de estoque (por ano)	248	81	69	45

Fonte: Womack e Jones (2004, p.248)

* O valor descrito como nd não foi determinado pela pesquisa.

Através da análise da Tabela 1, verifica-se que a Toyota obtém melhor desempenho em produtividade de montagem das suas plantas e dos fornecedores de primeira camada. Em relação à qualidade, destaca-se a diferença de qualidade dos fornecedores de primeira camada em relação ao desempenho das outras empresas japonesas, norte-americanas e europeias. Ainda, ressalta-se que os giros dos estoques dos fornecedores são consideravelmente maiores que os dos concorrentes, demonstrando a pequena quantidade de estoques armazenada.

1.1.2. A Implementação de Células de Manufatura: Tema da Pesquisa

Embora a manufatura baseada em células originou-se no início de 1900, seu real crescimento ocorreu em meados de 1990. Nas últimas décadas, um número significativo de empresas passou a admitir que vêm empregando técnicas de análise e melhoria de leiaute com o intuito de otimizar processos produtivos, muitas vezes como consequência da implementação da manufatura enxuta. Alguns recentes estudos na Europa e Estados Unidos indicam que entre 43% e 53% de empresas utilizam células de manufatura. Em plantas com mais de 100 empregados, este número aumenta para 73% (HYER; WEMMERLOV, 2002).

Células de manufatura são grupos dedicados que produzem uma família de componentes ou

produtos similares. As células contêm diferentes tipos de equipamentos, que são necessários para realizar todas as operações do produto ou componente. Estes equipamentos são posicionados na mesma seqüência das operações a fim de minimizar perdas com movimentações e transportes (BLACK, 1998; LIAO et al., 1996).

De acordo com Suzaki (1996), ao se implantar as células existe uma melhor comunicação entre os operadores, uma distância reduzida de percurso, um controle mais fácil de materiais, as atividades do trabalho são mais facilmente combinadas, existe uma maior flexibilidade para mudar o volume de produção, um fluxo mais simples e redução da carga administrativa para controlar a linha e melhor trabalho de equipe para atingir objetivos comuns.

A tabela 2 documenta dois estudos de empresas de manufatura dos EUA que implementaram a manufatura celular e que igualmente mostram resultados impressionantes em termos de *lead time*, qualidade e estoque. As colunas referentes aos ganhos “mínimo” e “máximo” na tabela 2 ilustram o fato de que os resultados alcançados com a implementação de células de manufatura variam de empresa para empresa (HYER; WEMMERLOV, 2002).

Tabela 2: Resultados de Desempenho Relatados de Implementações da Manufatura Celular

Medida de Desempenho	Wemmerlöv and Johnson (1997) 46 empresas			Wemmerlöv and Hyer (1989) 32 empresas		
	Ganho médio	Ganho mínimo	Ganho máximo	Ganho médio	Ganho mínimo	Ganho máximo
Redução de distância/tempo de movimentação	61,3%	15%	99%	39,3%	10%	83%
Redução no lead time	61,2	12,5	99,5	45,6	5	90
Redução no tempo de resposta à ordens de clientes	50,1	0	93,2	-	-	-
Redução WIP	48,2	10	99,7	41,4	8	80
Redução em tempo de setup	44,2	0	96,6	32	2	95
Redução em inventário de produto acabado	39,3	0	100	29,2	10	75
Melhoria da qualidade na peça/produto	28,4	0	62,5	29,6	5	90
Redução no custo unitário	16	0	60	-	-	-

Fonte: Hyer & Wemmerlov (2002, p. 7).

A utilização do trabalho em células de manufatura num ambiente de uma indústria pode ou não proporcionar a manutenção da eficiência do sistema produtivo, dependendo da tomada de decisão e do seu gerenciamento frente às influências do ambiente competitivo em que ela está inserida.

Desta forma, a execução do projeto do leiaute industrial deve estar alinhada às novas necessidades da empresa, criando um ambiente onde as modernas técnicas de produção possam ser implementadas, a fim de garantir o crescimento e sobrevivência do negócio. Sua correta análise e planejamento são essenciais para a garantia do aumento da flexibilidade e produtividade da produção.

1.1.3 A Movimentação Interna de Materiais como Apoio às Células de Montagem: Foco da Pesquisa

Após descrever o contexto e o tema da pesquisa, neste tópico será delimitado o foco do trabalho. Estudos têm demonstrado que as empresas vêm conseguindo alcançar desempenho superior estabelecendo células de manufatura. Porém, no decorrer do processo de implementação da manufatura celular, tem-se constatado que o progresso em introduzir este componente da manufatura enxuta, freqüentemente expõe novos problemas em outras dimensões (HARRIS, R. et al., 2002).

Um problema freqüentemente revelado com a implementação de células, é a ausência de um sistema de movimentação de materiais devidamente estruturado que apóie as células em fluxo contínuo e a produção em pequenos lotes (HARRIS et al., 2002). Interrupções no fluxo devido as peças não estarem disponíveis na hora certa ou na quantidade necessária e excesso de estoque em processo, são as principais características observadas e que evidenciam um fluxo errático de materiais.

Em algumas indústrias, o fluxo de informação movimenta-se, em alguns momentos, até no sentido contrário ao fluxo de materiais. Como resultado, raramente a demanda e a oferta coincidem, havendo necessidade de se acumular estoque ao longo do processo, protegendo falhas de suprimento e a não confiabilidade de entrega de materiais (MOURA, 2005).

Constatou-se que certas condições são fundamentais para que as células de manufatura apresentem desempenho satisfatório, e um dos principais fatores que afetam o funcionamento das células é o sistema de movimentação interna de materiais utilizado pela empresa.

A movimentação interna de materiais é importante para as organizações, pois oferece as condições materiais necessárias na hora e lugar certos, de modo que elas possam desenvolver suas atividades com eficiência e eficácia. Como benefícios decorrentes de uma correta implementação de um sistema de movimentação interna de materiais tem-se a minimização de custos, redução de resíduos, sistema logístico eficiente e entrega rápida dos produtos com alta qualidade (MOURA, 2005).

Embora a movimentação interna de materiais apareça em diferentes graus de importância, de indústria para indústria, cada elemento do sistema adiciona tempo na execução do produto final, afetando a competitividade e a lucratividade da empresa. Desta forma, elementos que compõem o sistema de movimentação interna de materiais utilizado pela empresa, como a armazenagem, abastecimento e programação devem ser analisados e estabelecidos, pois sua estruturação influencia diretamente no desempenho de células de manufatura.

Diante do exposto, o foco da presente pesquisa é o estudo dos mecanismos usados pelas empresas para a movimentação interna de materiais, com o intuito de garantir o correto armazenamento das peças e abastecimento das células de montagem, melhorando o desempenho da produção na sua totalidade.

1.2 Questão da Pesquisa

Partindo do princípio de que o bom funcionamento e a estabilidade de células de manufatura dependem de um adequado sistema de movimentação interna de materiais, a questão da presente pesquisa é:

- Como estruturar o processo de movimentação interna de materiais visando o atendimento às células de montagem?

1.3 Objetivos

Esta dissertação está fundamentada na importância do sistema de movimentação interna de materiais como suporte ao funcionamento de células de montagem.

1.3.1 Objetivo Geral

Propor uma sistemática para a movimentação de materiais visando às células de montagem em um ambiente *lean*.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta dissertação, em função do objetivo geral estabelecido, são:

- Coletar informações sobre a prática de implementação da manufatura celular e movimentação de materiais em uma unidade de manufatura de eletrodomésticos;
- Analisar o projeto integrado da célula com a movimentação de materiais;
- Explorar as alternativas para a movimentação de materiais, com foco no sistema de armazenamento, sistema de abastecimento das células e programação de abastecimento.

1.4 Estrutura da Dissertação

Com base na pesquisa realizada, a dissertação está estruturada nos seguintes capítulos:

Capítulo 1 – Introdução: fornece uma visão geral da presente pesquisa, apresentando o o contexto, o tema e o foco da pesquisa, a questão e os objetivos do estudo e a estrutura da dissertação.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: apresenta o referencial teórico da pesquisa tratando dos conceitos teóricos relacionados à manufatura enxuta, tipos de leiaute adotados nas indústrias com especial atenção à célula de manufatura, sistema de movimentação de materiais, bem como a relação entre a movimentação de materiais e o leiaute.

Capítulo 3 – Pesquisa de Campo: apresenta o planejamento da pesquisa de campo dentro do escopo da metodologia científica, o estudo de caso realizado e os resultados obtidos.

Capítulo 4 – Sistemática para Movimentação de Materiais: mostra uma proposta de sistemática elaborada com base nos conhecimentos adquiridos. A proposta apresenta as fases e atividades referentes ao processo de movimentação interna de materiais, bem como as ferramentas usadas.

Capítulo 5 – Recomendações para a Empresa: descreve considerações para a empresa em questão com base na sistemática proposta e na análise do estudo de caso.

Capítulo 6 – Conclusões e Recomendações: apresenta as considerações finais da dissertação e traça algumas recomendações para futuros trabalhos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Sistema Toyota de Produção e a Manufatura Enxuta

2.1.1 O Sistema Toyota de Produção

O Sistema Toyota de Produção surgiu no Japão no período posterior a Segunda Guerra Mundial, quando a situação econômica daquele país era de escassez de recursos financeiros e a demanda interna exigia produtos em pequenas quantidades e grande variedade (OHNO, 1997). A percepção de que o paradigma de Produção em Massa, baseado na constância e abundância, não se encaixaria às necessidades de um mercado variado e restrito, levou a empresa automotiva Toyota a desenvolver seu próprio modelo de produção (WOMACK *et al*, 1992).

Premida por tais circunstâncias, a Toyota desenvolveu o seu Sistema de Produção a partir da idéia central da eliminação de estoques e outros desperdícios. Isto pôde ser realizado graças ao desenvolvimento de técnicas e metodologias que favoreceram a utilização de pequenos lotes de produção, a redução dos tempos de preparação de máquinas, o auto controle da qualidade, a cooperação com fornecedores, além de outros aspectos (CUSUMANO, 1989; OHNO, 1997; SCHONBERGER, 1993 e WOMACK, 1992).

Shingo (1996) sustenta que a teoria do Sistema Toyota de Produção baseia-se na eliminação contínua e sistemática das perdas (desperdícios) nos sistemas produtivos, visando assim à eliminação de custos desnecessários. Nesse sentido, os desperdícios têm sido classificados como (SHINGO, 1996) (WOMACK & JONES, 1996) (HINES & TAYLOR, 2000):

1. *Superprodução*: Produzir excessivamente ou cedo demais, resultando em um fluxo pobre de peças e informações ou excesso de inventário.
2. *Espera*: Longos períodos de ociosidade de pessoas, peças e informação, resultando em um fluxo pobre, bem como em *lead times* longos.
3. *Transporte excessivo*: Movimento excessivo de pessoas, informação ou peças resultando em dispêndio desnecessário de capital, tempo e energia.

4. *Processos Inadequados*: Passos desnecessários para processar as peças. Utilização do jogo errado de ferramentas, sistemas ou procedimentos, geralmente quando uma abordagem mais simples pode ser mais efetiva.
5. *Inventário Desnecessário*: Armazenamento excessivo e falta de informação ou produtos, resultando em custos excessivos e baixa performance do serviço prestado ao cliente.
6. *Movimentação desnecessária*: Desorganização do ambiente de trabalho, resultando em baixa performance dos aspectos ergonômicos e perda freqüente de itens.
7. *Produtos Defeituosos*: Problemas freqüentes nas cartas de processo, problemas de qualidade do produto, ou baixa performance na entrega.

O modelo estrutural da Toyota se desenvolveu e foi aperfeiçoado durante décadas assumindo nos dias atuais a representação dada pela Figura 1, com a denominação de “Casa do Sistema Toyota de Produção”. Nela podem-se identificar os grandes pilares de sustentação desta metodologia, o **Just in Time (JIT)** e a **Autonomação**, que juntos permitirão à empresa atingir qualidade, baixo custo e um menor *lead time*.

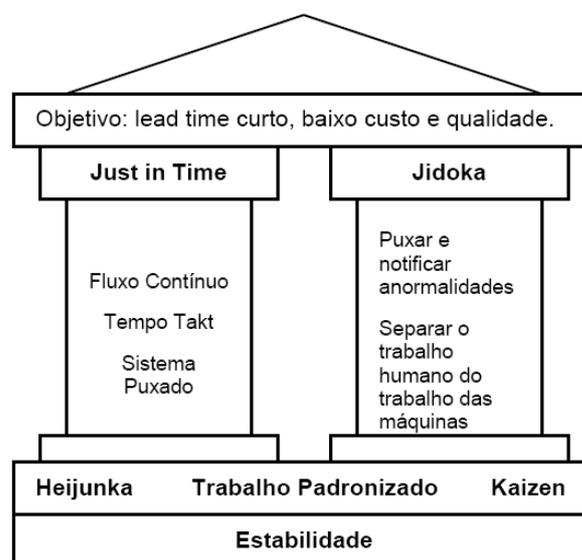


Figura 1: “Casa” do Sistema Toyota de Produção

Fonte: Léxico Lean (2003, p.73).

O *just in time* surgiu da necessidade de se produzir somente o que o cliente solicitasse, quando e na quantidade solicitada, já que os recursos eram escassos e o mercado era limitado e variado. Com o JIT, a ordem do processo produtivo foi invertida e os clientes passaram a

“puxar” a produção, fazendo com que cada processo só produzisse o que fosse demandado pelo processo subsequente, possibilitando uma produção em fluxo contínuo, ou seja, sem paradas (sem estoques ou com estoques mínimos e controlados - chamados de supermercados) (OHNO, 1997).

Para operacionalização do JIT foi desenvolvido o método *kanban* – com o objetivo de indicar o que, quanto e quando era necessário produzir. Além do *kanban*, o JIT só se tornou possível com o rearranjo físico da fábrica, de modo que as máquinas passaram a ser dispostas de acordo com o fluxo do produto; com maior frequência e menor tempo de troca de ferramentas, possibilitando produzir em pequenos lotes produtos variados; e com o nivelamento da produção, buscando a otimização do processo como um todo e não de cada etapa individual (SHINGO, 1996).

A idéia de autonomia, ou automação com um toque humano, foi desenvolvida a partir da necessidade de se ter “qualidade na fonte” (*jidoka*). Para que as máquinas não produzissem produtos defeituosos, foram adicionados a elas dispositivos “inteligentes” (*poka yoke*), que, quando detectavam problemas, paravam a produção, evitando a produção de produtos defeituosos e fazendo com que a qualidade dos produtos fosse assegurada no próprio processo produtivo.

Ohno (1997) afirma que a idéia de parar a produção quando surge algum problema é extremamente importante para a efetiva solução do problema, de modo que não mais haja reincidência. Conhecendo-se não somente o problema, mas o seu motivo, é possível solucioná-lo, efetivamente, e estabelecer padrões para que não volte a ocorrer.

Embora o JIT e a autonomia sejam considerados os pilares do STP, ambos só foram possíveis porque foram sustentados pela idéia de melhoria contínua (de buscar sempre o melhor modo de fazer, mesmo a tarefa mais simples) e de trabalho padronizado (focado não só nos padrões exigidos pelas normas governamentais, mas também no local de trabalho, sendo o mais organizado e limpo possível, agilizando as atividades) (ZAWISLAK *et al*, 2004). Também, a relação estável com os fornecedores é algo indispensável no STP, já que o atendimento do JIT depende deles. Foi justamente a ação conjunta da “base” com os “pilares” que permitiu ao sistema produtivo desenvolvido pela Toyota produzir mais (qualidade, variedade, velocidade) com menos (custos).

2.1.2 A Manufatura Enxuta

A manufatura enxuta é, na verdade, um termo cunhado, no final dos anos 80, pelos pesquisadores do *International Motor Vehicle Program – IMVP*, um programa de pesquisas ligado ao *Massachusetts Institute of Technology – MIT*, para definir um sistema de produção eficiente, flexível, ágil e inovador, um sistema habilitado a enfrentar melhor um mercado em constante mudança. Na verdade, manufatura enxuta é um termo genérico usado para definir o Sistema Toyota de Produção. Hirano (1988) enfatiza que o Sistema Enxuto de Produção é uma adaptação do Sistema Toyota de Produção, a partir de um enfoque ocidental.

Assim, a manufatura enxuta pode ser definida como uma forma de especificar valor, alinhar na melhor seqüência as ações que criam valor, realizar estas atividades sem interrupção toda vez que alguém as solicita e realizá-las de forma cada vez mais eficaz. A implementação da manufatura enxuta passa por mudanças radicais e pela aplicação de cinco princípios.

2.1.3 Princípios da Manufatura Enxuta

De acordo com Womack & Jones (1996), a manufatura enxuta possui cinco princípios básicos cujo objetivo é tornar as empresas mais flexíveis e capazes de responder efetivamente às necessidades dos clientes.

1. Determinar precisamente *o valor* por produto específico: é o ponto de partida e deve ser definido segundo as perspectivas dos clientes finais. Esse pensamento é essencial para que os fornecedores produzam apenas o que as empresas-clientes demandam e deve ser iniciado com uma tentativa consciente de definir precisamente o valor em termos de produtos específicos, com capacidades específicas, oferecidas a preços específicos, através do diálogo com clientes específicos (WOMACK et. al., 2004).
2. *Identificar o fluxo de valor* para cada produto: O fluxo de valor é definido como toda ação (agregando valor ou não) necessária para trazer um produto por todos os fluxos essenciais a cada produto: fluxo de produção desde a matéria-prima até as mãos do consumidor e o fluxo do projeto do produto, da concepção até o lançamento (ROTHER & SHOOK, 2000). Ao identificar o fluxo de valor, a empresa tem uma visão ampla de todos os processos individuais que compõem o caminho da matéria-prima até o produto acabado, encontrando as fontes de desperdício.

3. *Fazer o valor fluir* sem interrupções: é necessário fazer com que as etapas que criam valor fluam. Naturalmente, os produtos deveriam fluir continuamente pelos fluxos de valor, da matéria-prima até o produto acabado, mas isso pode ser complicado (ROTHER & SHOOK, 2000). Para estabelecer um fluxo, é necessário estabelecer um foco, que deve ser o “processo puxador” ou o segmento do fluxo de valor em que os produtos apresentam a forma final na perspectiva do cliente. Nesse foco se estabelece um ritmo de produção estável, mix nivelado de produtos e fluxos de materiais sempre contínuos, que estabelecem demandas regulares e consistentes ao fluxo de valor.
4. Deixar com que o cliente *puxe o valor* do produtor: Puxar a produção significa que um processo inicial não deve produzir um bem ou um serviço sem que o cliente de processo posterior o solicite (WOMACK et. al., 2004). Este ideal faz com que a empresa só produza o que foi demandado por clientes e não mais lotes desnecessários que serão estocados para serem vendidos.
5. *Buscar a perfeição*: fazer os quatro princípios anteriores interagirem em um processo contínuo na eliminação dos desperdícios. Fazer que o valor flua mais rápido sempre expõe os desperdícios ocultos no fluxo de valor. Quanto mais puxado é um processo, mais revelará os obstáculos ao fluxo, permitindo sua eliminação. Equipes dedicadas às famílias de produtos podem dialogar diretamente com clientes, encontrando formas de especificar o valor com maior precisão (WOMACK et al., 2004).

2.2 Considerações Gerais sobre Leiaute em Ambiente de Manufatura Enxuta

O arranjo físico de uma operação produtiva preocupa-se com a localização física dos recursos de transformação (SLACK et al., 1996). Colocado de forma simples, definir o arranjo físico é decidir onde colocar todas as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da produção. Dessa forma, o arranjo físico é uma das características mais evidentes de uma operação produtiva porque determina sua forma e aparência. Este arranjo também determina a maneira segundo a qual os recursos transformados (materiais, informação e clientes) fluem através da operação.

Lee (1998) afirma que o leiaute pode ser a essência da produção eficiente, desde que seu projeto trate desde a localização global até as estações de trabalho, tendo como resultado um ambiente que integra pessoas, serviços, produtos, informações e tecnologia.

Estudos de leiaute têm muitas implicações práticas e estratégicas. Seu projeto tem um significativo impacto na performance dos sistemas de manufatura e afeta diretamente os resultados da empresa, sendo decisivo para sua sobrevivência no mercado competitivo mundial (YANG et al., 2000; CANEN & WILLIAMSON, 1998; DHONDT & BENDERS, 1998). Por isto seu projeto deve emergir de planejamento estratégico macro. A alteração de um leiaute pode afetar uma organização, indo ao encontro de suas prioridades competitivas para (RUSSEL, 2002): *i*) facilitar o fluxo de materiais e informações; *ii*) aumentar a eficiência de utilização dos operadores e equipamentos; *iii*) aumentar o conforto para clientes e espaço para vendas; *iv*) reduzir os riscos para os empregados; *v*) melhorar a moral dos empregados; e *vi*) melhorar a comunicação.

De acordo com Shingo (1988), a abordagem básica de um problema de leiaute é reduzir o transporte a zero. Segundo Tompkins et al. (1996), o leiaute e o sistema de manuseio do material devem ser desenvolvidos simultaneamente. No entanto, devido à complexidade dos problemas de projeto, geralmente se requer que um processo seqüencial seja usado. Por isso, é recomendado que se desenvolva um bom número de alternativas de sistemas de manuseio e um leiaute apropriado para cada uma delas. O leiaute preferido deve ser o que resulte das considerações de todo o sistema.

Qualquer alteração no leiaute existente representa um custo elevado e não é facilmente realizada (Sha e Chen, 2001), porém sua reconfiguração representa a oportunidade de mudar a filosofia de trabalho de toda organização (Hall e Ford, 1998). Para Shingo (1996) a melhoria do leiaute industrial é uma pré-condição fundamental para estabelecer o fluxo contínuo, tão crucial ao STP.

2.2.1 Tipos Básicos de Leiautes

Há quatro tipos básicos de leiaute que definem o sistema de organização da produção (ASKINS & GOLDBERG, 2002): processo, produto, celular e posição fixa. A Figura 2 traz uma representação gráfica dos quatro tipos de leiaute.

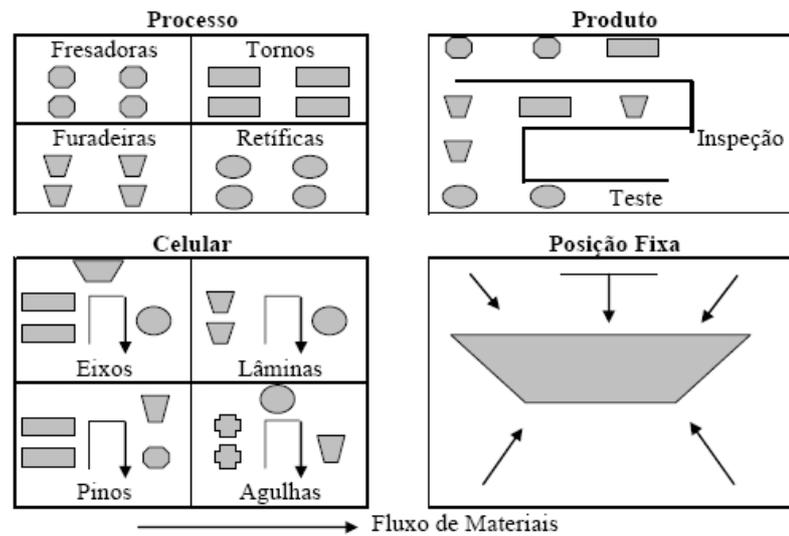


Figura 2: Tipos de Leiaute

Fonte: Askin e Goldberg (2002)

Leiaute Funcional

O leiaute funcional ou por processo é assim chamado, porque as necessidades e conveniências dos recursos transformadores que constituem o processo na operação dominam a decisão sobre o arranjo físico (SLACK et al., 1996). Este tipo de leiaute é obtido pelo agrupamento de processos similares em áreas específicas, formando departamentos de processos, caracterizando o fluxo entre departamentos. Tipicamente, existe um alto fluxo interdepartamental e um baixo fluxo intradepartamental.

A justificativa pela escolha desse arranjo pode ser baseada na conveniência para que a planta produtiva mantenha os processos ou postos de trabalho similares juntos, ou que dessa forma a utilização dos recursos transformadores seja beneficiada. Isso significa que, quando produtos, informações ou clientes fluírem através da operação, eles percorrerão um roteiro de processo a processo, de acordo com suas necessidades.

De acordo com Krajewski e Ritzman (1999), esse leiaute é usado quando o volume de atividade das peças ou grupos de peças não é suficiente para justificar o leiaute celular ou em linha. Ele é particularmente utilizado com uma estratégia de fluxo flexível, na qual é mais aconselhável um baixo volume e produção de alta variedade, onde o gerenciamento das operações deve organizar recursos (trabalhadores e equipamentos) ao longo do processo.

O maior desafio no planejamento de leiautes de processo é a locação dos setores de forma que eles proporcionem alguma ordem ao caos aparente nos fluxos flexíveis de operação, com a maior aproximação possível, minimizando a movimentação de materiais.

Leiaute em Linha

O leiaute em linha ou por produto envolve localizar os recursos produtivos transformadores, segundo a melhor conveniência em função da matéria-prima que está sendo transformada (SLACK et al.,1996). Cada produto, elemento de informação ou cliente segue um roteiro predefinido no qual a seqüência de atividades requerida coincide com a seqüência na qual os processos foram arranjados fisicamente.

Para leiautes por produtos é fácil decidir onde locar os setores, porque as operações devem ocorrer na ordem seqüencial prescrita. Os postos de trabalho são dispostos o mais próximo possível uns dos outros, reduzindo o deslocamento. Tipicamente um operador trabalha em cada estação, desempenhando tarefas repetitivas. A taxa de produção neste tipo de leiaute tende a ser alta (GHINATO, 1998).

O leiaute em linha é indicado no caso de instalações que produzem um pequeno número de itens, em grande quantidade. Exemplos típicos são a indústria automobilística, com suas linhas de produção características. Consegue-se grande eficiência no que se refere à movimentação de materiais, perdendo-se em flexibilidade. Em geral, utilizam-se máquinas especiais e o investimento necessário só compensa para um grande volume de produção.

O desafio nos leiautes por produtos é o de agrupar atividades entre estações de trabalho e atingir os resultados com o mínimo de recursos, balanceando as operações e minimizando os gargalos de produção. A composição e o número de estações de trabalho são decisões cruciais neste tipo de arranjo.

Leiaute Celular

O leiaute celular é aquele em que os recursos transformados, entrando na operação, são pré-selecionados para movimentar-se para uma parte específica da operação (ou célula), na qual

todos os recursos transformadores necessários a atender a suas necessidades imediatas de processamento se encontram (SLACK et al.,1996).

Os leiautes celulares são baseados em agrupar peças para formar famílias de produtos. Segundo Krajewski e Ritzman (1999), peças distintas podem ser agrupadas em famílias baseadas em processos seqüenciais familiares, composição do material, necessidade de ferramental semelhante, ou similaridade de manuseio, estoque ou controle. A família de produto é tratada como um pseudo produto e um pseudo leiaute é desenvolvido. Os equipamentos de processo necessários para o pseudo produto são agrupados conjuntamente e dispostos em uma célula de manufatura.

O leiaute resultante tipicamente tem um alto nível de fluxo intra-departamental e um pequeno fluxo inter-departamental.

Leiaute Posicional

O leiaute posicional ou fixo difere conceitualmente dos demais. Segundo Krajewski e Ritzman (1999), este tipo de leiaute geralmente é utilizado na montagem de aviões, navios, construção civil, geradores, turbinas, ou seja, quando o produto é particularmente volumoso ou difícil de locomover. O leiaute posicional envolve o seqüenciamento e a disposição das estações ao redor do material ou produto. Embora o leiaute posicional seja sempre associado às grandes montagens, existem muitas outras aplicações, como é o caso das montagens de computadores, onde subsistemas são montados paralelamente e escoam para uma área de montagem final, de onde o produto sai pronto.

Tipicamente, a maioria dos processos se enquadram em um dos quatro tipos de leiaute citados acima, embora, muitas vezes, se encontre a hibridização, onde um mix de tipos de leiaute é melhor aplicado.

Segundo Tompkins et al. (1996) e Silveira (1998) as principais vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de leiautes podem ser observadas na tabela 3.

Tabela 3: Vantagens e Desvantagens dos Diferentes Tipos de Leiautes

Tipo de Leiaute	Vantagens	Desvantagens
Leiaute Funcional ou por Processo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não necessidade de duplicação de máquinas, baixa ociosidade das mesmas e do investimento fixo; ▪ Equipamentos versáteis para várias atividades podem ser usados; ▪ Flexibilidade de processo e mix (estática) na alocação de pessoal e equipamento; ▪ Flexibilidade de produto (dinâmica) quando da alteração de fluxos de produção; ▪ Supervisão mais especializada. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altos custos indiretos: movimentação, supervisão; ▪ Difícil planejamento e controle da produção; ▪ Tempos de produção normalmente longos; ▪ Altos estoques intermediários; ▪ Baixa integração entre atividades; ▪ Diversidade nas rotinas e fluxos variáveis necessitam de dispositivos variáveis.
Leiaute em Linha ou por Produto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fluxo lógico, simples e suave em pequenos espaços; ▪ Baixos estoques intermediários; ▪ Pouca movimentação e manejo de partes resultando em diminuição de tempos improdutivos; ▪ Tarefas simples que requeiram pouco treinamento da mão de obra; ▪ Simples planejamento e controle da mão de obra; ▪ Curto tempo de produção unitário; ▪ Utilização de equipamentos específicos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Parada de uma das estações ocasiona a parada de toda a linha; ▪ Mudanças em projeto do produto podem exigir mudanças em leiaute (baixa flexibilidade); ▪ Gargalos têm grande efeito no sistema; ▪ Linhas múltiplas requerem duplicação de máquinas; ▪ Baixa utilização dos recursos para produtos ou serviços de baixo volume; ▪ Necessidade de uma supervisão geral.
Leiaute Celular	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grande utilização dos equipamentos/ baixa ociosidade; ▪ Criação de grupos multifuncionais e visão do produto; ▪ Maior controle do sistema e confiabilidade de entregas; ▪ Melhor fluxo e uso do espaço do que o leiaute funcional; ▪ Boa combinação de flexibilidade e integração; ▪ Melhoria de lotes, estoques, set-ups e tempos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alto custo com o treinamento da mão de obra; ▪ Balanceamento do fluxo de materiais na célula deve ser razoável para não gerar ociosidades; ▪ Necessidade de máquinas pequenas e móveis; ▪ Possibilidade de duplicação de máquinas;
Leiaute Posicional	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pequena movimentação de materiais; ▪ Enriquecimento de tarefas; ▪ Trabalho em times; ▪ Alta flexibilidade de processo e produto; ▪ Centros de trabalho quase autônomos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grande movimentação de pessoas e equipamentos; ▪ Grande necessidade de supervisão; ▪ Posicionamento de equipamento e pessoas que pode ser inseguro, não ergonômico ou pouco prático; ▪ Baixa utilização do equipamento; ▪ Grande qualificação de mão de obra; ▪ Possibilidade de duplicidade de equipamentos.

Fonte: Tompkins et al. (1996) e Silveira (1998)

2.2.2 Escolha do Tipo de Leiaute em uma Empresa

Russel (2002) enfatiza que as decisões fundamentais para o planejador do leiaute envolvem o volume de capital a investir, a facilidade de criação de pontos de estoque, o ambiente e atmosfera de trabalho, a facilidade de manutenção dos equipamentos, o grau de flexibilidade necessário, além de conveniências dos clientes e níveis de vendas.

A combinação entre volume de produção e variedade de produtos impacta fortemente na escolha do tipo de leiaute, como também no planejamento e na hierarquia de decisão (ASKIN

& GOLDBERG, 2002). A Figura 3 apresenta os tipos de leiaute normalmente usados nas diferentes combinações de volume de produção e variedade de produtos.

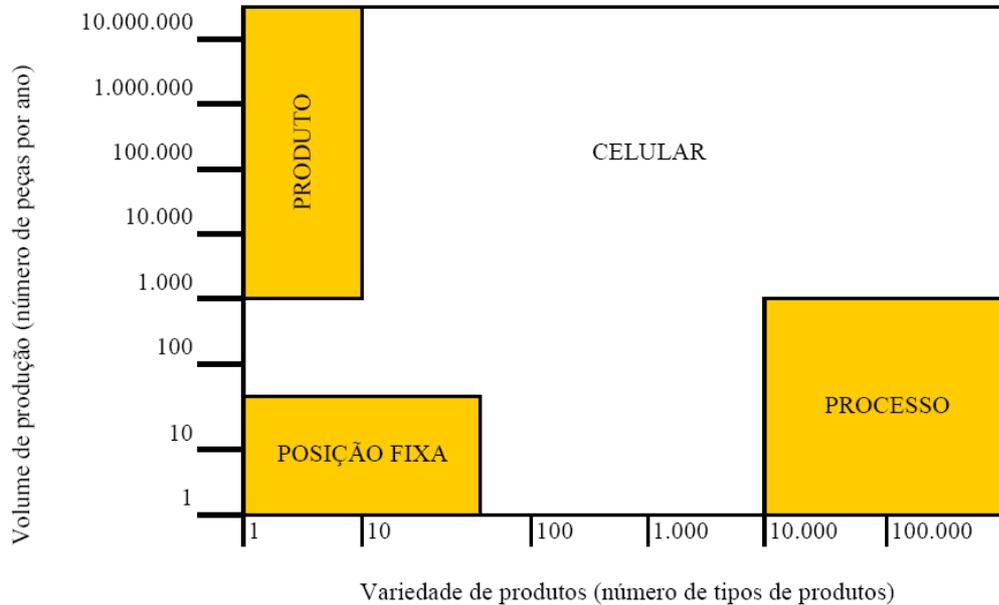


Figura 3: Organização Física para Combinação de Volume e Variedade

Fonte: Askin e Goldberg (2002)

A análise deve considerar o contexto do tempo atual e futuro dos produtos e seus volumes, a fim de ajudar o planejador a compreender a relação entre os vários produtos. Os produtos de alto e baixo volume, por exemplo, podem exigir equipamentos e modos de produção diferentes (LEE, 1998).

Se produtos usam recursos similares em quantidades similares, esses podem ser considerados de forma agregada para fins de planejamento. Se múltiplos produtos com diferentes perfis de recursos são produzidos, então todos os produtos e processos, em particular aqueles que são gargalos potenciais, devem ser considerados na decisão da escolha do tipo de leiaute (ASKIN & GOLDBERG, 2002). Na medida em que os volumes de produção crescem e a variedade decresce, processos com leiaute dedicado e fluxos contínuos tornam-se mais econômicos. Altos volumes de produção podem justificar ferramentais e equipamentos especializados (ASKIN & GOLDBERG, 2002).

A variedade de produtos produzidos em uma empresa impacta diretamente sobre as necessidades de flexibilidade no leiaute produtivo adotado. Leiautes flexíveis permitem

rápidas adaptações a mudanças de mercado e necessidades específicas dos clientes. Num leiaute flexível, qualquer instalação continua adequada após significativas mudanças ocorridas no *mix* de produção, sem incidências de custos excessivos (RUSSEL, 2002).

Outras considerações importantes na decisão do tipo de processo e leiaute em um sistema produtivo são (RUSSEL, 2002):

- A produtividade operacional pode ser afetada se certos postos de trabalho podem ser operados por pessoal comum em alguns leiautes, mas não em outros;
- O *downtime* despendido em esperas por materiais pode ser causado por dificuldades no manuseio, resultante de um leiaute inadequado ao fluxo de materiais e transporte destes. Para tanto, a movimentação de materiais deve ser analisada junto com o leiaute. Ainda se deve atentar para a possibilidade de alteração freqüente no leiaute (devido à mudança no produto, processo ou regime de produção).
- O ambiente de trabalho, incluindo temperatura, nível de ruído e segurança costuma estar diretamente relacionado ao leiaute selecionado, devendo ser considerado na análise de decisão.

2.2.3 Comparação entre Montagem em Linha e em Célula

Será dada ênfase a estes dois tipos de leiautes, dado o foco do trabalho que é a implementação de células de manufatura a partir de linhas de montagem.

Embora, sob algumas definições, a maioria das linhas de montagem tecnicamente também podem ser consideradas células, é útil distingui-las. A reconfiguração de uma linha de montagem “clássica” para uma célula de montagem “ideal” freqüentemente envolve as seguintes mudanças (HYER & WEMMERLOV, 2002):

- Uma mudança de uma longa/estreita linha à outra forma de leiaute físico – freqüentemente em forma de U;
- A remoção de transportadores (se apropriado);
- A redução do espaço ocupado pela unidade de montagem (o número de estações de trabalho diminui e estas são posicionadas mais próximas umas as outras);
- Um aumento do número de tarefas atribuídas a cada operador de montagem;
- Uma redução do número de operadores.

Dado que o trabalho de montagem em muitas plantas já está dedicado a uma família de produtos, por que a conversão de leiaute linear para celular? As maiores vantagens têm relação com eficiência, flexibilidade, resultado, qualidade, e ambiente de trabalho (HYER & WEMMERLOV, 2002):

1. *Células podem levar à trocas rápidas.* É difícil em um leiaute linear alterar a fabricação de produtos, tanto com relação às ferramentas quanto ao material. Pela separação da linha em várias células menores e mais focadas, a mudança de modelo torna-se menor e mais fácil de realizar.
2. *Células podem evitar paradas nas linhas.* Uma longa linha, especialmente quando utiliza manuseio de material mecanizado, é vulnerável a quebras. Dividir uma linha em múltiplas, pequenas células significa que a produção pode continuar até mesmo se uma célula parar de trabalhar.
3. *Uma célula pode economizar espaço e ganhar eficiência pela não utilização de transportadores.* O uso de transportadores em movimento em linhas pode em alguns casos ser ineficiente. O material tem que ser retirado e então colocado novamente na linha.
4. *Células podem operar com maior flexibilidade.* O número de operadores pode variar de acordo com a demanda ou o ritmo da produção. Além de que o desbalanceamento em tempos de trabalho leva a um maior número de operadores na linha. Com o aumento da quantidade de tarefa atribuída a cada operador, pode-se reduzir o tempo ocioso e assim o número de operadores.
5. *Células de montagem possuem freqüentemente menores problemas de qualidade e rápida resolução do problema.* Em cada célula, cada operador monta uma maior porção do produto que em uma linha. Operadores estão também mais proximamente localizados. Devido aos operadores da célula conhecerem mais sobre o produto, o processo total, e um aos outros, eles desenvolvem uma forte “propriedade do processo” e tendem a estar mais envolvidos com a melhoria.
6. *Células diminuem o risco de lesões por movimento repetitivo e aumentam as chances de melhorar a satisfação do trabalho.* Esta é uma das vantagens da maior atribuição do trabalho para operadores em células.

2.3 Manufatura Celular na Operação de Montagem

2.3.1 Considerações Iniciais

No mercado atual, para que as empresas possam tornar-se competitivas, precisam produzir lotes cada vez menores de uma ampla variedade de produtos com preços compatíveis, qualidade intrínseca e atendimento do prazo de entrega. Isto implica a necessidade de sistemas produtivos que tenham capacidade de responder rapidamente às constantes flutuações de demanda de mercado.

Os sistemas produtivos baseados na manufatura enxuta são atualmente uma das principais estratégias de produção utilizadas pelas organizações. A manufatura enxuta possui vários componentes, como o *kanban*, o *just-in-time*, a troca rápida de ferramentas, o nivelamento da produção e o fluxo contínuo. A implementação destes demanda algumas modificações profundas no sistema produtivo, inclusive no leiaute industrial.

Entre as alternativas de leiaute disponíveis, destaca-se o leiaute celular. Entre as potenciais vantagens a serem obtidas com a adoção de células de manufatura, pode-se citar: *i)* redução do tamanho dos lotes de produção; *ii)* redução dos tempos de atravessamento; *iii)* redução dos estoques intermediários e de produtos acabados em processos; *iv)* melhorias em termos da flexibilidade da empresa em atender às contínuas mudanças do mercado; *v)* redução da geração de refugos e retrabalhos; e *vi)* aumento da capacidade da produção nos recursos críticos da empresa.

Existem muitos componentes associados com a manufatura enxuta, e a utilização de células de manufatura é somente um destes. No entanto, acredita-se existir uma seqüência lógica pelo qual estes necessitam ser implementados, e a manufatura celular é um pré-requisito para a implementação da manufatura enxuta e um dos seus núcleos fundamentais. A existência de células é uma condição necessária, embora nem sempre suficiente, para a eficácia do sistema enxuto. Desta forma, considera-se difícil conceber um sistema enxuto que não empregue as idéias atrás da manufatura celular.

2.3.2 Definições para a 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, GRZNAR, 1997). As peças são agrupadas em famílias dependendo de certas

características, como similaridade da geometria das mesmas ou dos processos de fabricação (WEMMERLOV & JOHNSON, 1997; OLORUNNIWO & GODWIN, 2002).

Uma definição mais abrangente para células de manufatura envolvendo a conexão entre tempo, espaço e informação é proposta por Hyer e Brown (1999). Esses autores definem células de manufatura como um problema de agrupar máquinas e peças de uma família de produtos com processos similares através da criação de um fluxo de trabalho no qual as tarefas e os operários que as executam estão perfeitamente conectados através dos elementos de ligação tempo, espaço e informação. Essa definição permite explicitar mais enfaticamente a ligação entre pessoas, tarefas, fluxo de informação e fluxo de materiais com a célula de manufatura.

Assim, a introdução do elemento de ligação “tempo” na definição acima tem o papel de minimizar a transferência e os tempos de espera entre tarefas seqüencialmente dependentes. O elemento de ligação “espaço” permite que todas as tarefas sejam executadas levando-se em consideração a proximidade entre as células, com o objetivo de minimizar os tempos de deslocamento, que não agregam valor ao produto. Finalmente, o elemento de ligação “informação” permite que as pessoas e as máquinas responsáveis pela execução das atividades nas células tenham acesso completo à informação sobre a disposição das tarefas nas células.

Ainda segundo Hyer & Wemmerlov (2002), a fim de ajudar a revelar a essência das células, estas são definidas sob quatro perspectivas:

1. De uma **perspectiva de recurso**, uma célula é um pequeno grupo de recursos - humanos e técnicos - dedicados a processar um conjunto de objetos similares (produtos, componentes).
2. De uma **perspectiva de espaço**, uma célula é um grupo de recursos localizados próximos uns aos outros dentro de claras fronteiras físicas.
3. De uma **perspectiva de transformação**, uma célula é um sistema designado a realizar múltiplos e consecutivos passos de processo em uma família de objetos. A similaridade entre os objetos, o qual qualifica eles serem referidos como uma família, é baseado na divisão dos passos de processo e fluxo de processo.
4. De uma **perspectiva organizacional**, uma célula é uma unidade produtiva dentro de uma empresa. Deste modo, à elas são alocados recursos e fornecidos materiais, assim

como são usadas como um ponto de planejamento e controle, e contam para o desempenho e melhoria.

2.3.3 O Planejamento e Implementação de Sistemas de Manufatura Celular

O processo de planejamento e implementação de sistemas celulares pode variar em escopo e complexidade. Alguns processos envolvem poucas pessoas e são realizados rapidamente, com pouco planejamento avançado. Outros envolvem uma grande parte da organização e requerem muito tempo e esforço para serem completados.

O planejamento para implementação de células de manufatura engloba três fases relacionadas: (1) a identificação de oportunidades para reestruturação da organização em células; (2) o projeto de um novo leiaute da fábrica para acomodar as células; (3) a modificação do sistema de gerenciamento da empresa para alinhar a mesma com a nova organização do trabalho e leiaute (HYER & WEMMERLOV, 2002). Um time de projeto deve ser formado consistindo de pessoas de nível operacional e gerencial para lidar com estas mudanças. A formação da equipe e estabelecimento de funções é uma parte crucial do processo.

É importante que a decisão de implementação da manufatura celular esteja fundamentada no atual contexto estratégico da empresa. A partir de um planejamento estratégico, a empresa pode decidir optar por células de manufatura ou não, assim como o escopo de implementação. Uma empresa pode empreender um projeto da planta como um todo, e então proceder a implementação em um plano de larga escala. Alternativamente, ela pode estudar diretamente a possibilidade de uma (ou possivelmente mais) célula para uma família de produtos. O perigo do planejamento para um simples produto ou uma linha de produto é que pode levar a uma subotimização do sistema de manufatura. No entanto, esta opção, caso se torne uma experiência positiva, pode posteriormente levar a uma análise do escopo completo da empresa (HYER & WEMMERLOV, 2002).

O projeto de um arranjo físico deve considerar inicialmente o que se pretende conseguir com o mesmo. Neste caso, há a necessidade inicialmente de compreender muito bem os objetivos estratégicos da produção e a participação do fluxo de materiais no processo.

O processo de desenvolvimento de um novo leiaute leva naturalmente à uma revisão da infraestrutura que dará suporte às células de produção. A análise da infra-estrutura pode ser realizada em paralelo com o planejamento do leiaute e os assuntos necessários à serem revisados são de uma faixa extensa. Segundo Hyer e Wemmerlov (2002), alguns dos aspectos da empresa que necessitam ser revisados em conexão com a reorganização da fábrica são:

- **Sistema de Gerenciamento** (planejamento e programação da produção, sistema de abastecimento de materiais, sistema de vendas, procedimentos de manutenção, sistema de contabilidade, medição de desempenho, sistema de informação, entre outros).
- **Estrutura Organizacional** (estrutura de supervisão e comunicação, interface com outras unidades organizacionais, entre outros).

A aplicação de uma metodologia para implementação de células tem importantes efeitos no aprendizado da companhia. A participação do pessoal com troca de idéias, o envolvimento com processos de melhoria contínua e resultados alcançados baseados no método proposto e na estrutura instalada são alguns desses efeitos (SILVEIRA, 1998).

Hyer *et al.* (1999) desenvolveram um modelo em que as etapas para implantação de células de manufatura são: (1) estabelecer o contexto estratégico; (2) executar a análise do sistema existente; (3) tomar decisões estruturais da alta administração e decisões operacionais, as interfaces da célula com toda a organização; (4) determinar peças (ou os produtos), equipamentos (ou dos processos) e os operadores às células; (5) conduzir o projeto detalhado da célula endereçado às questões estruturais e operacionais; (6) implementar o novo projeto; e (7) avaliar continuamente, melhorando o projeto.

2.3.4 Aspectos Estruturais e Operacionais do Projeto

Embora se tenha em mente os objetivos a serem alcançados com o projeto de implementação de células de manufatura, o projeto do sistema não pode ser guiado diretamente por eles, já que a célula deve ser projetada antes que se possa avaliar seu desempenho (HYER & WEMMERLOV, 2002). Desta forma, deve-se basear em considerações de projeto que irão auxiliar a identificar o que se tornará uma célula com alto desempenho.

Wemmerlov e Hyer (1986) *apud* Chakravorty e Hales (2004), descrevem que, para o projeto da célula ser bem sucedido, dependerá inicialmente da tomada de uma série de decisões

seqüenciais e simultâneas. Entretanto, o foco desta discussão é centrado em dois aspectos do projeto da célula: aspectos estruturais e operacionais. Os aspectos estruturais consistem em tomadas de decisões como: tipos de peças a serem processadas, roteiros de fabricação, máquinas necessárias, equipamentos para a manipulação do material, disposição da célula, de ferramentas e de dispositivos elétricos, quantidade e os tipos de operadores. As decisões operacionais envolvem: projeto das tarefas dos operadores, papéis do pessoal de apoio, políticas de inspeção e manutenção, medidas de desempenho da célula, procedimentos da produção e do controle e políticas de programação.

O tamanho da célula é um parâmetro que deve ser controlado por várias razões (LORINI, 1993), entre as quais podem ser citadas como as mais importantes: a limitação do espaço físico disponível, o tipo de sistema de movimentação desejado, o tamanho dos lotes de fabricação e o número de operadores integrados a cada célula, para que possam acompanhar visualmente todo o fluxo produtivo.

Quanto maior o tamanho da célula, menor a similaridade dos produtos fabricados na mesma. Como um resultado, o padrão de fluxo pode se tornar errático, o controle visual é dificultado, além de que dificulta o treinamento dos operadores em múltiplas atividades. Conforme estudos realizados, as células mostram uma extensa faixa de tamanhos em termos de números de operadores, variando de 1 a 40. No entanto, quase três quartos de todas as células estudadas têm 5 ou menos operadores (HYER & WEMMERLOV, 2002).

Devem ser conhecidos os tempos de processo das peças e estabelecidos limites para o carregamento de cada máquina para fins de alocação destes tempos de processo das peças, durante a definição das famílias. A exclusão de peças de uma família significa que estas deverão ser fabricadas fora da célula ou terceirizadas. Do ponto de vista operacional, pode-se também separar as peças de maior complexidade de manufatura (LORINI, 1993).

Na definição do grupo de máquinas, pode-se desejar manter agregadas algumas máquinas em uma mesma célula, devido a sua interdependência por características tecnológicas, físicas ou por outra razão estratégica (LORINI, 1993).

As edições da capacidade e do fluxo de trabalho devem ser um foco principal de projeto detalhado da célula. O projetista deve minimizar desequilíbrios de carga e assegurar um fluxo

de trabalho enxuto para que os objetivos estejam dentro do *lead time* almejado.

Com relação à configuração da célula, a configuração em U é particularmente adequada, pois evita regiões ou áreas de operações específicas, diferentemente de outros sistemas onde há operadores locados somente em uma posição. As posições de carga e de descarga do conjunto de máquinas estão no mesmo ponto, onde o mesmo operador pode alimentar e descarregar o sistema (MONDEN, 1983).

O formato em U também permite que o mesmo trabalhador opere simultaneamente em dois lados. Ao programar-se uma produção mais elevada, podem-se acrescentar trabalhadores na linha, cada um trabalhando apenas em uma ala (SCHONBERGER, 1993).

2.3.5 Desempenho das Células de Manufatura

O desempenho superior do leiaute celular sobre os outros tipos de leiaute de manufatura é amplamente relatado na literatura acadêmica e na prática pelas implementações realizadas. As razões mais comuns pelas quais empresas implementam a manufatura celular são porque células reduzem o *lead time*, diminuem o estoque em processo, e aumentam a qualidade. Os fundamentos para estas e outras vantagens podem ser delineados em duas áreas: (1) a natureza do processo de manufatura e como ele está organizado, e (2) o processo administrativo que prepara, planeja e controla a produção (HYER & WEMMERLOV, 2002).

2.3.5.1 Considerações para a obtenção do desempenho da célula

A fim de demonstrar os benefícios que estão diretamente relacionados à utilização de células de manufatura, assim como os vários benefícios indiretos, irá-se utilizar para análise a definição de Hyer e Wemmerlov (2002) baseada nas quatro perspectivas – transformação, recursos, espaço, e organização.

De uma perspectiva de transformação, uma célula é um sistema designado a realizar múltiplas e consecutivas etapas de processo em uma família de produtos. O estabelecimento de células automaticamente muda o foco de operações individuais à longas cadeias de operações. A criação de famílias de peças ou produtos similares também muda o foco de itens individuais para grupos de itens. Com isto tem-se uma economia de escala. Qualquer mudança feita para

melhorar um passo do processo, agora beneficia toda uma família e não somente um único produto. Quanto maior o grau de similaridade do produto, e mais operações puderem ser alocadas à célula, maior o potencial de resultado da mesma (HYER & WEMMERLOV, 2002). A Figura 4 ilustra os vários benefícios obtidos associados com a perspectiva de transformação.

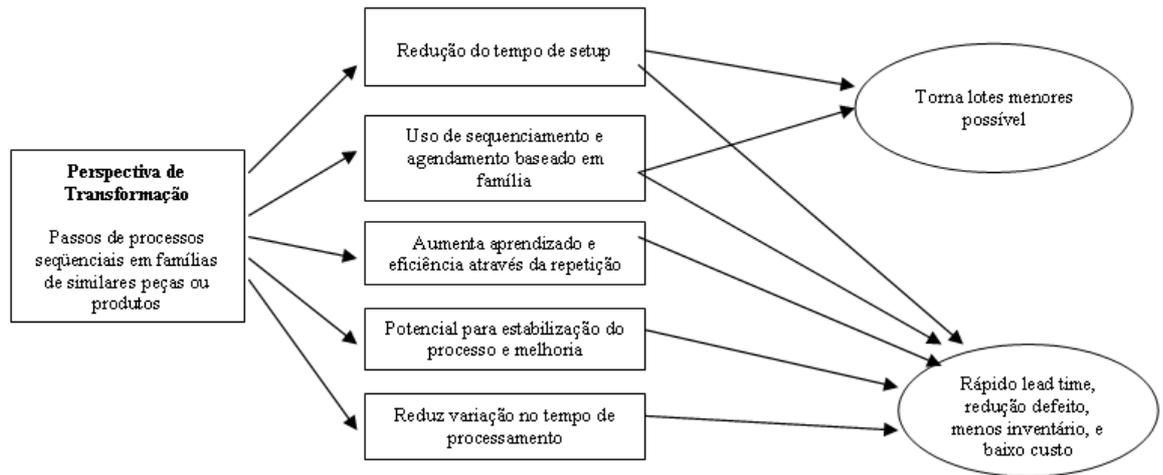


Figura 4: A Perspectiva de Transformação– Benefícios Ligados ao Processamento de Famílias de Produtos

Fonte: Hyer & Wemmerlov (2002, p. 55).

A essência da perspectiva de recurso é que uma célula é um pequeno grupo de recursos, técnicos e humanos, dedicados ao processo de um conjunto de peças ou produtos similares. O fato de esta ser de pequeno tamanho é importante de uma perspectiva social, informacional e de controle e manuseio de material (HYER & WEMMERLOV, 2002). A dedicação de recursos, direta e indiretamente, possibilita vários benefícios para as células, como por exemplo, o desenvolvimento de funcionários multifuncionais. Como consequência, tem-se um menor *lead time*, diminuição da quantidade de estoque, menor rotatividade e absenteísmo da força de trabalho. Na figura 5, pode-se visualizar as inter-relações obtidas sob esta perspectiva.

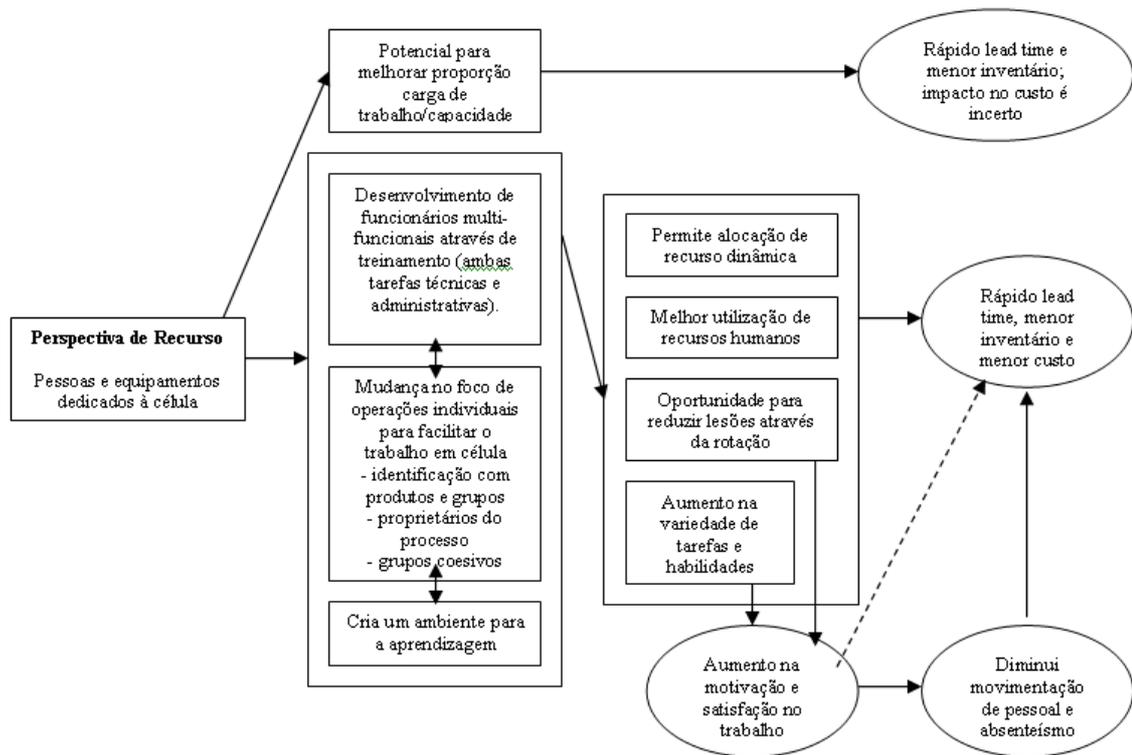


Figura 5: A Perspectiva de Recurso – Benefícios Ligados e Pequenos Grupos de Recursos Dedicados

Fonte: Hyer & Wemmerlov (2002, p. 50).

Segundo Hyer e Wemmerlov (2002), sob o ponto de vista da perspectiva de espaço, a proximidade física nas células pode criar resultados positivos, de modo que suporta o uso de pequenos lotes de transferência, torna o gerenciamento visual possível e menos tempo e energia são gastos com movimentação entre as estações de trabalho. As inter-relações sob esta perspectiva podem ser visualizadas na figura 6.

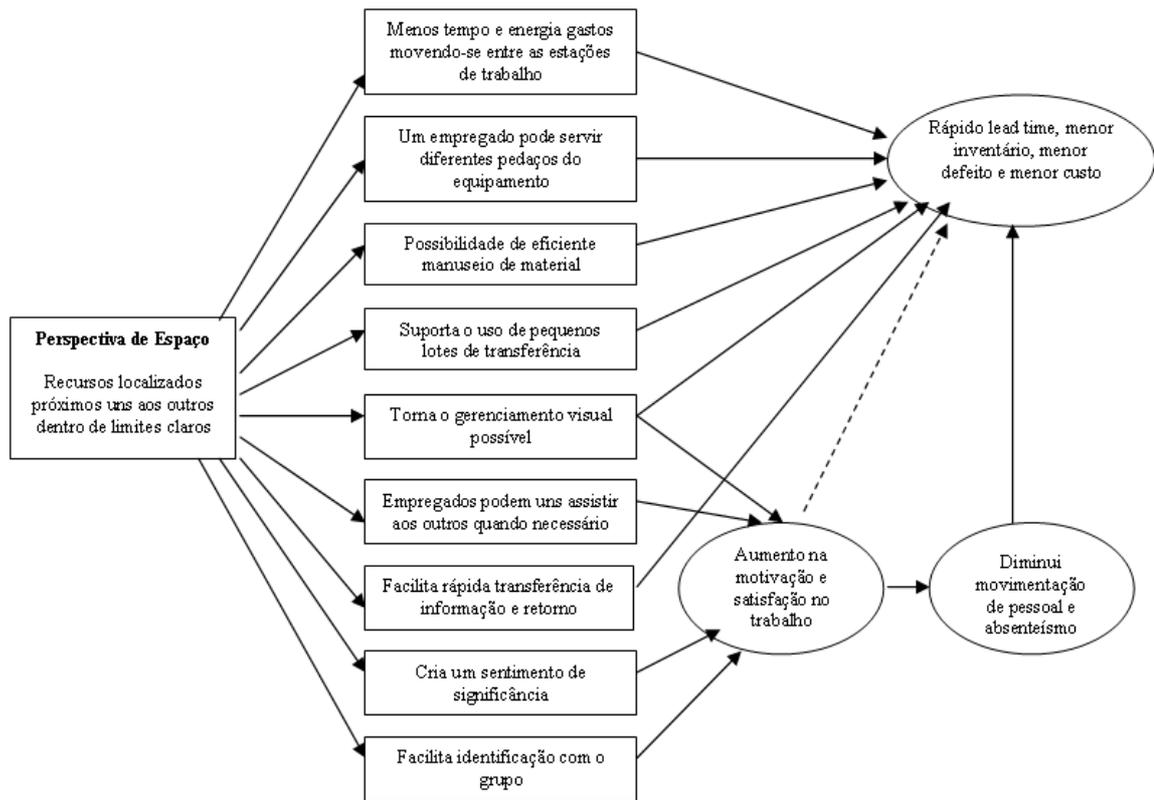


Figura 6: A Perspectiva de Espaço – Benefícios Ligados à Proximidade Física

Fonte: Hyer & Wemmerlov (2002, p. 53).

De uma perspectiva organizacional, uma célula é uma unidade administrativa dentro da empresa. Deste modo, a ela são alocados recursos, esta é suprida com materiais, é usada como um ponto de planejamento e controle do ponto de vista de uma função de planejamento centralizada, e é considerada para resolução de problemas e melhoria (HYER & WEMMERLOV, 2002). A mudança de uma estrutura organizacional funcional para celular origina mudanças no modo como a célula é administrada. Esta é a mais significativa contribuição dos vários benefícios relacionados à manufatura celular. A figura 7 apresenta os resultados obtidos.

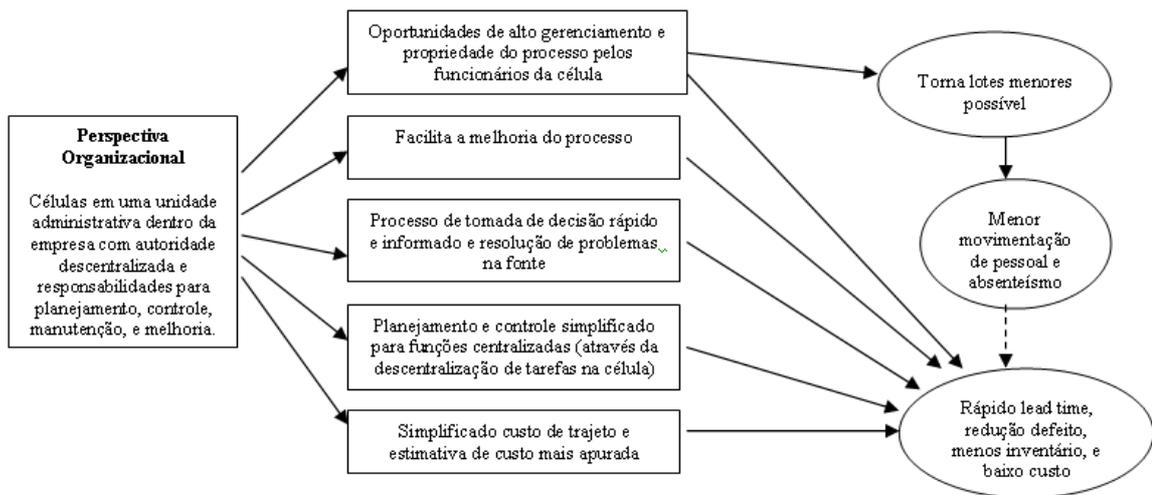


Figura 7: A Perspectiva Organizacional– Benefícios Ligados à Célula como uma Unidade Administrativa

Fonte: Hyer & Wemmerlov (2002, p. 58).

2.3.5.2 Resultados

Miltenburg (2001) apresenta, em seu trabalho de pesquisa, 114 empresas japonesas e americanas que utilizam um leiaute em forma de U com *JIT*, tendo em média 10,2 máquinas e 3,4 operadores por leiaute em forma de U. Aproximadamente um quarto de todos os leiautes em U é equipado por um operador. Os principais benefícios apontados são: 76% de melhoria da produtividade em média, queda de 86% no estoque em processo, 75% de redução no *lead time* e 83% de queda nas taxas de defeito.

Kher e Jensen (2002) apontam resultados em que a formação das células melhora o desempenho do tempo e o atraso do fluxo das peças processadas em 83,33% dos casos e 85% de redução do espaço físico das instalações com a utilização das máquinas previstas. Para algumas famílias, os benefícios da manufatura celular podem resultar em reduções do *lead time*, realizadas por máquinas dedicadas às células, que variam entre 5% e 7,5%.

Em um experimento de implementação de manufatura celular, Hyer e Wemmerlöv (2003) obteve como resultados: redução dos tempos de movimentação de 61,3%, redução de *lead time* de 61,2%, redução do tempo de resposta aos pedidos dos clientes de 50,1%, redução de inventário em processamento de 48,2%, redução de tempo de *set-up* de 44,2%, melhoria dos índices de qualidade de 28,4% e redução do custo unitário de 16%.

Outro estudo apresentado por Wemmerlöv e Johnson (2000) mostra que o uso de células parcial é comum, pois muitas células de manufatura não controlam suas famílias de peças inteiramente, sendo conectadas a um sistema de manufatura maior que efetua o processamento por completo. Isto ocorre em função destas células não terem total disponibilidade, tamanho adequado e restrições específicas. Quando não é possível dedicar o equipamento necessário para processar completamente uma família em sua própria célula, o fluxo intercelular de material é requerido. Há muitos casos em que uma célula parcial melhora o desempenho da família que processa.

2.3.5.3 Fatores limitadores do desempenho

A utilização de células de manufatura também apresenta as suas limitações e problemas para a busca do melhor desempenho fabril. A acuracidade do projeto, recursos disponíveis, confiabilidade nos recursos, capacidade da mão-de-obra envolvida e demandas consistentes são fatores que podem limitar a eficiência do sistema.

Há situações em que não é prático ou possível mudar de um leiaute por processo para uma disposição celular, principalmente nas seguintes situações: as máquinas são grandes e difíceis de mover-se; a flexibilidade do roteiro de processamento deve ser mantida; as restrições financeiras tornam impossível melhorar o desempenho da manufatura, exigindo rearranjo das máquinas; não é desejável comprar máquinas novas com a finalidade de melhorar o desempenho da manufatura ou de povoar as células devido às limitações de custo e espaço; o custo do rompimento da produção impediria a reorganização do leiaute; e o amplo *mix* de produtos é instável (PRINCE & KAY, 2003).

A formação de células com o mínimo número de movimentos internos nem sempre é consistente com o mínimo fluxo de material, devido à falta de dados do leiaute no processo de formação de células, conseqüentemente o processo não é validado precisamente na implementação (CHIANG & LEE, 2003).

Máquinas são vistas como recursos confiáveis no projeto, e o plano de processo é sempre constante, o que nem sempre acontece. Células são projetadas para o mínimo de interações e fixas indicações (DIALLO *et al.* 2001).

O projeto de um leiaute celular é baseado na expectativa de valores de demanda previsto para cada peça. Entretanto, em muitas situações práticas, a demanda é variável. Nestes casos, métodos baseados somente em valores esperados de demanda, que não levam em consideração sua variabilidade, podem ser inadequados (ARZI *et al.*, 2001).

Demandas externas não estáveis e estocásticas causam flutuações nas exigências de capacidade no chão de fábrica, que resultam em máquinas inativas, ou alternativamente, em capacidade escassa, em células de manufatura, podendo constituir uma significativa deficiência (ARZI *et al.*, 2001).

O efetivo projeto de um leiaute celular requer cuidado para a consideração dos itens referentes às características das peças, células, estruturas e operações. Algumas decisões devem ser consideradas na viabilidade e nos aspectos conceituais do projeto: a viabilidade de uma operação particular para uma célula de manufatura; a identificação do sistema de restrições como um ambiente de restrições (muitas operações devem ter excessivos níveis de ruído e vibrações não sendo suscetíveis a fazer parte de uma célula); e seleção de técnicas de formação e tipo de célula (LUONG *et al.*, 2002).

2.4 Movimentação Interna de Materiais

2.4.1 Considerações Iniciais

A utilização do processo de movimentação interna de materiais não é novidade no mundo empresarial. Nas últimas décadas, as empresas buscam no gerenciamento do fluxo de informações e materiais na cadeia, racionalizar o processo produtivo pela adoção de um modelo de excelência logística com o objetivo de aumentar a competitividade do produto.

Segundo Moura (2005), em uma fábrica típica, a movimentação de materiais responde por 25% de todos os empregados, 55% de todo o espaço da fábrica e 87% do tempo de produção. Estima-se que a movimentação de materiais represente entre 15% e 20% do custo total de um produto fabricado. A movimentação de materiais também é um dos primeiros campos onde procurar por melhoramentos da qualidade. As estimativas indicam que entre 3% e 5% de todo o material movimentado é danificado.

Um recente estudo de toda a cadeia logística de uma carga expedida revelou 73 etapas de movimentação de materiais entre o descarregamento de matéria-prima dos caminhões e a descarga do produto acabado no local de destino (MOURA, 2005). Cada vez que o material foi movimentado, custos de movimentação foram acrescidos ao custo do produto. A figura 8 apresenta uma análise do tempo total despendido com a movimentação, espera e estocagem de materiais.

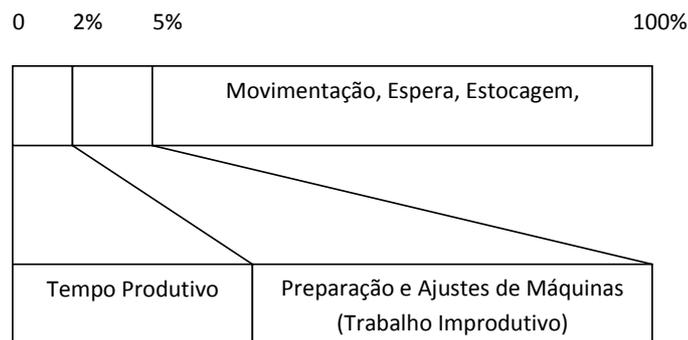


Figura 8: Análise do Tempo Total na Manufatura Convencional

Fonte: Moura (2005, p. 6).

As complicadas operações de movimentação atuais não só merecem, como necessitam ser examinadas de uma maneira mais organizada do que tem sido realizado até hoje. Todas estas começam com o devido reconhecimento, pela administração, do importante papel desempenhado pela movimentação de materiais e das economias em potencial que podem ser efetivadas através de sérios esforços em sua direção. Isto implica, pelo menos, no desenvolvimento de um programa de análises cuidadosamente planejado, voltado para uma solução adequada do problema e associado à combinação cuidadosa da escolha dos equipamentos, técnicas e procedimentos para assegurar resultados ótimos.

2.4.2 Definições para a Movimentação de Materiais

Moura (2005) considera a função movimentação de materiais o estudo dos movimentos dentro da companhia, diferenciando da movimentação externa que é comumente conhecida por transporte. O fluxo da movimentação de materiais está relacionado com o transporte de matérias-primas e produtos acabados, com o armazenamento (estocagem, seleção de pedidos, montagem, embalagem, expedição) e distribuição das matérias-primas e produtos acabados, no âmbito interno da empresa.

Essa interpretação ampla da movimentação de materiais é ditada pelo fato de que o máximo de economia no movimento somente pode ser obtido se for observado o que ocorre com o material, desde a sua primeira movimentação como matéria-prima até seu carregamento nos veículos de entrega, no setor de expedição.

A Associação Brasileira de Movimentação de Materiais - ABMM, considera movimentação de materiais uma operação ou conjunto de operações, que implique mudança na posição de qualquer material ou produto para processamento ou serviço, sua armazenagem interna ou externa dentro de uma mesma unidade fabril, depósito ou terminal.

Desta forma, o objetivo da Movimentação de Materiais é transportar e estocar os materiais do início ao término do processo, sem retrocesso e com um mínimo de transferências, e entregá-los nos locais apropriados de trabalho ou centros de produção, de modo a evitar congestionamentos, atrasos e manuseios desnecessários (MOURA, 2005).

Segundo Dias (1993), um sistema de movimentação de materiais em uma indústria tem que cumprir as seguintes finalidades básicas:

- Redução de custos. Melhor utilização de equipamentos, acondicionamento, racionalização de movimentação interna e armazenagem, permitem obter redução de custos de mão-de-obra, materiais e despesas gerais;
- Capacidade Produtiva. Sistema de movimentação eficiente permite aumento de produção, capacidade de armazenagem e melhor distribuição de armazenagem;
- Condições de Trabalho. Maior segurança, redução da fadiga e maior conforto pessoal são melhorias possíveis de serem acrescentadas no processo de produção pelos sistemas de movimentação de material; e
- Distribuição. Atividade que se inicia na recepção dos materiais e que se estende até a expedição do produto, permitindo melhoria na circulação, localização estratégica de almoxarifados e melhoria nos serviços ao usuário.

2.4.3 Organização do Sistema de Movimentação Interna de Materiais em Unidade Industrial

A movimentação interna de materiais é responsável pela administração do fluxo de materiais, a partir do fluxo de informações recebido principalmente das áreas de produção, planejamento e controle da produção, assim como muitas vezes das áreas de Compras e Engenharia.

A movimentação de material, qualquer que seja o processo industrial, gera um fluxo de materiais que inter-relaciona movimentos de forma a obter um plano de movimentação de materiais totalmente integrado, plano este que deve englobar todas as funções que geram movimentos, desde o recebimento de materiais até a expedição do produto final, passando pelo sistema de abastecimento da linha de produção (MOURA, 2005).

O fluxo de materiais na movimentação interna de materiais mostra uma seqüência de atividades, caracterizando a importância do gerenciamento da movimentação de materiais na atividade industrial (figura 9).

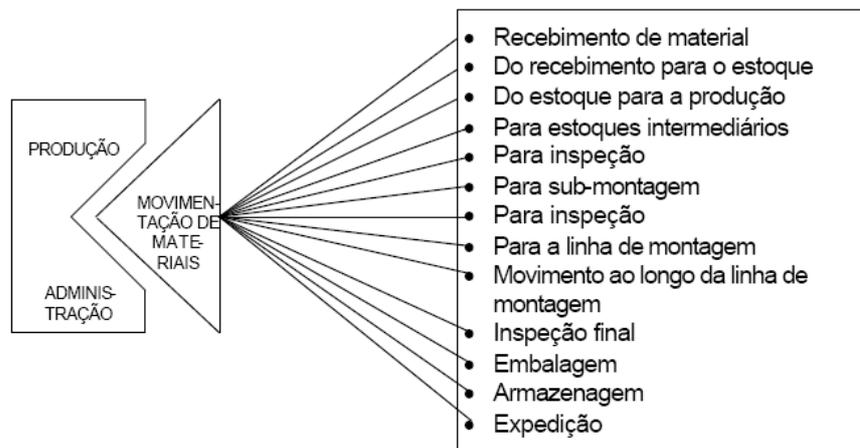


Figura 9: O Fluxo de Materiais no Processo Industrial

Fonte: Adaptado de Moura (1997).

A forma de controlar materiais na produção depende do sistema de controle de produção adotado pela empresa. Moura (1989) considera que para processos de produção com vários estágios, dois tipos de sistema podem ser adotados. Os sistemas tradicionais de produção que empregam o sistema de empurrar (*push*), e o sistema, que emprega a abordagem de puxar (*pull*).

No sistema empurrado, as peças estocadas em cada estágio de produção são previstas, considerando o tempo e o fluxo total para finalização do processo no estágio final. O controle de produção e estoque é baseado no valor previsto. Já no sistema puxado, uma pequena quantidade é mantida em cada fase e a reposição é ordenada pelo processo posterior, na proporção que é consumida.

Embora com filosofias diferentes quanto à forma de abastecer a linha de produção, Moura (1989) considera que as duas técnicas encontram oportunidades específicas de melhor desempenho, cabendo ao usuário escolher a que melhor se adapte ao seu processo de produção.

2.4.4 Benefícios, Limites e Restrições na Movimentação de Materiais

Os principais benefícios relacionados à movimentação de materiais podem aparecer na forma de redução de custos, aumento da capacidade e criação de melhores condições de trabalho (MOURA, 2005).

Algumas formas pelas quais reduções de custo podem ser obtidas através de melhorias na movimentação de materiais são:

- Redução do trabalho de movimentação de materiais executado através de mão-de-obra direta, tal como pessoal de separação, expedição, estocagem, recebimento.
- Redução da mão-de-obra indireta associada às atividades de movimentação de materiais, incluindo pessoal de controle de produção, pessoal de almoxarifado de ferramentas, inspetores de qualidade de recebimento, pessoal de controle de estoques.
- Redução dos danos, perdas e extravios de materiais através de uma movimentação mais cuidadosa.
- Redução da burocracia e dos serviços administrativos associados, através de sistemas de movimentação que minimizem as necessidades de controle.
- Redução da quantidade de materiais no sistema, através de um fluxo mais rápido e menor estocagem de materiais em processo, tais como nas células de manufatura.
- Redução da quantidade de materiais auxiliares, tais como materiais de embalagem, paletes.

O aumento da capacidade é usado, freqüentemente, como uma justificativa para aperfeiçoamento de um sistema de movimentação, quando uma empresa necessita de mais espaço ou de aumento da produção. Melhorias na movimentação de materiais podem aumentar a capacidade através dos seguintes fatores:

- Melhor utilização do espaço.
- Otimização no leiaute para reduzir distâncias e perda de espaço. Analisando o fluxo de materiais entre as operações, o volume envolvido, as intensidades de fluxo e a duração da

movimentação de materiais, é normalmente possível reduzir o tempo de movimentação e as necessidades de espaço. Um estudo de localização e dimensionamento dos corredores geralmente revela uso desnecessário deste espaço. Em alguns armazéns, um simples rearranjo do estoque para melhor posicionar os materiais de alta rotatividade pode diminuir o tempo de movimentação dos separadores de pedidos.

- Maior utilização do equipamento. Muitos equipamentos de produção não trabalham a plena capacidade porque são limitados pela frequência com a qual os materiais são entregues ou removidos do equipamento ou do local de trabalho. Um sistema de movimentação adequado pode aumentar consideravelmente a utilização do equipamento de produção.
- Carga e descarga de veículos mais rápidas. O desenvolvimento de sistemas de unitização de cargas (paletes e contêineres) para carga e descarga de veículos de transporte reduziu muito o tempo de carga. Desta forma, o veículo de transporte pode despender mais tempo movimentando e menos tempo esperando os materiais nas plataformas de carga. Isto não só diminui o custo de operação, como reduz o número de pontos de carga e descarga, com uma correspondente redução do número de operadores.

Melhorias na movimentação de materiais podem criar melhores condições de trabalho, através dos seguintes fatores:

- Segurança para o homem, materiais e equipamentos. Custos de acidente, tempo perdido em decorrência de acidentes, são reduzidos devido à melhor movimentação. A quantidade de materiais e equipamentos danificados também diminui.
- Tarefas mais fáceis. Muitos sistemas de movimentação são justificados, em parte, pelo fato de terem eliminado o esforço excessivo da tarefa, resultando num fluxo de trabalho mais constante através de uma maior produção. Isto pode acarretar, também, uma menor rotatividade de funcionários, menos treinamento de novos trabalhadores e aumento do moral.
- Eliminação de enganos. Em algumas atividades, é muito fácil o operador se confundir e deslocar o material para um local errado, usar quantidades erradas, desperdiçar ou danificar materiais ou, de alguma outra forma, interromper a operação de produção. Se sistemas adequados de movimentação são instalados, espera-se que tais erros não venham a acontecer.

Os sistemas adequados de movimentação e armazenagem freqüentemente aumentam o valor de um produto para o consumidor. A adoção de tal sistema de movimentação pode pesar na decisão de um cliente de usar um fornecedor, em vez de outro. Melhores condições de atendimento podem ser conseguidas através das seguintes formas:

- Rapidez do serviço. Se os procedimentos de movimentação garantem ao cliente um atendimento imediato, ou com alguma vantagem sobre o tempo de entrega dos concorrentes, isto pode constituir a principal razão para a obtenção ou manutenção de um negócio.
- Redução de custos para clientes e fornecedores. A redução da atividade de embalagem de materiais e de seus custos é obtida, algumas vezes, através de técnicas de unitização da carga. Isto pode auxiliar o fornecedor a diminuir seus custos para o cliente. Além disso, a unitização dos materiais pelo comprador pode ser simplificada pelo projeto adequado da embalagem, reduzindo desta forma o custo da desembalar e arrumar materiais em embalagens de consumo.

Os sistemas de movimentação de materiais, às vezes, têm conseqüências negativas que pode ser bem distinguidas. Estas, entretanto, podem ser avaliadas antes das mudanças serem adotadas. Algumas dessas possíveis desvantagens são (MOURA, 2005):

- Capital adicional investido: Deve-se verificar se realmente existe a vantagem de um investimento no sistema de movimentação de materiais em relação a outras áreas do empreendimento. Deve-se assegurar que os ganhos esperados não sejam baseados numa comparação entre o sistema mais mecanizado e o sistema atual, mas entre o novo sistema proposto e a melhor versão do sistema presente.
- Perda de flexibilidade: Se o sistema de movimentação de materiais foi projetado para um material com um certo tamanho, forma, volume ou demanda de produção e instalado para uma seqüência particular de operações, deve-se estar cientes do impacto das mudanças em potencial.
- Vulnerabilidades a paradas: Desde que o sistema de movimentação de materiais é composto de equipamentos, dispositivos e controles elétricos, deve ser previsto que ele pode falhar às vezes. O sistema de movimentação de materiais precisa ser reprojetoado para prever uma maior reabilitação, com técnicas alternativas de movimentação no caso de falha, ou por um estoque intermediário enquanto o sistema está em manutenção.
- Manutenção: Onde estiver previsto um novo sistema de movimentação de materiais deve-se estar ciente de que ali será necessária uma maior manutenção. Isto pode significar

o aumento do número de técnicos de manutenção ou pelo menos uma previsão para obtê-los quando for necessário. Deve ser previsto um número extra de peças do equipamento para reposição, e um plano de paradas periódicas para manutenção.

- Custos de equipamentos auxiliares: Frequentemente, o novo sistema de movimentação de materiais implicará em custos adicionais para serviços e equipamentos auxiliares. A identificação destes obstáculos não deve servir para desencorajar a adoção de métodos modernos de movimentação, mas para enfatizar que um balanço cuidadoso de todos os benefícios e limitações é requerido antes da decisão final ser tomada.

2.4.5 Princípios Básicos da Movimentação de Materiais

Segundo Moura (2005), princípios nada mais são do que regras gerais aplicáveis à solução de determinado tipo de problema, resultantes de experiência prática, da aplicação do bom senso ou, muitas vezes, da utilização de uma forma de análise sistemática. No caso em questão, a aplicação dos princípios não conduz à solução final técnica ou economicamente mais perfeita, mas à definição das direções a adotar na pesquisa da melhor solução.

Os princípios que seguem na tabela 4 podem servir tanto como referência básica para reexaminar a prática adotada na movimentação de materiais de uma fábrica, quanto para guia de um novo sistema. As particularidades de cada instalação irão contribuir para dar significado exato a cada princípio, quando posto em prática (MOURA, 2005).

O principal valor dos princípios da movimentação de materiais é que servem como um ponto de partida para identificar os problemas potenciais e avaliar necessidades. São as melhores práticas com relação às atividades e os sistemas existentes de movimentação de materiais, e que podem ser utilizados para comparação e avaliação.

Tabela 4: Princípios de Movimentação de Materiais

Princípios	Descrição
Princípio do Planejamento	Toda a movimentação de materiais deve ser o resultado de um plano deliberado, onde as necessidades, os objetivos de desempenho e a especificação funcional dos métodos propostos são completamente definidos desde o início. É necessário determinar o melhor método, do ponto de vista econômico, para a movimentação de materiais, considerando-se as condições particulares de cada operação. Quando se menciona o "melhor método", compreende-se sob o ponto de vista do estudo de métodos de trabalho e planejamento das rotinas de trabalho.
Princípio do Sistema Integrado	É necessário integrar as atividades de movimentação coordenando todo o conjunto de operações (recebimento, estocagem, produção, inspeção, embalagem, expedição e transportes). A referência ao "sistema integrado" de movimentação de materiais é por oposição a soluções específicas para operações de movimentação isoladas. Cada atividade de movimentação deve ser considerada e planejada como uma parte integrante do sistema de movimentação como um todo.
Princípio do Fluxo de Materiais	É essencial planejar um fluxo contínuo e progressivo de materiais. Sob este ângulo, o tipo de layout em linha reta seria o ideal. Evitando-se a movimentação com a ida e vinda de materiais para diversos pontos da fábrica, elimina-se uma das principais causas do congestionamento da movimentação e reduz-se o custo de modo apreciável. O fluxo em linha reta é a solução mais simples, porém, nem sempre executável. Por isso, não haverá inconvenientes quando o fluxo obedecer a outra forma geométrica. Importa, antes, o seu caráter progressivo, isto é, a continuidade do fluxo na direção do produto final, sem desvios nem trajetos inúteis.
Princípio da Simplificação	Reduzir, combinar ou eliminar movimentos e/ou equipamentos desnecessários. As operações devem ser planejadas, sucessivamente de tal modo que o material que passou por uma fase já se encontre no local e na posição desejados na fase seguinte. Economias em movimento são obtidas pela aplicação do bom senso para encontrar caminhos mais simples, mais fáceis e melhores para a movimentação de materiais sem aumento de custo.
Princípio da Gravidade	A força motora mais econômica é a gravidade. Quando e onde possível, gravidade como uma força motora para mover materiais deve ser a primeira consideração feita para se verificar a possibilidade de seu uso.
Princípio da Utilização do Espaço	O aproveitamento dos espaços verticais contribui para o descongestionamento das áreas de armazenagem e para a redução dos custos unitários de estocagem. Na prática, é bastante comum observar-se reduzido aproveitamento dos espaços verticais, tanto em relação à Armazenagem quanto à Movimentação de Materiais. O aproveitamento dos espaços verticais torna-se mais fácil e pouco dispendioso aplicando-se o princípio de empilhamento de materiais, que permite, com o auxílio de equipamentos, alcançar grandes alturas com facilidade.
Princípio do Tamanho de Carga	Este princípio é conhecido também por princípio das cargas unitizadas, e é baseado no fato de ser mais fácil e seguro movimentar um certo número de itens aglomerados em uma única unidade do que cada um destes itens separadamente. Deve-se observar que conforme se aumenta o tamanho da carga, existe um limite além do qual se torna maior o custo, e é menos prático movimentar. Desta forma, existe um tamanho de carga ideal definido em uma determinada operação de movimentação. Quando necessário, deve-se reprojeter embalagens para melhor formação das cargas unitizadas.
Princípio da Segurança	A produtividade aumenta conforme as condições de trabalho se tornam mais seguras. Todas as atividades de movimentação devem ser seguras, uma vez que um dos objetivos da movimentação de materiais é melhorar as condições de trabalho. Uma grande parte de todos os acidentes industriais ocorre no aspecto de movimentação de materiais na atividade produtiva, desta forma, a segurança deve ser sempre analisada.
Princípio da Ergonomia	As capacidades e limitações humanas precisam ser reconhecidas e respeitadas no projeto das tarefas e equipamentos de movimentação de materiais para assegurar operações seguras e efetivas. O equipamento deve ser selecionado para eliminar mão-de-obra repetitiva e extenuante e que interaja efetivamente com os operadores. O local de trabalho e o equipamento empregado para auxiliar neste trabalho precisam ser projetados de modo que sejam seguros para as pessoas.
Princípio do Meio Ambiente	O impacto ambiental e o consumo de energia devem ser considerados como critérios ao projetar e selecionar sistemas de movimentação de materiais e equipamentos alternativos. Contêineres, paletes e outros produtos utilizados para formar e proteger as cargas unitárias devem ser projetados visando a reutilização, quando possível, e/ou devem ser biodegradáveis, quando apropriado.
Princípio da Mecanização	O emprego de equipamentos mecanizados de movimentação aumenta a produtividade e reduz os custos, por isso devem ser utilizados quando for praticável. A aplicação de equipamento para transporte tem de ser efetuada mediante estudo adequado, não só quanto às suas características técnicas, como também quanto às suas vantagens econômicas. Havendo grande volume de material a ser transportado, a mecanização será economicamente vantajosa, mesmo quando houver mão-de-obra eficiente e de custo reduzido.
Princípio da Seleção do Equipamento	Na seleção do equipamento de movimentação, deve-se considerar todos os aspectos do material a ser movimentado, o movimento a ser realizado e o(s) método(s) a ser(em) utilizado(s). Este princípio é, sobretudo, um lembrete para ser extremamente cuidadoso na seleção e especificação dos equipamentos de movimentação, estando certo de que todas as fases do problema foram completamente analisadas. Dispositivos e acessórios devem ser instalados nos equipamentos somente para aumentar a eficiência e a segurança, melhorar o moral ou reduzir a fadiga do operador.

Princípio da Padronização	A padronização se aplica aos tamanhos dos contêineres e outros componentes de formação de carga, bem como aos procedimentos operacionais e equipamentos. Estes devem ser padronizados dentro dos limites da realização dos objetivos de desempenho e sem sacrificar a flexibilidade, a modularidade e os resultados necessários. A padronização permite a intercambialidade de equipamentos entre os departamentos e fábricas, permite uma estocagem de menos componentes e simplifica o treinamento de operadores no uso de acessórios. É o resultado de uma análise dos métodos de trabalho e da conseqüente escolha do "melhor método", que passa então a constituir o método-padrão. O método-padrão estará em vigor até a data em que for passível de aperfeiçoamento.
Princípio da Flexibilidade	É importante conhecer a versatilidade de cada tipo de equipamento para executar tarefas e operações distintas. Quanto maior a variedade de usos e aplicações à qual poucos equipamentos podem ser colocados, maior é a sua flexibilidade, e maior valor provém do ponto de vista de movimentação de materiais. Flexibilidade no equipamento oferece a vantagem de o mesmo ser rapidamente adaptável a qualquer mudança que venha a ocorrer. Por outro lado, a flexibilidade pode tornar-se um problema devido ao número de acessórios ou especificações necessárias preestabelecidas para permitir múltiplo uso. O capital investido num equipamento pode ser excessivo.
Princípio do Peso Morto	Quanto menor for o peso próprio do equipamento móvel em relação à sua capacidade de carga, tanto mais econômicas serão as condições operacionais. O excesso de peso do equipamento móvel não só custa mais dinheiro, como pode fazer necessária força adicional e tornar a operação mais vagarosa. Desta forma, é imprudente investir em um equipamento mais pesado do que o necessário pela operação a ser realizada. Deve-se manter controles de equipamentos simples para reduzir a fadiga.
Princípio do Tempo Ocioso	Deve-se buscar reduzir o tempo ocioso ou improdutivo, tanto do equipamento quanto da mão-de-obra na movimentação de materiais. Este princípio implica que o tempo de permanência do equipamento de movimentação nos locais de carga e descarga deve ser reduzido ao mínimo compatível com a operação.
Princípio do Trabalho	O trabalho da movimentação de materiais deve ser minimizado sem sacrificar a produtividade ou o nível de serviço exigido pela operação. Métodos de processo, seqüências de operação e layouts de processo/equipamentos devem ser preparados para apoiar o objetivo de minimização de trabalho.
Princípio da Automação	Os sistemas de movimentação de materiais automatizados devem ser considerados, onde adequado, para a integração efetiva do gerenciamento de informações com o fluxo de materiais. As operações de movimentação podem ser automatizadas, onde viável, para melhorar a eficiência operacional, aumentar a responsividade, melhorar a consistência e a previsibilidade, diminuir os custos operacionais e eliminar a mão-de-obra repetitiva e potencialmente insegura.
Princípio da Movimentação	O equipamento projetado para movimentar material deve ser mantido em movimento. Sendo necessário o transporte e impossível a sua redução abaixo de certos limites práticos, cumpre efetuar-lo sem interrupção, do início ao fim do processo. Cada interrupção implica em descarga, área para espera, supervisão e controle, e todos os inconvenientes correlatos.
Princípio da Manutenção	Deve-se planejar a manutenção preventiva e o reparo programado de todos os equipamentos de movimentação. Devido ao caráter essencial dos equipamentos de movimentação de materiais, que asseguram a própria continuidade da produção, a manutenção deve ser sempre do tipo preventiva.
Princípio da Obsolescência	Substituir métodos e equipamentos de movimentação obsoletos quando outros, mais eficientes vierem a melhorar as operações. Os equipamentos destinados à movimentação de materiais estão sujeitos à depreciação e, desta forma, novas idéias, técnicas, métodos e equipamentos devem ser considerados.
Princípio do Controle	Deve-se empregar o equipamento de movimentação de materiais para melhorar o controle da produção, o controle de estoques e a separação de pedidos. Uma vez que o equipamento de movimentação é usado para mover materiais através da fábrica e dos processos de produção, seu uso pode ser de grande utilidade no controle dos itens que estão sendo movimentados.
Princípio da Capacidade	Deve-se utilizar os equipamentos de movimentação para auxiliar a atingir plena capacidade de produção. Essencialmente, isto significa selecionar alguns indicadores comuns para usar como uma expressão de execução de trabalho.
Princípio do Desempenho	Determinar a eficiência do desempenho da movimentação de materiais em termos de despesas por unidade movimentada. O custo unitário da movimentação decresce com o aumento do volume total movimentado. Deve-se fazer a carga unitizada tão grande possível considerando as limitações do edifício, as capacidades e dimensões comuns do equipamento de movimentação, os corredores das áreas de produção e o volume do material pedido.
Princípio do Custo do Ciclo de Vida	Uma minuciosa análise econômica deve contabilizar todo o ciclo de vida de todos os equipamentos de movimentação de materiais e sistemas resultantes. Os custos do ciclo de vida incluem todos os fluxos de caixa que ocorrerão desde o planejamento de compra de uma nova peça de equipamento ou para pôr em funcionamento um método novo até que o método e/ou equipamento seja totalmente substituído.

Fonte: Adaptado de Moura (2005).

Na prática, a aplicação destes princípios não é simples porque as soluções, que podem ser dadas a um determinado problema de movimentação, são inumeráveis. Deve-se buscar a solução que consiga a máxima eficiência com a maior economia de aquisição, instalação e serviço.

2.5 Relação entre a Movimentação de Materiais e o Leiaute

Um produto, peça ou material é de pouco valor até que esteja no local certo, no tempo certo. A movimentação de materiais deve se entrelaçar com as outras operações numa seqüência, a mais lógica possível.

O leiaute está ligado com a análise, planejamento e projeto das instalações utilizadas na produção de bens e serviços. Movimentação de materiais está ligada com a fase das operações que envolvem o movimento de materiais usados no desempenho das atividades do empreendimento. Nenhum aspecto da atividade industrial está mais relacionado com outros que esses. Na verdade, movimentação de materiais é uma consequência do leiaute (MOURA, 2005).

O setor de leiaute da fábrica é geralmente o responsável pelo desenvolvimento do fluxo geral e do arranjo físico dos recursos, com o leiaute projetado freqüentemente em função do fluxo estabelecido. Por isso é extremamente importante que o desenvolvimento de leiaute ocorra conjuntamente com a movimentação de materiais.

O fluxo de materiais é um dos fatores mais importantes na determinação do tamanho, forma e arranjo geral de qualquer local de fabricação. Segundo Moura (2005), se considerássemos a movimentação como problema separado dos demais, poder-se-ia concluir, por exemplo, que a simples redução nos trajetos percorridos pelo material em suas diversas etapas, do estoque à expedição, constituiria a solução ideal. Quando se pensa em termos globais, porém, esta solução simplista pode acarretar a ociosidade de homens e máquinas em determinadas estações de trabalho, anulando por completo o almejado, com reflexos negativos na linha de produção, aumento de custos e redução dos lucros.

Talvez o fator mais importante que afeta a eficiência e o custo da movimentação de materiais, em qualquer empresa, é o arranjo físico. Sempre que as peças e materiais se movimentam, isto custa dinheiro. Na fábrica ideal, a matéria-prima entra por um lado, atravessa as várias etapas de processamento na ordem exata e emerge do outro lado para ser expedida. Obviamente, isso não é possível na maioria das fábricas. Para a maioria das empresas, o arranjo físico existente representa um compromisso entre aquele ideal e as restrições existentes (espaço disponível,

localização de departamentos que não podem ser mudados, processos de fabricação e equipamento produtivo).

Na prática, entretanto, cada empresa pode descobrir oportunidades de reduzir os custos de movimentação estudando o arranjo físico e a seqüência de processamento, e rearranjando a fábrica de forma a ter uma mínima movimentação para cada peça ou material. Além disso, é possível acelerar o fluxo de materiais, reduzir acidentes ocasionais e eliminar congestionamentos na movimentação (MOURA, 2005).

No planejamento de uma nova fábrica, é possível evitar custos de movimentação de materiais pelo estudo cuidadoso do arranjo físico antes de começar a produção. A probabilidade de ocorrer problemas futuros pode ser minimizada fazendo a nova fábrica tão flexível quanto possível, do ponto de vista da movimentação de materiais. Em outras palavras, a fábrica deve ser planejada não somente para o sistema produtivo em uso, mas, também, levando em conta possíveis mudanças.

Se a fábrica já estiver construída, há pouco o que fazer quanto à localização de colunas e outros obstáculos estruturais ou quanto à localização de certos equipamentos especiais. Mas, deve-se ter em mente as necessidades futuras para quando planejar outras mudanças.

Naturalmente, existem ocasiões em que são necessárias instalações permanentes. Mas elas devem ser estudadas cuidadosamente, com vistas e arranjos alternativos. É melhor gastar um pouco mais e elaborar um arranjo físico adaptável a futuras mudanças.

CAPÍTULO 3

3. PESQUISA DE CAMPO

Após a apresentação da revisão da literatura sobre a manufatura celular e a movimentação interna de materiais no contexto da manufatura enxuta, este capítulo apresenta a metodologia de pesquisa utilizada na condução deste estudo e o estudo de caso realizado.

3.1 Metodologia da Pesquisa

Com vistas a manter a confiabilidade e a capacidade da pesquisa ser replicada, são apresentados neste tópico, a caracterização da metodologia usada na pesquisa e os procedimentos adotados, tendo como base a metodologia científica.

A efetiva prática da ciência, dentre outras coisas, está apoiada na utilização de métodos científicos, os quais foram definidos como: [...] o conjunto de atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permitem alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros – traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista (LAKATOS & MARCONI, 2001).

A existência de um método garante um comprometimento com um modelo sistemático de investigações, no qual a coleta de dados e sua análise detalhada em relação a um problema (de pesquisa) previamente formulado, são os ingredientes mínimos e necessários (BRYMAN, 1995). A definição do método de procedimento de pesquisa é fator crucial no desenvolvimento de uma pesquisa ou investigação organizacional. Assim sendo, na seqüência serão analisados os critérios de seleção necessários para a definição do método de procedimento mais apropriado às características da pesquisa em questão.

Do ponto de vista da sua natureza, a presente pesquisa se caracteriza por ser aplicada, pois tem como objetivo gerar conhecimento para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos (SILVA & MENEZES, 2005).

Sob a ótica da forma de abordagem do problema, a pesquisa é qualitativa, pois “não procura enumerar e/ou medir os eventos estudados, nem emprega instrumental estatístico na análise dos dados. Parte de questões e focos de interesse mais amplos, que vão se definindo à medida que o estudo se desenvolve. ...procurando compreender os fenômenos segundo a perspectiva dos sujeitos, ou seja, dos participantes da situação em estudo” (GODOY, 1995). Do ponto de vista do seu objetivo, este estudo assume um caráter exploratório, uma vez que as questões da pesquisa buscam lançar luzes (*insights*) sobre o assunto em questão. (SILVA, 2001).

Após a caracterização da metodologia utilizada na pesquisa, partiu-se para o estudo de caso, visando colher subsídios para uma análise do leiaute celular implementado e o sistema de movimentação interna de materiais utilizado para as células e conseqüente proposição de melhorias. A escolha do método estudo de caso como procedimento de pesquisa levou em consideração o fato de que a questão de pesquisa, a qual direciona todos os esforços desta investigação, caracteriza-se, neste estudo, por um relacionamento bastante próximo entre pesquisador e organizações que implementam a manufatura celular, e pela coleta de dados segundo um instrumento de diagnóstico pré-definido (roteiro para as entrevistas).

De acordo com Godoy (1995), o estudo de caso se caracteriza como um tipo de pesquisa cujo objeto é uma unidade que se analisa profundamente, ou seja, visa ao exame detalhado de um ambiente, de um simples sujeito ou de uma situação em particular. Essa concepção é corroborada por Yin (2001), ao afirmar que o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa indicada para questões que lidam com ligações operacionais que necessitam ser traçadas ao longo do tempo, ao invés de serem encaradas como meras repetições ou incidências. Por fim, o mesmo autor observa que, como esforço de pesquisa, o estudo de caso contribui, de forma inigualável para a compreensão que se tem dos fenômenos individuais, organizacionais, sociais e políticos.

Antes de dar início ao estudo de caso, procedeu-se a definição da unidade de análise. Um ponto importante a considerar é a etapa de seleção do caso (unidade de amostra) a ser estudado. Um estudo de caso pode ser único ou múltiplo. Yin (2001) propõe que as estruturas metodológicas do caso único e dos casos múltiplos sejam idênticas e que os casos múltiplos devem seguir uma lógica de replicação visando prever resultados semelhantes ou produzir resultados contrastantes. No caso estudado, adotou-se a estratégia de um único caso, tendo em

vista a necessidade de uma análise mais detalhada do processo de produção da empresa selecionada.

Para este estudo, na seleção da empresa levou-se em consideração o nível de implementação da manufatura enxuta, já que a adoção da manufatura celular como meio de produção era fator imprescindível. Desta forma, a unidade de análise da presente pesquisa são **empresas de referência na adoção da manufatura enxuta e que utilizam a manufatura celular como meio de produção.**

A opção pela empresa deveu-se ao fato de a mesma possuir um programa *Lean* de abrangência global em plena fase de implementação, e no desdobramento deste programa encontrar-se a implantação e organização dos fluxos de valor e suas células de produção. Outros motivadores do estudo nesta empresa foram: a disponibilização de informações, dados e registros referentes ao plano de implantação e evolução do programa, a boa acessibilidade à empresa e a seus colaboradores e a importância atribuída ao programa *Lean* e evidenciada em seu plano estratégico.

Outro aspecto a ser considerado são os métodos adotados para a coleta de dados. No que se refere aos métodos mais comuns adotados destinados à pesquisa qualitativa, Nakano & Berto (1998) citam a observação participativa, a entrevista não estruturada ou semi-estruturada e o exame de documentos. A observação participativa permite ao pesquisador conhecer o comportamento e a comunicação das pessoas por meio de uma imersão no ambiente em estudo. A entrevista não estruturada, ou a semi-estruturada, por sua vez, objetivam identificar a forma de pensar das pessoas. O exame de documentos permite complementar as outras técnicas, viabilizando o acesso a outras informações, bem como permitindo a validação das informações coletadas.

No estudo de caso realizado, utilizaram-se os 03 métodos para a coleta de dados descritos. A pesquisadora esteve no período de 06 meses imersa na unidade principal da empresa, a fim de estudar a implementação da manufatura enxuta e o funcionamento de células de manufatura. Foram também realizadas visitas às outras unidades da empresa estudada cuja implementação de células encontrava-se em estado mais avançado. Para a realização das entrevistas, foi elaborado um roteiro (Apêndice A) com o objetivo de garantir a confiabilidade dos dados coletados. No decorrer das entrevistas, procurou-se obter informações de arquivos das

empresas, observações e anotações. Os relatos do estudo de caso serão apresentados nos próximos tópicos, bem como a consolidação dos resultados obtidos.

Ressalta-se que a revisão bibliográfica foi contínua durante a pesquisa, tendo a finalidade de embasar teoricamente o estudo, tanto em sua fase de campo e coleta de dados, como na análise e nas conclusões alcançadas.

3.2 Estudo de Caso

3.2.1 Organização do Estudo de Caso

O estudo está organizado de forma a apresentar ao leitor o processo utilizado pela empresa para a implementação dos conceitos e ferramentas da manufatura enxuta. Apresenta-se a empresa estudada, informações sobre a implementação da manufatura enxuta, sobre a implementação e funcionamento das células de produção e sobre o sistema de movimentação interna de materiais.

3.2.2 Descrição do Estudo de Caso

3.2.2.1 A Empresa

A Empresa estudada é uma divisão de um grande fabricante mundial de eletrodomésticos que, recentemente, passou por modificações importantes na sua estrutura societária. Em meados da década de 90 a Empresa surgiu oriunda da fusão de duas importantes marcas do mercado nacional de eletrodomésticos. Ainda na década de 90, uma corporação americana – que já fazia parte da sociedade desde a década de 50 – assumiu o controle acionário da empresa, tendo ampliado sua participação nos últimos anos.

A ascensão do controle acionário acarretou vantagens competitivas para a Empresa, pois ela passou a fazer parte de uma estrutura mundial, compartilhando competências e tecnologias. Por outro lado, as mudanças nos últimos anos impeliram transformações acentuadas no seu estilo de gestão, muitas das quais ainda estão sendo estabilizadas.

Na sua cadeia de suprimentos, a Empresa se caracteriza como a empresa-cliente, a principal organização da cadeia, responsável pela montagem dos eletrodomésticos. Esta comercializa seus produtos acabados para o comércio varejista que os revende para o consumidor final.

3.2.2.2 Informações sobre a Implementação da Manufatura Enxuta

A Empresa iniciou o seu processo de implementação da manufatura enxuta em 2004. Possuindo a empresa sua própria cultura, a necessária adequação deveria ser suficientemente pautada e estruturada em um modelo ou plano, de forma a não criar ou minimizar possíveis conflitos, seja com a própria cultura, seja com as experiências bem ou mal sucedidas de modelos anteriormente implantados.

No início da implementação, em 2004, foram focadas quatro iniciativas principais, com o intuito de preparar a empresa para a mudança e treiná-la nos principais tópicos da manufatura enxuta: eventos de *Change Management* com as lideranças, formação dos times de Manufatura Centrada no Consumidor (CCM), introdução da manufatura enxuta para as lideranças e *Workshops Kaizen* nas áreas de manufatura.

Os *Workshops Kaizen* são eventos com duração de uma semana com o objetivo de estudar o estado atual de um processo, vislumbrar um estado futuro e implantar as mudanças. Durante este *Workshop*, times buscam oportunidades de melhorias e se empenham para eliminar gargalos nos processos, tornando o fluxo mais eficiente.

Praticamente todos os setores da empresa passaram por melhorias nos seus processos produtivos, incorporando as ferramentas da manufatura enxuta, como: 5S, Trabalho Padronizado, Mapeamento do Fluxo de Valor, Manutenção Produtiva Total, Gestão Visual, Sistema Puxado Nivelado, Autonomia, entre outras.

Mais recentemente, a filosofia da manufatura enxuta foi aplicada mais fortemente em quatro frentes:

- **Investimento em Pessoas:** nas fábricas, a manufatura enxuta se multiplica atualmente com a atuação de três grandes equipes dedicadas à melhoria contínua. Os *Champions* são colaboradores que ensinam e acompanham o uso das ferramentas da manufatura enxuta. Os **Facilitadores e Grupos GBO** são equipes dedicadas exclusivamente à melhoria

contínua dos processos. E os *Workshop Kaizen*, onde times buscam oportunidades de melhoria nos processos.

- **Releiaute:** a migração de linhas de produção para células, para algumas famílias de produtos, trouxe modificação nos leiautes para algumas unidades da empresa.
- **Desenvolvimento de Produtos:** a manufatura enxuta vem sendo mais fortemente implantada na área de tecnologia, onde a forma de projetar os produtos vem sendo modificada. A área de tecnologia dispõe de orientações, chamadas *Lean Design Guides* que ensinam a desenvolver produtos e processos de Engenharia adequados à filosofia. Uma outra ferramenta, chamada *Design for Assembly*, foi aplicada em várias categorias.
- **Fornecedores:** a equipe formada pelas áreas de Manufatura e Suprimentos tem levado a filosofia da manufatura enxuta aos fornecedores. A idéia é detectar oportunidades, estimular o crescimento mútuo por meio de rede de aprendizagem e estabelecer uma relação confiável e de “ganha-ganha” entre a empresa e seus parceiros.

A implementação da manufatura enxuta tem um responsável corporativo e cada planta da empresa possui um *site leader* que gerencia essa implementação sob sua responsabilidade. Este coordenador possui uma equipe de colaboradores, chamados de *Master Champions*, que têm responsabilidade de gerenciar a execução dos *Workshops Kaizen* e formar os *Champions*, com a função de executar os eventos.

No entanto, apesar dos esforços e avanços da Empresa, a cultura da manufatura enxuta não está completamente sedimentada. Uma explicação plausível encontra-se no porte da organização, pois qualquer mudança que exija modificações na cultura que impera na organização é mais lenta em empresas de grande porte, demandando esforço e persistência para o seu êxito. Outra explicação pertinente é a mudança na estrutura acionária ocorrida nos últimos anos, que modificou o estilo de gestão da empresa e, conseqüentemente, impactou significativamente na introdução da manufatura enxuta.

3.2.2.3 Informações Sobre a Implementação e Funcionamento de Células de Manufatura na Empresa

Neste item propõe-se a avaliação do leiaute celular instalado na unidade de manufatura do estudo em questão, numa análise do sistema de produção, na tentativa de identificar oportunidades de melhoria. No decorrer deste item serão apresentados o leiaute inicial, onde

constavam 02 linhas de produção e seu respectivo fluxo de materiais, e o leiaute atualmente implementado, constando de 06 células, com as respectivas mudanças que se fizeram necessárias no sistema de movimentação interna de materiais. A implementação deste leiaute vem acontecendo há 03 anos.

Dentre as principais razões que levaram a empresa a adotar células de manufatura, pode-se destacar a necessidade imposta pelo mercado da empresa trabalhar de forma simultânea, no sentido de produzir uma gama cada vez mais diversificada de produtos com preços compatíveis, qualidade intrínseca, atendimento aos prazos de entrega e redução dos tempos de atravessamento. Para tanto, foi necessário uma compreensão maior do uso do seu espaço no chão de fábrica e como consequência, ações visando à flexibilização do sistema de produção.

De modo a planejar a implementação da manufatura celular, foi desenvolvido um plano diretor, em que constava um escopo amplo de implementação, onde era possível visualizar toda a estrutura que viria substituir as linhas de montagem, incluindo a consequentemente reorganização de máquinas de fabricação (plástico/metals), fluxo de materiais dentro da fábrica, sistema de abastecimento e gerenciamento do estoque. A partir do plano diretor foi definido dar início à implementação através de um projeto piloto, onde se partiria da implementação de uma primeira célula, estendendo posteriormente para as demais células projetadas.

Uma equipe foi montada especialmente para o projeto de implementação de células, incluindo funcionários na sua maioria da área de engenharia de processo.

Situação Inicial

Leiaute Linear

Anterior à adoção do leiaute celular, os postos que atualmente compõem as células encontravam-se dispostos em 02 linhas de montagem.

O arranjo linear, com postos de trabalhos dedicados a um conjunto limitado de operações e controlados por um único operador, não favorecia o trabalho em equipe, tornando a ação do supervisor primordial para o desempenho do sistema.

A alta cadência de produção, condicionada às linhas de montagem, trazia como consequência um pequeno tempo de ciclo e com isso um número muito alto de operadores. Outro fator associado era a necessidade de embalagens grandes e assim, meios de transporte compatíveis para o transporte das mesmas. Estes fatores requeriam um amplo espaço na linha, com grandes corredores e áreas para armazenamento das embalagens.

Segundo um dos entrevistados, o estoque de peças em processamento na linha era grande e o modo como as peças eram estocadas ao redor da linha exigiam esforços dispendiosos de movimentação na busca de peças. Apesar do esforço do balanceamento de linha, era comum a formação de filas de processamento em postos críticos. Como consequência, tinha-se um *lead time* alto no processo, necessitando de estoques para atender ao cliente.

A figura 10 ilustra um exemplo de uma das linhas de produção utilizada na empresa.

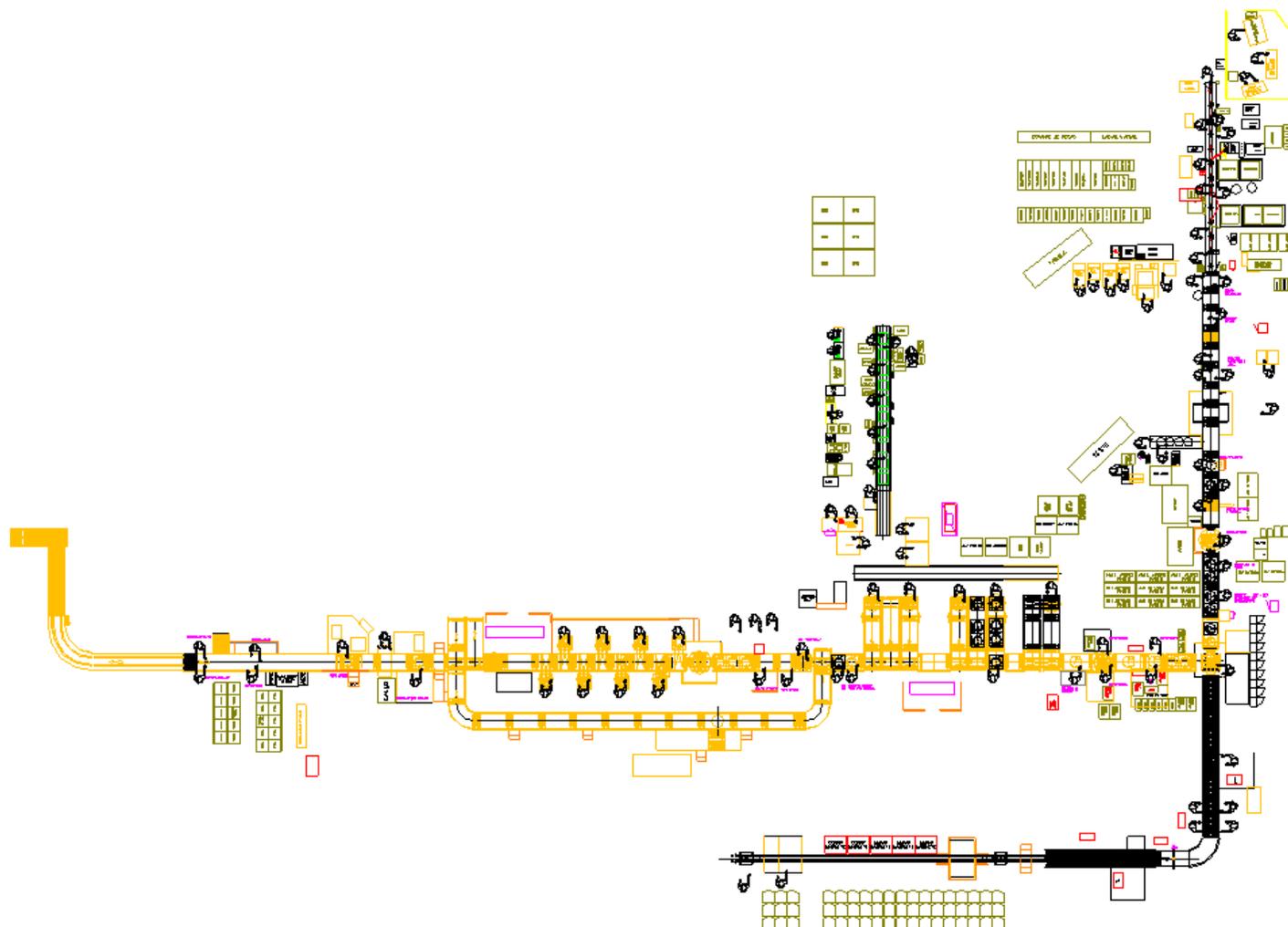


Figura 10: Linha de Produção da Empresa para Produto Específico

Fonte: Dados da Empresa.

Sistema de Movimentação Interna de Materiais Inicial

Sistema de Armazenagem

O Sistema de Armazenagem utilizado na empresa era baseado em almoxarifados, na forma de dois conceitos: *Flat Storage* e Itens Empilháveis.

Flat Storage é o nome dado pela empresa ao sistema de armazenagem horizontal de altura máxima de 1,50 m, utilizado para peças pequenas compradas e fabricadas. Este sistema permite uma visão geral da disposição das peças no almoxarifado, além da gestão visual dos estoques. Um dos principais benefícios deste sistema de armazenagem é a facilidade de acesso aos componentes, uma vez que sempre estão em uma altura baixa e sempre nos mesmos locais, conforme pode ser visualizado na figura 11.

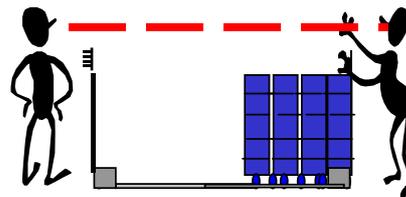


Figura 11: Sistema *Flat Storage*.

Fonte: Manual de Implantação do Sistema *Flat Storage* da Empresa.

Com relação aos tipos de contêineres utilizados neste tipo de sistema, algumas peças eram armazenadas em caixas plásticas dimensionadas para a demanda das linhas e o restante em paletes.

As caixas eram dispostas em baias, sendo que cada baia é um espaço físico delimitado que compõe o sistema *flat storage*, conforme pode ser visto na figura 12. Esta deve ser da largura da embalagem do item que armazena, permitindo que o material entre por um lado e saia pelo lado oposto, garantindo o FIFO (*First in First out*) de armazenamento. O FIFO é um procedimento para a colocação e retirada de materiais, ou seja, a primeira peça que entrou no estoque deve ser a primeira peça que sai para consumo.

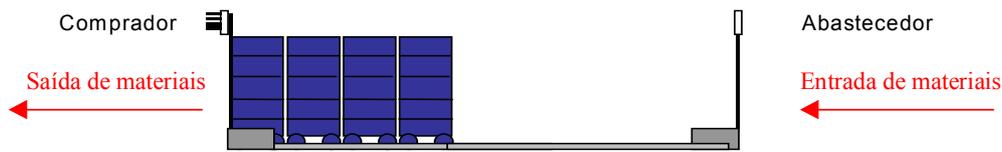


Figura 12: Sistema de armazenagem baseada no conceito FIFO.

Fonte: Manual de Implantação do Sistema *Flat Storage* da Empresa.

Para o controle do *flat storage* eram utilizadas traves de identificação (Figura 13), sendo que estas:

- Permitem um sistema de identificação visual para cada peça, contendo informações do código e empilhamento máximo de caixas;
- Marcam o lado do comprador, uma vez que as traves são fixadas apenas do lado em que se retiram materiais;
- Permite que a altura máxima de 1,50 m de altura seja respeitada.



Figura 13: Armazenagem horizontal – Gestão Visual do Estoque.

Fonte: Manual de Implantação do Sistema *Flat Storage* da Empresa.

O outro Sistema de Armazenamento que era utilizado na empresa é para Itens Empilháveis. Este sistema era utilizado para peças grandes compradas e fabricadas. No sistema de armazenagem verticalizado (porta-paletes) não se tem uma gestão visual dos materiais e este não é sistematizado, portanto, não garantindo FIFO. Também há desperdícios com corredores muito largos e espaços pouco utilizados, dificultando o processo de abastecimento, além de que o manuseio de peças é complicado e dependente da empilhadeira. Com relação aos tipos

de contêineres utilizados para peças grandes, tinham-se paletes, aramados, sacos, big bags e carrinhos. A figura 14 apresenta o sistema de armazenagem vertical.



Figura 14: Armazenagem Vertical

Fonte: Manual de Implantação do Sistema *Flat Storage* da Empresa.

O sistema de armazenagem era centralizado para todas as peças compradas e para algumas peças fabricadas na empresa, sendo que o sistema como um todo estava distribuído em três galpões. Um suportava o sistema de *flat storage* e dois eram utilizados para itens empilháveis. A maioria das peças fabricadas ficava descentralizada na fábrica. Estas eram estocadas na própria área de fabricação ou em área adjacente às linhas de montagem.

Com relação ao endereçamento do sistema de armazenagem, existiam planilhas onde estavam disponibilizadas todas as informações com relação à localização da peça como: código da peça, descrição da peça, onde a peça era utilizada, locação (bloco, piso e localização no chão) e se foi realizado transbordo. Uma lista impressa ficava localizada em um painel de fácil visualização na área do almoxarifado. Além das listas, havia sinalização nos corredores e nas traves para facilitar a localização das peças. Estes lugares eram previamente estabelecidos, porém não necessariamente eram fixos.

Quanto à política de estoque, a quantidade máxima e mínima de estoque a ser armazenada era definida através de uma equação, que levava em consideração parâmetros como: variação da demanda, desvio de entrega, desvio de qualidade, desvio de processo, frequência de entrega, consumo diário e custo do item.

Anteriormente à implementação das células, os materiais eram armazenados na área do almoxarifado agrupados por fornecedor. Este agrupamento acarretava um pequeno tempo

despendido para que as peças fossem armazenadas, porém, em compensação, havia uma maior complexidade no abastecimento das linhas, devido ao maior tempo gasto na seleção das mesmas. Na figura 15 pode-se ver uma representação do funcionamento do sistema de armazenagem.

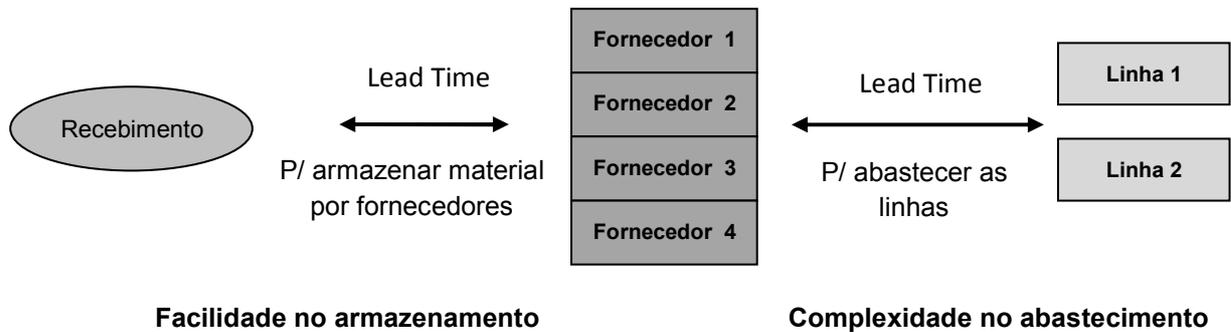


Figura 15: Funcionamento do Sistema de Armazenagem

Fonte: Dados da Empresa.

Sistema de Abastecimento

O sistema de abastecimento será descrito considerando o sistema de abastecimento externo, ou seja, o fornecimento de peças ao almoxarifado pelos fornecedores e o sistema de abastecimento interno, ou seja, o fornecimento de peças do almoxarifado às linhas.

Sistema de Abastecimento Externo

Praticamente todas as peças compradas eram entregues no sistema de armazenagem, para em seguida serem abastecidas nas linhas de montagem. Já com relação às peças fabricadas na empresa, estas eram estocadas na área de fabricação para depois serem entregues nas linhas de montagem.

Com relação à frequência de entrega das peças oriundas de fornecedores, esta variava de acordo com a característica do material e distância do fornecedor. Geralmente ocorria em quantidade e tempo variável, significando entregas de 03 vezes ao dia a 01 vez por mês.

Sistema de Abastecimento Interno

De acordo com o entrevistado, o processo de abastecimento das linhas consistia das seguintes etapas:

- **Configuração da compra:** consiste na separação das peças solicitadas via abastecedores das linhas no almoxarifado.
- **Transporte das peças do almoxarifado às linhas:** consiste no transporte até as linhas, através dos movimentadores, das peças configuradas na área do almoxarifado.
- **Abastecimento interno da linha de montagem:** consiste no abastecimento dos pontos de uso da linha.

Uma mesma pessoa era responsável por realizar as duas primeiras etapas, sendo que primeiramente esta levantava as necessidades da linha para em seguida se deslocar até a área do almoxarifado e realizar a configuração da compra. Após a separação, no almoxarifado, das peças a serem entregues na linha de montagem, o mesmo as distribuía nos pontos de entrega selecionados. Deste modo, a rota era acoplada à seleção dos materiais no almoxarifado, ou seja, uma única pessoa era responsável por operar a rota e selecionar as peças requeridas. Os abastecedores internos das linhas, em seguida, distribuía as peças nos respectivos pontos de uso.

Com relação à forma de abastecimento das linhas, esta era via rotas de abastecimento com entrega sob pedido da linha de montagem. Desta forma, a frequência de entrega das peças do almoxarifado à linha era caracterizada por ser em quantidade variável e tempo fixo. Quantidade variável porque os operadores da linha de montagem solicitavam as peças conforme a necessidade, não havendo controle da solicitação de peças. O tempo da rota era fixo porque buscou-se estabelecer a rota para um determinado tempo de ciclo.

No ponto-de-uso (PDU) praticamente todas as peças ficavam dispostas nas laterais e atrás do operador da linha. Era constante a movimentação do operador para repor peças no ponto-de-uso. Para itens que vinham em paletes, estes ficavam dispostos ao lado do posto de trabalho, dificultando ainda mais o alcance do operador. O transbordo ocorria nas linhas de montagem para itens que vinham em paletes e em grandes quantidades, como por exemplo, parafusos. Alguns pontos de uso para peças pequenas utilizavam o sistema de *flow rack*.

Com relação ao tipo de transporte utilizado para abastecimento de peças, eram utilizadas empilhadeiras.

Programação da Produção

Quanto à programação das peças a serem montadas nas linhas, esta era via ordens de produção através do MRP (*Material Requirement Planning*). O Planejamento e Controle da Produção (PCP) recebia uma demanda diária, organizava na melhor seqüência conforme a capacidade da fábrica e diariamente enviava o relatório de produção para as linhas de montagem.

Diferentemente das linhas de montagem, a área de fabricação recebia o relatório de produção em um horizonte de planejamento maior. A área ficava, então, responsável por seqüenciar a produção conforme estudos de capacidade, tempo de *set-up* e disponibilidade de materiais. A área de fabricação recebia também a ordem de produção diária já seqüenciada e enviada para as linhas de montagem, a fim de que pudesse disponibilizar as peças conforme demanda.

Segundo Coordenador de Materiais, na medida em que o PCP programava a produção nas linhas, o sistema gerava uma ordem automática de compra para o fornecedor, para aquisição de peças. Os fornecedores tinham acesso diário às ordens de compra através de um portal da empresa. Praticamente todos os fornecedores (98%) possuíam um contrato de compra, que consistia em um contrato fixo de fornecimento, sendo que entre 1 e 3 anos era realizada uma revisão para uma possível renegociação.

Situação Atual

Projeto da Célula

O projeto de formação da célula piloto foi desenvolvido por uma equipe formada por na sua maioria pessoas da área de engenharia de processos. As etapas que basicamente foram seguidas no desenvolvimento do projeto foram estabelecidas pela empresa e podem ser visualizadas na tabela abaixo.

Tabela 5: Etapas Seguidas no Desenvolvimento do Projeto

Etapas
Definição do escopo de implementação da manufatura celular
Seleção da equipe que integrará o projeto
Treinamento referente à manufatura enxuta e conceito celular x departamental
Definição das famílias de produtos
Seleção do produto significativo (*)
Desmontagem e montagem do produto significativo para tomada de tempos
Dimensionamento da célula de produção
Preparativos para a implementação
Revisão de embalagem e abastecimento dos pontos de uso
Plano de ação com as mudanças a serem realizadas e prazos
Implementação do leiaute celular
Padronização das modificações realizadas
Auditoria das modificações realizadas

Fonte: Dados da Empresa.

(*) O produto significativo é aquele que utiliza a totalidade ou a maioria dos processos existentes na célula de produção. É também o produto com a maior demanda.

A equipe, primeiramente, realizou um estudo da variedade de produtos e seus volumes correspondentes, para a definição de famílias de produtos que constituiriam cada célula. Nesta etapa buscou-se como critério agrupar os produtos com características e peças similares. A análise também considerou a demanda de produção atual e futura dos produtos, de modo que o planejador pudesse compreender a relação entre as mesmas.

Um produto significativo foi selecionado para dar início ao projeto piloto. Segundo uma pessoa entrevistada que esteve envolvida no desenvolvimento do projeto piloto, projetando a célula para o produto mais crítico, a probabilidade de obter sucesso na migração para os outros produtos é maior.

Seguiu-se com a montagem e desmontagem do produto significativo para tomada de tempos. Esta etapa consiste em desmontar o produto a fim de verificar as etapas de montagem que o constituem, para em seguida reagrupá-lo otimizando as mesmas. Após definida a melhor sequência de montagem, iniciou-se a tomada de tempos que serviu de base para o dimensionamento da célula de produção.

As seqüências de montagem, com seus respectivos tempos, foram então inseridas em uma planilha Excel desenvolvida pela empresa, a fim de simular o dimensionamento da célula. A simulação fornece informações como o número de células e de postos de trabalho necessários para um determinado *takt time* e volume de produção estabelecidos. O balanceamento da célula deveria proporcionar a máxima otimização das operações, para compensar ajustes de máquinas e variações nos tempos manuais.

Após estes estudos, análises e definições, chegou-se ao número de 15 postos necessários para compor a célula piloto. O projeto do leiaute da célula envolveu um estudo inicial da área que a mesma iria ocupar, da localização no chão de fábrica, dos equipamentos para manuseio de peças, de suas áreas de acesso e restrições de posicionamento e do processo de fabricação. Esses dados possibilitaram a determinação dos tempos manuais para troca de ferramentas, inspeções de qualidade e trajeto dos operadores. Determinou-se, assim, um leiaute básico.

A partir do leiaute básico, o estudo desenvolveu-se com o projeto do manuseio dos materiais e o leiaute individual dos postos de trabalho. Como a célula iria ocupar uma área fabril menor e buscou-se a otimização da quantidade de estoque, os tipos de embalagem, ponto-de-uso, freqüência de abastecimento, entre outros, tiveram que ser revistos.

De posse do leiaute básico e o número teórico de operadores, partiu-se para a montagem do time de operadores que iria trabalhar na nova célula. A seleção priorizou, principalmente, a habilidade técnica para múltiplas funções e disponibilidade para o trabalho em equipe. Aos selecionados, foi oferecido um treinamento conceitual sobre células de manufatura.

A definição do leiaute final foi realizada em conjunto com o time de operadores. Tomando como base o leiaute inicialmente estabelecido, foram feitas simulações de movimentos entre as máquinas e homens, envolvendo cargas e descargas de máquinas, tempos de operação, tempos manuais de inspeção e troca de ferramenta e a própria distribuição dos operadores no chão de fábrica.

Após revisão da distribuição da carga de trabalho, da movimentação de materiais, da localização das máquinas no chão de fábrica, do leiaute individual de cada posto de trabalho com transferência dos quadros elétricos, dos itens de segurança e da estrutura para o sistema de transporte de peças, foi elaborado um plano de ação.

Através do plano de ação, foi possível estimar o investimento necessário para a implementação da célula de manufatura, bem como o retorno esperado para o investimento e sua justificativa. Após a aprovação do projeto, o leiaute implementado foi realizado, o trabalho da célula iniciado, ajustado e revisado.

A fim de dar prosseguimento à implementação do plano diretor estabelecido, foi iniciada a implementação das demais células projetadas. O leiaute, na fase de implementação que se encontra atualmente na empresa, consta de 6 células de produção para um produto específico.

Leiaute Atual

Na concepção da área física da célula, buscou-se estabelecer o leiaute com micro-células em forma de U, de forma a possibilitar a multifuncionalidade dos operadores. Os carrinhos para o transporte dos produtos foram projetados para serem movimentados manualmente, capacitando o fluxo contínuo e unitário das peças (*one piece flow*). Assim, o acúmulo de peças só ocorre até um limite máximo estabelecido antes de cada operação, evitando o acúmulo de inventário entre as operações.

Segundo o entrevistado, outra característica desejável na concepção do leiaute de célula em forma de U é que, ocorrendo algum problema de qualidade no circuito da célula, a comunicação do erro é rapidamente relatada, permitindo uma reação rápida à causa do problema. Como há um baixo volume de peças na célula, é possível segregar rapidamente peças defeituosas.

A tabela 6 apresenta dados característicos da célula de manufatura piloto implementada.

Tabela 6: Características da Célula de Manufatura Piloto Implementada.

CARACTERÍSTICAS DA CÉLULA	
Número de postos de trabalho	15
Operadores por Turno de Trabalho	18

Fonte: Dados da Empresa.

A célula piloto implementada possui 03 fluxos principais, referentes às etapas do processo de “preparação tanque/cesto”, “preparação do mecanismo” e “fluxo principal”. Cada fluxo

estabelecido corresponde a uma micro-célula em forma de U, que agrupadas constituem o leiaute celular macro. A entrada e saída do produto a ser montado em cada um dos fluxos estão localizadas em pontos próximos, conforme pode ser visualizado na figura 16. Como etapas posteriores do processo, têm-se ainda a “inclusão da tampa fixa” e “teste final”. A etapa do processo “preparação tanque/cesto” foi concebida de modo a atender a demanda de duas células macro.

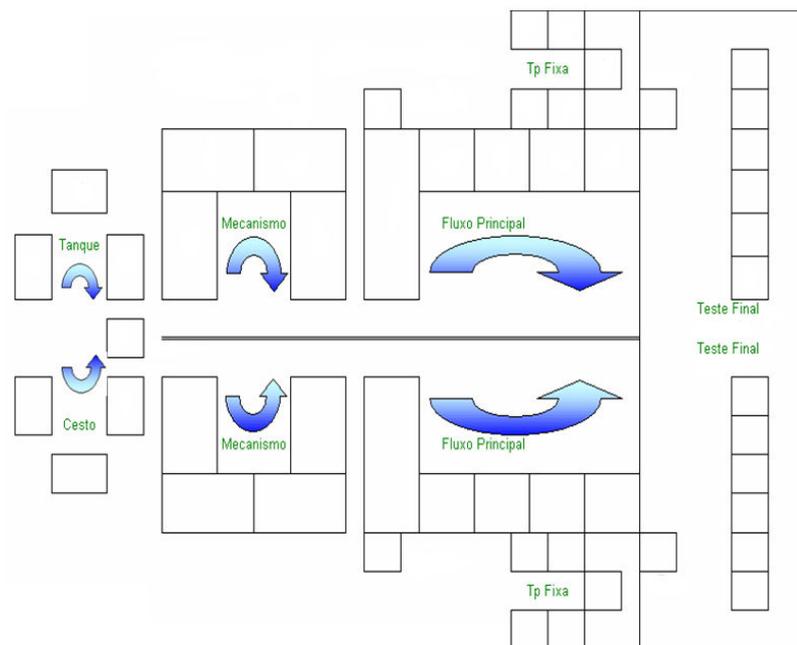


Figura 16: Leiaute Constando os Três Fluxos Principais

Fonte: Dados da Empresa.

A figura 17 apresenta a célula piloto em maiores detalhes, constando todos os postos de trabalho estabelecidos e a localização dos pontos de uso para armazenamento do estoque em processo. Conforme pode ser visto na figura, o primeiro fluxo referente à “preparação tanque/cesto” possui 7 postos de trabalho. Nesta etapa do processo um conjunto constando o tanque e cesto é montado e, posteriormente, este é colocado em um suporte, que através de um sistema mecânico, gira o produto em 180°.

O próximo fluxo, referente à “preparação do mecanismo”, consiste na montagem do mecanismo na parte inferior do produto. O conjunto tanque/cesto é retirado do suporte e colocado sobre um carrinho, o qual é transportado manualmente pelo operador através de 5 postos de trabalho. Em seguida, o produto é colocado novamente em outro suporte para ser girado mecanicamente e dar prosseguimento à montagem no próximo fluxo.

O fluxo referente ao “fluxo principal” diz respeito à montagem final do produto. O produto é transferido novamente do suporte ao carrinho, que é guiado manualmente pelo operador por outros 5 postos de trabalho.

Após a montagem final do produto, é realizada a etapa de inserção da tampa e o teste final. A célula piloto implementada consta ainda de etapas de submontagem, onde as peças são preparadas e disponibilizadas para os fluxos principais.

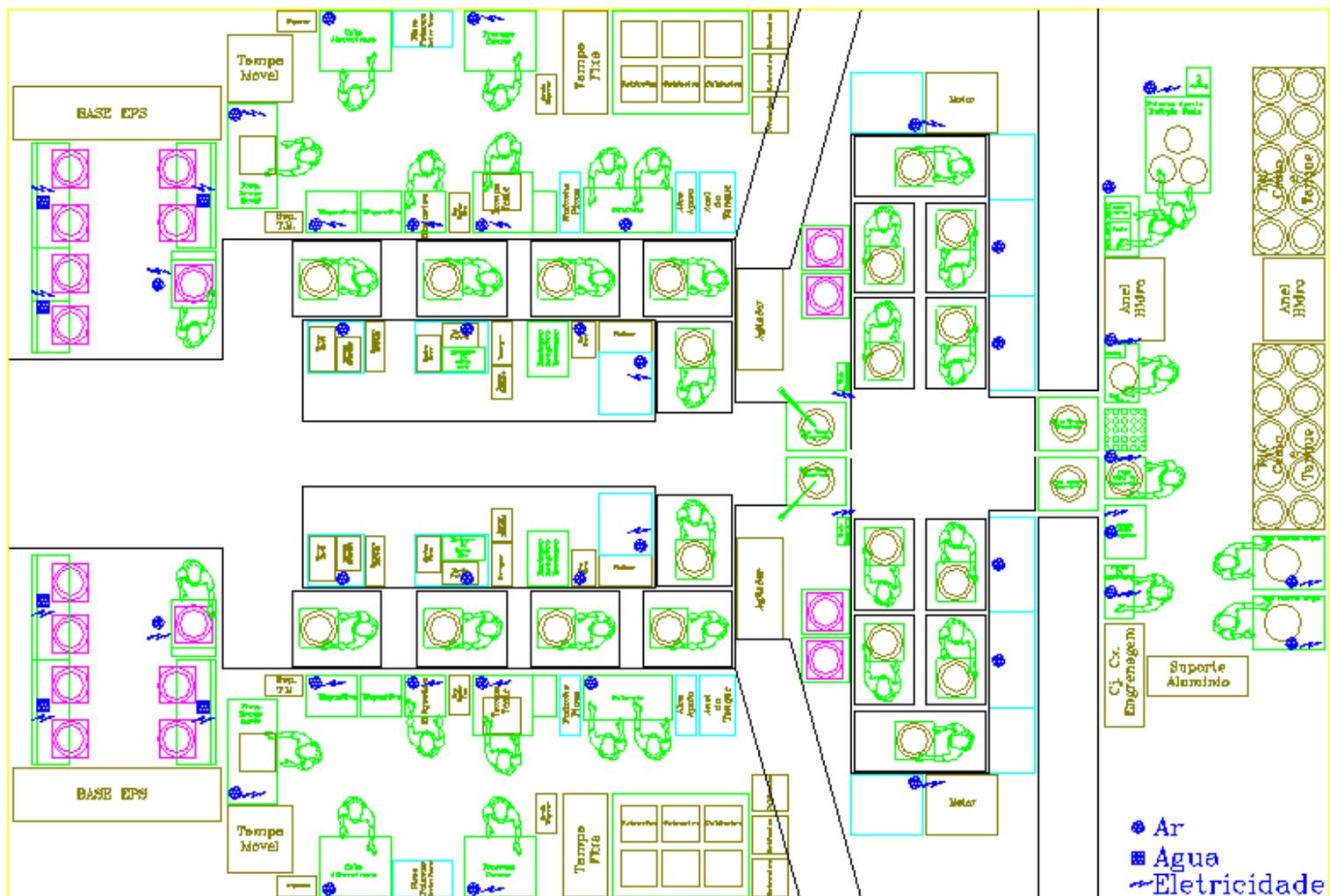


Figura 17: Leiaute da Célula Piloto Implementada.

Fonte: Dados da Empresa.

Sistema de Movimentação Interna de Materiais Atual

Alguns processos necessitaram ser reprojutados a fim de suportar a implementação de células de manufatura. O fluxo de materiais dentro da fábrica, tendo papel fundamental no desempenho das células, necessitou ser adaptado. Neste item será descrito como está funcionando atualmente o sistema de armazenamento, abastecimento e programação da produção das células.

Sistema de Armazenagem

Como citado, a divisão do Sistema de Armazenagem em *Flat Storage* e Itens Empilháveis, foi concluída anteriormente à implementação das células de montagem. Após a implantação das células, manteve-se o sistema de armazenamento, porém foi feito um grande trabalho para padronização e redução das embalagens, de modo que as peças fossem armazenadas em caixas plásticas e/ou papelão dimensionadas para a demanda da célula. Para auxiliar na padronização foi desenvolvido o Plano para Cada peça (PPCP), que é constantemente atualizado. Aproximadamente 3% das peças pequenas ainda são fornecidas em paletes, sendo que para estes casos é realizado transbordo.

O sistema de armazenagem atualmente é centralizado para todas as peças compradas e para a maioria das peças fabricadas na empresa, sendo que anteriormente à implementação das células, a maior parte das peças fabricadas ficavam descentralizadas na fábrica. Existe uma área exclusiva nos almoxarifados onde são alocadas as peças fabricadas, para que depois as mesmas sejam entregues às células através das rotas de abastecimento.

Com a migração de linhas para células, a organização dos itens, que antes eram separados por fornecedores, foram arranjados em famílias de acordo com as ilhas de abastecimento estabelecidas na célula (constando de múltiplos fornecedores). Com isso, o *lead time* para armazenar os materiais nas ilhas é maior, porém, o abastecimento das ilhas às células é facilitado. Na figura 18 pode-se observar uma representação do funcionamento atual do sistema de armazenagem.

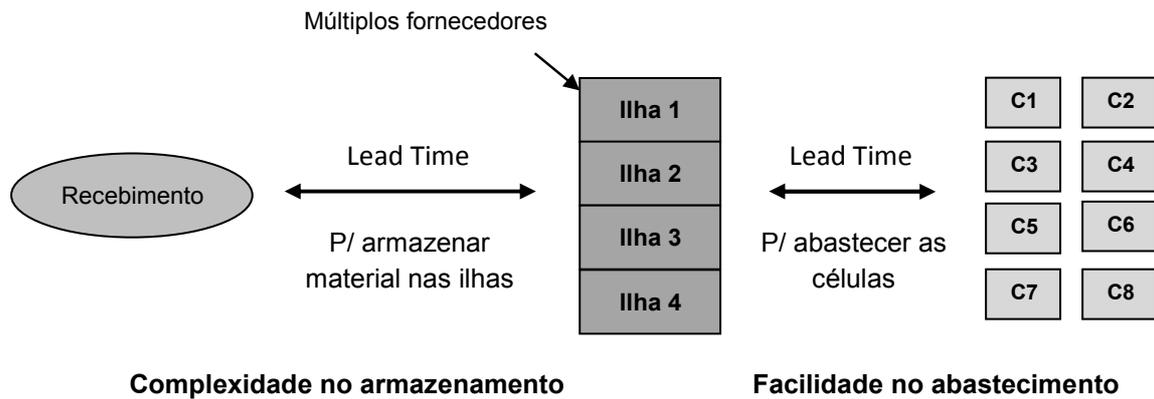


Figura 18: Funcionamento Atual do Sistema de Armazenagem

Fonte: Dados da Empresa.

Com relação ao armazenamento das peças no ponto-de-uso da célula, houve uma redução significativa no estoque em processo, com isso proporcionando ganhos consideráveis em área. Isto decorre devido ao fato de grande parte das peças, armazenadas anteriormente adjacente às linhas, terem sido realocadas para área de recebimento de matéria prima. Desta forma, o percentual removido do ponto-de-uso nas linhas de montagem foi transferido para o almoxarifado com a transição para células, porém esta diminuição não foi transmitida aos fornecedores.

Sistema de Abastecimento

Sistema de Abastecimento Externo

Atualmente, todas as peças compradas e a maior parte das peças fabricadas na empresa são entregues no sistema de armazenagem, para em seguida serem transportadas às células, sendo que a única exceção é para itens críticos (emergência). O principal motivo pelo qual a área de fabricação não entrega peças diretamente ao ponto-de-uso é devido a uma busca na otimização do tempo de ciclo da rota de abastecimento. Desta forma, quando o estoque de peças fabricadas no almoxarifado alcança um nível mínimo, este é repostado pelo abastecedor.

Com relação à frequência de entrega das peças oriundas de fornecedores, da mesma forma que anteriormente, esta varia de acordo com a característica do material e distância do

fornecedor. O *milk run* é utilizado para até 40% das peças compradas. Com relação às peças fabricadas, estas são repostas no almoxarifado em torno de 4 vezes por turno.

Sistema de Abastecimento Interno

De acordo com o entrevistado, o processo de abastecimento das células consiste das mesmas 3 etapas utilizadas para o abastecimento das linhas de montagem. Porém, atualmente, a rota é desacoplada da seleção dos materiais no almoxarifado, ou seja, há responsáveis por operar a rota e responsáveis para selecionar os materiais. As etapas são descritas em maiores detalhes abaixo:

- **Configuração da compra:** Os pedidos de compra são emitidos pelos abastecedores internos das células via papel e transportados através dos movimentadores até o almoxarifado. Os compradores então, ao receberem o pedido, separam as peças e as colocam em uma área para configuração estabelecida (formação do comboio).
- **Transporte das peças do almoxarifado às células:** Após entregar os pedidos de compra aos compradores, o movimentador da rota descarrega as caixas vazias recolhidas nas células em uma área estabelecida no almoxarifado, para que em seguida o mesmo possa carregar o rebocador novamente com as peças selecionadas (comboio) e transportar até as células. Enquanto o comprador configura a nova solicitação de compra, o movimentador entrega as peças solicitadas anteriormente.
- **Abastecimento interno da célula:** O abastecedor interno recebe as peças solicitadas e as distribui nos respectivos pontos de uso.

Com relação à forma de abastecimento das células, esta continua ocorrendo via rotas de abastecimento periódicas com entrega sob pedido do ponto-de-uso. Com a implementação de células de manufatura, buscou-se definir rotas fixas para os veículos e balancear o tempo das rotas. O tempo da rota está estabelecido para o tempo de ciclo de 01 hora, onde operam 2 operadores. Também foram revistos e criados pontos fixos de entrega de materiais.

O abastecimento do ponto-de-uso, no interior das células, é realizado considerando 4 ilhas de abastecimento especificadas na célula. As ilhas de abastecimento correspondem às áreas demarcadas ao longo do leiaute celular, a fim de estabelecer prioridade de abastecimento do abastecedor interno da célula, sendo que a ordem de abastecimento deve seguir preferencialmente uma seqüência determinada. No ponto-de-uso praticamente todas as peças ficam dispostas frontalmente ao operador da célula (abastecimento frontal). Este é

dimensionado para 2 contêineres, um que está sendo utilizado e outro reserva, o equivalente a duas horas de produção em média. O critério utilizado para o cálculo do número de contêineres é baseado na demanda e área disponível. Para peças que já vêm dimensionadas nas caixas, não existe transbordo. O transbordo só ocorre dentro das células para itens que vêm em grande quantidade, como por exemplo, parafusos. Todos os pontos de uso para peças pequenas utilizam o sistema de *flow rack*.

Com relação ao tipo de transporte utilizado para abastecimento de peças, o grande ganho neste caso foi eliminar as empilhadeiras do processo produtivo criando um *picking* próximo ao armazém e incluindo na rota de abastecimento. Atualmente são utilizados rebocadores que transportam as peças configuradas pelos compradores através dos *rollers* (pranchas com rodinhas). Os *rollers* são engatados nos rebocadores e carregados em uma seqüência, formando um comboio.

Com relação ao número de operadores que operam a rota, para os itens pequenos existem 2 operadores responsáveis por abastecer as células e para peças grandes também existem 2 abastecedores. Cada célula possui 2 abastecedores internos, um que é responsável por fazer toda a solicitação de material e o abastecimento do ponto-de-uso e outro que faz os transbordos de peças.

Programação da Produção

Conforme citado pelo Coordenador de Materiais, pouco mudou em relação à programação da produção na transição de linhas de montagem para células, continuando a comunicação como na produção em massa. O processo de envio de ordens de compra aos fornecedores e a frequência de entrega dos mesmos não sofreu alterações. Da mesma forma, o processo de envio de ordens de produção à célula e à área de fabricação permaneceu inalterado.

Quanto à programação das peças a serem abastecidas na célula, esta é sob pedido do ponto-de-uso, sendo a única etapa do processo onde a produção é puxada.

Com relação ao tamanho de lote, este não foi reduzido, pois a produção em células não está estabilizada e foi recomendado que se deve ter prudência na implantação. A empresa produz lotes variando de duas horas de produção no mínimo para até alguns dias de produção no

máximo (para células com produção destinada a somente um tipo de produto). As principais restrições para a diminuição do tamanho de lote são: a produtividade das células, o sistema de abastecimento e o tempo de *set-up* (de abastecimento).

Quanto aos procedimentos para reagir a níveis de estoque acima do máximo, foi estabelecida uma área para excesso adjacente ao almoxarifado, porém estão tentando acabar com esta prática, já que peças acabam tornando-se obsoletas. Quando acontece de peças serem entregues sem que estejam estabelecidas na nota fiscal, estas são devolvidas. Com relação aos procedimentos para reagir a níveis mínimos de estoque, realiza-se uma análise diária de material no estoque para no mínimo 03 dias. Caso o estoque for inferior ao valor estabelecido, realiza-se *follow-up* e negociam com fornecedor.

Análise Estrutural e Operacional do Sistema Célula/Movimentação Interna de Materiais

A análise crítica da situação do leiaute celular e do sistema de movimentação de materiais atualmente instalado na planta analisada, quanto a recursos humanos, máquinas e instalações e gestão do processo vem apresentada nas tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7: Análise dos Recursos Humanos

ASPECTO	AVALIAÇÃO
Sistema de Gestão do Posto de Trabalho	Cada posto de trabalho está devidamente demarcado e existe um local específico onde estão localizados as Folhas de Instrução de Trabalho (FITs) para as células com os respectivos tempos de ciclo dos operadores, dispositivos de medição e registros da qualidade. Com relação às Folhas de Instrução de Trabalho para as rotas de abastecimento, estas foram desenvolvidas, porém não incluem os tempos de ciclo.
Habilidades Multifuncionais dos operadores	Os operadores atuam em no máximo 5 postos de trabalho na célula. Estes já vinham praticando rodízio de funções na linha de montagem, o que não resultou mudanças significativas na rotina de trabalho para a maioria dos operadores. Quando da inserção de novas atividades, são oferecidos treinamentos.
Distribuição da Carga de Trabalho do Time	A carga de trabalho é equilibrada entre os operadores, permitindo a operação e controle de acordo com o nível de automatização do processo. Como auxílio no dimensionamento são utilizados uma planilha desenvolvida pela empresa e o Gráfico de Balanceamento de Operadores (GBO).

Melhoria Contínua do Processo	O processo de melhoria contínua na empresa acontece por meio da realização de <i>workshops kaizens</i> . Estes são eventos com duração de em média uma semana, onde um time de trabalho tem o objetivo de estudar o estado atual do processo, vislumbrar um estado futuro e implantar as mudanças.
--------------------------------------	--

Fonte: Dados da Empresa.

Tabela 8: Análise das Instalações e do Ambiente de Trabalho

ASPECTO	AValiação
Agrupamento de Peças e Máquinas Definidas por Célula	Como critério utilizado no agrupamento de produto por família, procurou-se agrupar em uma mesma família, produtos com lógica de montagem e demanda similar. Para o agrupamento de máquinas por célula, usou-se como critério principal o aspecto investimento, buscando-se uma estrutura compatível com os recursos disponíveis.
Adequação e Disposição do Leiaute Físico	<p>Para a decisão quanto ao número e tamanho das células, se uma célula maior ou várias células menores, três aspectos foram levados em consideração:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Otimização da logística interna na célula: buscou-se eliminar ao máximo o desperdício de movimentação. ▪ Volume de produção: para famílias de produtos com alto volume, o número de operadores na célula se tornaria significativamente alto. ▪ Investimento necessário: uma quantidade maior de células iria requerer um número maior de equipamentos. <p>Na concepção da área física da célula, buscou-se estabelecer o leiaute em forma de U. Cada célula possui 3 fluxos principais, referentes às etapas do processo de “preparação tanque/cesto”, “preparação do mecanismo” e “fluxo principal”, onde cada fluxo corresponde a uma micro-célula em forma de U, que agrupadas constituem o leiaute celular macro. O leiaute celular macro não foi concebido na configuração em U, sendo que o fluxo do produto no leiaute como um todo é linear.</p>
Somente um ponto de entrada e saída de material	A entrada e saída de material acontecem em pontos próximos para cada micro-célula estabelecida dentro do leiaute celular macro. Porém, considerando o leiaute celular macro, os pontos de entrada e saída estão distantes.
Transporte e Manuseio de Peças	Os carrinhos de transporte, utilizados no interior das células, foram projetados para serem operados manualmente. Estes são empregados em duas etapas do processo, referentes aos fluxos “preparação do mecanismo” e “fluxo principal”. Na etapa “preparação tanque/cesto” o produto é transportado manualmente. Para auxiliar o manuseio das peças entre as etapas do processo, é utilizado um suporte onde o produto é inserido e girado mecanicamente.

	<p>O carregamento de peças nas máquinas é praticamente somente manual, devido ao baixo grau de automação das células. Para algumas máquinas existe sistema de descarga automática.</p> <p>O transporte de peças do almoxarifado às células de montagem é realizado via rebocadores. Os rebocadores transportam os rolers, sobre os quais são colocadas as caixas que contém as peças, formando um comboio.</p>
Ambiente de Trabalho	<p>O ambiente de trabalho é limpo, organizado e a área nas células está devidamente demarcada. Porém, muitas vezes as demarcações não são respeitadas, principalmente com relação ao posicionamento dos carrinhos nos postos de trabalho.</p> <p>Para o caso das rotas de abastecimento, estas não estão devidamente demarcadas.</p>
Fluxo do Processo	<p>A visibilidade do fluxo produtivo é um pouco prejudicada devido à quantidade de estoque disposta ao redor da célula e devido ao fluxo linear do produto da célula como um todo. Conforme citado, cada micro-célula composta no leiaute celular macro possui configuração em U, porém o fluxo como um todo é linear. No projeto inicial, optaram por um modelo que favorecia significativamente a ergonomia dos operadores, mas que pecava em relação à gestão visual da área. Deste modo, as prateleiras no ponto-de-uso foram construídas com uma altura não ideal, prejudicando a visão do fluxo como um todo pelos operadores.</p>

Fonte: Dados da Empresa.

Tabela 9: Análise da Gestão do Processo

ASPECTO	AVALIAÇÃO
Sistema de Armazenamento	<p>Anteriormente à implementação das células, a maior parte das peças fabricadas ficava descentralizada na fábrica. Atualmente, existe uma área exclusiva nos almoxarifados onde são alocadas as peças fabricadas, para que depois as mesmas sejam entregues na célula através das rotas de abastecimento. Esta decisão permitiu a otimização do tempo de ciclo da rota, além de uma redução significativa de estoque em processo de peças fabricadas.</p> <p>Houve também redução do estoque em processo de peças compradas com a transição para célula, porém, este foi removido do ponto-de-uso nas linhas de montagem para o almoxarifado, não havendo repasse aos fornecedores.</p>
Sistema de Abastecimento Externo	<p>Atualmente, todas as peças compradas e a maior parte das peças fabricadas na empresa são entregues no sistema de armazenagem, para em seguida serem transportadas às células.</p> <p>Não houve modificação significativa na frequência de entrega das peças pelos fornecedores, com a transição de linhas para células de montagem.</p>

<p>Sistema de Abastecimento Interno</p>	<p>Com relação ao processo de abastecimento das células, houve transição de rota acoplada da seleção dos materiais, para rota desacoplada. Com isto foi possível otimizar consideravelmente o tempo de ciclo da rota de abastecimento devido a grande variação nos tipos de peças.</p> <p>O processo não está devidamente padronizado e estabilizado, de forma que o tempo de ciclo da rota não é sistematicamente obedecido, assim como o trajeto da rota de abastecimento, que varia significativamente entre um ciclo e outro. A não constância do tempo de ciclo decorre geralmente da necessidade de entrega de itens críticos e quebra de ferramenta.</p>
<p>Programação da Produção</p>	<p>O sistema de envio de ordens de compra aos fornecedores e de envio de ordens de produção à célula e à área de fabricação é empurrado. Quanto à programação das peças a serem abastecidas na célula, esta é sob pedido do ponto-de-uso, sendo a única etapa do processo onde a produção é puxada.</p> <p>Não houve diminuição no tamanho de lote, o principal motivo citado é que a produção em células não está estabilizada. Isto mostra uma posição conservadora da corporação.</p>
<p>Controle do Estoque em Processo</p>	<p>Os postos de trabalho na célula foram dimensionados sob a orientação de não originar estoque intermediário entre os mesmos, porém, pelo fato de não haver controle da solicitação de peças pelo abastecedor interno, há o acúmulo de peças além do necessário. Para o caso de peças pequenas (por exemplo, parafusos), é realizado transbordo na célula, pois estas são fornecidas para quantidade superior à 1 hora de produção. Para peças de grande tamanho, utiliza-se estoque inferior à 1 hora de produção, devido a indisponibilidade de espaço.</p>
<p>Sistema de Controle da Qualidade</p>	<p>Todas as peças com problema de qualidade dentro da célula são segregadas do fluxo e armazenadas com identificação apropriada e em local demarcado.</p>
<p>Gestão do Set-up</p>	<p>Para o processo de montagem existente, basicamente não há necessidade de <i>set-up</i> de máquinas. Porém, para as máquinas existentes, há o controle do tempo de cada <i>set-up</i> realizado. O <i>set-up</i> realizado na célula é basicamente resumido ao processo de abastecimento de materiais.</p>
<p>Gestão Administrativa</p>	<p>Há controle exercido pelo supervisor de manufatura de todas as atividades da célula. Autonomia em grau médio pelos operadores. Informações gerais, metas e gráficos de desempenho por célula em local visível.</p>

Fonte: Dados da Empresa.

Análise do Leiaute Celular Instalado

O leiaute celular instalado é analisado quanto aos seus benefícios, dificuldades e restrições. Uma avaliação final é apresentada como encerramento do estudo de caso.

Benefícios obtidos

O leiaute celular é reconhecido pelas empresas de manufatura como uma alternativa de leiaute que se destaca pela qualidade, redução no tempo de atravessamento, aumento do giro de estoque em processo, otimização do fluxo de trabalho e flexibilidade decorrentes de sua adoção. A tabela 10 apresenta valores associados a esses benefícios alcançados a partir da adoção do leiaute celular na unidade de manufatura de eletrodomésticos da empresa. Os valores correspondem a médias observadas nas células atuais.

Tabela 10: Benefícios Obtidos com as Células de Manufatura

CARACTERÍSTICA	BENEFÍCIOS
Número de operadores	Redução de 23%
Produtividade	Crescimento de 22%
Estoque em Processo	Redução de 45%
Estoque de produto acabado	Redução de 0%
<i>Lead time</i>	Redução de 50%
Área ocupada	Redução de 33%
Reprocesso	Redução de 22%
Tempo médio de <i>set-up</i>	Redução de 40%
Taxa de manutenção não programada	Redução de 85%
Flexibilidade	1 modelo linha para 4 modelos célula
Atendimento	Linearmente de acordo com acréscimo de mão de obra

Fonte: Dados da Empresa.

Os valores apresentados acima são baseados em indicadores estabelecidos anteriormente à implementação de células de manufatura. Estes vêm sendo periodicamente monitorados, não representando, portanto, um sentimento da empresa com relação aos resultados apresentados.

Com relação ao indicador de estoque em processo, o valor de 45% é um percentual médio devido à variação do número de peças para cada componente. Houve a diminuição do estoque em processo de em média 08 horas para 02 horas de trabalho. Financeiramente, só será possível contabilizar o ganho de estoque em processo, quando for reduzido dentro da cadeia de fornecimento o percentual removido do ponto-de-uso, já que, no caso da empresa estudada, o estoque foi apenas realocado do ponto-de-uso na célula para a área de recebimento de

matéria prima. Para tal, as carteiras de compra de matéria-prima devem ser revistas e os contratos refeitos.

Com relação ao indicador de estoque de produto acabado, não houve nenhuma redução. A área de vendas não se adequou à evolução proposta pela manufatura celular, ignorando a possibilidade de produzir em menores lotes e estabelecer o fluxo puxado de produção. Também não houve redução do tamanho de lote com a implementação das células.

Segundo o entrevistado, o tempo de *set-up* é dependente da estabilidade da programação da produção. Quanto mais estável a programação, mais assertivo e rápido é o *set-up*. Nesta condição, considerada ideal, o tempo de *set-up* foi reduzido em 40%.

Houve uma redução considerável também na taxa de manutenção não programada. Isto se deve principalmente ao fato de que, peças que eram anteriormente transportadas por esteiras e robôs, agora são transportadas por carrinhos e manualmente. A estrutura de esteiras e robôs utilizada para as linhas era muito cara devido à necessidade de manutenção de equipamentos como transportadores, tombadores, robôs, entre outros, além do gasto com a energia elétrica despendida pelos equipamentos. Na célula o número de ativos foi drasticamente reduzido, assim como a depreciação dos mesmos, já que a estrutura complexa das linhas foi substituída por uma muito mais simples, que praticamente não necessita de manutenção. Outro benefício é que na célula, caso algum carrinho transportador necessite de manutenção, o mesmo não interrompe o fluxo de produção, o que não acontece na linha, já que quando uma parte da estrutura quebra, a linha inteira fica parada.

Com relação ao indicador de atendimento, foi citado que o programa de produção estabelecido no projeto foi cumprido, entregando 100% da capacidade prevista. Como é possível incluir mais pessoas na célula, a entrega é aumentada linearmente com o acréscimo de mão de obra.

Outros benefícios alcançados com relação à implementação de células de manufatura foram em relação à movimentação de materiais. Apesar destes benefícios não terem sido mensurados, foi observado um aumento na movimentação nos corredores da fábrica, uma busca pelo estabelecimento de rotas de abastecimento para as células, uma diminuição no tamanho das embalagens e a substituição do uso de empilhadeiras por rebocadores.

Os resultados na tabela comprovam que a adoção do leiaute celular foi positiva. O uso de células de manufatura para produzir um grupo similar de itens reduz o manuseio, aumenta a produtividade, reduz o *lead time* e a taxa de peças defeituosas. Há também uma contribuição coletiva, na forma da dedicação focalizada, de uma visão global da atuação do operador da célula de trabalho, e não somente no seu posto de trabalho.

Dificuldades e Restrições

Uma das principais dificuldades encontradas na transição de leiaute linear para celular foi em relação à resistência à mudança das pessoas. De uma situação inicial caracterizada por trabalho individualizado e rotineiro, passou-se para um cenário caracterizado por uma maior autonomia e fluidez da comunicação, trabalho em equipes, com objetivos compartilhados e acordados, alta responsabilidade (em especial quanto à qualidade da manufatura) e trabalho multifuncional. Isto gerou, a princípio, certo desconforto por parte dos operadores, que estavam acostumados com a rotina de trabalho, porém posteriormente gerou uma maior motivação para o trabalho. O desconforto surgiu também da necessidade de manter a produção com alta produtividade, durante o processo de migração.

Outra dificuldade encontrada foi em relação ao sistema de movimentação de materiais. Ações para melhoria do abastecimento das células de produção foram tomadas para suportar a nova estrutura do chão-de-fábrica. Porém, ainda existem oportunidades de melhoria no sistema de armazenamento, abastecimento e programação de abastecimento, bem como visando à padronização já que o sistema se demonstra instável. Constata-se principalmente uma perda de fluxo e processos não abastecidos, a não constância entre um ciclo de entrega e outro, assim como uma grande quantidade de estoque de peças compradas na área do almoxarifado.

Com relação à redução de tamanho de lote, com conseqüente redução de estoque de produto acabado, pouco foi feito em decorrência da necessidade de apoio de outras áreas que não a de engenharia, que estava mais diretamente envolvida no projeto. A empresa também optou por manter seu sistema de controle de produção via MRP, caracterizado por empurrar a produção, ao invés de implementar a produção puxada.

Avaliação Final

O leiaute celular atualmente implementado possui um conjunto de características e condições favoráveis que permitem dar sustentação aos princípios da manufatura celular. A estrutura técnica envolvida é consistente. Os benefícios obtidos e os indicadores analisados demonstram a capacidade do sistema instalado. Por outro lado, algumas características, como sistema de movimentação de materiais e gerenciamento do estoque precisam ser trabalhadas para um melhor aproveitamento dos benefícios que a célula se propõe.

Nota-se também que a estrutura técnica na implementação das células é consistente, porém, o sistema não está devidamente padronizado e estabilizado. Enquanto da não estabilização do sistema, é recomendável a criação de um sistema de proteção suficiente, como a implementação de supermercados e nivelamento da produção. As causas de flutuação de demanda devem ser analisadas e trabalhadas.

Aparentemente, apesar da implementação do leiaute celular, a flexibilidade não tem sido explorada, mas sim o volume de produção. Isto mostra uma estratégia da empresa para produção em massa em uma estrutura orientada para a manufatura enxuta.

A análise aqui apresentada demonstrou que o leiaute celular atualmente implementado pode ser transformado quanto à sua estrutura física, através da otimização do fluxo de materiais dentro da fábrica, redução do tamanho de lote de produção, nivelamento da produção e estabilização do sistema como um todo.

4. SISTEMÁTICA PARA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS

Conforme pode ser notado na revisão bibliográfica e no estudo de caso, um sistema de produção baseado em células devidamente estruturado e estabilizado é essencial para que a estratégia planejada seja traduzida em ações que proporcionem a melhoria do desempenho. Ao se analisar o caso e examinar os esforços iniciais na criação de fluxo contínuo, pode-se observar o quanto é difícil sustentar uma produção estável. Esta estabilização se torna mais difícil na falta de um sistema enxuto de movimentação de materiais que apóie as células em fluxo contínuo. A empresa inicialmente decidiu por implementar células, mas por manter seu tradicional sistema de controle de produção via MRP, considerando somente alguns ajustes no sistema existente de movimentação de materiais. Desta forma, a planta tornou-se mais enxuta em termos de operar seus processos individuais, porém manteve-se produtora em massa com relação ao abastecimento de seus processos. As principais conseqüências observadas são processos não abastecidos, perda de fluxo e um enorme desperdício de esforço e dinheiro em armazenar muito estoque e dispendar muito tempo procurando itens em falta.

Visando, portanto, o sucesso no estabelecimento de células de manufatura, este capítulo propõe uma sistemática para a melhoria do fluxo de materiais, desenvolvida a partir da revisão bibliográfica e da análise do estudo de caso realizado. A pesquisa bibliográfica foi realizada visando identificar os principais tópicos relacionados à estrutura necessária para dar suporte às células, criando a base teórica para a construção da sistemática. O estudo de caso proporcionou ao autor a dimensão das oportunidades e dificuldades do ambiente industrial, solidificando os conceitos aplicados.

A sistemática tem como objetivo lançar diretrizes e dar suporte ao processo de implementação de células de manufatura e seu respectivo sistema de movimentação de materiais, servindo como base para a implementação ou otimização de processos existentes nas empresas. O público-alvo do modelo são profissionais, pesquisadores e estudiosos que atuam com a manufatura enxuta em empresas ou instituições de ensino e pesquisa.

Inicialmente, apresentam-se aspectos gerais da sistemática proposta, seguindo com a estruturação da sistemática.

4.1. Aspectos Gerais da Sistemática Proposta

Antes de iniciar o detalhamento das fases e atividades da sistemática, serão tecidas algumas considerações:

- a. Para que a implementação da manufatura celular seja eficaz é fundamental que a empresa tenha a filosofia e as práticas da manufatura enxuta em grande medida como conhecimento explícito, caso contrário o processo de implementação não terá continuidade. A partir deste ponto, a empresa estará apta para iniciar o processo de implementação das células de manufatura e seu respectivo fluxo de materiais.
- b. O objetivo da sistemática é a melhoria do fluxo de materiais, dando suporte à implementação de células de montagem. Para tanto, assume-se que a empresa possui implementada, ou em fase de implementação, a manufatura celular.
- c. Um conceito importante é o estabelecimento de um sistema eficiente de armazenamento de peças. Este é baseado na utilização de um mercado de peças compradas localizado próximo à doca de recebimento, que armazene e controle as peças necessárias.
- d. Além do sistema de armazenamento a sistemática prevê como mecanismo para alimentar eficientemente as células, o desenvolvimento de um sistema de abastecimento baseado em rotas de entrega precisas que movimentem todos os materiais na planta. É importante salientar a necessidade de utilizar trabalho padronizado nesta etapa, para que haja sustentação das práticas implementadas.
- e. Para a execução do sistema de movimentação de materiais, propõe-se a utilização de sinais de puxada, fundamental para integrar o novo sistema de movimentação de materiais ao sistema de gerenciamento de informação. Esta iniciativa prevista na sistemática assegura que somente peças consumidas pelas células sejam reabastecidas.

4.2. Estruturação da Sistemática

A estrutura do modelo foi idealizada em fases que se caracterizam por momentos importantes e distintos do processo. Cada fase foi dividida em atividades que determinam os passos seguidos pela empresa para a execução do processo melhoria.

A fase 1 caracteriza-se com o estabelecimento de um sistema de armazenamento. Na fase 2 é abordado aspecto referente ao sistema de abastecimento de peças e a fase 3 diz respeito ao sistema de programação do abastecimento. Cada uma das fases e suas atividades estão resumidas na tabela 11 e são descritas na seqüência.

Tabela 11.: Fases e Atividades da Sistemática

Fase 1 - Definição do Sistema de Armazenamento	
Atividade 1.1	Definir Sobre a Centralização ou Descentralização do Mercado de Peças Compradas
Atividade 1.2	Dimensionar a Quantidade Máxima e Mínima de Estoque para cada Item
Atividade 1.3	Escolher o Meio de Armazenamento para Estocar Peças
Atividade 1.4	Desenvolver um Sistema de Endereços
Atividade 1.5	Estabelecer Procedimentos para o Gerenciamento do Estoque.
Atividade 1.6	Disponibilizar e Dimensionar o Estoque no Ponto-de-uso
Fase 2 - Definição do Sistema de Abastecimento	
Atividade 2.1	Definir a Rota de Entrega de Abastecimento das Células
Atividade 2.2	Selecionar o Método de Transporte para Entregar as Peças
Atividade 2.3	Determinar se a Rota é Acoplada ou Desacoplada ao Carregamento do Método de Transporte Definido
Fase 3 - Definição do Sistema de Programação de Abastecimento	
Atividade 3.1	Instalar um Sistema de Informação para Disparar e Controlar o Reabastecimento de Peças
Atividade 3.2	Determinar a Frequência de Entrega de Material às Células

4.2.1. Fase 1 – Definição do Sistema de Armazenamento

A primeira fase tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de armazenamento adequadamente localizado, que permita o controle e gerenciamento das peças que serão fornecidas às células de montagem.

Para isto, recomenda-se a utilização de um mercado de peças compradas. Um mercado de peças compradas é definido como um local na empresa onde estaria localizado um nível controlado de todas as peças compradas utilizadas na célula de manufatura. Cada item em um supermercado possui uma localização específica, de onde um movimentador de materiais retira os produtos nas quantidades necessárias para um processo fluir fluxo abaixo.

As vantagens da centralização e racionalização dos estoques de peças compradas em um supermercado são (HARRIS et al., 2002):

- Garantia do FIFO: há um fluxo de movimentação de materiais onde eles são alimentados sempre por um lado e retirados pelo outro;

- Fácil acesso às peças: todos os componentes ficam ao alcance das mãos e em embalagens pequenas;
- Localização eficiente: o armazenamento centralizado e devidamente identificado torna fácil e sistemática a localização das peças; e
- Permite gestão visual simplificada: uma simples olhada no mercado de peças compradas permite observar se os níveis de estoque estão adequados, se a organização está sendo mantida, etc.

Esta fase está pautada no conceito de um sistema enxuto de movimentação de materiais proposto por Harris et al. (2002), permitindo que a empresa consiga implementar e sustentar o sistema dentro de sua planta.

Atividade 1.1 – Definir Sobre a Centralização ou Descentralização do Mercado de Peças Compradas.

A primeira atividade da fase 1 consiste na definição da localização de um mercado de peças compradas. Ao procurar determinar a localização, tem-se por objetivo encontrar o local onde os materiais possam ser movimentados a um custo mínimo (MOURA, 2005). Os fatores a serem considerados incluem:

- A quantidade do material a ser movimentado;
- A distância até o local de uso;
- Os métodos de movimentação até o ponto-de-uso.

Com a estocagem nas células (ponto-de-uso), tem-se o máximo em descentralização. Em uma situação ideal, as entregas seguiriam diretamente da área de recebimento às células em apenas uma etapa. Esta é uma alternativa que deve ser considerada em plantas onde as entregas são muito frequentes, com volumes de produção muito pequenos e com poucas peças por produto ou em plantas onde as peças são entregues em kits prontos para produção por um fornecedor externo (HARRIS et al., 2002). Uma desvantagem da total descentralização é a possível perda de controle (MOURA, 2005).

Algumas vezes é benéfico manter grande parte de inventário num armazém central. A vantagem de tal disposição é que há somente um estoque de segurança. As peças necessárias são “puxadas” pelo ponto-de-uso, quanto e quando necessário (MOURA, 2005). Caso opte-se

por esta alternativa, recomenda-se que a área para o armazém central esteja localizada o mais próximo possível da área de recebimento. Desse modo, a movimentação dos materiais do caminhão do fornecedor ao armazém pode ser feita num fluxo direto e rápido, sem paradas para manuseio desnecessário evitando oportunidades para erros e peças danificadas ou alocadas incorretamente.

Desta forma, recomenda-se que seja realizada uma análise de cada uma das alternativas, para que seja implementada aquela que melhor se adequa às características da empresa.

Atividade 1.2 – Dimensionar a Quantidade Máxima e Mínima de Estoque para cada Item

A segunda atividade da fase 1 é o dimensionamento da quantidade máxima e mínima de estoque para cada item que irá compor o mercado de peças compradas. Esta etapa é importante, pois tendo em vista a função de estocagem, bem como os fatores de espaço e produto, delinearão planos a serem desenvolvidos para a utilização eficiente do espaço de estocagem.

A fim de projetar o mercado de peças compradas, é necessário inicialmente estabelecer a quantidade máxima de cada peça necessária no mercado para comportar as operações normais das células de trabalho. O dimensionamento do número máximo de estoque leva em conta as necessidades de estocagem de curto prazo e longo prazo. Parte-se de um conhecimento bastante aproximado de tendências do material estocado e das eventuais flutuações da demanda (MOURA, 2005).

Para definir o nível máximo de estoque a ser mantido no mercado, é necessário determinar a média diária de uso e a frequência média de entrega de cada peça, assim como a variação em torno dessas duas médias (HARRIS et al., 2002).

Desse modo, a quantidade de peças no supermercado terá uma primeira parcela responsável por suprir a demanda da peça na célula de produção entre os ciclos de entrega do fornecedor, uma segunda para absorver aumentos na demanda não previstos pela anterior e uma terceira como segurança para atrasos de entrega.

Segundo Harris et al. (2002), o cálculo das componentes do estoque no mercado de peças compradas, pode ser realizado através da equação 4.1.

$$N = (U \times T) + P \quad (4.1)$$

Onde:

N = Nível máximo de estoque.

U = Uso diário.

T = Tamanho de entrega, o qual deve ser baseado na frequência de entregas traduzida em um número de dias de estoque de produção.

P = Pulmão de peças compradas, o qual deve ser a quantidade de estoque que se deve ter em mãos, além da quantidade mínima de entrega, para assegurar que as peças estejam sempre disponíveis para as necessidades da produção.

Um número de variáveis envolvidas tanto nas variações de produção da empresa, quanto nas variações do desempenho das entregas dos fornecedores devem ser consideradas para o cálculo do pulmão de peças compradas. A tabela 11 apresenta alguns exemplos destas variáveis.

Tabela 11: Variáveis a Serem Consideradas no Cálculo do Pulmão de Peças Compradas

Variáveis a serem consideradas para o cálculo do pulmão	
Variáveis relacionadas ao desempenho do fornecedor	Histórico de qualidade
	Pontualidade
	Confiabilidade no método de transporte
	Distância física do fornecedor
	Risco de mau tempo
Variáveis relacionadas ao desempenho da empresa	Confiabilidade dos equipamentos
	Variações nas ordens de produção

Fonte: Adaptado de Harris et al., (2002).

Com relação ao estabelecimento da quantidade mínima de estoque de cada peça no mercado, sugere-se à empresa estabelecer um nível mínimo no ponto em que apenas o material suficiente estivesse disponível para que peças substitutas pudessem ser enviadas de forma urgente do fornecedor para a planta, sem que uma operação de produção experimentasse uma falta de peças (HARRIS et al., 2002).

Os espaços necessários devem ser calculados para produções médias, envolvendo máximos e mínimos estocáveis, para o caso de produtos de demanda estável, ou calculando em função das variações das demandas previstas. As dimensões do mercado devem considerar as flutuações dos diversos materiais para produção e a ocupação alternativa dos espaços disponíveis (MOURA, 2005).

O mercado de peças compradas deve ter o tamanho exato para acomodar os níveis máximos de estoques de todas as peças, mesmo que o mercado raramente atinja o máximo possível. Para determinar o espaço necessário, a empresa pode utilizar a informação disponível em planilhas para calcular quantas embalagens de peças seriam necessárias estocar no mercado no nível máximo de estoque. De acordo com Harris et al. (2002), a equação 4.2 pode ser utilizada para determinação do número de contêineres a serem armazenados no mercado de peças compradas.

$$Q = N/Q_p \quad (4.1)$$

Onde:

Q = Quantidade máxima de embalagens.

N = Nível máximo de estoque.

Q_p = Quantidade padrão de embalagens.

Estabelecendo a quantidade máxima de embalagens para todos os materiais do mercado de peças compradas, pode-se calcular o volume necessário para armazenar todas as embalagens e assim projetar a sua estrutura.

Atividade 1.3 – Escolher o Meio de Armazenamento para Estocar Peças.

A terceira atividade da fase 1 caracteriza-se pela definição do meio correto de armazenamento para as peças compradas.

O sistema JIT requer a produção e a transferência em pequenos lotes ou carga. Portanto, os recipientes pequenos, leves e reutilizáveis são a tendência dentro de fábricas, visando atender a este sistema. Os contêineres de pequeno porte também são essenciais na utilização de células de manufatura, onde a transferência dos lotes é recomendada ser feita em fluxo de uma peça ou em pequenas quantidades (MOURA, 2005).

Segundo Harris et al. (2002), peças acomodadas em embalagens de tamanho e forma impróprios podem gerar diversas dificuldades em todas as operações do chão-de-fábrica, como:

- Danificação de peças causada pela má disposição das mesmas dentro da embalagem;
- Desperdício de movimento desnecessário;
- Fluxo de logística complicado e custoso (empilhadeiras, grandes volumes);
- Problemas de ergonomia na operação de pegada das peças dentro da embalagem;
- Impossibilidade de acondicionar todas as peças no ponto-de-uso; e
- Excesso de peças no ponto-de-uso.

Dessa forma, é importante analisar a embalagem de cada peça e ajustá-la de forma a garantir que tenha as dimensões adequadas para facilitar o trabalho do operador e ao mesmo tempo garantir a quantidade necessária à célula de produção de acordo com o seu lote.

Recomenda-se utilizar embalagens compatíveis com o lote de produção, no menor tamanho possível e que facilitem a pegada e montagem por parte do operador. Não se devem dimensionar as embalagens para adequarem-se ao tempo de ciclo do abastecedor, pois este sim será projetado para atender ao abastecimento dos contêineres na célula de acordo com o *takt time* da célula (HARRIS et al., 2002). O procedimento para dimensionamento das embalagens é descrito na figura 19.

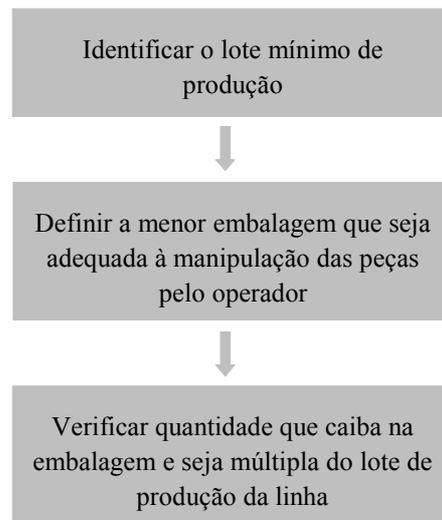


Figura 19: Fluxograma para o Dimensionamento das Embalagens

Fonte: Adaptado de Harris et al (2002).

Esse trabalho precisa ser feito para cada peça ou família de peças utilizadas na célula de produção. Algumas peças poderão manter a embalagem atual entregue pelo fornecedor, seja porque o tamanho já é adequado ou porque a manipulação de tais componentes é custosa ou pode danificar os materiais. Para outras peças pode ser interessante realizar a sua reembalagem, disponibilizando o material em embalagens de tamanho adequado para o abastecedor no mercado de peças compradas (HARRIS et al., 2002). Além de possibilitar o fornecimento de peças em embalagens e arranjo adequados, a criação de uma operação de “*repacking*” possui uma vantagem em particular: otimização e padronização de um trabalho que antes era realizado por pessoas diferentes na linha de produção, o que é uma forma de aumentar a produtividade e eliminar desperdícios. Entretanto, deve-se ressaltar que a operação de “*repacking*” em si não agrega valor ao cliente e por isso é preciso buscar a sua eliminação no futuro ao solicitar que os próprios fornecedores já entreguem seus produtos embalados adequadamente.

Nesta atividade, devem-se considerar também os tipos de armazenamento disponíveis para armazenar as embalagens: prateleiras para fluxo (*flow racks*) e armazenamento de paletes.

As prateleiras para fluxo são consideradas o método de armazenamento ideal, principalmente para aquelas peças que entram na empresa sem paletes e também para que um movimentador de material possa movê-las o mais diretamente possível da área de recebimento até as prateleiras. Assim, recomenda-se que a maior parte do volume das embalagens de peças

compradas pela empresa seja armazenada em *flow racks*. Prateleiras para fluxo também podem acomodar peças de um palete que são descarregadas nas prateleiras, desde que os volumes das peças envolvidas e o trabalho necessário para descarregá-las sejam baixos (HARRIS et al., 2002).

Armazenar paletes é necessário quando a empresa recebe peças muito grandes e/ou muito pesadas para caber em qualquer uma das prateleiras para fluxo ou quando a embalagem padrão é muito grande, fazendo com que o descarregamento de peças dos paletes para a prateleira seja um desperdício. Nesses casos, os paletes são movidos para um local designado no mercado de peças compradas. Deste modo, as peças ou embalagens são movidas diretamente do palete ao carrinho que entrega peças às áreas de produção na planta.

Deve-se observar que se a utilização média, a variabilidade de utilização ou o desempenho de entregas da transportadora mudar, será necessário recalcular o nível máximo de estoque e ajustar o espaço para armazenamento, com base no novo número máximo de embalagens calculado. Portanto, um esforço extra no início da construção de prateleiras que sejam fáceis de mover e de reconfigurar compensarão muitas vezes no longo prazo.

Atividade 1.4 – Desenvolver um Sistema de Endereços.

A quarta atividade da Fase 1 é o desenvolvimento de um sistema de endereços para o mercado de peças compradas. A função de identificação e endereçamento se preocupa principalmente com a determinação do que é recebido e com a decisão de onde deverá ser estocado (MOURA, 2005).

Estabelecer o mercado de peças compradas exige que a empresa desenvolva também um sistema de endereços formal para os locais de armazenamento no mercado, visando facilitar a armazenagem e localização de cada peça. Segundo Harris et al. (2002), deve-se criar endereços utilizando letras para identificar a posição vertical das peças nas prateleiras (o nível da prateleira) e números para identificar sua posição horizontal (a fileira na prateleira). Recomenda-se também criar um número de área para identificar em qual seção do mercado a prateleira está localizada, pois o mercado eventualmente abrigará muitas seções de prateleiras.

É importante a verificação freqüente da acuracidade da localização do estoque. Deve-se fazer isto de trás para frente, estabelecendo um localizador mestre e descrevendo os números de estoque e sua localização (MOURA, 2005).

Ao mesmo tempo deve-se implementar um sistema de endereços para toda a planta que designa pontos físicos na planta referentes a localização de cada célula.

Atividade 1.5 – Estabelecer Procedimentos para o Gerenciamento do Estoque.

O estabelecimento de procedimentos para o gerenciamento do estoque de peças compradas é a quinta atividade da fase 1 e está dividida em duas tarefas.

Tarefa 1.5.1: Estabelecer o controle FIFO do estoque.

A primeira tarefa tem como objetivo o estabelecimento de procedimentos para colocar e retirar peças do mercado de peças compradas. É recomendado procurar manter um rigoroso controle FIFO para que as peças não fiquem paradas.

O controle FIFO significa que os componentes e peças vão para a operação seguinte na mesma ordem em que foram produzidos. Desta forma, deve-se procurar organizar o mercado de peças compradas de modo a facilitar e tornar o mais eficiente possível a colocação de peças no mesmo e a sua retirada para entregá-las às células.

Para isto, é importante projetar o mercado com corredores de abastecimento e corredores para retirada. O corredor de abastecimento, que é utilizado com menor freqüência, permite que as peças sejam carregadas na parte de trás das prateleiras e escorreguem até a frente das estantes para serem retiradas. Também, prateleiras para fluxo inclinadas conseguem a ajuda gratuita da gravidade para empurrar a próxima embalagem de peças a ser apanhada para a frente da estante (HARRIS et al., 2002).

O corredor de retirada deve ser projetado para que o operador possa apanhar as peças em ambos os lados do corredor. Como estas peças são retiradas do mercado com maior freqüência do que são carregadas, é especialmente importante criar uma área de trabalho eficiente para o operador.

Tarefa 1.5.2: Estabelecer procedimentos para reagir a estoques além dos níveis máximos e mínimos.

A próxima tarefa é o estabelecimento de procedimentos para reagir a estoques além dos níveis máximos e inferior aos níveis mínimos. É importante que a empresa tenha um plano para lidar com essas situações de maneira eficiente.

Apesar da recomendação de não se ultrapassar o nível máximo de estoque estabelecido no almoxarifado, é provável que ocasionalmente a empresa tenha peças em excesso. Isso pode acontecer devido a entregas extras do fornecedor, ou então por um pedido incorreto colocado. Segundo Harris et al. (2002), a fim de lidar com estas situações, é recomendado estabelecer uma área de excesso adjacente ao mercado.

Para gerenciar a área em excesso, recomenda-se à empresa utilizar um quadro que indique claramente o que está na área, o motivo de estar lá e um plano para retirar o material da área de excesso. A empresa também pode desenvolver um sistema para retirar peças da área de excesso e colocá-las na área correta do mercado.

Um nível mínimo de estoque pode ser alcançado quando um fornecedor falha ao enviar a quantidade solicitada, a transportadora encontra um problema em sua rota, o sistema de pedidos de peças falha por alguma razão em solicitar a quantidade correta ou a empresa produz consideravelmente mais do que planejado.

O sistema *lean* de movimentação de materiais que a empresa está implementando é baseado no fato de as operações de produção terem o que necessitam e quando necessitam. Se as peças atingirem o nível mínimo, esta situação deve ser vista como uma emergência porque sem a imediata ação do Controle de Produção, as operações ficarão sem peças (HARRIS et al., 2002).

Atividade 1.6 – Dispor e Dimensionar o Estoque no Ponto-de-uso.

Como última atividade da Fase 1 tem-se a definição de como o estoque será disposto nos pontos-de-uso das células de manufatura e o seu dimensionamento. O ponto-de-uso é a interface entre o sistema de abastecimento e a célula de produção em si. Ele deve ser

desenhado da melhor maneira para estocar as peças que serão utilizadas nas células e eliminar o desperdício de movimentação desnecessária. Para isso, todos os materiais utilizados pelo operador devem estar localizados o mais próximo possível dos mesmos.

A melhor posição para o abastecimento dos componentes é à frente do operador. Logo, é necessário fazer com que todos os materiais necessários estejam armazenados em uma estrutura ergonômica e que permita ao operador alcançar as peças sem que precise se movimentar. Isto é possível caso introduza-se a utilização de contêineres menores, mais compatíveis ao manuseio e transporte das peças. Já a utilização de paletes no ponto-de-uso deve ser evitada.

Para que os operadores nas células possam alcançar facilmente as peças que precisam, recomenda-se a criação de prateleiras de ponto-de-uso. Estes dispositivos permitem que as peças sejam entregues em escorregadores gravitacionais de fora das células diretamente às mãos dos operadores dentro das células. As prateleiras de PDU devem ser projetadas para que o operador da rota de entrega possa entregar material de fora da célula ao ponto-de-uso e apanhar as embalagens vazias de entregas anteriores no mesmo lugar (HARRIS et al., 2002).

A sua utilização impede que os materiais sejam deixados em volta ou dentro das células, forçando os operadores a deixarem seu trabalho para buscar peças ou trabalhar sofrendo interrupções em função das entregas. A utilização de prateleiras também impede que operadores da rota de entrega entrem na célula causando distração no trabalho do operador.

Uma vez determinada a localização das prateleiras de PDU, deve-se estabelecer a capacidade de armazenamento para as embalagens cheias e vazias. O cálculo do número de contêineres necessários no ponto-de-uso para cada peça é feito em função da capacidade dos mesmos e do tempo de ciclo do abastecedor. Segundo Harris et al. (2002), as prateleiras devem ser capazes de armazenar duas vezes o volume da rota de entrega de qualquer peça mais uma embalagem adicional daquela peça.

Desse modo, o autor sugere a equação 4.3 para o cálculo da quantidade de contêineres no ponto-de-uso.

$$NC = \frac{(3C) \times D}{QC} \quad (4.3)$$

Onde:

NC = Número de contêineres.

C = Ciclo do Abastecedor em minutos.

D = Demanda média de peças por minuto.

QC = Quantidade de peças por contêiner.

4.2.2. Fase 2 – Definição do Sistema de Abastecimento

A Fase 2 tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de abastecimento enxuto. Um objetivo primário num planejamento eficiente de uma empresa é provê-la de um fluxo de elementos que facilite uma eficiente movimentação dos mesmos através das atividades.

O problema de todo fluxo consiste na necessidade de mover os suprimentos do começo do processo (recebimento) para o fim (expedição) pelo mais eficiente dos caminhos. As atividades, através das quais os materiais circulam enquanto estão sendo produzidos, são representadas na fabricação pela rota de produção (MOURA, 2005).

Um planejamento bem formulado e cuidadoso do modelo do fluxo terá muitas vantagens, e um bom modelo de fluxo seguirá um longo caminho em direção a diversos dos objetivos do planejamento de instalações (MOURA, 2005). Algumas das vantagens são:

- Aumento da eficiência da produção e da produtividade;
- Melhor utilização do espaço;
- Simplificação das atividades de movimentação;
- Controle simplificado;
- Redução do tempo de processo; e
- Redução do estoque em processo.

Para isto, deve-se buscar estabelecer uma rota que entregue somente as peças que os operadores necessitassem, na quantidade necessária, quando necessário e onde necessário (HARRIS et al., 2002).

Esta fase está pautada no conceito de um sistema enxuto de movimentação de materiais proposto por Harris et al. (2002), permitindo que a empresa consiga implementar e sustentar o sistema dentro de sua planta.

Atividade 2.1 – Definir a Rota de Entrega de Abastecimento das Células.

A definição da rota de entrega para o abastecimento das células de montagem com peças do mercado de peças compradas é a primeira atividade da fase 2.

Recomenda-se que a entrega de peças do mercado para as células seja feita através de rotas definidas de entregas que usam corredores de uma mão ou duas mãos para as entregas de materiais. A rota de entrega deve consistir de paradas definidas, pontos de entrega nos pontos de uso para cada peça e horários e quantidades precisas para as entregas de materiais. É indicado sinalizar claramente os corredores no chão da planta e incorporar desenhos visíveis na forma de flechas no chão para demonstrar a direção do trânsito (HARRIS et al., 2002).

Há a tendência, no planejamento de novas construções, de se deixar cada vez menos área para corredores. Deve-se prestar bastante atenção quando do dimensionamento da largura ou extensão dos mesmos, a fim de que se evite o seu uso para o armazenamento de materiais. Estas são consideradas áreas não produtivas, e cada metro quadrado usado para este fim é considerado como uma perda para a produção (MOURA, 2005). Porém, corredores devem considerar o fluxo de equipamentos de transporte de modo que nenhum elemento obstrua a passagem reduzindo a fluidez.

A empresa deve ser cuidadosa ao assegurar que os corredores sejam seguros e eficientes. Deve-se evitar que veículos de entrega de materiais estejam em outros lugares, que não nos corredores, com exceção de uma causa ou permissão especial. Os veículos de entrega de materiais devem também ter a circulação livre, pois isto permite que os operadores de rota façam entregas de maneira consistente utilizando trabalho padronizado.

Deve-se utilizar o leiaute atual do chão de fábrica para estabelecer uma ordem inicial e paradas e pontos de entrega para a célula de trabalho. É importante observar as distâncias entre as paradas, pois isso determina precisamente os tempos de viagem para a rota do operador.

Os pontos de entrega devem ser diferentes dos pontos onde o carrinho elétrico normalmente faz sua parada, ou seja, os locais de parada para entrega. Isso acontece porque é recomendado planejar os locais de paradas onde o material pode ser entregue em ambos os lados do corredor e para várias células de trabalho.

Atividade 2.2 – Selecionar o Método de Transporte para Entregar as Peças.

A segunda atividade da Fase 2 é a seleção do método de transporte para entregar as peças. Segundo Moura (2005), alguma atenção deve ser dada às alternativas de transporte, ou seja, o projetista de uma indústria não deve se influenciar pela facilidade do transporte, mas sim, se ele é economicamente viável e se há alternativas de transporte além da escolhida.

De acordo com Harris et al. (2002), há muitos métodos diferentes e mais de um tipo apropriado para a mesma planta.

O trem logístico consiste numa série de carretas enfileiradas que são geralmente puxadas pelo próprio abastecedor, a pé ou por um carrinho elétrico, dependendo principalmente da carga que será tracionada. A utilização de carrinhos elétricos é normalmente o método mais eficiente quando existe uma distância considerável do mercado de peças compradas aos pontos de entrega e um número considerável de peças que precisam ser transportadas. O método a pé, no qual o movimentador de materiais empurra uma carreta transportando as peças, é melhor utilizado quando a área de produção está muito próxima ao mercado de peças compradas e quando as peças são compactas e leves.

Os trens logísticos podem assumir diferentes tamanhos e configurações, permitindo variações na capacidade de carga e mobilidade. Pode-se classificá-los basicamente em 3 tipos (MOURA, 2005):

- **Comboio pequeno:** carretas de 420x620 mm, ideais para o transporte de componentes pequenos (relês, passadores de cabos, amortecedores, etc.). Permitem a utilização de corredores mais estreitos no chão-de-fábrica devido à sua maior mobilidade.
- **Comboio médio:** com carretas de 620x820 mm, possuem maior capacidade de carga que os comboios pequenos, porém já não são tão flexíveis na sua movimentação.

- **Comboio grande:** carretas de 820x1220 mm, utilizadas para a movimentação de materiais grandes, paletes por exemplo. Necessitam de corredores largos para deslocarem-se entre os supermercados e as células de produção.

A escolha do tamanho do trem logístico depende de fatores como: tamanho das embalagens dos materiais a serem transportados, tempo de ciclo do abastecedor e espaço disponível para movimentação entre as células. A melhor forma de definir qual será a melhor configuração para se utilizar na prática é preparar protótipos de trens logísticos que se desejam testar e carregá-los com os diferentes contêineres a serem usados na célula de produção.

Plantas devem restringir o uso de empilhadeiras, permitindo que elas permaneçam no chão da fábrica somente em ocasiões excepcionais, como a construção ou movimentação de equipamentos. Uma empilhadeira é cara, é poluidora do ar, exige corredores largos, pode causar sérios acidentes e não é um método eficiente de movimentação de materiais porque somente pode mover peças por paletes completos mesmo quando as áreas de produção poderiam ser melhor atendidas através da entrega freqüente de pequenas quantidades (HARRIS et al., 2002).

A principal vantagem dos trens logísticos em relação ao uso de empilhadeiras é que, enquanto as últimas funcionam como se fossem táxis, atendendo à pedidos pontuais de acordo com a necessidade momentânea, os trens atuam como um ônibus, com rotas e horários definidos pelo ritmo de produção. Desse modo, o trem logístico alia maior capacidade de abastecimento com menor distância percorrida, gerando alta produtividade, redução de custos e simplificação do fluxo de materiais no chão-de-fábrica.

Atividade 2.3 – Determinar se a Rota é Acoplada ou Desacoplada ao Carregamento do Método de Transporte Definido.

Após a definição do método de transporte para entregar as peças, a última atividade da Fase 2 visa determinar se a rota será acoplada ou desacoplada ao carregamento dos veículos de transporte.

O trabalho envolvido na entrega de materiais às células possui duas partes: carregar o veículo de transporte com os materiais necessários, de acordo com os sinais de puxada coletados no

último percurso da rota, e dirigir o mesmo por toda a rota para entregar peças. Tanto o carregamento como a entrega podem ser feitos pelo operador da rota em uma rota acoplada, ou o trabalho pode ser dividido, com um atendente de mercado carregando as peças em uma rota desacoplada.

Uma rota acoplada indica que o abastecedor será responsável pelo circuito do equipamento utilizado para transporte e também pelo seu reabastecimento com contêineres cheios no mercado de peças compradas, de acordo com a necessidade das células de produção. Já a rota desacoplada sugere que o abastecedor realizará apenas as tarefas que compreendem o circuito logístico, a parte de carregamento dos equipamentos de transporte no mercado será executada por outro operador (HARRIS et al.,2002).

De acordo com Moura (2005), empresas que atuam com grande número de peças devem iniciar com uma rota desacoplada do carregamento das carretas.

4.2.3. Fase 3 – Definição do Sistema de Programação de Abastecimento

Nas fases anteriores, foi abordado o fluxo de materiais e operadores para apoiar o fluxo do produto através da célula. É necessário agora tratar do estabelecimento de um fluxo de informação a partir do cliente. Na Fase 3 será abordado o estabelecimento de um sistema de programação para abastecimento das células de manufatura.

O ponto principal do sistema de movimentação de materiais é levar às áreas de produção a quantidade exata de peças necessárias, quando necessário. Então, pensando em um sistema de sinalização, inicia-se com o volume de materiais necessário por unidade de tempo. O sistema de entregas deve ser projetado com a capacidade de apoiar os objetivos de produção, conforme determinado pelo cálculo do *takt time*.

Atividade 3.1 – Instalar um Sistema de Informação para Disparar e Controlar o Reabastecimento de Peças.

A primeira atividade da fase 3 está dividida em duas tarefas, e consiste na instalação de um sistema de informação que dispare o reabastecimento de peças e controle a quantidade de entregas de materiais nas células.

Poucas plantas hoje possuem a manufatura enxuta completamente instalada. Um sistema enxuto de movimentação de materiais pode trabalhar bem utilizando MRP, contanto que a utilização máxima de peças por intervalo de entrega seja cuidadosamente calculada e que o sistema de entrega tenha a capacidade de apoiar as células em picos de produção.

Porém, o sistema de movimentação de materiais instalado na empresa trabalharia melhor se o mercado de peças compradas estivesse regulado por sinais de puxada da célula. Desta forma, seria possível controlar precisamente os tempos e as quantidades de peças entregues às células, permitindo à empresa rastrear materiais e manter o estoque sob controle.

Tarefa 3.1.1: Implementar sinais de puxada.

A primeira tarefa desta atividade é a implementação de sinais de puxada que possibilitem a cada célula puxar do mercado de peças compradas somente o material necessário.

Sinais de puxada permitem a uma célula de trabalho indicar a necessidade de reabastecimento de peças. O objetivo da sua utilização é sinalizar aos movimentadores de materiais a necessidade de abastecimento de materiais, do mercado de peças compradas às células. Sinais de puxada existem em diversas formas, como sinais *andon*, embalagens de peças vazias e cartões *kanban*, além de inúmeros sinais eletrônicos (HARRIS et al., 2002).

Os sinais *andon* são apropriados para itens grandes e volumosos, que são difíceis de serem incluídos em uma rota de entrega padrão por causa do seu tamanho. Materiais puxados com um sinal *andon* são normalmente entregues com base na necessidade, criando um sistema denominado reabastecimento com intervalo variável/ quantidade fixa.

A utilização de embalagens vazias como sinais de puxada é possível somente quando a embalagem é única ou exclusiva com relação a uma peça (*part number*) e quando o local de estoque está à vista do departamento consumidor. Por única, quer-se dizer que a peça é a única peça na planta que se ajusta dentro daquela embalagem. Uma etiqueta em uma embalagem de uso geral não a torna única, pois a etiqueta pode ser alterada.

Kanban é a palavra japonesa para sinal ou quadro de sinais, e um cartão *kanban* é literalmente um cartão que contém informação, incluindo o nome e número da peça, processo

consumidor, etc. Ele tem duas funções principais: sinalizar a necessidade de reposição do mercado de peças aos fornecedores e sinalizar a necessidade de reabastecimento de componentes no ponto-de-uso ao abastecedor. O cartão, freqüentemente protegido em um envelope plástico transparente, é anexado a cada embalagem do material. Anexando cartões *kanban* às embalagens, uma planta pode utilizar as embalagens genéricas de tamanho padrão, que podem ser entregues em mais de um local e armazenar peças diferentes. Cartões *kanban* são eficientes com relação ao custo, fáceis de serem alterados e manuseados. Conforme aponta RUSSOMANO (2000), o aspecto mais significativo do sistema *kanban* é que ele é inteiramente visual e automático.

A empresa deve definir qual sinal de puxada implementar de acordo com as características dos produtos nela produzidos. Embora com maneiras diferentes quanto à forma de sinalizar o abastecimento de peças, as três técnicas encontram oportunidades específicas de melhor desempenho, cabendo ao usuário escolher a que melhor se adapte ao seu processo de produção.

Tarefa 3.1.2: Estabelecer o número de sinais de puxada para cada peça.

A segunda tarefa desta atividade é o estabelecimento do número de sinais de puxada para cada peça. O dado sobre consumo por unidade de tempo é o que conecta o sistema de movimentação de materiais ao ritmo de produção de uma célula, e esse número deve ser calculado quando as células estão operando em seu limite. Uma vez que esses ritmos são calculados e as rotas desenvolvidas, a entrega opera completamente com base no reabastecimento. O operador de rota somente entregará as peças para as quais ele tem sinais de puxada para cada ciclo de entrega.

O cálculo do número de sinais de puxada (*kanbans*, sinais *andon*, embalagens vazias) exige quatro tipos de informação (HARRIS et al., 2002).

- A freqüência de entregas;
- Identificação da rota, como acoplada ou desacoplada;
- A quantidade máxima de peças a serem entregues a cada ciclo de entrega (que é proporcional a taxa de utilização máxima por hora); e
- A quantidade padrão de peças por embalagem a serem entregues.

É essencial entender a diferença que a utilização de rota acoplada ou desacoplada faz no número de sinais de puxada no sistema. Desta forma, uma rota acoplada exige sinais de puxada no sistema três vezes a frequência de entrega, pois há uma hora sendo entregue, uma hora de material na célula e uma hora de sinais de puxada sendo reabastecidos. Uma rota desacoplada exige sinais de puxada para quatro vezes a frequência de entrega, pois há uma hora sendo entregue, uma hora de material na célula, uma hora de sinais de puxada sendo reabastecida e uma hora sendo separado no mercado.

Atividade 3.2 – Determinar a Frequência de Entrega de Material às Células.

A última atividade da Fase 2 é a determinação da frequência de entrega de material às células. Esta é considerada uma atividade importante, pois quanto mais frequentes forem as entregas, menos estoque haverá no sistema e mais rápido o sistema irá responder às mudanças nos pedidos de produção.

Porém, entregas frequentes acarretam maiores custos e exigem maior esforço do operador da rota. Ainda, exigem a colaboração dos fornecedores para reduzir o tamanho das embalagens se os estoques forem reduzidos drasticamente, sem o trabalho extra no mercado de peças compradas de transferir as peças de embalagens maiores ou menores.

Desta forma, deve haver um equilíbrio entre a utilização mais eficiente de recursos de movimentação de materiais (onde longos intervalos e grandes embalagens são melhores) e a minimização dos custos de estoques (onde pequenos intervalos com pequenas embalagens são melhores), de acordo com as características da empresa (HARRIS et al., 2002).

CAPÍTULO 5

5. RECOMENDAÇÕES PARA A EMPRESA

5.1. Considerações sobre a Sistemática para a Aplicação na Empresa

A sistemática apresentada é uma proposta para a empresa estudada, servindo como base para a implementação ou otimização do sistema de movimentação de materiais.

A mesma pode ser aplicável na empresa analisada e possivelmente pode ser generalizada para outras empresas. As empresas que são menos estruturadas, em termos de gestão organizacional e dos processos, terão lacunas maiores e demandarão maiores esforços caso venham a adotar a sistemática de movimentação interna de materiais.

Ressalta-se, conforme apresentado por Jackson e Jones (1996), que o processo de implantação de diretrizes que sustentam a adoção de uma estratégia *lean* requer um ciclo de implementação e que as práticas e ferramentas devem ser introduzidas de modo estruturado e planejado. Deste modo, é importante que um plano de implementação seja desenvolvido pela empresa, onde podem constar um resumo das condições atuais e futuras do sistema de movimentação de materiais, um programa de implementação e o registro de metas quantitativas e os resultados. Através do plano de ação será possível medir o progresso obtido e direcionar novas ações caso se considere necessário.

Após a implementação, é importante a busca pela estabilização por meio da padronização e o estabelecimento de sistemas de auditoria no sistema de movimentação de materiais. A experiência mostra que a melhor e mais eficaz maneira de manter as mudanças implementadas é através do monitoramento e controle dos processos diariamente e, também, de um processo formal de auditoria periódica.

A partir da revisão bibliográfica e do estudo de caso, propôs-se uma sistemática onde foram abordados aspectos relacionados ao sistema de armazenagem, sistema de abastecimento das células de manufatura e sistema de programação de abastecimento. Moura (2005) ressalta a

importância de não se considerar nenhum destes segmentos em separado, porque pequenas mudanças em qualquer um deles acarretam em uma reação em cadeia nos demais.

As principais práticas e ferramentas propostas na sistemática são:

- a) relacionadas ao Sistema de Armazenamento: definição sobre a centralização ou descentralização do mercado de peças compradas; dimensionamento da quantidade máxima e mínima de estoque para cada item; escolha do meio de armazenamento para estocar peças; desenvolvimento de um sistema de endereços; estabelecimento de procedimentos para o gerenciamento do estoque e disposição e dimensionamento do estoque no ponto-de-uso.
- b) relacionadas ao Sistema de Abastecimento: definição da rota de entrega de abastecimento das células; seleção do método de transporte para entregar as peças e determinação se a rota é acoplada ou desacoplada ao carregamento do método de transporte definido.
- c) relacionadas ao Sistema de Programação de Abastecimento: instalação de um sistema de informação para disparar e controlar o reabastecimento de peças e determinação da frequência de entrega de material às células.

5.2. Recomendações para a Empresa com Base na Sistemática Proposta

Com base na sistemática proposta e na análise e discussão dos resultados relacionados ao estudo de caso, são feitas recomendações para a empresa visando dar diretrizes ou complementar o atual sistema de movimentação de materiais, de modo a favorecer a implementação de células de manufatura e dos princípios da manufatura enxuta.

Na empresa estudada foi feito um grande esforço na implementação de células de montagem. O leiaute celular possui um conjunto de características e condições favoráveis que permitem dar sustentação aos princípios da manufatura celular. Porém, pouco foi feito com relação à adequação do sistema de movimentação de materiais à nova estrutura implementada.

A empresa estudada atualmente possui um sistema de armazenamento centralizado para todas as peças compradas e para a maioria das peças fabricadas na empresa. Na transição de linhas de montagem para células, foi realizado também um grande trabalho para redução das embalagens e padronização das mesmas, de modo que as peças fossem armazenadas em

caixas plásticas e/ou papelão dimensionadas para a demanda da célula. Atualmente, no almoxarifado, as embalagens ficam dispostas no chão. Já nas células de montagem, existem prateleiras para fluxo, onde são dispostas as embalagens. Com relação às rotas de entrega, buscou-se estabelecer rotas periódicas de entrega, porém, operacionalmente as mesmas não existem. Como meio de sinalização de necessidade de reabastecimento de peças, a empresa utiliza folhas contendo a descrição dos tipos de peças e a quantidade necessária. Estas são entregues ao operador da rota e encaminhadas pelos mesmos ao almoxarifado.

Conforme pode ser observado no estudo de caso, a empresa adota algumas práticas e ferramentas propostas na sistemática relacionadas às 3 fases sugeridas: sistema de armazenamento, sistema de abastecimento e sistema de programação de abastecimento. Porém, existem oportunidades de melhoria como um todo para o sistema de movimentação de materiais atualmente implementado.

Na seqüência são descritas em detalhes as principais recomendações para a empresa com base nas 3 fases propostas na sistemática.

5.2.1 Recomendações Relativas à Fase 1

Com relação ao sistema de armazenamento, a primeira recomendação à empresa diz respeito à seleção das embalagens para acondicionar as peças compradas. A sistemática propõe, como meio correto de armazenamento, a utilização de embalagens compatíveis com o lote de produção, no menor tamanho possível e que facilitem a pegada e montagem por parte do operador. Na empresa estudada, para o caso do sistema de armazenamento em *Flat Storage*, foi realizado um grande trabalho para redução das embalagens e padronização, de modo que as peças fossem armazenadas em caixas plásticas e/ou papelão dimensionadas para a demanda da célula. Porém, para o caso do sistema de armazenamento em Itens Empilháveis, não houve alteração significativa. Apesar de ser necessário o armazenamento em paletes para uma significativa quantidade de peças, recomenda-se à empresa uma revisão dos itens alocados em paletes, visando a readequação para embalagens menores e o gerenciamento FIFO, que atualmente não ocorre.

Outra recomendação diz respeito ao tipo de estrutura utilizada para armazenar as embalagens. De acordo com o proposto na sistemática, quando possível é interessante a utilização de *flow*

racks. A utilização de paletes deve ser considerada somente para peças grandes e/ou muito pesadas, ou quando a embalagem padrão é muito grande. No caso estudado, com relação ao sistema de armazenamento em *Flat Storage*, as embalagens ficam dispostas no chão, o que facilita o gerenciamento visual e proporciona o FIFO. Porém, a área disponível para armazenamento das peças se torna significativamente grande. Desta forma, recomenda-se à empresa a utilização de *flow racks*, permitindo, da mesma forma, uma boa gestão visual e o FIFO, além de reduzir significativamente a área necessária para armazenamento e o número de peças danificadas.

Com relação aos procedimentos para reagir a estoques além dos níveis máximos e mínimos, a empresa estudada possui uma área adjacente para alocação de estoques além do nível máximo, porém geralmente as peças tornam-se obsoletas, devido à sua má localização e ausência de sinalização. De acordo com o proposto na sistemática, recomenda-se à empresa utilizar um quadro que indique claramente o que está na área, o motivo de estar lá e um plano para retirar o material da área de excesso. A empresa também poderia desenvolver um sistema para retirar peças da área de excesso e colocá-las na área correta do mercado.

Na empresa estudada, com relação ao armazenamento das peças no ponto-de-uso da célula, houve uma redução significativa no estoque em processo com a transição de linhas para células de montagem, proporcionando ganhos consideráveis em área. Porém, isto decorre ao fato de grande parte das peças, armazenadas anteriormente adjacente às linhas, terem sido realocadas para a área do almoxarifado. Desta forma, de acordo com o indicado na sistemática, como principal recomendação à empresa, indica-se realizar um trabalho juntamente aos fornecedores, visando o fornecimento de peças em quantidades menores, de modo que a quantidade de estoque de peças compradas no almoxarifado possa ser reduzida.

Por último, é importante que após a implementação dos elementos propostos para o sistema de armazenagem, a empresa implemente um sistema de auditoria para o mercado de peças compradas, a fim de verificar o cumprimento das ações por parte dos operadores. Para isto, sugere-se atribuir ao atendente de mercado a tarefa de averiguar diariamente através de auditorias visuais. Além das auditorias diárias, sugere-se que uma auditoria escrita seja completada semanalmente pelo supervisor do Controle de Produção em colaboração com o atendente de mercado. Nesta, por exemplo, podem-se verificar itens como: se o material está em seu devido local, se existe uma área designada para deixar os equipamentos quando a rota

é completada, se a caixa para depósito de cartões *kanban* está sendo utilizada e se todas as prateleiras estão claramente etiquetadas.

5.2.2 Recomendações Relativas à Fase 2

A principal recomendação à empresa, com relação ao sistema de abastecimento, diz respeito ao estabelecimento de rotas de entrega. A sistemática propõe que a entrega de peças do mercado para as células ocorra através de rotas definidas, consistindo de paradas e pontos de entrega definidos para cada peça. É importante a sinalização clara dos corredores com uma simbologia adequada e a incorporação de desenhos visíveis na forma de setas no chão para demonstrar a direção do fluxo. No caso estudado, com a implementação de células de manufatura, buscou-se definir rotas fixas para os veículos, assim como revisar e criar pontos fixos de entrega de materiais. Porém, operacionalmente as mesmas não funcionam. Tanto a rota quanto os pontos de entrega não estão claramente identificados, assim como observou-se que muitas vezes os corredores estavam obstruídos. Não existe também uma frequência definida de entrega. Desta forma, recomenda-se à empresa um trabalho buscando estabelecer uma rota precisa de entrega, como trabalho padrão definido e com as devidas indicações de trajeto e pontos de parada visando facilitar o fluxo.

É importante que a rota de entrega e as ações do operador da rota estejam devidamente padronizadas e sejam auditadas para que o trabalho seja exercido o mais eficientemente possível e possa ser aprimorado (ROTHER & HARRIS, 2001). No caso estudado, observa-se que praticamente nenhuma atividade relacionada ao sistema de abastecimento é governada por operações padrão e por auditorias. Sugere-se à empresa o desenvolvimento de folhas de trabalho padrão, de modo a registrar todas as informações sobre as tarefas a serem executadas e os tempos para cada uma das atividades realizadas durante o percurso da rota. Com a folha de trabalho padronizada desenvolvida, aconselha-se utilizar os tempos padrão anteriormente calculados para determinar o tempo necessário para a rota de abastecimento. Com isto é possível balancear o trabalho dos operadores e estabelecer o número necessário para operar a rota.

Por último, é importante estabelecer uma auditoria das rotas de entrega, através do gerenciamento sobreposto, no qual o operador, o supervisor e o gerente do Controle de Produção realizam a auditoria juntos (HARRIS et al., 2002). Algumas questões que podem

ser verificadas na auditoria são: se as paradas da rota estão devidamente identificadas, se todos os materiais dos pontos de entrega estão devidamente identificados, se há registros de problemas no veículo de entrega, se os sinais de puxadas e as embalagens retornáveis estão em seus devidos lugares e prontos para serem apanhados, se o operador de rota tem as instruções de trabalho padronizadas e se todos os materiais são entregues nos seus devidos locais de entrega.

5.2.3 Recomendações Relativas à Fase 3

Com relação ao Sistema de Programação de Abastecimento, a principal recomendação à empresa diz respeito à implementação de sinais para reabastecimento. É proposto na sistemática que se utilizem sinais de puxada a fim de regular o mercado de peças compradas.

No caso estudado, a programação das peças a serem abastecidas na célula ocorre sob pedido do ponto-de-uso, sendo a única etapa do processo onde a produção é puxada. Como meio de sinalização de necessidade de peças, a empresa utiliza folhas contendo a descrição dos tipos de peças e a quantidade necessária, sendo que o abastecedor interno de cada célula preenche a folha à mão com os pedidos e entrega para o operador da rota. Porém, nota-se com frequência o acúmulo de estoque ao redor das células. Isto ocorre principalmente devido à dificuldade de controle que este método proporciona, já que os abastecedores internos são quem definem o que pedir, ocorrendo de pedirem quantidades maiores que as necessárias, já prevendo a utilização na célula.

Desta forma, recomenda-se à empresa a utilização de *kanbans* como sinais de puxada. A utilização deste irá permitir um maior controle e gerenciamento das peças a serem entregues nas células. A utilização de embalagens vazias como sinais de puxada não é recomendada para o caso estudado, já que a embalagem não é única ou exclusiva com relação a uma peça (*part number*). Já sinais *andon* são recomendados para itens grandes e volumosos, que são difíceis de serem incluídos em uma rota de entrega padrão por causa do seu tamanho, que não é o caso da empresa estudada.

Ressalta-se também a importância de se realizar a auditoria dos sinais de puxada, de modo a assegurar que todos os cartões estejam em seus devidos lugares. Nos primeiros estágios da implementação de um sistema *lean* de movimentação de materiais, recomenda-se auditar

todos os sinais de puxada diariamente. Somente após as rotas serem bem estabelecidas, pode-se reduzir a frequência das auditorias para semanalmente. Ao longo do tempo, o número de problemas identificados nas auditorias pode ser usado para definir se a auditoria deve ser mais ou menos freqüente.

Existem muitos métodos para auditar os cartões de puxada. O método mais simples, utilizado para auditar os cartões de puxada, é uma planilha eletrônica que demonstra os números das peças e o número de cartões da puxada para cada peça ativa no sistema. O melhor momento para fazer a auditoria é quando a rota não estiver operando.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As novas exigências do mercado observadas nas últimas décadas forçaram as empresas mundiais a investirem significativamente em métodos e sistemas de aprimoramento de seus processos produtivos. As empresas, para tornarem-se competitivas, precisam produzir lotes cada vez menores de uma ampla variedade de produtos com preços compatíveis, qualidade intrínseca e atendimento do prazo de entrega.

Diante desta necessidade, empresas vêm amplamente implementando os conceitos derivados do Sistema Toyota de Produção, e com isso transformando leiautes funcionais e lineares em leiautes celulares. A implementação da manufatura celular, entretanto, geralmente demanda uma alteração no sistema de gerenciamento da empresa. Pelo fato de a manufatura celular ser apenas um dos conceitos nos quais se baseia o STP, existem ainda muitas possibilidades de melhorias a serem identificadas e implantadas nas áreas produtivas da empresa. Uma modificação comum e essencial, decorrente da implementação deste sistema de produção, é com relação ao sistema de movimentação de materiais.

Dentro do contexto demonstrado, o presente trabalho apresentou uma sistemática para a movimentação de materiais como apoio às células de montagem em um ambiente *lean*, objetivo geral desta dissertação. Os objetivos específicos foram alcançados e foram fundamentais para a concepção da sistemática. Basicamente, a pesquisa teve duas diferentes fontes de informações. A revisão bibliográfica, que forneceu uma visão de uma série de conceitos associados às células de manufatura e movimentação de materiais, permitindo avaliar as relações existentes entre os mesmos. O estudo de caso, que reuniu o pesquisador com informações referentes à utilização da manufatura celular em uma unidade de manufatura de eletrodomésticos. A partir do estudo de caso, analisou-se uma situação real de implementação da manufatura celular e sua conseqüente influência no sistema de movimentação de materiais. Pode-se concluir que o leiaute celular atualmente implementado na empresa possui um conjunto de características e condições favoráveis que permitem dar sustentação aos princípios da manufatura celular e proporcionou melhorias no processo quando comparado ao sistema anteriormente implementado. No entanto, verificou-se que para

que haja um melhor aproveitamento dos benefícios que a célula se propõe, é necessária a readequação do sistema de movimentação de materiais, de modo que este pudesse suportar a produção em células. Alguns elementos, relacionados ao sistema de armazenamento, sistema de abastecimento de materiais e sistema de programação de abastecimento necessitavam ser aperfeiçoados.

A sistemática proposta foi estruturada em fases que foram detalhadas em atividades, com o objetivo de fornecer subsídios suficientes para o seu pleno entendimento. Cada fase contém um momento importante e decisivo do processo de movimentação de materiais. A primeira fase, referente à definição do Sistema de Armazenamento, se caracteriza pelo estabelecimento de um sistema eficiente que armazene e controle as peças necessárias, baseado na utilização de um mercado de peças compradas. Logo após, a sistemática apresenta a segunda fase, referente à definição do Sistema de Abastecimento, onde prevê como mecanismo para alimentar eficientemente as células, o desenvolvimento de um sistema de abastecimento baseado em rotas de entrega precisas que movimentem todos os materiais na planta. Por fim, a última fase, referente à definição do Sistema de Programação de Abastecimento, propõe a utilização de sinais de puxada, fundamental para integrar o novo sistema de movimentação de materiais ao sistema de gerenciamento de informação.

A sistemática proposta apresenta aspectos importantes para a movimentação de materiais visando as células de manufatura: definição sobre a centralização ou descentralização do mercado de peças compradas, dimensionamento do número máximo e mínimo de estoque para cada item, escolha do meio de armazenamento para estocar peças, estabelecimento de procedimentos para o gerenciamento do estoque, definição da rota de entrega de abastecimento das células, seleção do método de transporte para entregar as peças, instalação de um sistema de informação para disparar e controlar o reabastecimento de peças e determinação da frequência de entrega de material às células.

Uma sistemática otimizada de movimentação de materiais necessita conciliar flexibilidade para mudanças repentinas, agilidade no atendimento das necessidades, baixos custos de movimentação e estoque, organização e precisão. Para tal, buscou-se, na proposição da sistemática, o atendimento a estes requisitos, considerados também pela manufatura enxuta.

A partir deste ponto, serão apresentadas as recomendações para futuros trabalhos no tema, que

foram identificadas durante a realização da pesquisa.

1. Estudar a implementação do processo de movimentação de materiais proposto nesta pesquisa em um ambiente produtivo para determinar quais são os aspectos mais significativos e decisivos.
2. Pesquisar a ampliação do escopo da sistemática, com o intuito de desenvolver um trabalho de capacitação de fornecedores, com o objetivo de diminuir os problemas de qualidade, atrasos na entrega, redução de custos e baixar o estoque em processamento de matéria-prima.
3. Avaliar a interface da sistemática proposta com conceitos mais amplos da gestão empresarial, como: gestão ambiental, saúde e segurança no trabalho e responsabilidade social.
4. Avaliar a influência do *milk run* relacionado à logística externa, associado ao sistema de logística interna proposto.

Por fim, levando-se em consideração os resultados e as conclusões desta dissertação, é possível concluir que a sistemática proposta apresenta-se como uma importante ferramenta para a criação de diferenciais competitivos nas empresas que adotarem seus conceitos. Além disso, a sistemática pode ser usada como fonte de informações para cursos que discutam a manufatura celular e a sua interface com a movimentação de materiais.

REFERÊNCIAS

ARZI, Y.; BUKCHIN, J.; MASIN, M. An efficiency frontier approach for the design of cellular manufacturing systems in a lumpy demand environment. **European Journal of Operational Research**, v.134, p.346-364, 2001.

ASKIN, R. G.; GOLDBERG, J. B. Design and Analysis of Lean Production Systems. New York: John Wiley & Sons Inc., 2002.

BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre: Bookmann, 1998.

BRYMAN, A. Research methods and organization studies. London : Routledge, 1995.

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

CANEN, A. G. E WILLIAMSON G. H. Facility layout overview: towards competitive advantage. Facilities Volume 16 Number 7/8, pp. 198-203, 1998.

CHIANG, C.; LEE, S. Joint determination of machine cells and linear intercell layout. **Computers & Operations Research**, v. 44, p. 350-367, 2003.

CORRÊA, H. L., GIANESI, I. G. N., CAON, Mauro, **Planejamento, Programação e Controle da Produção**, 4^a ed, São Paulo: Editora Atlas, 2001.

CUSUMANO, M. A. **The Japanese Automobile Industry**. Cambridge: Harvard University Press, 1989.

DIALLO, M.; PIERREVAL, H.; QUILLIOT, A. Manufacturing cells design with flexible routing capability in presence of unreliable machines. **International Journal of Production Economics**, v.74, p.175-182, 2001.

DIAS, M. A. P., **Administração de Materiais**, uma abordagem logística, 4ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 1993.

DHONDT, S.; BENDERS J. Missing links: Production structures and quality of working life in the clothing industry. **International Journal of Operations & Production Management**, vol. 18, pp.1189-1204, 1998.

GHINATO, P. **A Study on the Work Force Assignment in U-shaped Production Systems**. Kobe. Tese de Doutorado da Graduate School of Science and Technology. 1998.

GRZNAR J. Part family formation for variety reduction in flexible manufacturing systems. **International Journal of Operations & Production management**, Bradford, v. 17, n. 3, p. 291-295, 1997.

GODOY, A . S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, v.35, n.2, p.57 – 63, mar/abr. 1995.

HALL, D.J.; FORD, T.Q., A quality approach to factory design. **Industrial Management and Data Systems**; Volume 98 No. 6; 1998.

HARRIS, R.; HARRIS, C.; WILSON, E. **Fazendo Fluir os Materiais**. São Paulo: Lean Institute do Brasil, 2002. 114p.

HINES, P.; TAYLOR, D. **Going Lean**. Cardiff, UK: Lean Enterprise Research Centre & Cardiff Business School, 2000.

HIRANO, H. **JIT Factory Revolution: A Pictorial Guide to factory Design of the Future**. Portland: Productivity Press, 1988.

HYER, N.; WEMMERLÖV, U. Getting Cells in Place. **Manufacturing Engineering**, v.130, n.3, p.89-97, March 2003.

HYER, N.; WEMMERLÖV, U. **Reorganizing the Factory – Competing Through Cellular Manufacturing**. Productivity Press, 2002.

HYER, N. L.; BROWN, K. A.; ZIMMERMANN, S. A sociotechnical systems approach to cell design: Case study and analysis. **Journal of Operations Management**, v.17, p.179–203, 1999.

HYER, N. L.; BROWN, K. A. The discipline of real cells. **Journal of Operations Management**, v. 17, p. 557-574, 1999.

JACKSON, T.; JONES, K. **Implementing a lean management system**. Portland: Productivity Press, 1996.

KHER, H. V.; JENSEN, J. B. Shop performance implications of using cells, partial cells, and remainder cells. **Decision Sciences**, v.33, 2002.

KRAJEWSKI, L.J. ; RITZMANN, L.T. **Operations Management, Strategy and Analysis**. 5.ed. Addison-Wesley, Reading, MA, 1999

LAKATOS, E.; MARCONI, M. **Fundamentos em metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2001.

LEE, Q. **Projeto de Instalações e Local de Trabalho**. São Paulo: IMAM, 1998.

LÉXICO LEAN: **Glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

LIAO, T Warren; CHEN, L.J.; CHEN, Z.H.; COATES, E.R., A comparison of two approaches for designing line type cellular manufacturing systems, **Integrated Manufacturing Systems**; Volume 7 No. 1; 1996.

LIKER, J. K. **O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LORINI, F. J. **Tecnologia de Grupo e Organização da Manufatura**. Florianópolis: UFSC, 1993.

LUONG, L.; HE, J.; ABHARY, K.; QIU, L. A decision support system for cellular manufacturing system design. **Computers & Industrial Engineering**, v.42, p.457-470, 2002.

MILTENBURG, J. U-shaped production lines: A review of theory and practice. **International Journal of Production Economics**, v. 70, p.201-214, 2001.

MONDEN, Y. **Toyota Production System – Practical Approach to Production Management**. Norcross: Industrial Engineering and Management Press, 1983.

MONDEN, Yasuhiro, IMAM, Produção sem Estoques uma Abordagem Prática ao Sistema de Produção da Toyota, 1984.

MOURA, Reinaldo A. **Kanban – A simplicidade no controle de produção**. São Paulo: IMAN; 1989.

MOURA, Reinaldo A. **Sistemas e técnicas de movimentação e armazenagem de materiais**. São Paulo: IMAM, 2005.

NAKANO, D.& BERTO, R. **Metodologia da pesquisa e a engenharia de produção**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção / XVIII ENEGEP 1998. Niterói, Rio de Janeiro. Anais...

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção-Além da produção em larga escala**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997. 149 p.

OLORUNNIWO, F.; UDO, G. The impact of management and employees on cellular manufacturing implementation. **International Journal of Production Economics**, v. 76, n. 1, p. 27-38, 2002.

PRINCE, J.; KAY, J. M. Combining lean and agile characteristics: Creation of virtual groups by enhanced production flow analysis. **International Journal of Production Economics**, v. 85, p.305-318, 2003.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando o Fluxo Contínuo**. São Paulo: Lean Institute do Brasil, 2001. 105 p.

ROTHER, M. SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute do Brasil, 2000. 102 p.

RUSSEL, R. **Operations Management and Student CD: International Edition**. 4^a. ed. Prentice Hall, 2002.

RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e controle da produção**. 6 ed. São Paulo: Pioneira, 2000.

SCHONBERGER, R. J. **Técnicas Industriais Japonesas: Nove lições ocultas sobre simplicidade**. São Paulo: Pioneira, 1993.

SHA, D Y; CHEN, Chien-Wen, A new approach to the multiple objective facility layout problem, *Integrated Manufacturing Systems*; Volume 12 No. 1; 2001.

SHINGO, S. **Non-stock production: the Shingo system for continuous improvement**. Productivity Press, Cambridge, MA, 1988.

_____. **O Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia industrial**. 2^a. Ed. Porto Alegre: Bookmann, 1996.

SILVA, E. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 2001.

SILVA, E. MENEZES, E. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 139 p.

SILVEIRA, G. **Layout e Manufatura Celular**. Apostila Interna no Mestrado do PPGE, UFRGS, Porto Alegre, 1998.

SLACK, Nigel; STUART, C. HARLAND, C. HARRISON, A. JOHNSTON, R.

Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 1996.

SUZAKI, Kiyoshi. **Novos desafios da manufatura: técnicas para melhoria contínua.** São Paulo: IMAM, 1996.

TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A.; BOZER, Y. A.; FRAZELLE, E. H.; TANCHOCO, J. M. A.; TREVINO, J. **Facilities Planning.** Second edition. New York: John Wiley & Sons Inc., 1996.

WEMMERLÖV, U.; JOHNSON, D. J. Empirical findings on manufacturing cell design. **International Journal of Production Research**, v. 38, p. 481-507, 2000.

YANG, Taho; SU, Chao-Ton; HSU, Yuan-Ru, Systematic layout planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities, **International Journal of Operations and Production Management**; Volume 20 No. 11; 2000.

YIN, R. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos.** Porto Alegre: Bookman, 2001.

WEMMERLÖV, U. - HYER, N. Procedures for the part family/machine group identification problem in cellular manufacturing. **Journal of Operations Management**, vol. 6, pp. 125-147, 1986.

WEMMERLÖV, U. - JOHNSON, D. J. Cellular manufacturing at 46 user plants: implementation experiences and performance improvements. **International Journal of Production Research**, vol. 35, n.º 1, pp. 29-49, 1997.

WOMACK, James P., JONES, Daniel T. & ROOS, Daniel. **A máquina que mudou o mundo.** 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

_____; _____. **Lean Thinking.** New York: Simon & Schuster, 1996.

WOMACK, James P., JONES, Daniel T., **A Mentalidade Enxuta nas Empresas,** Rio de Janeiro: Editora Campus, 2004

ZAWISLAK, Paulo A., SILVEIRA, Rodrigo, MARODIN, Giuliano. **Primeiros passos da implementação da mentalidade enxuta em empresa fornecedora no setor automotivo: em busca da redução de desperdícios e ganhos de eficiência.** *In:* Anais do VII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais (SIMPOI), São Paulo, 2004.

APÊNDICES

Apêndice A – Roteiro de Entrevista

Tópicos à serem abordados na entrevista

1. Apresentação da Empresa

Contextualização da empresa.

- Tipo de indústria;
- O que produz;
- Quantidade de funcionários;
- Fornecimento (Vertical/Horizontal);
- Capacidade de Produção;
- Participação no mercado;
- Porque resolveu implementar o Lean Manufacturing.

2. Implementação de Células de Manufatura na Empresa

Dentre as opções abaixo, quais foram as principais razões pela qual a empresa resolveu adotar a manufatura celular?

- Redução do *lead time*;
- Redução WIP;
- Melhorar qualidade do produto;
- Redução do tempo de resposta à demanda do cliente;
- Redução de tempo de deslocamento;
- Aumentar a flexibilidade da manufatura;
- Reduzir o custo unitário;
- Simplificar o planejamento e controle da produção;
- Facilitar o envolvimento dos empregados;
- Reduzir tempo de *set-up*;
- Reduzir estoque de produto acabado.

Quais foram os fatores determinantes para a escolha desta(s) linha(s) para a transformação?

Quais e quantos tipos de produtos a(s) linha(s) produz(em)?

Quais são as etapas do processo produtivo para esta(s) linha(s) (apresentar em forma de fluxograma, descrevendo todos os processos detalhadamente)?

Quais os principais problemas identificados no sistema de produção atual?

Quais foram as principais mudanças envolvidas a fim de eliminar os problemas com relação à (apresentar o que foi feito para alcançar estas mudanças, descrevendo em maiores detalhes):

a) *Reestruturação do sistema*

- Organização do processo;
- Organização de informações.

b) *Reestruturação do processo em células (agrupamento e reorganização do processo de fabricação)*

- Como a célula foi montada (qual a forma escolhida)?
- Como a célula foi dividida (processos agrupados/ número de máquinas e pessoas)?
- Como a célula é regulada para atendimento da demanda (número de pessoas)?
- Como a produção é regulada (*kanban*)?
- Como a célula é abastecida?
- Qual metodologia foi utilizada (Etapas)? Em termos de:
 - Definição time, regras e líder para a realização do projeto da célula.
 - Para as peças: listagem, volumes de produção, distribuição e previsão de demanda.
 - Coleta de dados: ciclo por peça, carga e descarga, ajustes, inspeções e troca de ferramentas.
 - Identificação do tempo disponível para produção.
 - Verificação do nível de capacidade para cada máquina da linha.
 - Definição da taxa de produção desejável.
 - Revisão do processo produtivo e seus pontos críticos.
 - Cálculo do tempo manual total (tempos para manuseio das peças nas máquinas, cargas e descarga manual, trocas manuais de ferramentas e inspeções de qualidade) e cálculo teórico do número de operadores.
 - Verificação do número de máquinas e operadores necessários.
 - Seleção e formação da equipe de operadores.

- Treinamento conceitual sobre células de manufatura.
 - Definição leiaute final.
 - Plano de ação para implementação do leiaute projetado.
 - Justificativa básica para aprovação do investimento necessário.
 - Cálculo do retorno de investimento, aprovação e prazos.
 - Movimentação das máquinas para o reposicionamento das mesmas.
 - Verificação final.
 - Avaliação contínua e melhoria do projeto.
- c) *Treinamento dos funcionários.*
- d) *Principais problemas encontrados.*

3. Benefícios da Implementação.

Quais os principais benefícios obtidos com relação à:

- a) Número de operadores;
- b) Produtividade;
- c) Estoque em processo;
- d) *Lead time*;
- e) Área ocupada;
- f) Manuseio do material;
- g) Sucata;
- h) Satisfação do cliente;
- i) Redução do custo;
- j) Atendimento.

4. Quais os Principais Fatores Críticos de Sucesso para a Implantação do Trabalho em Células.

5. Sistema de Armazenagem Utilizado pela Empresa

Qual(s) o(s) tipo(s) de sistema de armazenagem utilizado para estocar peças compradas e fabricadas:

- a) Almoxarifado (centralizado)
- b) Supermercado (descentralizado)

Existe diferença quanto ao tipo de sistema de armazenagem utilizado para:

- a) Peças compradas
- b) Peças fabricadas
- c) Peças grandes (portas, tampas, gabinetes, etc.)
- d) Peças pequenas (componentes eletrônicos, parafusos, etc.)

Qual o tipo de contêiner (flow rack, paletes, caixas) utilizado no sistema de armazenagem para estocar:

- a) Peças compradas
- b) Peças fabricadas
- c) Peças grandes (portas, tampas, gabinetes, etc.)
- d) Peças pequenas (componentes eletrônicos, parafusos, etc.)

De que forma é estabelecido o nível máximo e mínimo de estoque do sistema de armazenagem para peças compradas e fabricadas (ciclo, pulmão, segurança)?

Operação do sistema de armazenagem.

- a) Existe um sistema de endereços?
- b) Existem procedimentos para colocar e retirar as peças (FIFO)?
- c) Existem procedimentos para reagir a estoques além dos níveis máximos (área de excesso adjacente)?
- d) Existem procedimentos para reagir a níveis mínimos de estoque?

6. Sistema de Abastecimento na Empresa

7. Sistema de Abastecimento Externo

Quanto à programação das peças a serem entregues no sistema de armazenagem, esta é:

- a) Programada (ordens de entrega - MRP)
- b) Puxada do usuário (visual ou EDI)

Quanto ao local de entrega de peças compradas e fabricadas, estas são encaminhadas:

- a) Diretamente para o sistema de armazenagem utilizado pela empresa (almoxarifado, supermercado)
- b) Diretamente na célula (ponto-de-uso)
- c) Varia para peças compradas e fabricadas na empresa

Quanto à frequência de entrega das peças ao sistema de armazenagem, esta é:

- a) Em quantidade fixa e tempo variável?
- b) Em quantidade variável e tempo fixo?
- c) Algumas peças são abastecidas pelo método de *milk run*?

8. Sistema de Abastecimento Interno

Quanto à programação das peças a serem abastecidas na célula (para o caso de as peças não serem entregues diretamente na célula pelo fornecedor), esta é:

- a) Programada (ordens de abastecimento – MRP – diária, turno, horária)
- b) Puxada (*kanban*, *heijunka*, sinal visual)
- c) Pedidos do usuário (ponto-de-uso)

Quanto a forma de abastecimento na célula (para o caso de as peças não serem entregues diretamente na célula), esta ocorre:

- a) Por rotas de abastecimento periódicas
- b) Sob pedido do ponto-de-uso

Com relação à frequência de entrega das peças, estas:

- a) São entregues em quantidade fixa e tempo variável?
- b) São entregues em quantidade variável e tempo fixo?

Existem paradas e pontos de entrega definidos para as rotas?

Quanto ao transporte utilizado para o abastecimento das peças à célula, este é feito por:

- a) Carrinhos
- b) Empilhadeira
- c) Manual

Quanto ao tipo de contêiner utilizado para o armazenamento das peças na célula conforme os diferentes tipos de peças (Grandes: chapas, gabinetes; Pequenas: componentes eletrônicos, parafusos), este é:

- a) Flow Rack
- b) Palets
- c) Caixas
- d) Outro

9. Programação da Produção

Quanto à programação das peças a serem montadas na célula, esta é:

- a) Programada (ordens de abastecimento – MRP – diária, turno, horária)
- b) Puxada (*kanban*, *heijunka*)

A produção nas células é realizada por lotes ou nivelada?

Quais as principais restrições para a diminuição do tamanho de lote para a célula (conteúdo de trabalho, tempo de *set-up*, outra)?

Com relação à adequação da capacidade do sistema à demanda, existem células exclusivas para produtos de alta demanda?

10. Monitoramento

Quais os indicadores utilizados para avaliação do sistema de abastecimento que afetam diretamente o desempenho das células (por exemplo, volume de produção, índice de peças com defeitos, atraso na entrega, erros de programação).