

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**AVALIAÇÃO DE UM *LAYOUT* CELULAR IMPLEMENTADO: UM ESTUDO DE
CASO EM UMA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS**

Volnei Dalmas

Porto Alegre, 2004

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

Volnei Dalmas

**AVALIAÇÃO DE UM *LAYOUT* CELULAR IMPLEMENTADO: UM ESTUDO DE
CASO EM UMA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado
Profissionalizante em Engenharia como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Engenharia – modalidade
Profissionalizante – Ênfase Produção

Orientador: Professor Flávio Sanson Fogliatto, *Ph.D.*

Porto Alegre, 2004

Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pelo Coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Flávio Sanson Fogliatto, *Ph.D.*

Orientador Escola de Engenharia/UFRGS

Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis, *Ph.D.*

Coordenadora MP/Escola de Engenharia/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Gonçalves Amaral
PPGEP/UFRGS

Prof. Dr. Tarcisio Abreu Saurin
PPGEP/UFRGS

Prof. Dr. Flávio José Lorini
PROMEC/UFRGS

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em especial à minha esposa Júlia que, pelo amor dedicado, me animou neste processo de crescimento pessoal e profissional e à minha filha Bruna, por acreditar na competência deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos para:

- 👉 Professor Flávio Sanson Fogliatto, pela paciência, atenção e orientação nesta dissertação;
- 👉 GKN DO BRASIL, pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho, e pelo apoio e compreensão em todos os momentos, em especial aos colaboradores da unidade de manufatura de juntas fixas e da engenharia de planejamento;
- 👉 Professores e funcionários do Programa de Mestrado Profissionalizante do PPGEP da UFRGS, que demonstraram sempre interesse e atenção durante estes três anos de convivência;
- 👉 Colegas do mestrado que contribuíram, de uma forma ou outra, para o meu crescimento profissional, em especial ao colega e amigo Áureo Chiaradia.

EPÍGRAFE

"Tudo é possível àquele que crê."

Jesus Cristo

RESUMO

O objeto de estudo deste trabalho de conclusão é a avaliação de um *layout* celular implementado em uma indústria de autopeças no Rio Grande do Sul. Para tanto, propõe-se uma metodologia de análise fundamentada em conceitos teóricos e na experiência de implementação e operacionalização de *layouts* celulares do time de trabalho. As fases metodológicas propostas incluem a identificação das estratégias da empresa, do projeto de *layout* existente e suas características, da aplicação de um método de formação de família de peças e da análise estrutural, operacional, de desempenho e forma de agrupamento resultante. Neste contexto, a metodologia proposta enfatiza a avaliação de *layouts* celulares pelo prisma das metodologias de agrupamento, estrutura e desempenho das células. O estudo de caso de uma aplicação da metodologia em um estudo de caso ressaltou a importância da utilização de um método de formação de células na definição do *layout*, com vistas à melhoria do desempenho através da flexibilidade, otimização do tamanho de células e das habilidades multifuncionais da equipe.

Palavras-Chave: *Layout* Celular, Tecnologia de grupo, Indústria de autopeças.

ABSTRACT

The object of study of this work is the evaluation of an implemented cellular layout in an automotive parts industry in Rio Grande do Sul. For this one considers a cellular methodology of analysis based on theoretical concepts and the experience of implementation and operation layouts of team work's. The methodological phases proposed include the identification of the company' strategies, the project of existing layout and its characteristics, the application of a method formation family of parts; and analysis of the structural, operational, performance and form of resultant grouping. In this context, the methodology proposed emphasizes the evaluation of cellular layouts on the prism of the methodologies of grouping, structure and performance of the cells. The application of the methodology in a case study highlighted the importance of the use a method of formation cells in the definition of the layout, focusing on to the improvement of the performance through flexibility, optimization of the size of cells and the multi-functional abilities of the team.

Key word: Cellular Layout, Group Technology, Automotive Parts Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção brasileira de autoveículos (em milhares de unidades) <i>versus</i> número de montadoras no país.....	16
Figura 2: Produção de juntas fixas <i>versus</i> variedade de produtos.....	17
Figura 3: Dimensões para Classificação dos Sistemas de Produção.....	28
Figura 4: Tipos de Layout.....	29
Figura 5: Diagrama de Relacionamento de Atividades.....	32
Figura 6: Gráfico de Precedência da montagem do jateador.....	35
Figura 7: Gráfico de Precedência da montagem do jateador com 5 estações.....	36
Figura 8: Organização Física para Combinações de Volume e Variedade.....	41
Figura 9: O Desempenho dos Algoritmos de Agrupamento para Modelos Padrão.....	50
Figura 10: Matriz intermediária A' após estágio 1 no exemplo numérico.....	53
Figura 11: Sumário de resultados do estágio 2 aplicado ao exemplo numérico.....	54
Figura 12: Reorganização final da matriz de incidências com identificação das células resultantes.....	55
Figura 13: Configurações básicas de células de manufatura.....	58
Figura 14: Configuração em forma de “U” com operadores multifuncionais.....	60
Figura 15: A metodologia de implementação da manufatura celular.....	68
Figura 16: Metodologia para avaliação de layouts celulares já implementados.....	72
Figura 17: Contexto estratégico do sistema de produção em células.....	73
Figura 18: Formadores do grupo de execução e seus requisitos.....	73
Figura 19: Fatores Característicos do Layout Celular Instalado.....	74
Figura 20: Roteiro para o Levantamento dos Dados.....	75
Figura 21: Parâmetros de escolha dos métodos para a formação de células.....	76
Figura 22: Itens comparativos da escalação entre o layout proposto e o existente.....	77
Figura 23: Análise Estrutural e Operacional.....	78
Figura 24: Requisitos e Indicadores para avaliação de desempenho.....	79
Figura 25: Análise do Layout Celular Instalado.....	80
Figura 26: Sistema de Produção em Células.....	82
Figura 27: Junta Fixa.....	84
Figura 28: Layout inicial das máquinas que compõem a célula Beta.....	87
Figura 29: Layout final da célula Beta.....	94
Figura 30: Layout da célula Alfa.....	96
Figura 31: Layout da célula Beta.....	96
Figura 32: Layout da célula Delta.....	97

Figura 33: Layout da célula Zeta.....	97
Figura 34: Layout do anexo da célula Zeta	98
Figura 35: Distribuição dos modelos nas células de manufatura	98
Figura 36: Produção de Juntas Fixas (em milhares de unidades) versus variedade de produtos	99
Figura 37: Matriz B	100
Figura 38: Comparação entre resultados do Close Neighbour Algorithm e layout existente	104
Figura 39: Análise do balanço para a necessidade de duplicação de máquinas	105
Figura 40: Análise dos Recursos Humanos.....	106
Figura 41: Análise das Instalações e do Ambiente de Trabalho	107
Figura 42: Análise da Gestão.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tarefas para a construção do gráfico de precedência da montagem de um jateador.....	34
Tabela 2: Cálculo da Eficiência do Balanceamento	36
Tabela 3: Exemplo de matriz de incidências (A)	52
Tabela 4: Matriz B obtida do exemplo na Tabela 3	52
Tabela 5: Reordenação das linhas da matriz de incidências do exemplo numérico.....	53
Tabela 6: Carga de operações, máquinas e operadores do layout orientado pelo processo	88
Tabela 7: Operações versus Máquinas da Célula de Manufatura.....	91
Tabela 8: Cálculo do Tempo Manual Total.....	91
Tabela 9: Cálculo do Número Teórico de Operadores.....	92
Tabela 10: Estudo dos tempos para o balanceamento com 4 operadores.....	93
Tabela 11: Características das Células	95
Tabela 12: Reordenação da Matriz Inicial.....	101
Tabela 13: Nova Matriz Máquina versus Máquina Obtida	102
Tabela 14: Nova reordenação da nova matriz intermediária.....	102
Tabela 15: Máquinas e peças pertencentes à célula A	103
Tabela 16: Máquinas e peças pertencentes à célula B.....	104
Tabela 17: Indicadores de Desempenho das Células.....	108
Tabela 18: Benefícios Obtidos com as Células de Manufatura.....	109
Tabela 19: Comparativo de Desempenho.....	111

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 TEMA E OBJETIVOS	18
1.2 JUSTIFICATIVA PARA O TEMA E OBJETIVOS	20
1.3 MÉTODO DE PESQUISA.....	21
1.4 MÉTODO DE TRABALHO	22
1.5 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	23
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE <i>LAYOUT</i>	26
2.2 TIPOS DE <i>LAYOUT</i> FABRIL.....	27
2.2.1 <i>Layout</i> por Processo (Job Shop).....	29
2.2.2 <i>Layout</i> por Produto (<i>Flow Shop</i>)	32
2.2.3 <i>Layout</i> Celular	37
2.3 ESCOLHA DO TIPO DE <i>LAYOUT</i> EM UMA EMPRESA.....	40
2.4 MANUFATURA CELULAR E TECNOLOGIA DE GRUPO	42
2.4.1 Conceituação e Aspectos Históricos da Tecnologia de Grupo.....	42
2.4.2 Importância do Uso da TG na Manufatura Celular	44
2.4.3 Conversão para a Manufatura Celular	44
2.4.4 Formação de Células Através da TG	45
2.5 METODOLOGIAS BÁSICAS DE FORMAÇÃO DE FAMÍLIAS	46
2.6 <i>CLOSE NEIGHBOUR ALGORITHM (CNA)</i>	51

2.6.1	Desenvolvimento do Algoritmo	51
2.6.2	Vantagens e Limitações do Algoritmo	55
2.7	O <i>LAYOUT</i> CELULAR	56
2.7.1	Considerações Iniciais	56
2.7.2	Formas das Células de Manufatura	56
2.8	CÉLULAS EM FORMA DE “U”	59
2.8.1	Considerações Iniciais	59
2.8.2	Aspectos Operacionais do Projeto	61
2.9	O DESEMPENHO DAS CÉLULAS	62
2.9.1	Considerações para a obtenção do desempenho da célula	62
2.9.2	Avaliação da Eficiência do <i>Layout</i> Celular	63
2.9.3	Resultados	64
2.9.4	Fatores Limitadores do Desempenho	64
2.9.5	<i>Set-up</i>	66
2.10	IMPLEMENTAÇÃO DE CÉLULAS	67
2.10.1	Metodologias de Implementação	67
2.10.2	Estrutura Operacional	69
3	METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE <i>LAYOUTS</i> CELULARES JÁ IMPLEMENTADOS	70
3.1	APRESENTAÇÃO DO MODELO PROPOSTO	71
3.2	FASE I - APRESENTAÇÃO	72
3.2.1	Análise Estratégica	72
3.2.2	Formação do Time	73
3.2.3	Fatores Característicos do <i>Layout</i> Celular Instalado	74
3.2.4	Volume de Produção, Peças e Roteiro de Processo	74
3.3	FASE II - APLICAÇÃO	75
3.3.1	Escolha do Método de Formação da Célula	75
3.3.2	Aplicação do Método	76
3.3.3	Agrupamento Proposto pela Aplicação do Método	76
3.4	FASE III - AVALIAÇÃO	77
3.4.1	Comparação do Agrupamento Proposto com o Implementado	77
3.4.2	Análise Estrutural e Operacional	77
3.4.3	Avaliação de Desempenho	79
3.4.4	Análise do <i>Layout</i> Celular Instalado	80

4 AVALIAÇÃO DE UM <i>LAYOUT</i> CELULAR IMPLEMENTADO –	
ESTUDO DE CASO	81
4.1 ANÁLISE ESTRATÉGICA DO ESTUDO	81
4.2 TIME DE TRABALHO	82
4.3 FATORES CARACTERÍSTICOS	83
4.3.1 Unidade de Manufatura	83
4.3.2 Programação de Produção	84
4.3.3 Processamento e Coleta dos Dados	84
4.3.4 Análise de Eficiência	85
4.3.5 Modelos e Roteiros do Processo de Fabricação de Juntas Fixas	86
4.3.6 Tamanho das Juntas Fixas	86
4.3.7 Agrupamento da Peças e Operações	86
4.4 FORMAÇÃO DO <i>LAYOUT</i> CELULAR IMPLEMENTADO	87
4.4.1 <i>Layout inicial</i>	87
4.4.2 Lógica de projeto da célula Beta	88
4.4.3 Requisitos para Implantação da Célula	89
4.4.4 Projeto da célula	90
4.4.5 Balanceamento da Célula	92
4.4.6 Implementação da Célula	93
4.5 CARACTERÍSTICAS DAS CÉLULAS IMPLEMENTADAS	94
4.6 VOLUME DE PRODUÇÃO FUTURA E NOVOS PRODUTOS	99
4.7 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE FORMAÇÃO DA CÉLULA	99
4.7.1 Matriz Inicial de Incidências	100
4.7.2 Matriz B (máquina <i>versus</i> máquina)	100
4.7.3 Tabela de Reordenação das Linhas da Matriz Inicial	101
4.7.4 Matriz Intermediária Obtida	101
4.7.5 Reorganização das colunas da Nova Matriz Intermediária	103
4.7.6 Agrupamento resultante da aplicação do algoritmo	103
4.8 COMPARAÇÃO DO AGRUPAMENTO PROPOSTO COM O EXISTENTE	104
4.9 ANÁLISE ESTRUTURAL E OPERACIONAL	106
4.10 ANÁLISE DO DESEMPENHO DAS CÉLULAS	107
4.11 ANÁLISE DO <i>LAYOUT</i> CELULAR INSTALADO	109
4.11.1 Benefícios Obtidos	109
4.11.2 Dificuldades e Restrições	110

4.11.3 Agrupamento de Peça e Máquinas	110
4.11.4 Desempenho e Estrutura.....	111
4.11.5 Avaliação Final.....	112
5 CONCLUSÃO.....	113
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	114
REFERÊNCIAS	116
APÊNDICES	120
APÊNDICE A: Modelos de Juntas Fixas e Roteiro do Processo de Fabricação.....	121
APÊNDICE B: Agrupamento de Peças pelo critério de similaridade por Tamanho e Roteiros de Processo.....	123
APÊNDICE C: Agrupamento Final dos Modelos, Tamanhos e Roteiros de Processo	125
APÊNDICE D: Demanda de cada modelo para os próximos 3 anos	126
APÊNDICE E: Matriz Inicial de Incidência.....	127
APÊNDICE F: Matriz Intermediária Obtida	128
APÊNDICE G: Nova Matriz Intermediária.....	129
APÊNDICE H: Nova Matriz Intermediária Reordenada	130
APÊNDICE I: Processo de Formação da Matriz Final	131
APÊNDICE J: Matriz Final.....	133

1 INTRODUÇÃO

A realidade da indústria automotiva brasileira vem alterando-se rapidamente com a entrada de novos competidores desde meados da década de 90. O número de montadoras de automóveis dobrou e cresceu a variedade de produtos para novos modelos com novas tecnologias. Entretanto, o volume total de vendas de veículos no país não se alterou. Em decorrência disso, houve o fracionamento maior do mercado, conforme ilustrado na Figura 1. Outro fator que tem contribuído para o aumento da complexidade produtiva é o mercado de exportação, com a necessidade de modelos de produtos diferentes para o mercado local.

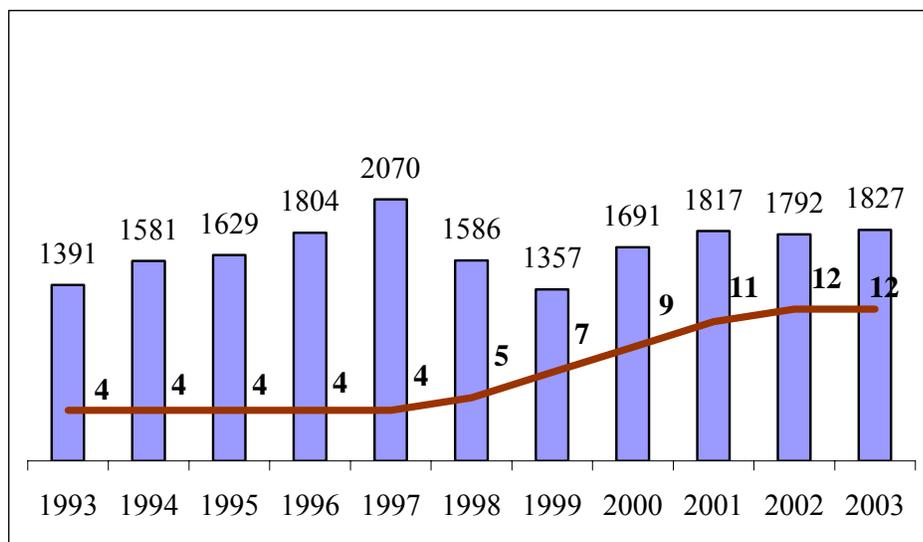


Figura 1: Produção brasileira de automóveis (em milhares de unidades) versus número de montadoras no país

Fonte: GKN DO BRASIL LTDA (2004)

De uma maneira geral, pode-se dizer que, na cadeia automobilística, tem ocorrido o desenvolvimento contínuo de novos produtos – cada vez mais complexos e com maior grau de diversificação. Desta perspectiva, a manutenção da competitividade neste tipo de indústria exige que as empresas trabalhem de forma simultânea, no sentido de produzirem uma gama cada vez mais diversificada de produtos com preços compatíveis, qualidade intrínseca, atendimento aos prazos de entrega, redução dos tempos de atravessamento, flexibilidade e inovação.

Os fabricantes de autopeças instalados no país necessitam aumentar a flexibilidade de seus processos produtivos. Para tanto, é necessária uma compreensão maior do uso do seu espaço no chão de fábrica e, como consequência, ações visando à melhoria contínua para a obtenção da eficiência. A competência administrativa da manufatura está no desafio de produzir mais modelos, com rapidez e menores custos.

Cabe destacar também, que a busca permanente de vantagens competitivas está relacionada com a necessidade de flexibilizar os sistemas produtivos, devido ao volume de novos produtos entrantes em substituição parcial dos antigos, como exemplificado para o caso de juntas fixas, um componente para veículos, na Figura 2. Neste sentido, a busca de sistemáticas que contribuam de forma efetiva para a flexibilização da produção constitui-se em tema relevante, visando à elaboração e implantação de estratégias de produção pró-ativas em empresas do ramo automobilístico nacional e internacional.

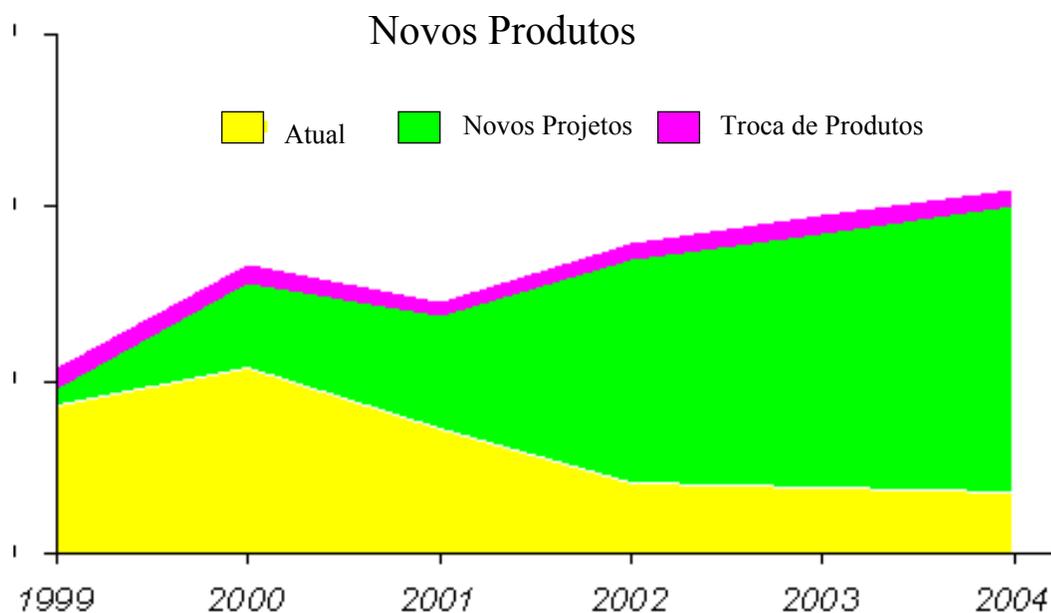


Figura 2: Produção de juntas fixas versus variedade de produtos
 Fonte: GKN DO BRASIL LTDA (2004)

Entre as alternativas de flexibilização dos sistemas produtivos, destaca-se a adoção de células de manufatura. Entre as potenciais vantagens a serem obtidas com a adoção do *layout* celular, pode-se citar: *i*) redução do tamanho dos lotes de fabricação; *ii*) redução dos tempos de atravessamento; *iii*) redução dos estoques intermediários e de produtos acabados em processo; *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 de produção nos recursos críticos da empresa.

A superioridade dos resultados do sistema fabril por célula de manufatura, comparativamente com *layouts* funcionais, é amplamente destacada na literatura acadêmica, conforme documentado em Oliveira e Carmona (2001). Como o sistema requer sincronização do trabalho e baixo estoque em processo, ineficiências são rapidamente reveladas. O sistema, entretanto, exige um grande comprometimento de toda a companhia e, muitas vezes, demanda uma alteração na cultura industrial. Uma célula de manufatura depende da habilidade dos operadores, responsáveis pelo produto do início até o final. Um dos grandes benefícios da manufatura celular é dar um propósito comum e um senso de propriedade no chão de fábrica aos operadores (WILKS, 2000).

A formação de células de manufatura a partir de *layouts* funcionais e lineares dentro da indústria de automobilística mundial é um fenômeno, advindo da análise do sucesso da manufatura japonesa, em especial atenção aos conceitos do Sistema Toyota de Produção. A funcionalidade das células de manufatura com a aplicação dos seus conceitos, disciplina, metodologia, capacitação e confiabilidade nos equipamentos trazem desafios e mudanças de postura nas companhias. A eficiência do sistema produtivo por células de manufatura na fabricação de autopeças, no cenário das condições da indústria e mercado brasileiro, atrelada ao aumento do desempenho necessário para atender à competitividade do mercado mundial, é o objeto de análise deste trabalho.

1.1 TEMA E OBJETIVOS

A formação e utilização de células de manufatura são temas amplamente discutidos e analisados na literatura acadêmica mundial. As suas aplicações no processo produtivo da indústria de autopeças brasileira provocaram alterações profundas de *layout* que,

por muitas vezes, não foram acompanhadas de um bom entendimento por parte do corpo técnico das empresas.

As metodologias de implantação de células de manufatura amplamente oferecidas na literatura técnica encontram poucos relatos de utilização prática em empresas brasileiras. Exceções são os trabalhos de Silveira (1999) e Hyer *et al.* (1999). Os planejadores de projetos de *layout* estão envolvidos, muitas vezes, nos conceitos e padrões com resoluções de visão de curto prazo. Sendo assim, a concorrência trouxe a necessidade de aumento de produtividade, com a conseqüente redução de custos e prazos, alterando o ambiente industrial na busca de soluções que tragam vantagens competitivas, mais rápidas e mais produtivas.

O tema deste estudo é a avaliação da aplicação das células de manufatura em forma de U, discutida pelo prisma das metodologias de agrupamento, estrutura e desempenho das células instaladas.

O estudo foi desenvolvido na unidade de manufatura de juntas fixas, numa indústria de autopeças instalada no Rio Grande do Sul, fornecedora principal das montadoras de automóveis instaladas no país e na América do Sul.

A utilização do trabalho em células de manufatura num ambiente de uma indústria de autopeças 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.

A manutenção do desempenho das células, por muitas vezes, é prejudicada por alterações nas famílias de produtos usadas na concepção das células e, também, por desbalanceamentos no fluxo produtivo da célula, gerando baixa eficiência produtiva. Desta forma, justificam-se estudos de avaliação de *layout* celulares atualmente em uso na indústria de autopeças.

Esta pesquisa tem como objetivo principal propor uma metodologia de avaliação de *layouts* celulares já implementados em empresas de manufatura. A proposição é ilustrada através de um estudo de caso em unidade de manufatura de juntas fixas para automóveis.

Como objetivo secundário do estudo, têm-se em reportar a aplicação prática de um método de formação de famílias em um contexto de manufatura celular.

1.2 JUSTIFICATIVA PARA O TEMA E OBJETIVOS

A literatura apresenta uma variedade de técnicas para a formação e o projeto de células de manufatura. Estas técnicas focalizam problemas específicos como, por exemplo, a formação de famílias de máquina-peça, a avaliação da eficiência do agrupamento, o balanceamento do fluxo de trabalho e a definição da linha de fluxo, isto é, a seqüência das máquinas na célula (SILVEIRA, 1999).

De acordo com os estudos desenvolvidos por Hyer *et al.* (1999), há três limitações da pesquisa atualmente disponível sobre manufatura celular que inibem uma compreensão mais plena do processo de projeto da célula: (i) a pesquisa nesta área focalizou somente alguns elementos do processo do projeto da célula, ou seja, faltam abordagens mais abrangentes; (ii) a pesquisa acadêmica sobre o projeto da célula foi baseada em metodologias matemáticas ou de simulação, deixando questionamentos a respeito do processo da execução; e (iii) os esforços de pesquisa sobre o projeto de células são pouco generalizáveis. Assim, parece haver uma necessidade crescente pelo desenvolvimento de metodologias que possam contemplar as lacunas acima.

As condições de trabalho de uma célula de manufatura na indústria brasileira de autopeças estão associadas a condições de um mercado instável e flutuante, à diversificação de produtos e montadoras e a diferentes exigências de desempenho por parte dos clientes. Em contrapartida, tem-se uma cultura organizacional orientada para a produção em massa, além de baixa qualificação da mão-de-obra operacional e administrativa. A correta observação dos fatores condicionadores da obtenção da máxima eficiência é peça fundamental no planejamento do trabalho no chão de fábrica. O esgotamento do sistema fabril pode ser obtido rapidamente se não houver esta visão clara e precisa pelo administrador fabril.

A implantação do conceito de *layout* por células de manufatura na empresa abordada no estudo de caso que ilustra esta dissertação seguiu um modelo desenvolvido a partir do *layout* por processo. A transformação do espaço do chão de fábrica se deu através do agrupamento de máquinas e peças em um *layout* celular em forma de U, com o uso da metodologia do balanceamento dos tempos das máquinas e operadores e utilizando critérios visuais de agrupamentos de produtos e máquinas em células. Criou-se um sistema de trabalho baseado no trabalho de equipe, na padronização do método de trabalho e na organização para

melhoria contínua. As vantagens obtidas comparativamente com o processo anterior foram significativas, em termos de produtividade, inventário, sucata, *lead-time* e espaço físico.

O estudo justifica-se pela proposição da aplicação de uma metodologia de avaliação de um layout celular implementado. Com a análise crítica dos procedimentos de composição do *layout* celular na empresa, na busca de patamares superiores de desempenho comparativamente até agora obtidos.

1.3 MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa adotado neste trabalho foi o estudo de caso. Para Vergara (2003), o estudo de caso tem caráter de profundidade e detalhamento além da possibilidade de ser realizado em campo ou não. É ainda circunscrito a um ou poucos objetos de análise, entendidos como pessoa, família, produto, empresa, órgão público, comunidade ou mesmo país. De acordo com Meredith (2002), o estudo de caso é apropriado para investigações exploratórias cuja compreensão de um determinado problema ainda é limitada.

O estudo de caso fornece uma explanação rica das ocorrências, identificando variáveis e seus relacionamentos de longo termo. A utilização de múltiplas fontes de evidência constitui o principal recurso de que se vale o Estudo de Caso para conferir significância aos resultados obtidos. Nesse sentido, Yin (2001) propõe que as evidências de um estudo de caso possam advir, genericamente, de seis fontes distintas: documentos, registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos.

Como justificativa para a utilização do Estudo de Caso nesta pesquisa, podem-se citar: (i) a pesquisa se propõe a compreender em profundidade a problemática do *layout* celular na empresa estudada; (ii) o tema abordado é contemporâneo e importante na indústria de manufatura; e (iii) o estudo das questões do “porquê” e “como” o *layout* celular se desenvolveu no contexto da empresa analisada.

Este trabalho também lança mão da pesquisa bibliográfica como fonte de informações relativas a tipos de *layout*, tecnologia de grupo, formação de famílias de peças e *layout* celular, metodologia de implantação e as suas características. De acordo com Vergara (2003), a pesquisa bibliográfica é feita através da coleta de dados na literatura que trata do

assunto direta ou indiretamente. Fontes típicas de consulta incluem livros, artigos, anais de congressos, teses, dissertações, jornais e internet.

Finalmente, cabe salientar que a técnica de observação participante é pertinente para esta pesquisa, pois o autor não foi apenas um observador passivo, mas um dos participantes na aplicação da metodologia de avaliação proposta do *layout* celular analisado no estudo de caso.

1.4 MÉTODO DE TRABALHO

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de um método de trabalho estruturado em cinco passos.

No Passo 1, foi feita a Análise do Referencial Bibliográfico. Neste sentido, foram feitas pesquisas em livros, artigos nacionais e internacionais, revistas especializadas, *internet*, bases de dados, documentos e arquivos da empresa, tanto em âmbito nacional quanto internacional. Este passo serviu como uma base para a constituição futura do referencial teórico do Capítulo 2 e da metodologia proposta.

No Passo 2, tem-se a constituição do referencial teórico. Após o levantamento preliminar da bibliografia necessária ao desenvolvimento do trabalho, ocorreu uma seleção das principais referências bibliográficas ligadas ao tema deste estudo.

No Passo 3, foi escolhida a Unidade de Análise do trabalho. Neste caso, partiu-se da idéia de construir um caso único – a unidade de manufatura de juntas fixas, onde estão instaladas quatro células em forma de U, local onde foram recolhidos os dados de peças e demandas futuras, analisado o arranjo de máquinas no chão de fábrica, a obtenção de medidas de desempenho e suas características significativas.

No passo 4, foi elaborada a metodologia de análise do estudo de caso, a partir da unidade de análise previamente definida.

No passo 5, a metodologia proposta foi aplicada no caso em estudo. Para tanto, procedeu-se uma coleta de dados e seu tratamento através das técnicas propostas na metodologia, descrição e análise crítica dos resultados.

1.5 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Muito embora uma série de medidas tenham sido tomadas visando garantir o caráter científico do presente trabalho, é relevante explicitar algumas limitações no que tange ao método empregado. Este trabalho apresenta certas limitações quanto ao método de estudo escolhido, as quais serão descritas a seguir.

Primeiramente é necessário mencionar que, por se tratar de um estudo de caso específico na empresa em estudo, os resultados e conclusões da pesquisa não podem ser aplicados criticamente a outras empresas, ou seja, o caso não pode ser diretamente generalizado.

Um dos pontos fracos do estudo de caso é que os efeitos do histórico e da maturidade podem confundir os resultados, assim como as alterações observadas podem ser atribuídas a outras mudanças na organização, e não necessariamente ao projeto e à execução da célula.

O fato de o autor do trabalho participar ativamente na operacionalização dos processos de administração dos recursos produtivos, principalmente, nos aspectos ligados à dimensão de eficiência, caracteriza outro fator limitante ao trabalho, uma vez que essa participação pode, ao menos teoricamente, influenciar nas análises aqui apresentadas.

Finalmente, pode-se citar que a pesquisa documental poderá também caracterizar um fator limitante, uma vez que foi lida a partir de uma perspectiva sigilosa. Os dados utilizados no trabalho são reais, mas apresentados de uma perspectiva limitada, visando elucidar e esclarecer conceitualmente o método proposto e o estudo de caso, sem que o conjunto de dados e informações pudesse ser compreendido pelos leitores de forma sistêmica – o que tenderia a prejudicar o sigilo que a empresa deseja manter. Em outras palavras, considerando-se que o estudo é de interesse direto para a empresa e visa auxiliá-la na proposição de estratégias na busca de maior compreensão do desempenho no *layout* celular, foi utilizado o material e os dados que a empresa disponibilizou e autorizou a divulgação.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa está desenvolvida em cinco capítulos.

O Capítulo 1 introduz uma compreensão da utilização de células de manufatura no ambiente da indústria automobilística brasileira e os desafios com a entrada de novos produtos no ambiente do chão de fábrica para o administrador da produção. São apresentados também o tema e sua importância, os objetivos, a metodologia adotada, as limitações e a sua estrutura.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre tipos de *layouts* adotados nas indústrias, com especial atenção a células de manufatura, metodologias empregadas para a formação de famílias, e aos tipos de arranjos físicos adotados pelo *layout* em células, com enfoque ao formato em “U”.

O Capítulo 3 traz a metodologia proposta para a avaliação de um *layout* celular já implementado.

O Capítulo 4 descreve o estudo de caso sobre a aplicação de células de manufatura em forma de U em uma empresa produtora de autopeças.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A cadeia automobilística brasileira passa por uma fase marcada por recordes de produção, grandes investimentos na instalação de novas montadoras e modernização do parque já instalado, além de novas estratégias de fornecimento e atendimento aos requisitos globais de suprimento.

Sistemas de manufatura ágeis estão nascendo como solução para sistemas produtivos com demanda pouco previsível e dinâmica, e com um alto grau de customização em seus produtos. É esta a estratégia que muitas empresas estão adotando como solução para as novas oportunidades de mercado (SANCHEZ; NAGI, 2001).

Sharifi *et al.* (2001) comentam que, na medida em que o ingresso de novas tecnologias e produtos no mercado global faz com que o futuro da manufatura seja mais mutável, necessita-se de uma manufatura capaz de atender aos múltiplos requisitos de desempenho demandados pelos produtos e serviços. O novo paradigma da manufatura é a necessidade de buscar vantagens para os novos requisitos do mercado, com uma estratégia focada num sistema integrado com pessoas, organização e tecnologias.

Black (1998) expõe que mudanças significativas estão acontecendo no projeto de sistemas de manufatura, motivadas pelas seguintes tendências:

1. Aumento do número e variedade de produtos, resultando em menores quantidades e, conseqüentemente, menores tamanhos de lote;

2. Aumento no rigor ao cumprimento de especificações, com maiores demanda por exatidão e precisão;
3. Aumento na variedade de materiais e maior utilização de materiais complexos, com propriedades diversas;
4. O custo dos materiais, incluindo movimentação de materiais e energia, continuará a ser parte principal do custo total do produto; a mão-de-obra direta representará apenas 5 a 10% do total e continuará a diminuir;
5. Necessidade de produtos mais confiáveis, motivada pelo aumento no número de ações judiciais pelos usuários dos produtos;
6. O tempo entre a concepção do projeto e o produto fabricado será reduzido através dos esforços de engenharia simultânea; e
7. Mercados globais serão alimentados por produtos globais.

O planejamento do *layout* assume uma tarefa importante na obtenção de vantagens competitivas para o atendimento dos requisitos do mercado. Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os conceitos sobre os tipos de *layouts* mais usuais com o aprofundamento na estrutura da manufatura celular.

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE *LAYOUT*

Estudos de *layout* têm muitas implicações práticas e estratégicas. A alteração de um *layout* 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.

A geração de alternativas de *layout* é um passo crítico no processo de planejamento das instalações. Segundo Tompkins *et al.* (1996), o *layout* selecionado servirá para estabelecer as relações físicas entre as atividades. As seguintes decisões podem afetar a seleção de um *layout*:

- Centralização *versus* descentralização do estoque em processo, ferramental e fornecedores;
- Trajetória fixa *versus* trajetória variável para o manuseio de materiais em processo;
- O lote de carga planejado para o sistema;
- O grau de automação usado para o manuseio; e
- O tipo de nível de controle de inventário, controle físico e controle por computador dos materiais.

Black (1998), na sua análise sobre o sistema fabril em uma empresa, constata que máquinas diferentes realizam diferentes operações e que algumas máquinas realizam operações melhor do que outras. O *layout* destas máquinas (normalmente chamado de *layout* fabril) define o projeto básico do sistema fabril dentro da empresa (BLACK, 1998).

Shingo (1996), na sua interpretação sobre *layout* de máquina e eficiência do trabalhador, afirma que o *layout* das máquinas segue o fluxo do processo produtivo. O “fluxo das pessoas”, no entanto, é inteiramente independente das máquinas e não tem a necessidade de seguir o fluxo produtivo. Na verdade, este precisa apenas levar em conta tempos variáveis dos processamentos automáticos e projetar operações para maximizar a eficiência do operador e evitar *layouts* isolados impróprios ao desempenho produtivo.

2.2 TIPOS DE LAYOUT FABRIL

Segundo Schonberger (1993), enquanto produtos nas indústrias de processamento contínuo fluem e podem ser contados em parcelas fracionárias (litros, toneladas, metros, etc.), os produtos dos demais tipos de indústria são contados em unidades inteiras (ou também descritas como unidades discretas). As unidades inteiras possuem propriedades características:

1. Elas podem ser produzidas, examinadas, armazenadas e contadas uma por vez ou em lotes de qualquer quantidade;

2. No processo de fabricação, as unidades individuais podem formar filas e ser empurradas ou empurrar-se para atender a prioridades; e

3. Podem ser necessários muitos planejadores e controladores para ajudar as unidades a percorrer o processo de fabricação, geralmente complexas e compostas de numerosos estágios.

Sistemas de Produção podem ser classificados de acordo com uma série de fatores. Alguns dos mais importantes estão listados na Figura 3 (ASKINS; GOLDBERGER, 2002).

Dimensões	Níveis
Organização Física	Produto vs. Processo
Recursos Chaves	Mão-de-Obra Intensiva vs. Capital Intensivo
Controle do Fluxo de Produção	Bateladas Discretas vs. Fluxo Contínuo
Seqüência Inicial	Por Ordem vs. Para Estoque
Autorização de Produção	Empurrado vs. Puxado
Variedade de Produto	Simple vs. Múltiplos Produtos
Volume de Produto	Tarefas por Encomenda vs. Produção em Repetitiva Escala
Estrutura de Fabricação/Montagem	Estágio Simples de Produção vs. Múltiplos Estágios
Tempo Horizontal	Periodo Simples (Estático) vs Múltiplos Periodos (Dinâmico)

Figura 3: Dimensões para Classificação dos Sistemas de Produção
Fonte: Askins e Goldberg, (2002)

Há quatro tipos básicos de *layout* que definem o sistema de organização da produção (RUSSEL, 2002; ASKINS; GOLDBERG, 2002; TOMPKINS *et al.*, 1996): processo, produto, celular e posição fixa. A Figura 4 traz uma representação gráfica dos quatro tipos de *layout*.

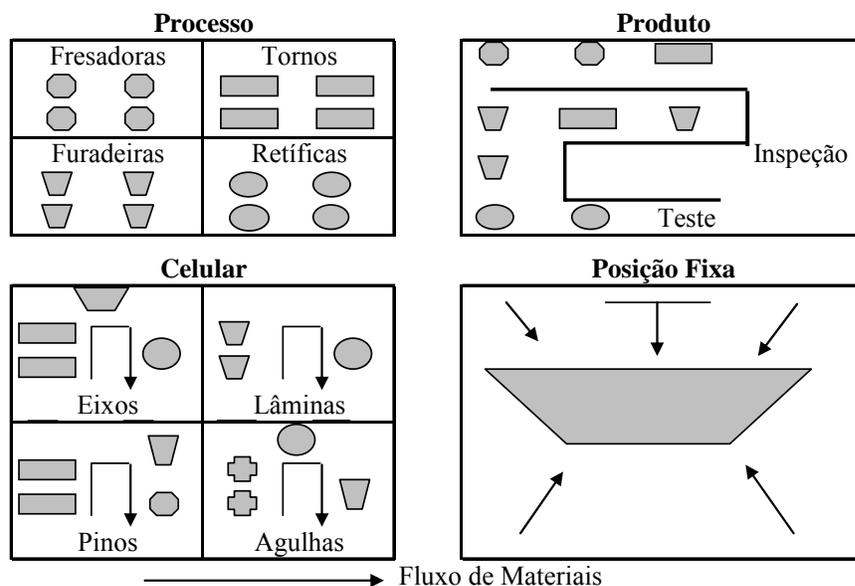


Figura 4: Tipos de Layout
 Fonte: Askin e Goldberg (2002).

O *layout* por posição fixa não será analisado neste trabalho, pois se trata de um caso especial, onde o produto permanece numa posição fixa através dos estágios de produção devido ao seu formato ou peso. Exemplos incluem montagem de aviões, construção de navios e construção de pontes repressas (GHINATO, 1998).

Este trabalho tem o foco na indústria metal-mecânica de autopeças, de manufatura de peças e montagem de conjuntos. Os tipos de *layout* mais usuais neste tipo de segmento industrial são: por processo, por produto e celular.

2.2.1 *Layout* por Processo (Job Shop)

Trata-se do *layout* mais comumente encontrado nas indústrias. Black (1998) referencia que sua característica principal é a produção de grande variedade de produtos, que resulta em pequenos lotes de produção, muitas vezes de qualidade menor que a esperada. Este tipo de *layout* também é conhecido por *Job Shop* e por *layout* funcional.

No *layout* por processo, máquinas-ferramentas são agrupadas funcionalmente de acordo com o tipo geral de processo de manufatura: tornos em um departamento, furadeiras em outro, injetoras de plástico em outro, e assim por diante (BLACK, 1998).

Para Franchischini e Fegyveres *apud* Colmanetti (2001) e Tompkins *et al.* (1996), as características do *layout* por processo são:

- As máquinas e equipamentos ficam fixos e o produto se movimenta;
- As máquinas e equipamentos são agrupados por função (montagem, usinagem soldagem, etc.);
- É adequado para cenários de grande variabilidade de produtos;
- Adequado em sistemas de produção intermitentes (por lote);
- Apresenta um PCP (Planejamento e Controle de Produção) complexo;
- Tipicamente resulta em formação de filas e lotes nas máquinas;
- Os equipamentos (máquinas) costumam ser de média flexibilidade;
- Aumenta a taxa de utilização das máquinas;
- Diversidade de tarefas pessoais; e
- Supervisão especializada é possível.

Um *layout* por processo pode trazer as seguintes desvantagens (RUSSEL, 2002; TOMPKINS *et al.*, 1996):

- Taxas de processamento tendem a ser menores;
- Tempo produtivo é perdido na troca de um produto para outro;
- Maior espaço e capital são necessários para estoques de produto em processamento, os quais ajudam as estações de trabalho a trabalhar independentemente, no caso de apresentarem diferentes taxas de produção;
- *Lead times* de produção costumam ser relativamente longos;
- Manuseio de materiais tende a ser mais custoso;
- Transporte se dá através de carros ao invés de esteiras, já que os fluxos são variáveis;
- PCP é dificultado;
- Linhas de produção longas; e

- Maiores habilidades são requeridas para acomodar a diversidade de tarefas.

Segundo Russel (2002), o *layout* por processo envolve três etapas básicas:

- 1) Coletar informações;
- 2) Desenvolver uma matriz de blocos; e
- 3) Projetar detalhadamente o *layout*.

Existem duas abordagens possíveis de determinar a localização das estações em um *layout* funcional. A primeira, de caráter qualitativo, utiliza fatores de proximidade determinados a partir da opinião de especialistas. Tais fatores representam necessidades de proximidade entre setores conforme a avaliação subjetiva dos especialistas. A segunda abordagem, de natureza quantitativa, explicita as relações entre setores através do cálculo de um indicador de volume de material transportado e distâncias percorridas.

De acordo com Russel (2002), uma matriz de blocos aloca espaços e indica a colocação de cada estação. Para descrever uma nova instalação de *layout*, a matriz necessita somente prover as dimensões das instalações e os espaços alocados (unidades de área).

Um diagrama de relacionamento das atividades, como demonstrado no exemplo da Figura 5, indica o nível da relação e a razão para cada par de estações. Este diagrama reflete a qualidade de julgamentos da equipe de especialistas (RUSSEL, 2002).

O *layout* das diversas estações deve ser feito de forma a aproximar aquelas com maior nível de relação. O uso de matrizes de preferência ou de matrizes de custo versus volume versus distância são ferramentas de auxílio à resolução do problema e na formulação de *layout* alternativo (RUSSEL, 2002).

A análise das relações e a construção dos seus diagramas são amplamente manuais; a principal regra é ir incluindo e aproximando as estações conforme a prioridade dos níveis de relação. Nem sempre se faz necessário aproximar ou afastar departamentos somente devido ao seu nível de relação, podendo utilizar sistemas de transportes como empilhadeiras e *trollers* ou transportes automáticos que facilitem a interligação entre os departamentos.

Item	Departamento	1	2	3	4	5	6	7
1	Recebimento	-	A 1	E 1	U 4	A 1	U 6	A 1
2	Fresar		-	E 1	E 1	O 4	O 4	U 5
3	Prensar			-	A 1	E 1	O 5	U 5
4	Furar				-	A 1	U 6	U 4
5	Montagem					-	A 1	E 1
6	Blindar						-	A 1
7	Expedição							-

NÍVEL	Definição
A	Absolutamente Necessário
E	Especialmente Importante
I	Importante
O	Apropriado
U	Não Importante
X	Indesejável

Código	Razão
1	Fluxo de Materiais
2	Supervisão
3	Pessoal em Comum
4	Contato Necessário
5	Conveniência
6	Isolar Barulho

Figura 5: Diagrama de Relacionamento de Atividades
Fonte: Russel (2002)

Após encontrar uma construção satisfatória do plano de blocos, o projetista do *layout* parte para uma representação detalhada, mostrando o exato tipo e forma de cada centro de atividade, o *layout* dos elementos (máquinas, mesas e áreas de estoque) e a localização de corredores, prateleiras e outros serviços. Estas representações visuais podem ser feitas em desenhos bidimensionais, modelos tridimensionais ou através do uso de programas computacionais de apoio (RUSSEL, 2002).

2.2.2 Layout por Produto (*Flow Shop*)

No sistema de manufatura de *layout* por produto, as instalações são organizadas de acordo com as seqüências de operações do produto. A linha é organizada pela seqüência de processo necessária para fabricar um único produto ou uma família de produtos (BLACK, 1998). Trata-se de um *layout* orientado para o produto com o especial propósito de agrupar as máquinas em um fluxo linear. A taxa de produção neste tipo de *layout* tende a ser alta (GHINATO, 1998).

Para Franchischini e Fegyveres *apud* Colmanetti (2001) e Tompkins *et al.* (1996), as características do *layout* por produto são:

- Fluxo suave, simples, lógico e direto;
- Pouco inventário em processo;
- Produtos fabricados em grande quantidade e semelhantes entre si;

- Utilizado em sistemas de produção contínua;
- Exige balanceamento de linha;
- PCP é mais simplificado;
- Equipamentos são dispostos de acordo com a seqüência de operações e equipamentos especiais podem ser usados;
- Tempo total por unidade é baixo; e
- Requerimentos de manuseio de materiais são reduzidos.

Um *layout* por produto pode apresentar as seguintes desvantagens (RUSSEL, 2002; TOMPKINS *et al.*, 1996):

- Grande risco de reprojeção do *layout* para produtos com vida útil curta ou incerta;
- Menor flexibilidade;
- Baixa utilização dos recursos para produtos de baixo volume;
- Paradas de máquinas para a linha;
- Ritmo lento das estações na linha;
- Supervisão geral é requerida; e
- Resulta em maiores investimentos em equipamentos.

Em um *layout* por produto, também conhecido como *layout* em linha ou *flow shop*, o produto move-se de uma estação para a próxima até o seu completo processamento no final da linha. Tipicamente um operador trabalha em cada estação, desempenhando tarefas repetitivas. As estações não operam independentes; assim a linha é tão rápida quanto à estação mais lenta (RUSSEL, 2002).

O problema no *layout* por produto é a obtenção do equilíbrio na utilização de operadores e equipamentos em todas as operações, isto é, agrupar as operações em conjuntos que tomem aproximadamente o mesmo tempo.

O balanceamento da linha consiste na alocação de tarefas nas estações em uma linha de forma a obter uma taxa de saída desejada, com o menor número de estações de trabalho. O balanceamento da linha deve ser executado quando da montagem inicial da linha, quando a mesma é rebalanceada por força da alteração na taxa de saída horária ou quando há a troca de produto ou processo (RUSSEL, 2002).

Inicia-se separando o trabalho em elementos de trabalho, que são pequenas unidades de trabalho que podem ser executadas independentemente. Na seqüência, obtém-se um gráfico de precedências para os elementos de trabalho. Russel (2002) comenta que a construção do gráfico de precedência deve satisfazer alguns precedentes tecnológicos requeridos. Certos elementos de trabalho devem ser feitos antes do próximo poder começar, entretanto, muitas linhas admitem mais do que uma seqüência possível de operações. O gráfico de precedência é um diagrama que permite visualizar predecessores imediatos. Elementos de trabalho são indicados por círculos, com o tempo requerido para a sua execução. Como exemplo, observam-se na Tabela 1, os dados que compõem a construção do gráfico de precedência apresentado na Figura 6.

Tabela 1: Tarefas para a construção do gráfico de precedência da montagem de um jateador

Elemento de Trabalho	Descrição	Tempo (s)	Tarefas imediatamente precedentes
A	Colocar no suporte	40	Nenhum
B	Inserir eixo	30	A
C	Prender eixo	50	A
D	Prender agitador	40	B
E	Prender roda motora	6	B
F	Prender roda livre	25	C
G	Montar parte inferior	15	C
H	Prender controles	20	D,E
I	Montar placa	18	F,G
Total		244	

Fonte: Russel (2002)

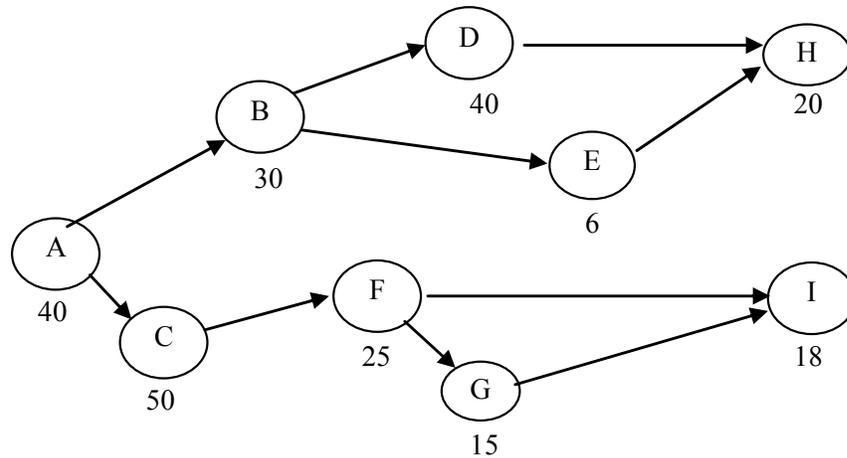


Figura 6: Gráfico de Precedência da montagem do jateador
Fonte: Russel (2002)

O objetivo do balanceamento da linha é alcançar a taxa de saída para o plano de produção. Por exemplo, se o plano de produção demandar 4000 peças por semana e a linha operar com 80 horas por semana, a taxa de saída ideal deve ser de 50 (4000/80) peças por hora (RUSSEL, 2002).

Após a determinação da taxa de saída desejável para uma linha, o projetista pode calcular o tempo de ciclo. O tempo de ciclo da linha é o máximo de tempo permitido para o trabalho por unidade em cada estação. Se o tempo requerido para os elementos de trabalho numa estação exceder o tempo de ciclo da linha, esta será o gargalo da linha (RUSSEL, 2002).

O tempo de ciclo é dado por:

$$c = 1 / r \quad (1)$$

Onde:

c = tempo de ciclo em horas por unidade e;

r = taxa de saída desejável em unidades por hora.

Por exemplo, se a taxa de saída desejada é de 60 unidades por hora, o tempo de ciclo é $c=1/60$ horas por unidade ou uma unidade por minuto.

O perfeito balanceamento, segundo Russel (2002), é obtido quando a soma dos tempos dos elementos de trabalho em cada estação igualar o tempo de ciclo c , e nenhuma estação possuir tempos mortos. Entretanto, o perfeito balanceamento é dificilmente atingível na prática, devido a problemas de inflexibilidade dos requisitos dos elementos do gráfico de precedência. Então, deve-se buscar o menor número possível de estações.

Russel (2002) cita que minimizar o número de estações (n) significa minimizar os tempos mortos e maximizar a eficiência. Na Tabela 2, está apresentado o cálculo da eficiência do balanceamento para as tarefas da Tabela 1. Na Figura 7, tem-se a proposição de agrupamento de tarefas em 5 estações.

Tabela 2: Cálculo da Eficiência do Balanceamento

$r =$	60	peças por hora	Balanceamento	Inicial	Final	
$c =$	1	peça por minuto	Nº de Estações	9	5	
$c =$	60	segundos	Tempo Morto	296	56	segundos
$TM =$	4,1		Eficiência	45,2	81,3	%
			Ineficiência	54,8	18,7	%

Fonte: Russel (2002)

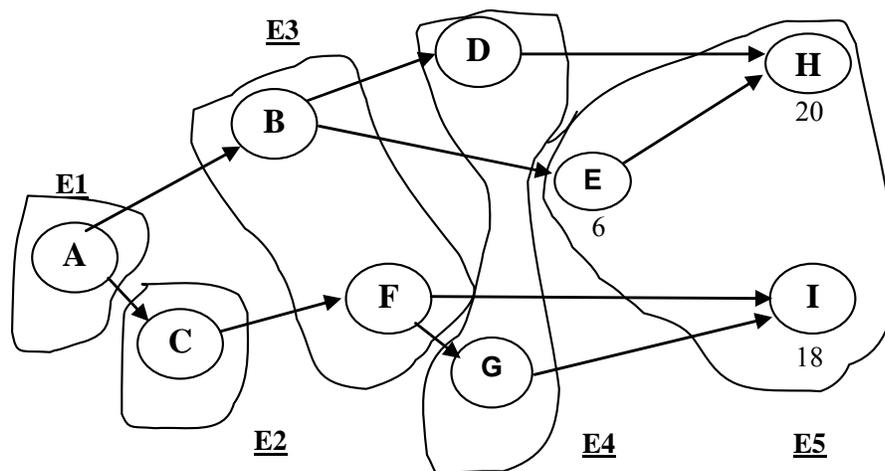


Figura 7: Gráfico de Precedência da montagem do jateador com 5 estações
Fonte: Russel (2002)

2.2.3 Layout Celular

Para Ghinato (1998), a idéia básica da manufatura celular é melhorar o gerenciamento do sistema de manufatura através do agrupamento de recursos produtivos, em células independentes, isto é, subsistemas de produção. O sistema é composto por células de manufatura e montagem ligadas por uma única forma de inventário e controle da informação. Operações necessárias para produzir uma família de produtos ou um conjunto de peças com requisitos similares são agrupados na célula numa seqüência que minimiza a movimentação de materiais através da mesma. A manufatura celular é basicamente projetada para ser flexível.

Russel (2002) classifica células de manufatura dentro de *layouts* híbridos, ou seja, algumas partes das instalações são arranjadas num *layout* por processo e outras, num *layout* por produto.

Black (1998) resumiu as principais características do sistema de manufatura celular:

- O tempo de ciclo para o sistema dita a taxa de produção para a célula;
- Máquinas são arranjadas seguindo a seqüência do processo de produção de uma família de produtos;
- A célula é usualmente projetada na forma de uma linha em “U”;
- Os operadores são multifuncionais;
- Os operadores trabalham em pé e caminhando; e
- São usadas máquinas mais lentas e específicas, que são menores e usualmente mais baratas.

Black (1998) e Tompkins *et al.* (1996) enfatizam as seguintes vantagens do *layout* celular sobre os demais *layouts*:

- Redução do tempo de manuseio do material e de movimentação;
- Redução do tempo de *set-up* de recursos produtivos;

- Redução da variabilidade do tempo de ciclo e restrições do balanceamento da linha;
- Maior utilização das máquinas pelo grupo de produtos;
- Incentiva o uso de equipamentos genéricos;
- Fluxo suave e menor distância de atravessamento;
- Redução do inventário em processo;
- Fácil implementação das operações automatizadas;
- Melhor monitoramento, controle, resposta dos estoques e da qualidade dos itens produzidos;
- Melhor confiabilidade e capacidade do processo; e
- Melhor uso dos recursos humanos com atmosfera de time e expansão dos benefícios do trabalho.

As principais vantagens adicionais e desvantagens obtidas a partir da implantação de células de manufatura foram condensadas e comentadas por Silveira (1994) e Tompkins *et al.* (1996). As vantagens adicionais do *layout* celular são:

1. A simplificação dos roteiros de produção e dos relacionamentos entre componentes e máquinas aumenta a acurácia dos sistemas de planejamento e controle da produção, simplificando sua execução;

2. A redução das distâncias entre as operações minimiza as atividades de transporte e manuseio de materiais;

3. À medida que aumenta o grau de similaridade entre as peças processadas na mesma célula, o tempo de *set-up* entre os lotes processados tende a reduzir-se automaticamente, justificando economicamente a redução destes lotes e aumentando a capacidade produtiva;

4. A similaridade entre os componentes normalmente possibilita a padronização de máquinas e ferramentas, reduzindo a diversidade destas e, conseqüentemente, a ociosidade dos meios de produção;

5. Como consequência desta padronização, o processo produtivo torna-se mais simples, o número de relações é reduzido. Isto facilita a automação posterior das células;

6. O trajeto percorrido pelos componentes é reduzido consideravelmente, o que direta e indiretamente reduz tempos mortos entre as operações. Assim, o tempo total de fabricação e os estoques intermediários são reduzidos;

7. A variedade das atividades desempenhadas por uma mesma máquina é reduzida. Isto possibilita treinamentos mais rápidos e ganhos de qualidade advindos de um conhecimento maior por parte dos operadores, além de facilitar a criação de cargos multifuncionais;

8. Também no que se refere à mão-de-obra, a organização do trabalho dentro da célula tende a melhorar o sistema de relacionamento em equipe, o grau de envolvimento e a participação dos trabalhadores; e

9. A redução das variedades associadas ao sistema e a conscientização dos trabalhadores no que tange ao sentido de suas tarefas no contexto geral do processo produtivo são dois fatores associados à arquitetura em célula que contribuem em termos de melhorias da qualidade no processo.

As principais desvantagens do *layout* celular são:

1. A introdução de novos produtos ou componentes muito diferentes dos atuais torna-se mais difícil, já que as células foram desenhadas a partir dos componentes existentes na fábrica. Em alguns casos, é necessária uma redefinição no *layout*. Para minimizar este problema, as atividades de projeto devem tomar como ponto de partida características de componentes já existentes na definição de novos produtos;

2. No primeiro momento, muitas máquinas grandes são dedicadas a células específicas, aumentando sua ociosidade. Este problema é eliminado à medida que se substituem estas máquinas por outras de menor capacidade, justificando economicamente sua dedicação a uma pequena variedade de componentes, o que transforma isto em uma vantagem da manufatura celular;

3. A tarefa de modificar o *layout*, exigindo movimentação de máquinas, envolve vários custos com instalações elétricas e hidráulicas, reformas, dias parados, etc;

4. Em muitos casos, quando se deseja minimizar o nível de movimentações de elementos entre células, torna-se necessário o investimento em máquinas redundantes de produção, aumentando, no primeiro momento, a ociosidade geral da firma. O *trade-off* entre o custo do investimento e o custo de movimentações deverá ser analisado caso a caso;

5. Requer supervisão geral;

6. São requeridas maiores habilidades para os membros do time em todas as operações;

7. Criticamente dependente do controle de balanceamento da produção através do fluxo da célula; e

8. Se o fluxo não é balanceado em cada célula, pulmões e inventário são requeridos para eliminar o manuseio entre as células.

Segundo Russel (2002), o método da tecnologia de grupo, utilizado na criação do *layout* celular, agrupa peças ou produtos com características similares em famílias e conjuntos ao lado de um grupo de máquinas definidas para esta produção. Famílias podem ser baseadas no tipo, forma, requisitos de produção ou demanda. O objetivo é identificar um conjunto de produtos, processos e requisitos similares e minimizar operações de *set-up*.

Mais adiante, nesta dissertação, serão abordados, com maior profundidade, o método da Tecnologia de Grupo (TG), a formação das famílias e do *layout* celular.

2.3 ESCOLHA DO TIPO DE *LAYOUT* EM UMA EMPRESA

Russel (2002) enfatiza que as decisões fundamentais para o planejador do *layout* 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 *layout*, como também no planejamento e na hierarquia de decisão (ASKIN; GOLDBERG, 2002). A Figura 8 apresenta os tipos de *layout* normalmente usados nas diferentes combinações de volume de produção e variedade de produtos.

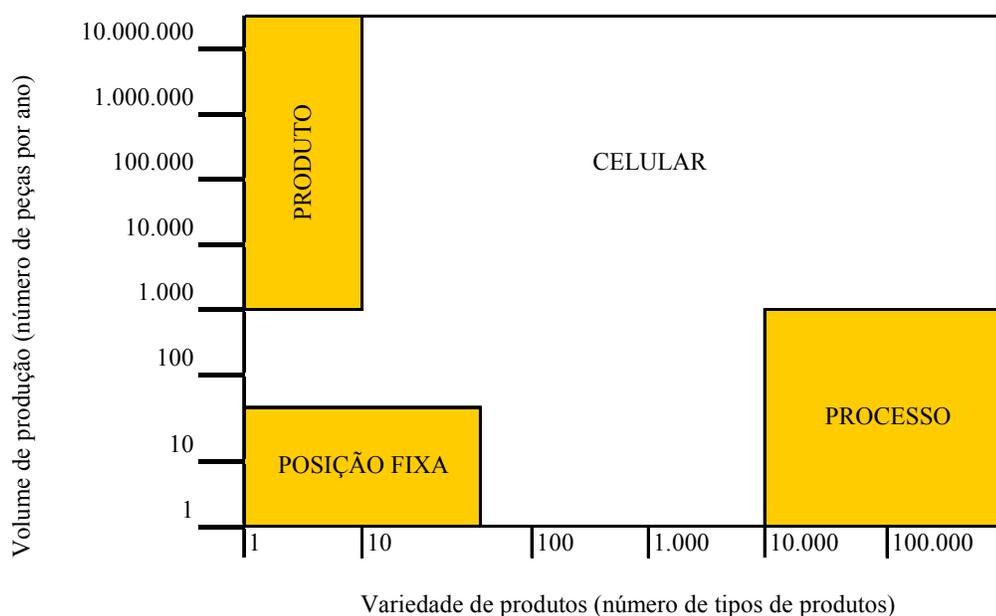


Figura 8: Organização Física para Combinações de Volume e Variedade
Fonte: Askin e Goldberg (2002).

A análise do Produto e Volume deve considerar o contexto do tempo atual e futuro dos produtos e seus volumes. Essa análise ajuda o planejador a compreender a relação entre 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 *layout* (ASKIN; GOLDBERG, 2002). Na medida em que os volumes de produção crescem e a variedade decresce, processos com *layout* 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 *layout* produtivo adotado. *Layouts* flexíveis permitem rápidas adaptações a mudanças de mercado e necessidades específicas dos clientes. Num *layout* 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 *layout* em um sistema produtivo são (RUSSEL, 2002):

a) A produtividade operacional pode ser afetada se certos postos de trabalho podem ser operados por pessoal comum em alguns *layouts*, mas não em outros;

b) O *downtime* despendido em esperas por materiais pode ser causado por dificuldades no manuseio, resultante de um *layout* inadequado ao fluxo de materiais e transporte destes; e

c) O ambiente de trabalho, incluindo temperatura, nível de ruído e segurança costumam estar diretamente relacionados ao *layout* selecionado, devendo ser considerados na análise de decisão.

2.4 MANUFATURA CELULAR E TECNOLOGIA DE GRUPO

2.4.1 Conceituação e Aspectos Históricos da Tecnologia de Grupo

De um modo um tanto genérico, pode-se conceituar Tecnologia de Grupo (TG) como uma filosofia que define a solução de problemas explorando semelhanças, para se obter vantagens operacionais e econômicas mediante um tratamento de grupo. Sob o aspecto de manufatura, a TG é uma filosofia para o gerenciamento das atividades de produção, no qual se procura obter vantagens econômicas da similaridade das peças fabricadas em pequenos lotes, tratando-as em conjunto como se fosse uma produção em massa (LORINI, 1993).

Black (1998) também conceitua a Tecnologia de Grupo (TG) como uma filosofia na qual, peças similares são agrupadas em famílias. Peças com tamanho e formas semelhantes podem, muitas vezes, ser fabricadas por um conjunto de processos similares. Uma família separada com base na fabricação teria o mesmo grupo ou seqüência de processos de fabricação. O grupo de processos pode ser organizado ou agrupado para formar uma célula.

Na combinação física entre os processos, a Tecnologia de Grupo (TG) consiste no desmembramento de dois ou mais processos e da sua recombinação em células, cada uma delas capaz de executar toda a tarefa ampliada (SCHONBERGER, 1993).

Silveira (1994) identifica quatro aspectos a partir dos conceitos fabris de TG:

- É uma filosofia de manufatura ou um tipo de organização fabril compatível com outras filosofias de manufatura;
- Tem como objetivo principal a simplificação e a redução da complexidade como meio de obter-se ganho de produtividade e flexibilidade;
- Tem aplicação prioritária em estabelecimentos industriais de forma predominantemente intermitente-repetitiva; e
- Pode servir como ferramenta de auxílio à implantação de técnicas de manufatura como células de produção, sistemas flexíveis de manufatura (FMS) e manufatura integrada por computador (CIM, *just-in-time*, etc.).

Embora alguns trabalhos tenham sido desenvolvidos nas décadas de 30 e 40 enfocando alguns aspectos da produção e agrupamento de máquinas, foi na década de 50 que a TG começou a tornar-se consistente e racionalizada. Pode-se assinalar, como um marco no desenvolvimento científico, o trabalho “*Scientific Principle of Group Technology*” do engenheiro russo S.P. Mitrofanov (LORINI, 1993). O conceito básico, então apresentado por Mitrofanov, era de agrupar peças com similaridade geométrica em famílias para serem fabricadas em uma única máquina.

Lorini (1993) comenta que o conceito evoluiu para a fabricação em famílias de peças em mais de uma máquina, ou seja, um agrupamento conceituado como célula de manufatura, que difundiu-se pela Europa. Como ocorreu na Universidade de Aachen, na Alemanha Ocidental, onde Opitz *apud* Lorini (1993) lançou as bases do sistema de classificação e codificação. Outro destaque foi o método apresentado por Burbidge *apud* Lorini (1993), designado Análise do Fluxo de Produção (AFP), para considerar as rotas e seqüências das peças entre as máquinas no processo.

Algoritmos e métodos de formação de famílias têm sido desenvolvidos nas últimas três décadas por diferentes autores. Yasuda e Yin (2001) classificam os métodos de formação de famílias em quatro grupos:

1. Métodos Descritivos – Análise do Fluxo de Produção (AFP), Análise de Fluxo Componente (AFC) e Síntese do Fluxo de Produção (SFP).
2. Métodos de Arranjo de Matrizes – *Rank order Clustering* (ROC), ROC2 e Algoritmo de Agrupamento Direto (AAD).

3. Métodos por Coeficiente de Similaridade (MCS) – Abordagem por Agrupamento e também abordagens por Gráficos Teóricos.

Outros Métodos Analíticos citados por Yasuda e Yin (2001) são a Programação Matemática e os métodos baseados em arranjos de matrizes, como primeira abordagem, têm-se o *Bond Energy Algorithm – BEA* (Algoritmo da Energia de Ligação). Boe e Cheng (1991), na seqüência, propuseram o algoritmo *Close Neighbour*, como uma extensão do BEA.

Yasuda e Yin (2001) referenciam uma revisão extensa de várias abordagens adotadas para células de manufatura.

2.4.2 Importância do Uso da TG na Manufatura Celular

A manufatura celular consiste em um dos principais resultados da aplicação dos conceitos da Tecnologia de Grupo. No *layout* celular, as máquinas são dispostas de acordo com o grupo de peças a serem processadas. A manufatura celular apresenta os seguintes benefícios: (i) redução do inventário; (ii) menor tempo de permanência no processo de fabricação, desde a solicitação da ordem de fabricação até a peça pronta colocada no almoxarifado de peças acabadas; e (iii) melhoria dos custos, qualidade e controle da produção (ARRUDA, 1994 *apud* OLIVEIRA; MONTEVECHI, 2001).

Um dos principais benefícios do uso da TG é a redução no *lead-time* devido à similaridade das peças que estão sendo processadas em uma máquina ou em um jogo de máquinas. As comparações de desempenho das disposições por processo e celulares indicam também que a redução da área de chão de fábrica resultante do emprego da TG é uma importante vantagem do *layout* celular sobre o *layout* por processo.

2.4.3 Conversão para a Manufatura Celular

Flexibilidade é a característica principal de um projeto de manufatura celular. O sistema pode reagir rapidamente a mudanças na demanda de clientes, de projetos de produtos ou no *mix* de produtos. O primeiro passo para formar células é reestruturar partes do *layout* por processo, convertendo-o, em estágios, para células (BLACK, 1998).

Segundo Hyer e Brown (1999), as células de manufatura são: famílias de peças ou produtos, que envolvem fisicamente co-localizar equipamentos para produzir estas famílias e comprometem o equipamento à produção da família.

O equipamento deve ser dedicado a uma família de peças ou de produtos com exigências de processos similares. Além disto, as tarefas e os operadores devem estar próximos em termos de tempo, espaço e informação. Estes três elementos, quando tratados de maneira integrada possibilitam a multifuncionalidade, a redução dos tempos de *set-up*, entrega de material *just-in-time*, entre outros aspectos (HYER; BROWN, 1999).

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, as medidas de desempenho da célula, os procedimentos da produção e do controle e políticas de programação.

2.4.4 Formação de Células Através da TG

A Tecnologia de Grupo (TG) oferece uma solução para a reorganização do *layout* por processo, reestruturando-o em um *layout* por células de manufatura. Encontrar famílias de peças é um dos primeiros passos para converter o sistema por processo em célula (BLACK, 1998).

A determinação das famílias tem, portanto, um grau de importância destacado como etapa inicial, pela seqüência de todas as implicações que incidirão na manufatura, de acordo com os critérios adotados. Não existem regras rígidas ou gerais para determinar que peças serão agrupadas em determinadas famílias. Uma das maiores dificuldades para passar de um sistema tradicional de produção para um enfoque de Tecnologia de Grupo, com uma produção em células, é justamente o agrupamento das peças em famílias, alocando-se as máquinas necessárias (LORINI, 1993).

Para a implantação dos princípios da Tecnologia de Grupo, toda uma reorganização no ambiente de manufatura faz-se necessária. Segundo Lorini (1993), as principais etapas que devem ser consideradas neste processo são:

- Adequação do *layout* físico;
- Implantação de um sistema de codificação e classificação;
- Racionalização de projetos e processos de fabricação; e
- Formação de famílias de peças e células de máquinas.

Silveira (1994) também descreve quatro etapas principais, sendo elas:

- Utilização de um método para a formação de famílias de peças (elemento Materiais);
 - Formação dos agrupamentos de máquinas que serão utilizadas na fabricação de cada família, após os dados obtidos através do método utilizado (elemento Máquinas);
 - Organização do trabalho humano em cada grupo (elemento Pessoas); e
 - Inserção, no ambiente operacional, de atividades como desenvolvimento de produtos, planejamento, controle, manutenção e materiais dos três elementos essenciais à produção: Materiais, Máquinas e Pessoas.

2.5 METODOLOGIAS BÁSICAS DE FORMAÇÃO DE FAMÍLIAS

Lorini (1993) referencia quatro metodologias básicas para a formação de famílias: Inspeção Visual, Análise de Fluxo de Produção, Sistema de Classificação e Codificação, e Reconhecimento de Padrões. Essas metodologias são delineadas na seqüência.

A inspeção visual consiste em agrupar famílias de peças e grupo de máquinas apenas pela análise visual de suas características. É um método muito simples e pouco dispendioso, dependente do grau de experiência dos especialistas (DIMOPOULOS; MORT, 2001).

A Análise do Fluxo de Produção (AFP) utiliza a informação disponível nos roteiros de produção para selecionar todos os componentes e agrupá-los por uma análise

matricial. Este método é simples, barato e rápido, mas com julgamento mais analítico do que tácito (BLACK, 1998).

Nos métodos de Análise do Fluxo de Produção, trabalha-se sobre uma matriz que relaciona máquinas e peças (matriz de incidência peça-máquina) que busca reunir peças que necessitem dos mesmos processos e tenham um mesmo fluxo na fabricação, de acordo com os parâmetros de similaridade, através das chamadas técnicas de agrupamento (LORINI, 1993).

O Sistema de Classificação e Codificação é mais abrangente do que a AFP. O sistema utiliza códigos de projeto, códigos de manufatura e códigos que cobrem ambos, tanto o projeto quanto a manufatura. A Classificação separa os itens em classes ou famílias baseada em suas semelhanças, sendo primeiramente definido um código (letras, números ou ambos) a elementos específicos dos componentes, baseado em diferenças de forma, função, material, tamanho e processos de manufatura. Este método de codificação é caro e leva tempo (BLACK, 1998).

Segundo Lorini (1993), um Sistema de Classificação e Codificação deve possuir algumas características operacionais básicas, como: ser suficientemente abrangente, ser mutuamente exclusivo, permitir semelhanças ou excluir diferenças, basear-se em características permanentes que sejam facilmente identificáveis, ser adaptável a mudanças e expansões tecnológicas e ser compatível com aplicações computacionais e permitir integração com sistemas do tipo CAD/CAM.

O método de Reconhecimento de Padrões vale-se da determinação de alguns padrões para serem comparados com demais itens, dentro de uma amostra, para agrupá-los em lotes de acordo com certo grau de semelhança entre os elementos (LORINI, 1993).

Grum *et al. apud* Lorini (1993) afirmam que, no caso de peças, uma destas metodologias considera a tabulação das características geométricas e tecnológicas, através de uma matriz binária, onde cada elemento representa um atributo. Nesta matriz, determina-se um parâmetro representativo de cada peça, que define um potencial de cada peça. Na etapa de classificação, o agrupamento é definido pela aproximação deste potencial com aquele do padrão adotado.

Outras metodologias que podem ser adotadas para formação de famílias: os coeficientes de similaridade, os métodos de arranjo de matrizes, as técnicas baseadas em grafos, a análise de agrupamentos e a programação matemática.

O método do coeficiente de similaridade parte do cálculo do nível de similaridade entre pares de componentes ou pares de máquinas, sendo posteriormente agrupados. Os coeficientes, depois de calculados, servem de base à construção de dendogramas que representam graficamente o grau de similaridade entre os elementos, desde o nível 1,0 (total similaridade) até o nível 0,0 (total dissimilaridade).

Seiffodini e Wolfe (1986) apud Silveira (1994) desenvolveram um algoritmo baseado em coeficientes de similaridade capaz de trabalhar com máquinas duplicadas. Gupta (1993) apud Silveira (1994) apresenta uma heurística baseada em coeficientes de similaridade capaz de considerar os roteiros alternativos de produção. Após o cálculo dos coeficientes de similaridade, a definição das famílias se dará pela construção e análise do dendograma. Quanto maior o nível de corte (coeficiente necessário para justificar a formação de uma célula), maior o número de grupos formados. Desta maneira, conclui-se que a utilização deste método exige uma decisão inicial do analista a respeito do número e tamanho dos grupos que deseja obter ou do grau de similaridade desejado para a formação de grupos.

Métodos de arranjo de matrizes buscam interagir diretamente sobre uma matriz de incidência de máquinas vs componentes, com o objetivo de reordenar as linhas e colunas, posicionando os elementos não-zerados da matriz em sua diagonal principal. A matriz de incidência é obtida a partir dos dados constantes nos roteiros de produção. Se um componente i passa pela máquina j em alguma etapa de seu processamento, a célula (i, j) da matriz receberá valor '1'; caso contrário, seu valor será zero.

O objetivo da manipulação da matriz, com o posicionamento dos elementos não nulos na diagonal principal, é identificar as famílias de máquinas e componentes simultaneamente. O sucesso na utilização destes métodos reside muito na habilidade do analista em identificar estes grupos após as interações. Matrizes com grande incidência (muitos produtos passam por muitas máquinas) ou muitos elementos extracelulares (elementos fora da diagonal principal após o rearranjo) dificultam essa tarefa (SILVEIRA, 1994).

Entre os vários métodos por Arranjo de Matrizes para a formação de famílias de peças, destaca-se o algoritmo *Close Neighbour*, desenvolvido por Boe e Cheng (1991) e tratado em seção específica mais adiante, o *Close Neighbour* é a ferramenta de análise escolhida para o desenvolvimento estudo de caso nesta dissertação.

Técnicas baseadas em Grafos tratam do sistema produtivo como um conjunto de nodos conectados por arcos. Os nodos representam as máquinas e componentes do sistema, e os arcos representam o processamento das peças. Busca-se obter subgrafos desconectados do grafo principal como forma de identificar os conjuntos de máquinas e peças com maior similaridade entre si.

As Técnicas baseadas em Grafos são interessantes por sua capacidade de representação visual e possibilidades de especificações do usuário quanto ao número e tamanho dos grupos. Além disto, têm a capacidade de identificar simultaneamente grupos com máquinas e peças (HERAGU *apud* SILVEIRA, 1994). No entanto, exigem a participação efetiva do analista na tomada de algumas decisões, ao contrário de técnicas mais simples ou com computação mais objetiva.

Métodos de análise de agrupamentos utilizam, em sua concepção, algoritmos hierárquicos e não-hierárquicos. Os algoritmos hierárquicos inicialmente consideram cada máquina ou peça como um grupo e, progressivamente, baseando-se em algum parâmetro de comparação, vão agregando estes elementos entre si, até que todos formem um mesmo grupo. Isto pode ser representado por um dendograma, do mesmo tipo dos utilizados pelos Métodos de Coeficientes de Similaridade. No entanto, Stanfel *apud* Silveira (1994) propõe uma abordagem oposta, a qual inicia com todos os elementos em um mesmo grupo e vai dividindo estes em grupos menores, buscando minimizar as movimentações entre grupos.

Dimopoulos e Mort (2001) citam que os métodos não-hierárquicos de agrupamentos de peças ou máquinas também empregam uma medida de similaridade ou de dissimilaridade. Uma divisão inicial ou um número de pontos “sementes” são então selecionados e usados para a classificação de máquinas e peças. O principal inconveniente destes métodos é que eles usualmente requerem a especificação do número total de células antecipadamente.

Os Métodos de Programação Matemática buscam formar famílias a partir da definição de funções objetivas e da formulação de restrições ao atendimento destas funções. Exemplos de funções objetivas encontradas na literatura são a maximização dos coeficientes de similaridade, minimização dos custos de investimentos e de movimentações e minimização dos tempos de atravessamento (FREITAS *apud* SILVEIRA, 1994).

Devido à sua complexidade, os Modelos de Programação Matemática devem ser utilizados em empresas que dispõem de pessoas habilitadas não só para sua formulação, mas

também para compreender e interpretar corretamente os resultados gerados e as regras utilizadas para sua obtenção. Além disto, como o número de restrições do modelo é normalmente proporcional ao número de máquinas e componentes existentes, estes são mais indicados para casos de pequena e média variedade de produtos. Finalmente, os coeficientes como custos, tempos e capacidades devem representar o mais fielmente possível a realidade, pois interferem fortemente no acerto dos resultados gerados pelo modelo.

Além dos métodos citados por Lorini (1993) e Silveira (1994), Ribeiro Filho e Lorena (2000) comentam que diversas outras técnicas foram propostas na literatura acadêmica para a formação de famílias, tais como Redes Neurais, Lógica Fuzzy, Metaheurísticas e Algoritmos Genéticos.

Na Figura 9, há uma sumarização dos desempenhos dos diversos algoritmos de agrupamento analisados por Cheng *et al.* (1995).

Algoritmos de Agrupamento	Referências	Produz uma solução desejável?	Requer intervenção do usuário?	Requer o valor do ponto inicial ou os outros parâmetros?
Arranjo de Matrizes				
Algoritmo de Agrupamento Direto	Chan & Milner (1982)	Sim	Não	Não
Rank order Clustering (ROC)	King (1980)	Sim	Sim	Não
Bond Energy Algorithm (BEA)	McCormick <i>et al.</i> (1972)	Sim	Sim	Não
Medindo o trajeto mais curto	Slagle (1975)	Sim	Sim	Não
Programação de inteiro				
Close Neighbour Algorithm	Boe & Cheng (1991)	Sim	Não	Não
Simulated Annealing Algorithm	Boctor (1991)	Incerto	Não	Não
A*-based algorithm	Kusiak <i>et al.</i> (1993)	Não	Não	Sim
Identificação do conjunto	Kusiak & Chow (1987)	Não	Não	Não
Branch-and-bound algorithm	Kusiak & Cheng (1990)	Não	Não	Sim
Branching algorithm	Kusiak (1991)	Não	Não	Não
Modified cluster algorithm	Kusiak & Cho (1992)	Sim	Não	Sim
Manual				
Análise do Fluxo de Produção (AFP)	Burbidge (1971)	Sim	Sim	Não
Não-Hierárquico				
Ideal seed algorithm	Chandrasekharan & Rajagopalan (1986)	Não	Não	Não
Improved ideal seed algorithm	Chandrasekharan & Rajagopalan (1987)	Sim	Não	Não
Coefficiente de Similaridade				
Similarity coefficient heuristic	Waghodekar & Sahu (1984)	Não	Não	Não
Single linkage clustering	McAuley (1972)	Não	Não	Não
Average linkage clustering	Seifoddini & Wolfe (1986)	Sim	Não	Não
Redes Neurais				
Carpenter-Grossberg network	Kaparth & Suresh (1992)	Não	Não	Sim
ART network	Kusiak & Chung (1991)	Não	Não	Sim
Baseado em Gráficos				
Hamiltonian path approach	Askin <i>et al.</i> (1991)	Não	Não	Não
Cut-node algorithm	Vannelli & Ravi Kumar (1986)	Incerto	Não	Sim
Outros				
With-cell utilization based	Ballakur & Steudel (1987)	Não	Não	Sim
Occupancy value based	Khator & Irani (1986)	Sim	Não	Não

Figura 9: O Desempenho dos Algoritmos de Agrupamento para Modelos Padrão
Fonte: Cheng et al. (1995)

Cheng *et al.* (1995), em seu artigo, estuda a aplicação dos diversos algoritmos de agrupamento para a formação de famílias de peças e máquinas em células. Alguns algoritmos de agrupamento requerem a intervenção do usuário. Usando estes algoritmos, o usuário tem que examinar matrizes imediatas e identificar máquinas críticas e as peças críticas. As soluções finais são sujeitas aos erros humanos e ao julgamento subjetivo. Além disto, a identificação manual torna-se muito tediosa ao tratar de uma matriz grande.

Ribeiro Filho e Lorena (2000) referenciam que os Algoritmos Genéticos (AG), em particular, possuem diversas aplicações na otimização geral e nos problemas de combinação de otimização. Um AG típico é baseado na evolução controlada de uma população estruturada, recombinação de operadores e no esquema de formação e gerações de excedentes da propagação.

2.6 CLOSE NEIGHBOUR ALGORITHM (CNA)

O CNA, desenvolvido por Boe e Cheng (1991), é um algoritmo da família dos métodos de arranjos de matrizes. Sua lógica de convergência ao resultado ótimo em apenas uma interação e sua simplicidade de implementação faz do CNA um dos algoritmos mais referenciados na literatura (MUKHOPADHYAY *et al.*, 1995; HICKS, 2004; LI; PARKIN, 2002; CHEN, 2003). Da mesma forma, um grande número de aplicações do algoritmo pode ser encontrado na literatura (ZOLFAGHARI; LIANG, 2004; ONWUBOLU; MUTINGI, 2001 e DIMOPOULOS; MORT, 2001). O desenvolvimento do CNA é apresentado na sequência, baseado no trabalho original de Boe e Cheng (1991) e Mukhopadhyay *et al.* (1995).

2.6.1 Desenvolvimento do Algoritmo

Uma matriz inicial **A** de máquinas e peças é gerada com máquinas (ou trabalhadores) listadas nas linhas da matriz e produtos (ou componentes) nas colunas da matriz. Sempre que um produto necessitar de uma máquina em seu processamento, assinala-se com 1 no cruzamento correspondente; caso contrário, o cruzamento recebe um zero. Somente fluxos primários são indicados na matriz. A Tabela 3 traz um exemplo de matriz de incidências para o caso de 8 máquinas e 20 produtos.

Tabela 3: Exemplo de matriz de incidências (A)

Máquinas / Peças	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1		1	1					1	1		1		1	1		1	1		1		
2			1	1		1	1							1					1		1
3		1						1	1		1		1	1		1	1		1		
4			1	1		1	1			1									1		1
5	1				1	1				1		1			1		1				
6	1				1				1	1		1			1						1
7			1	1		1	1				1	1							1		1
8			1	1		1	1												1		1

Fonte: Boe e Cheng (1991)

Uma matriz **B** de máquinas vs máquinas é gerada, indicando o número de componentes comuns a cada par de máquinas. O elemento b_{ij} na matriz indica quantos produtos necessitam das máquinas i e j para o seu processamento. A última coluna da matriz, designada por S_i , traz o somatório dos números das linhas (idêntico ao somatório dos números nas colunas). A Tabela 4 traz a matriz **B** obtida da matriz **A** do exemplo numérico.

Tabela 4: Matriz B obtida do exemplo na Tabela 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	S_i
1	-	2	9	1	1	1	2	1	17
2	2	-	1	6	1	1	6	6	23
3	9	1	-	0	1	1	1	0	13
4	1	6	0	-	2	2	6	6	23
5	1	1	1	2	-	5	2	1	13
6	1	1	1	2	5	-	2	1	13
7	2	6	1	6	2	2	-	6	25
8	1	6	0	6	1	1	6	-	21

Fonte: Fonte: Boe & Cheng (1991)

O CNA é implementado em dois estágios. O estágio 1 tem por objetivo reordenar as linhas da matriz **A**; no estágio 2, reorganizam-se as colunas da matriz. Ao final do estágio 2, espera-se poder identificar aglomerações de incidências ao longo da diagonal principal da matriz **A** reorganizada.

Para definir a nova ordem das linhas na matriz **A** (estágio 1), analisa-se a matriz **B** relativamente a alguns critérios. Para selecionar a 1ª linha a ser reordenada na matriz **A**, escolha a linha com maior valor de S_i na matriz **B**; no caso de empate, escolha a linha de

menor índice i . As linhas seguintes a serem reordenadas são determinadas pela utilização sequencial de três regras: (i) identifique o maior valor de b_{ij} na última linha trabalhada, o índice j (da coluna) indica a próxima linha a ser trabalhada; no caso de empate, use o próximo critério; (ii) escolha a linha com maior S_i dentre as empatadas; no caso de novo empate, use o próximo critério; e (iii) escolha a linha com menor índice i dentre as empatadas. Reorganize as linhas da matriz inicial A , seguindo a ordem definida acima.

A Tabela 5 apresenta os resultados do estágio 1 aplicado ao exemplo numérico. Na última coluna, identifica-se o critério adotado para reordenação de cada linha. A matriz A com linhas reordenadas é apresentada na Figura 10. Essa matriz de resultados intermediários é designada por A' .

Tabela 5: Reordenação das linhas da matriz de incidências do exemplo numérico

Índice Linhas	Máquinas Possíveis	Máquina Selecionada	Razão
v=1	7	7	S7=máximo
v=2	2,4,8	2	b27=b47=b87=máximos;S2=S4>S8;2<4
v=3	4,8	4	b42=b82=máximos;S4>S8
v=4	8	8	b84=máximo
v=5	1,5,6	1	b18=b58=b68=máximos;S1>S5=S6
v=6	3	3	b31=máximo
v=7	5,6	5	b53=b63=máximos;S5=S6,5<6
v=8	6	6	b65=máximo

Fonte: Fonte: Boe e Cheng (1991)

Máquinas / Peças	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		1	1					1	1		1		1	1		1	1		1	
2			1	1		1	1							1				1		1
3		1						1	1		1		1	1		1	1		1	
4			1	1		1	1			1								1		1
5	1				1	1				1		1			1		1			
6	1				1				1	1		1			1					1
7			1	1		1	1				1	1						1		1
8			1	1		1	1											1		1

Figura 10: Matriz intermediária A' após estágio 1 no exemplo numérico

Fonte: Fonte: Boe e Cheng (1991)

Para definir a nova ordem das colunas da matriz \mathbf{A}' (estágio 2), divide-se a matriz \mathbf{A}' em duas metades, superior e inferior. Se o número de linhas da matriz for ímpar, deve-se fazer com que a metade superior fique com um número ímpar de linhas. Denomina-se a metade superior da matriz dividida de SEQ1 e a metade inferior de SEQ2.

Analisa-se as colunas da matriz \mathbf{A}' dividida, contando-se o número de 1s em cada uma das metades (SEQ1 e SEQ2). Sempre que $SEQ1 > SEQ2$, assinala-se a coluna e reordena-se a numeração da primeira à última coluna assinalada. Colunas não assinaladas vão para a segunda fase do estágio 2. Divide-se a metade inferior (SEQ2) da matriz \mathbf{A}' em duas metades, SEQ1 e SEQ2, novamente. Verificam-se as colunas que não foram reordenadas na fase 1 quanto à incidência de células assinaladas com 1. Sempre que $SEQ1 > SEQ2$, assinala-se a coluna e reordena-se a numeração da primeira à última coluna assinalada.

Colunas não assinaladas vão para a fase seguinte do estágio 2, e o procedimento é repetido até que todas as colunas sejam reordenadas ou a divisão da matriz não seja mais possível. Neste último caso, no caso de remanescerem colunas não assinaladas, estas devem ser ordenadas livremente, na sequência da última coluna assinalada.

A Figura 11 traz o sumário de resultados do estágio 2, aplicado ao exemplo numérico. O índice v referida na figura indica a linha inicial da análise. Três divisões da matriz \mathbf{A}' foram necessárias para convergência do estágio 2.

1ª Fase:

$v=1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SEQ1	0	0	4	4	0	4	4	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	4	0	4
SEQ2	2	2	1	0	2	1	0	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	0	2	1
SEQ1>SEQ2			X	X		X	X											X		X
Coluna			1	2		3	4											5		6

2ª Fase:

$v=5$	1	2			5			8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		19	
seq1	0	2			0			2	2	0	2	0	2	2	0	2	2			2
seq2	2	0			2			0	1	2	0	2	0	0	2	0	1			0
SEQ1>SEQ2	X							X	X		X		X	X		X	X			X
Coluna		7						8	9		10		11	12		13	14			15

3ª Fase:

$v=7$	1				5					10		12			15					
seq1	1				1					1		1			1					
seq2	1				1					1		1			1					
SEQ1>SEQ2	X				X					X		X			X					
Coluna	16				17					18		19			20					

Figura 11: Sumário de resultados do estágio 2 aplicado ao exemplo numérico
Fonte: Boe e Cheng (1991)

Para a formação da matriz solução (ver Figura 12), reordenam-se as colunas conforme a ordem de seleção determinada no estágio 2. As células resultantes são identificadas ao longo da diagonal principal, conforme destacam os números **1**, **2** e **3**. É importante observar que não deve ocorrer sobreposição de células. Incidências de 1s fora das células demarcadas denotam produtos que não poderiam ser produzidos integralmente em uma mesma célula.

	3	4	6	7	18	20	2	8	9	11	13	14	16	17	19	1	5	10	12	15
7	1	1	1	1	1	1				1										1
2	1	1	1	1	1	1					1									
4	1	1	1	1	1	1						1							1	
8	1	1	1	1	1	1														
1	1						1	1	1	1	1	1	1	1	1					
3							1	1	1	1	1	1	1	1	1					
5			1											1				1	1	1
6						1			1									1	1	1

Figura 12: Reorganização final da matriz de incidências com identificação das células resultantes
Fonte: Boe e Cheng (1991)

2.6.2 Vantagens e Limitações do Algoritmo

Boe e Cheng (1991) relatam algumas vantagens do CNA. Primeiro, o algoritmo sempre oferece como resultado uma matriz de solução com blocos na diagonal principal da matriz de incidências. O agrupamento de máquinas e peças é imediatamente evidente na solução. A presença de máquinas gargalos e elementos críticos não afetam a capacidade do algoritmo de oferecer uma solução. Segundo, diferentemente dos algoritmos *Rank Order Clustering* (ROC) e do Algoritmo de Agrupamento Direto (AAD), o CNA requer somente uma interação para convergência. Terceiro, o CNA não requer do usuário a identificação de máquinas gargalos e elementos críticos. Por fim, a duplicação de máquinas gargalos não é utilizada como uma estratégia para auxiliar o agrupamento proposto pelo algoritmo. Acrescenta-se como vantagem a facilidade de implementação do algoritmo em planilha eletrônica.

2.7 O LAYOUT CELULAR

2.7.1 Considerações Iniciais

Conforme apresentado no item 2.2.3, no *layout* celular, as máquinas são arranjadas em grupos de tipos diversos, destinadas a atender inteiramente à fabricação de uma família de peças e não mais a um determinado produto.

Lorini (1993) salienta que o elemento fundamental buscado é a flexibilidade operacional, cujo compromisso com a capacidade de produção pode definir diferentes tipos de sistemas celulares. Trabalha-se com famílias de peças que possibilitem a fabricação em sistemas celulares flexíveis, que facilmente podem ser reconfigurados de um tipo para outro, com mínimo tempo de *set-up* de máquinas.

A organização celular deve permitir processar a matéria-prima em seu estado inicial até atingir o produto acabado, com tarefas conduzidas por pequeno número de trabalhadores que permita acompanhar todas as fases de produção dos produtos.

Assim, para ser flexível, o *layout* deve ser capaz de lidar com mudanças no projeto do produto, isto é, mudanças no projeto de engenharia, bem como em projetos para novos produtos (BLACK, 1998).

No projeto de uma célula, é básico e fundamental que os trabalhos sejam completados dentro de um ambiente da célula e que se busque sempre obter o maior grau de automatização e flexibilidade possível.

2.7.2 Formas das Células de Manufatura

Askin e Goldberg (2002) referenciam que existem células com diversas formas: largas, pequenas, seriadas, de fluxo randômico, automáticas, manuais, orientadas para peças e orientadas para máquinas.

Silveira (1994) usa uma tipologia básica para as células de manufatura dividida em: células de uma máquina, células de máquinas agrupadas e transporte manual, células de máquinas agrupadas e transporte semi-integrado e Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS).

Lorini (1993) destaca que a organização e a integração dos equipamentos nas células podem basear-se nas seguintes orientações básicas: totalmente integrados, através de sistemas de transporte e de controles de fluxo de trabalho; uma célula semi-integrada, projetada com transportadores usados para armazenagem e transporte de peças; e células simples, sem nenhum sistema automático de manuseio ou controle e trabalho agrupado para execução em máquinas simples. Em função do grau de automação e integração num sistema de manufatura, as células podem ser classificadas em duas categorias: as células comandadas e não-comandadas.

A célula de uma máquina é composta por ferramentais e dispositivos necessários à montagem ou acabamento das partes fabricadas na célula. Aplica-se a produtos simples, compostos por um componente principal e acessório fornecidos externamente (SILVEIRA, 1994). Esta célula também pode ser provida por um robô para o manuseio de material que deve processar uma família de peças similares (ASKIN; GOLDBERG, 2002).

Células de máquinas agrupadas e transporte manual são compostas por várias máquinas, capazes de processar um conjunto determinado de componentes ou produto completo, sem possuir mecanismos automáticos de manuseio e transporte destas peças entre as máquinas (SILVEIRA, 1994). As máquinas e ferramentas podem ser do tipo convencional ou programável, mas operadores especializados efetuam o controle dos equipamentos. Neste tipo de concepção de célula, deve-se considerar o tipo de *layout* que facilite a atuação do operador, em termos de visibilidade, comandos e circulação entre as máquinas (LORINI, 1993).

Nas células de máquinas agrupadas e transporte manual, os trabalhadores formam um time que percorre a linha principal e os alimentadores que produzem os componentes. O time deve ser responsável por atividades como programação da produção, qualidade assegurada, preparação de ordens, manutenção de máquinas e pela própria fabricação (ASKIN; GOLDBERG, 2002).

Lorini (1993) comenta que para células pequenas, a disposição mais eficiente normalmente vem a ser o *layout* em formato de U, na qual o fluxo de materiais percorre a célula sempre no mesmo sentido, ou seja, a entrada e a saída dos materiais ocorrem na mesma ponta.

A célula de máquinas agrupadas e transporte semi-integrado é provida de algum sistema automático (mecânico ou eletro-mecânico) de movimentação das peças entre as

máquinas. Se as peças processadas tiverem um fluxo semelhante, este *layout* pode ser disposto em linha, com um sistema de transporte retilíneo, passando por todas as máquinas, às vezes interligadas por estações de carga e descarga de material. No caso das peças processadas passarem pelas máquinas em seqüências diferentes, a célula vai exigir um *layout* em *loop*. Na Figura 13, estão ilustradas as configurações básicas de células de manufatura.

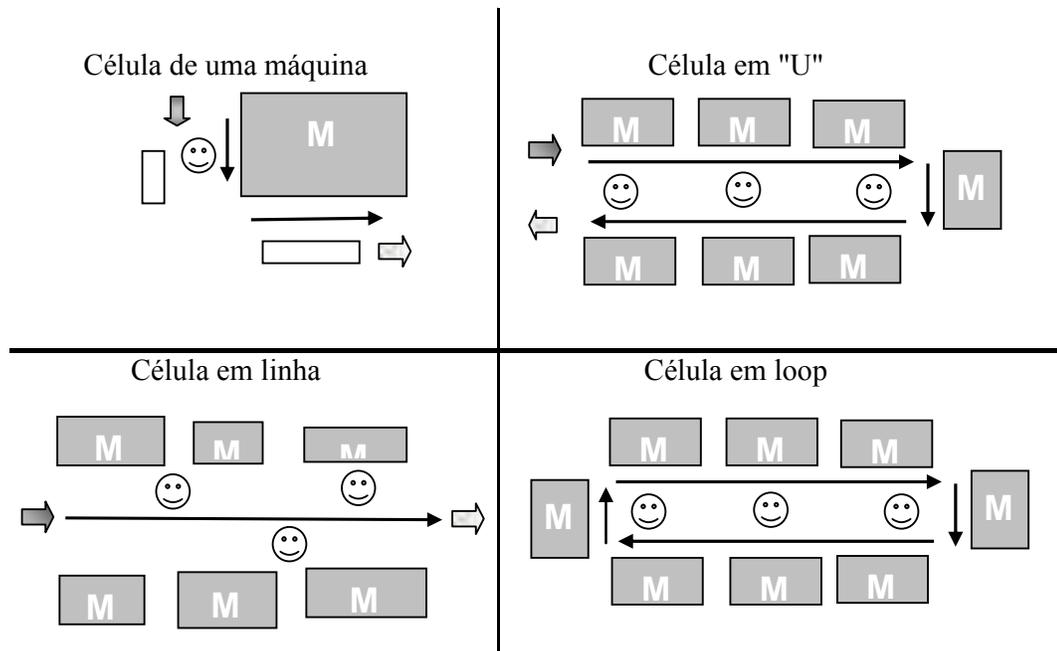


Figura 13: Configurações básicas de células de manufatura
Fonte: Silveira (1994)

A implantação de um sistema destes exige que, genericamente, os roteiros de fabricação das peças sejam semelhantes. Se isto não ocorrer, o sistema de movimentação terá de ser muito flexível, o que significa custos bem maiores em sua implantação. Além disto, mesmo com um sistema flexível, algumas peças inevitavelmente acabam percorrendo um caminho mais longo do que percorreriam se o transporte fosse manual (SILVEIRA, 1994).

Lorini (1993) cita que células com automação rígida podem ter as máquinas dispostas em linhas, círculos, ou em forma de U, sempre se adequando às seqüências do processo e aos elementos de movimentação especificados. As seqüências nas linhas devem ser adequadamente balanceadas, de modo que os tempos gastos na movimentação sejam compatíveis entre as estações de trabalho.

O Sistema Flexível de Manufatura (FMS) é um sistema de produção que consiste de um instrumento de processamento e de transporte automático, um instrumento de manuseio de material e um sistema microprocessado que controla estes instrumentos. As funções do FMS normalmente são: o controle automático de alterações nas especificações, nos tempo de processamento e tipos de lote. Este controle é efetuado através do programa de produção memorizado no microcomputador (MONDEN, 1983).

Lorini (1993) destaca que um FMS deve ser estruturado com uma arquitetura básica que considere as seguintes características: operações altamente automatizadas e programáveis; possibilidade de mudanças automáticas de ferramentas e controle sobre programa de produção de peças por computador central; interligação destas por sistemas automáticos de movimentação entre as mesmas; manutenção de alto nível de controle computacional dentro e fora da célula; acompanhamento dinâmico; e condições que viabilizem a correção no processo de planejamento.

A ênfase do FMS é uma automatização do *hardware*, como máquinas com comandos numéricos computadorizados, robôs e veículos para o transporte de peças, sendo uma aplicação restrita para a indústria de metais (LUONG, 2002).

2.8 CÉLULAS EM FORMA DE “U”

2.8.1 Considerações Iniciais

Miltenburg (2001) comenta que a linha de produção em forma de “U” é um tipo especial de manufatura celular usado em sistemas de produção *just-in-time* (JIT). Esta forma de *layout* é usada também:

1) quando os princípios da Tecnologia de Grupo (TG) são usados para rearranjar sistemas de produção organizados funcionalmente para células de manufatura com a finalidade de reduzir o *lead-time* e de melhorar a qualidade;

2) quando repetitivos e rígidos fluxos de linha são reorganizados para fornecer mais flexibilidade no que tange: ao produto em uma escala mais larga; a mudanças nos volumes de produção para responder rapidamente à demanda do mercado; para tornar mais fácil a introdução de produtos novos; e

3) quando repetitivos e rígidos fluxos de linha são reorganizados para superar os problemas de absentéismo elevado e do *turnover* de operadores que dificultam a operação do fluxo das linhas.

A configuração em U e das linhas paralelas é particularmente adequada por permitir que o mesmo trabalhador opere simultaneamente em dois lados. Ao programar-se uma produção mais elevada, pode-se acrescentar trabalhadores na linha, cada um trabalhando apenas em uma ala (SCHONBERGER, 1993). A Figura 14 ilustra uma configuração em forma de U com operadores multifuncionais.

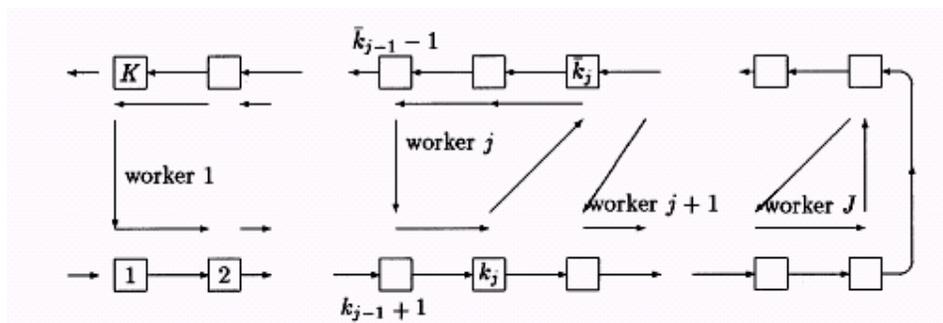


Figura 14: Configuração em forma de “U” com operadores multifuncionais
Fonte: Nakade e Ohno (1999)

A linha composta de 10 máquinas pode ter a forma de “U”, aproximando-se a primeira e a última operação, deixando-as tão próximas entre si como as duas primeiras ou as duas últimas da linha. O emprego destas configurações pode elevar o número dos padrões de fluxo de produção eficientes, mas ele aumenta também a complexidade do problema do *layout*, quando se opera com máquinas desuniformes (SCHONBERGER, 1993).

O formato U 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).

Certamente, um número incontável de estudos que focalizam a manufatura celular parece indicar que esta tecnologia de manufatura, que tem em seu núcleo disposições de uma força de trabalho multifuncional e de um *layout* de máquinas em forma de U, está no centro

dos debates para o desenvolvimento de um sistema de manufatura mais flexível e mais sensível (GHINATO, 1998).

2.8.2 Aspectos Operacionais do Projeto

Conforme Lorini (1993), alguns aspectos operacionais devem ser considerados quando do desenvolvimento do projeto do sistema (LORINI, 1993): requisitos tecnológicos, investimentos em equipamentos, flexibilidade desejada para o sistema, distribuição da carga de trabalho, número de peças a produzir, número de máquinas por grupo, características das máquinas, frequência de fabricação e aspectos políticos internos da empresa.

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.

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. Quando estas edições não são consideradas adequadas, os problemas são inevitáveis. Pesquisas efetuadas com usuários de células apontaram que o correto número de operadores nas células era um problema crítico do projeto da célula e que também estava relacionado à quantidade de treinamento oferecido ao operador. O computador que modela o adiantamento da mudança física pode ser uma estratégia para evitar este e outros problemas similares, tais como as reduções insuficientes da instalação e do tamanho do lote, os desequilíbrios da carga

de trabalho, treinamento cruzado demasiado de muitos operadores e baixa carga de operadores (HYER; WEMMERLOV, 2003).

Um estudo empírico elaborado por Wemmerlov e Johnson (2000) apresenta uma comparação da visão acadêmica e da gerencial no que tange aos aspectos da construção da célula. Este estudo aponta para a redução do *lead-time* e redução do estoque em processo, pois ambas são razões importantes que os gerentes devem considerar na construção da célula. Além disto, o estudo indicou que a maioria das empresas começou estabelecendo famílias de peças e então determinou os equipamentos que deveriam fazer parte da célula. O critério principal do projeto é que a célula processe todo o roteiro de produção especificado para a família de peças projetada.

2.9 O DESEMPENHO DAS CÉLULAS

O desempenho superior do *layout* celular sobre os outros tipos de *layout* de manufatura é amplamente relatado na literatura acadêmica e na prática pelas implementações realizadas. A variedade de produtos, a manutenção da família de peças e o seu mix de produção são os desafios da manutenção do desempenho de uma célula de manufatura.

2.9.1 Considerações para a obtenção do desempenho da célula

A programação de peças é um dos fatores mais importantes que afetam o desempenho da célula, porque todos os trabalhos usam os mesmos recursos: máquinas, materiais, ferramentas, tempo, etc., a competição por recursos faz do fluxo de peças uma função vital para o sucesso da manufatura (ÖSBAYRAK; BELL, 2003).

Uma boa ferramenta no gerenciamento da célula de manufatura permitirá a resolução rápida para seqüência de peças, gerenciamento de ferramental, e controle de problemas, com menos tempo de máquina parada (ÖSBAYRAK; BELL, 2003).

As máquinas num *layout* celular tendem a ser menos utilizadas por causa da dedicação das máquinas na célula para processar um grupo específico de peças (isto é, uso inflexível dos equipamentos), mas o desempenho da célula é superior comparado ao *layout* funcional (LI, 2003).

Kher e Jensen (2002) apontam que há uma substancial diferença entre a realidade presenciada pelos gerentes de fábrica e as premissas assumidas pelos pesquisadores acadêmicos. Eles argumentam que os pesquisadores ignoram que, na prática, células são formadas de uma vez, e raramente uma fábrica é dividida em células. De fato, os autores apontam que a fábrica nunca alcança o ponto onde todas as máquinas estão dedicadas para uma família de peças, eles indicam que a medida de desempenho do nível da célula é tipicamente usada na prática.

Wemmerlov e Johnson (2000) reportam que vinte e cinco por cento das células projetadas que foram estudadas, são formadas sem desempenharem o necessário cálculo de carga para verificar as capacidades necessárias. O desempenho da célula é mais sensível para a carga de máquinas desbalanceadas, porque, nestes casos, todas as máquinas não realizam o mesmo nível do tempo de processamento.

Considerando diferentes condições de variabilidade de demanda, as análises experimentais mostraram que um grande efeito na performance do sistema é devido ao fator tempo de processamento e não ao fator balanceamento do mix. Eficiência do sistema mostrou não ser dependente da variabilidade da demanda (D'ANGELO *et al.*, 2000).

2.9.2 Avaliação da Eficiência do *Layout* Celular

Os estudos de muitos sistemas de manufatura discretos indicaram que a escolha do tamanho do lote é um aspecto importante na determinação do desempenho do chão de fábrica, pois o tempo de fluxo e o de estoque em processo são fortemente dependentes do tamanho do lote que é empregado. (SHAMBU; SURESH, 2000).

A determinação da eficiência das células de manufatura vai além dos conceitos básicos de produtividade. As metodologias modernas para análise da eficiência utilizam-se dos conceitos formulados por Farrell *apud* Oliveira e Carmona (2001). Os princípios apresentados por este autor utilizam o conceito de fronteira de produção. Empresas que operam ao longo da fronteira de eficiência são empresas eficientes. Já empresas que trabalham abaixo desta curva são ineficientes (OLIVEIRA; CARMONA, 2001).

Na literatura, há duas abordagens embasadas nas fronteiras de eficiência: técnicas econométricas (modelos paramétricos) e técnicas de programação matemática (modelos não-paramétricos). Os modelos não-paramétricos definem as fronteiras de eficiência baseados na

performance de todas as unidades do grupo, sujeita à condição de que a eficiência de cada unidade poderá estar acima ou abaixo da fronteira de eficiência (OLIVEIRA; CARMONA, 2001).

2.9.3 Resultados

Miltenburg (2001) apresenta, em seu trabalho de pesquisa, 114 empresas japonesas e americanas que utilizam um *layout* em forma de U com *JIT*, tendo em média 10,2 máquinas e 3,4 operadores por *layout* em forma de U. Aproximadamente um quarto de todos os *layouts* em U são equipados 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 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% .

O estudo apresentado por Wemmerlov 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.

2.9.4 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.

Entretanto, há situações em que não é prático ou possível mudar de um *layout* 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 *layout*; e o amplo *mix* de produtos é instável (PRINCE; KAY, 2003).

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

Troca de demandas é uma realidade para todos. Se sua operação defronta com declínio de demanda para as peças das células, deveria ser uma tentação para não usar peças diferentes na célula, fazendo com que o equipamento se mantenha ocupado, mas isto cria uma situação onde mais e mais tempo será despendido no *set-up*, no ferramental e em outros problemas. Isto pode resultar no incremento da complexidade e um declínio da eficiência da célula (HYER; WEMMERLÖV, 2003).

A disponibilidade das máquinas pode afetar as quebras de velocidade (manutenção, formação de gargalos e tarefas urgentes). Outra razão para a perda de eficiência é a variação de volume, a distribuição de carga extra de uma máquina esgotada. A interação entre células pode minimizar o problema (DIALLO *et al.* 2001).

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).

Para uma reação eficiente aos distúrbios, os planos de processo atribuídos podem ser reconsiderados quando as avarias ocorrerem. Assim, as configurações da célula não devem ser amarradas a uma atribuição original dos planos do processo, mas devem manter as interações intercelulares, ou seja, a configuração da célula deve ser projetada para dar sustentação a eficiência do plano de processo designado (DIALLO *et al.*, 2001).

A maior desvantagem de um sistema de célula de manufatura relativo a um *job-shop layout* é que requer mais recursos (especialmente máquinas) na ordem para satisfazer uma certa demanda (ARZI *et al.*, 2001).

O projeto de um *layout* 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).

A solução para a formação de células em um ambiente de demanda variável seria incluir peças excepcionais. Uma exceção é uma peça que não pode ser produzida numa célula simples, o que permitiria a transferência de peças entre células ou a duplicação de máquinas requeridas para a fabricação de uma determinada peça (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).

Células completamente independentes são usualmente, na prática, difíceis de ser geradas, já que algumas peças necessitam ser processadas em mais de uma célula, gerando o fluxo intercelular (XAMBRE; VILARINHO, 2003).

O efetivo projeto de um *layout* 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 particular operação de manufatura 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).

2.9.5 Set-up

O tempo de *set-up* é um fator importante para o desempenho e a flexibilidade de uma célula de manufatura. Obviamente reduzir o número de *set-up* não somente incrementa a acuracidade pela eliminação dos erros de reposição causados por trocas de ferramental

múltiplas vezes, como também virtualmente eliminam o tempo que as peças despendem esperando pela próxima operação (DILLION, 2003).

Li (2003) comenta que os tempos médios de processamento do *set-up* não estão relacionados diretamente com a eficiência de produção, ele é empregado especialmente para examinar a efetividade da manufatura celular na redução do tempo de *lead-time*. Uma larga redução no tempo de *set-up* melhora o desempenho do *layout* celular. Uma média ou larga redução do tempo é um pré-requisito crítico para o sucesso de implementação do fluxo unitário de peça no fluxo dentro da célula (LI, 2003).

Geralmente o custo devido ao tempo de *set-up*, o tempo e trabalho requeridos para realizar a preparação de uma determinada máquina ou linha produtiva, tende a decrescer com o aumento do número de células. Com esta diminuição no tempo de *set-up*, permite-se atender mais rapidamente à nova ordem de produção, o que pode acarretar em uma diminuição do inventário em processo (OLIVEIRA; MONTEVECHI, 2001).

2.10 IMPLEMENTAÇÃO DE CÉLULAS

A implementação de células de manufatura num sistema produtivo promove uma mudança da cultura industrial, que passa do trabalho individual para o trabalho em times com os mesmos objetivos; do trabalho em um tipo de máquina, para múltiplas habilidades dos operadores com treinamento intensivo; e de uma só responsabilidade, que é manufaturar peças, para maiores responsabilidades como qualidade, *set-up* e manutenção.

2.10.1 Metodologias de Implementação

A aplicação de uma metodologia por 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. O sistema implementado introduz uma série de melhorias: organização do trabalho, saúde e segurança, programa de produção e controle dos métodos. O sistema mostra-se mais dinâmico do que estático, necessitando contínuo aprimoramento (SILVEIRA, 1999).

A metodologia sugerida por Silveira (1999) combina idéias, métodos e prescrições de vários estudos de maneira lógica e estruturada do processo e está ilustrado na Figura 15.

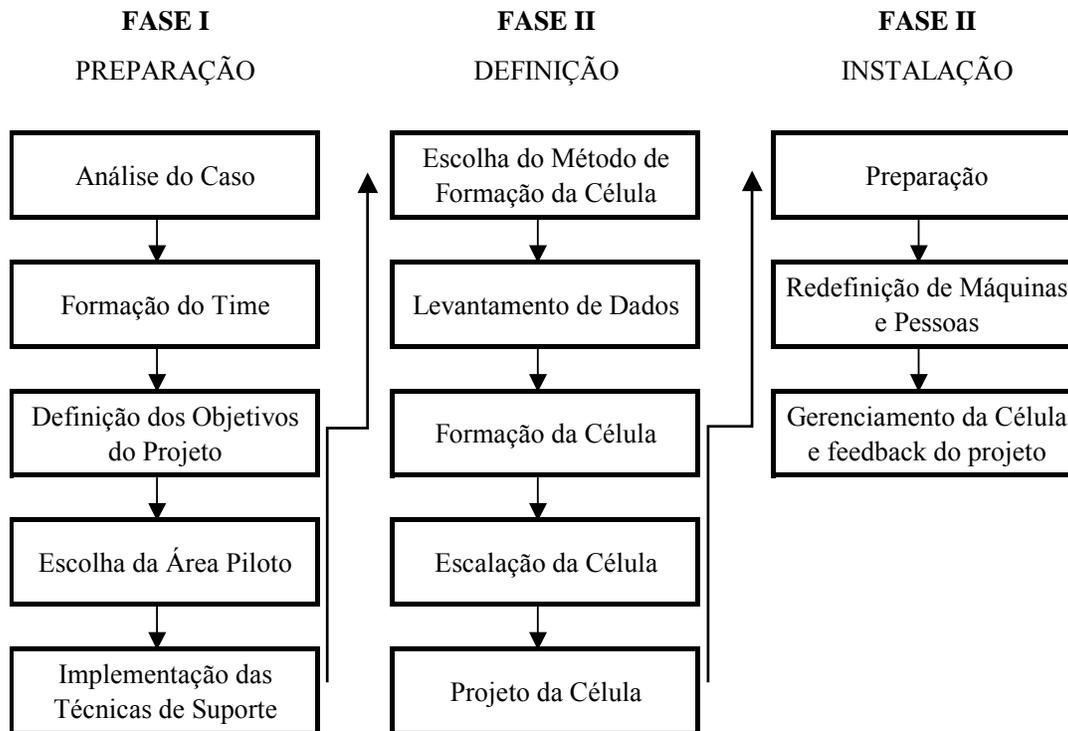


Figura 15: A metodologia de implementação da manufatura celular
Fonte: Silveira (1999)

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. As edições estruturais a serem dirigidas incluem disposição detalhada, equipamento de manipulação material, ferramentas, e outros. Os interesses operacionais incluem políticas do projeto e do *job rotation* de trabalho, inspeção e procedimentos da qualidade, planejamento de produção, controle da atividade da produção, segurança, medida de desempenho da célula, e assim por diante. (6) implementar o novo projeto; e (7) avaliar continuamente, melhorando o projeto.

2.10.2 Estrutura Operacional

Em células de manufatura, os empregados são movidos de trabalhos em grupos segregados para as células, que combinam tarefas e trabalhadores de várias habilidades e especialidades. Para o sucesso do projeto de uma célula, vários autores sugerem que o gerenciamento siga estes caminhos: (1) criar a missão do projeto (metas claras e objetivas para todos), (2) prover suporte para o gerenciamento, (3) instalar mecanismos de planejamento e programação, (4) instituir e monitorar sistema de *feed-back*, (5) prover comunicação e projeto visual e (6) resolver problemas (OLORUNNIWO; UDO, 2002).

Treinamento através das operações adiciona flexibilidade, e a flexibilidade tem eliminado a fonte de gargalos, encorajado uma certa quantidade de movimentos entre as células de trabalho, assim como o crescimento da carga de trabalho e de novas aberturas. A autonomia das células dá uma condução ao ambiente de trabalho para a melhoria contínua, eliminando barreiras no caminho de implementação de novas idéias, novos produtos e novos processos (DEGASPARI, 2001).

São quatro os fatores a serem explorados para o sucesso de implantação de uma célula: o papel da alta administração, a seleção do time da célula, o projeto de trabalho para os operadores e o treinamento através de todas as atividades da célula (OLORUNNIWO; UDO, 2002).

Organizações que utilizam treinamento através de todas as máquinas da célula apresentam um maior grau de sucesso em sua implementação, tendências de melhorias com o incremento à resposta rápida, qualidade do produto e custos. Os times das células, ao invés de habilidades individuais, passam a possuir habilidades multifuncionais, que incluem programação e controle das atividades, nível de capacidade de planejamento da célula, programação de trabalhos e movimentos e condução da verificação dos itens de qualidade (OLORUNNIWO; UDO, 2002).

Um número fundamental de mudanças sociais ocorre durante a conversão do *layout* por processo para o celular. Estas mudanças afetam a alta administração, com o seu comprometimento e suporte, e em especial, as atitudes dos empregados, pelo impacto causado na motivação e na capacidade de retenção dos mesmos (OLORUNNIWO; UDO, 2002).

3 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE *LAYOUTS* CELULARES JÁ IMPLEMENTADOS

Neste capítulo apresenta-se uma proposta de metodologia para avaliação de *layouts* celulares já existentes em empresas de manufatura. O objetivo da proposta é avaliar a adequação do *layout* existente ao contexto de produção da empresa analisada. Avalia-se assim, em última análise, o efetivo uso dos conceitos de manufatura celular pelas empresas onde a metodologia poderá vir a ser aplicada.

Como descrito no Capítulo 2, a determinação de famílias de peças e grupo de máquinas tem um grau de importância como um processo fundamental de formação da célula e aplicação da tecnologia de grupo. Este procedimento é de real importância para o processo de avaliação da manufatura celular aplicado no chão de fábrica.

No Capítulo 2, também é citada uma série de vantagens da manufatura celular, tais como: melhoria da produtividade, redução do estoque em processo, do *lead-time* e queda nas taxas de defeitos.

A presente proposta metodológica se constitui em potencial instrumento de verificação dos aspectos estratégicos desenvolvidos por empresas para o seu sistema de manufatura celular implementado na área fabril. A metodologia foi definida previamente para implementação no estudo de caso reportado no Capítulo 4 e então testada e refinada ao longo da sua execução. Seus passos são apresentados na seqüência.

3.1 APRESENTAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

O modelo proposto para a Avaliação do *Layout* Celular existente está baseado na metodologia apresentada por Silveira (1999). A referida metodologia integra uma série de métodos e atividades requeridas para a formação, projeto e instalação de células de manufatura. A metodologia é composta por três fases: Apresentação, Aplicação e Avaliação. Cada fase é constituída de passos operacionais, adaptados para os objetivos desta pesquisa e listados abaixo.

Fase I - Apresentação

1. Análise Estratégica;
2. Formação do Time;
3. Fatores Característicos do *Layout* Celular Implementado;
4. Volume de Produção, Peças e Roteiro do Processo; e

Fase II - Aplicação

1. Escolha do Método de Formação da Célula;
2. Aplicação do Método; e
3. Agrupamento Proposto pela Aplicação do Método.

Fase III – Avaliação

1. Comparação do Agrupamento proposto com o Implementado;
2. Análise Estrutural e Operacional;
3. Avaliação de Desempenho; e
4. Análise do *Layout* Celular Instalado.

O encadeamento lógico das referidas fases e etapas estão ilustrados na Figura 16. Nas demais seções deste capítulo, cada fase e etapa são detalhadas.



Figura 16: Metodologia para avaliação de layouts celulares já implementados
Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 FASE I - APRESENTAÇÃO

Nesta fase, procura-se realizar uma apresentação de todos os elementos envolvidos para a execução da avaliação proposta na metodologia. Estes elementos permitem dar sustentação à análise desenvolvida.

3.2.1 Análise Estratégica

A análise estratégica aqui proposta tem por objetivo, através do contexto estratégico apresentado na Figura 17, verificar o sistema de produção em células adotado pela empresa, a sua organização fabril e a sua estrutura organizacional instalados para dar suporte ao layout celular implementado.

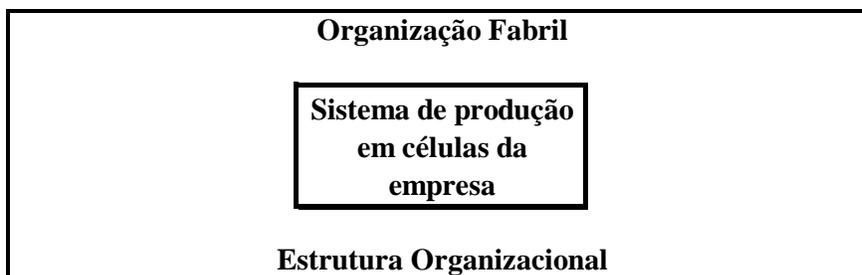


Figura 17: Contexto estratégico do sistema de produção em células
Fonte: Elaborado pelo autor

O modelo de *layout* em uso deve apresentar a melhor disposição de peças e máquinas no chão de fábrica em face aos novos roteiros de processo, e estar de acordo com as diretrizes globais da companhia.

3.2.2 Formação do Time

Segundo Silveira (1999), a formação do time deve atender aos objetivos do trabalho, engajando os três grupos de pessoas relacionadas ao projeto: (i) gerenciamento, para dar suporte ao projeto, (ii) líderes e operadores do chão de fábrica, que deverão entender e suportar os objetivos e (iii) grupo de execução, que aprenderá os métodos e técnicas do projeto e planejamento de avaliação das células de manufatura.

A Figura 18 traz um detalhamento dos requisitos associados a cada grupo de pessoas que integra o grupo de execução.

Grupos de Pessoas	Requisitos
Gerenciamento	Administrar a produção num sistema de <i>layout</i> celular
Líderes e Operadores	Estar envolvidos na rotina de produção de uma célula de manufatura
Áreas de Apoio	
Analista de Processo	Estar envolvidos na área de manufatura em estudo, participar das definições dos roteiros de processo das células de manufatura
Planejador de <i>Layout</i>	
Analista de <i>Pre-Set</i>	
Analista de Manutenção	

Figura 18: Formadores do grupo de execução e seus requisitos
Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.3 Fatores Característicos do *Layout* Celular Instalado

O objetivo desta etapa é detalhar todos os fatores característicos que envolvem o *layout* celular instalado no chão de fábrica. Estas características procuram dar suporte à compreensão do sistema de produção implementado.

Características relativas ao sistema de gestão fabril instalado: informações sobre a área produtiva onde está localizado o *layout* celular, o sistema de programação de produção, o sistema de coleta e tratamento dos dados e a análise de eficiência desenvolvida.

Características construtivas e informações pertinentes aos produtos envolvidos no *layout* celular instalado.

A metodologia e critérios aplicados para a formação do *layout* celular.

Apresentação do *layout* físico de cada célula, a distribuição das peças e máquinas e os seus dados característicos.

Na Figura 19, estão referenciados os fatores característicos propostos para serem considerados nesta apresentação.

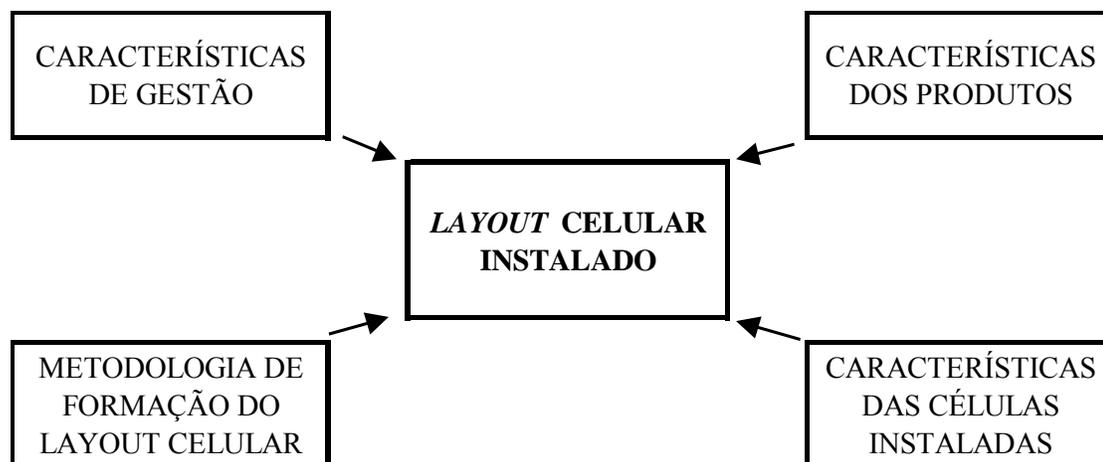


Figura 19: Fatores Característicos do Layout Celular Instalado

Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.4 Volume de Produção, Peças e Roteiro de Processo

Nesta etapa, para a aplicação do método, reúnem-se informações necessárias referentes às peças manufaturadas na unidade de produção, ao volume de produção e roteiro

de processo. Na Figura 20 está apresentado um roteiro para o levantamento dessas informações.

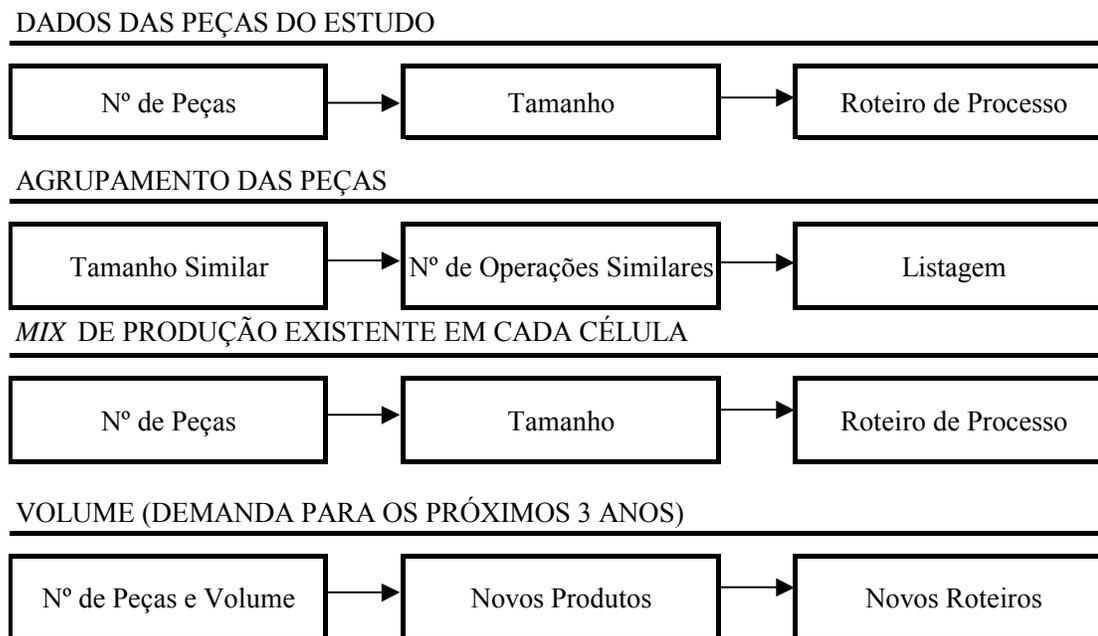


Figura 20: Roteiro para o Levantamento dos Dados
 Fonte: Elaborado pelo autor

3.3 FASE II - APLICAÇÃO

Esta fase do estudo está focalizada na aplicação do método de formação de famílias de produtos e equipamentos escolhidos, com base nos dados apresentados na primeira fase. Os resultados obtidos a partir dessa aplicação servirão para o estudo avaliativo e comparativo da próxima fase.

3.3.1 Escolha do Método de Formação da Célula

Silveira (1999) propõe que a escolha do método de formação da célula deve estar baseada em parâmetros como a variedade de peças e máquinas, os itens do agrupamento (peças, máquinas ou ambos), o capital e tempo disponíveis e o nível da decisão pessoal desejado, conforme está apresentado na Figura 21.

Parâmetro	Nível	Análise Visual	Sistema de Codificação	Coefficientes de Similaridade	Algoritmos de Agrupamento	Programação Matemática
Peças/Máquinas Variedade	Baixo	*		*		*
	Alto		*		*	
Itens de Agrupamento	Peças	*	*	*		*
	Máquinas		*	*		*
	Ambos				*	*
Custo	Baixo	*		*	*	
	Alto		*			*
Tempo (somente análise)	Curto		*	*	*	*
	Longo	*				
Decisão Pessoal	Baixo		*	*	*	*
	Alto	*				

Figura 21: Parâmetros de escolha dos métodos para a formação de células
Fonte: Silveira (1999)

A escolha do método proposto, além de levar em conta os parâmetros propostos por Silveira (1999), deve procurar atender às necessidades dinâmicas do ambiente fabril: simplicidade de implementação, custo baixo, rapidez e promoção do agrupamento tanto de máquinas como de peças.

3.3.2 Aplicação do Método

Nesta etapa, aplica-se o método de formação de célula selecionado na etapa anterior, descrevendo todo o processo utilizado e os resultados obtidos. Também é importante salientar as facilidades e limitações que o método proporcionou em sua utilização.

3.3.3 Agrupamento Proposto pela Aplicação do Método

Com a aplicação do método de formação de célula escolhido, obtém-se um agrupamento de máquinas e peças para o *layout* celular.

A partir destes resultados, é possível iniciar o processo de avaliação proposto para o estudo. Os dados resultantes possibilitam, através da aplicação de uma ferramenta acadêmica (método), um estudo comparativo com a metodologia aplicada para a formação das células na área de manufatura do estudo de caso.

3.4 FASE III - AVALIAÇÃO

Esta fase caracteriza-se por justificar, comparar e avaliar os aspectos estratégicos apresentados e os objetivos da avaliação propostos.

3.4.1 Comparação do Agrupamento Proposto com o Implementado

O método utilizado apresenta uma proposta de formação das células, com uma alocação de peças e máquinas. Estes resultados devem ser traduzidos no projeto de um *layout* físico. Na fase de apresentação, foi relatado o *layout* celular existente com a sua distribuição de peças e máquinas. Nesta etapa, é apresentado o estudo comparativo entre o *layout* proposto e o instalado, conforme ilustrado na Figura 22.

ESTUDO COMPARATIVO DA ESCALAÇÃO			
	PROPOSTA DO MÉTODO	X	LAYOUT EXISTENTE
CRITÉRIOS	DISTRIBUIÇÃO DAS PEÇAS		
	DISTRIBUIÇÃO DAS MÁQUINAS		
	TAMANHO DAS CÉLULAS		
	LAYOUTS ANEXOS OU COMPLEMENTARES		
	MOVIMENTOS INTERCELULARES		
	DUPLICAÇÃO DE MÁQUINAS		

Figura 22: Itens comparativos da escalação entre o layout proposto e o existente
Fonte: Elaborado pelo autor

3.4.2 Análise Estrutural e Operacional

Nesta etapa da avaliação, procura-se identificar os vários aspectos estruturais e operacionais dispostos no *layout* celular implementado, apresentados na Figura 23.

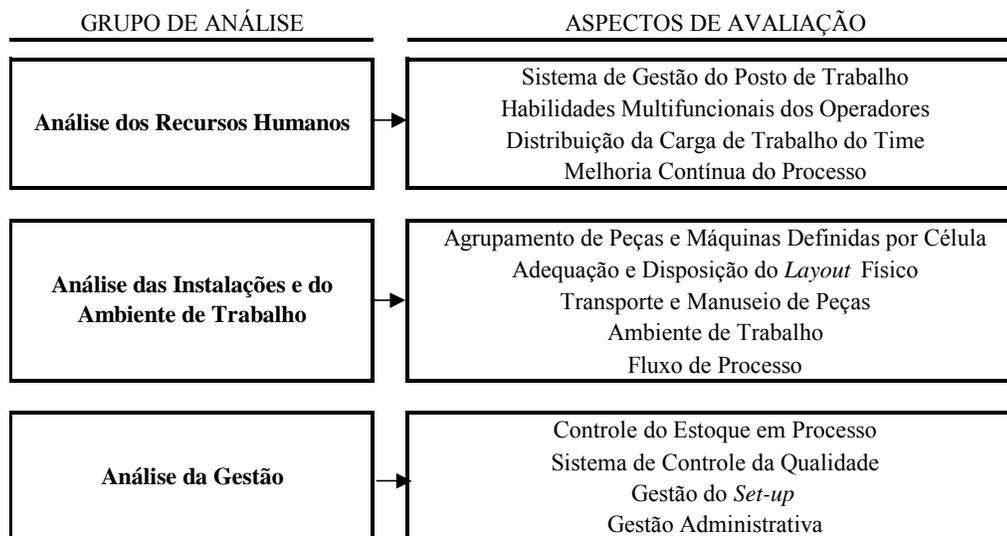


Figura 23: Análise Estrutural e Operacional
Fonte: Elaborado pelo autor

Um dos objetivos da adoção de um *layout* celular é assegurar o comprometimento das pessoas para a melhoria contínua do processo instalado. Deve haver um esforço para minimizar as paradas inesperadas de produção, além de proporcionar um trabalho com atendimento a requisitos de segurança.

As instalações e máquinas devem satisfazer os seguintes requisitos: reduzido número de quebras, garantia que os produtos manufaturados estejam dentro das especificações, baixos tempos de *set-up* e trocas de produto com facilidade de desempenho, ambiente com redução do nível de ruído, eliminação de vazamentos de óleos e condições gerais de limpeza e organização.

Quando da instalação do *layout* celular, há uma mudança na cultura industrial no sentido da fluidez da comunicação, da autonomia operacional, do trabalho em time, dos objetivos acordados, da adoção de programas de melhoria contínua, da responsabilidade com a qualidade, da otimização de *set-ups* e manutenção, e do desenvolvimento de habilidades múltiplas dos operadores (treinamento extensivo).

3.4.3 Avaliação de Desempenho

Nesta etapa, procura-se elencar e mensurar indicadores como forma de avaliação de desempenho das células instaladas. Uma sugestão de requisitos e indicadores associados estão apresentados na Figura 24.

REQUISITOS	INDICADORES	
Eficiência Produtiva	Percentual de Eficiência Geral da célula	↑
Células não tão largas	Número de máquinas e espaço físico ocupado	↓
Células não tão cheias	Quantidade de operadores na célula	↓
Produtividade	Número de operadores para fabricar 1000 peças	↓
Fluxo de Material Definido	Somente um ponto de entrada e saída do material	1
Manuseio de Peças	Percentual de Máquinas com carga e descarga Automática	↑
Transporte de Peças	Percentual de sistema de transporte de peças automatizado	↑
Família de Peças Definida	Quantidade de modelos de produtos fabricados	↓
	Diferença do tamanho de Junta Fixa fabricada	↓
Quebras de Máquinas	Taxa de Manutenção não previstas	↓
Estoque em Processo	Taxa de peças em processo dentro da célula	↓
Qualidade	Taxa de Peças Sucateadas em ppm	↓
Set-up	Tempo Médio de Troca de Produto na célula em minutos	↓
Flexibilidade	Relação entre a quantidade de trocas pela eficiência geral da célula	↓

Figura 24: Requisitos e Indicadores para avaliação de desempenho

Fonte: Elaborado pelo autor

Estes indicadores permitem uma análise das várias dimensões sobre os diversos ângulos de observação.

As setas indicadoras ao lado de cada dimensão analisada indicam a direção recomendada de melhoria no indicador, que pode ser do tipo maior-é-melhor, menor-é-melhor ou nominal. Por exemplo, na contagem de peças sucateadas em ppm (partes por milhão), quanto menor o valor medido, mais satisfatório é o desempenho da célula neste quesito em particular. Por outro lado, quanto maior for a eficiência geral da célula, mais satisfatório é o seu desempenho. Um exemplo de indicador do tipo nominal-é-melhor é o indicador ponto de entrada e saída de material da célula, onde se deseja um valor alvo unitário (fluxo unitário).

O conjunto de indicadores na Figura 24 representa características, conceitos e aspectos estratégicos que o *layout* celular deve proporcionar na sua utilização, atendendo aos pontos de vista acadêmico e empresarial.

3.4.4 Análise do *Layout* Celular Instalado

De posse dos resultados obtidos com os diversos indicadores analisados na etapa de avaliação de desempenho, com a análise estrutural e operacional realizada e com a análise comparativa do método de formação de famílias aplicado, torna-se possível realizar uma análise global das células de manufatura instaladas. A Figura 25 descreve a proposição de análise a ser realizada.

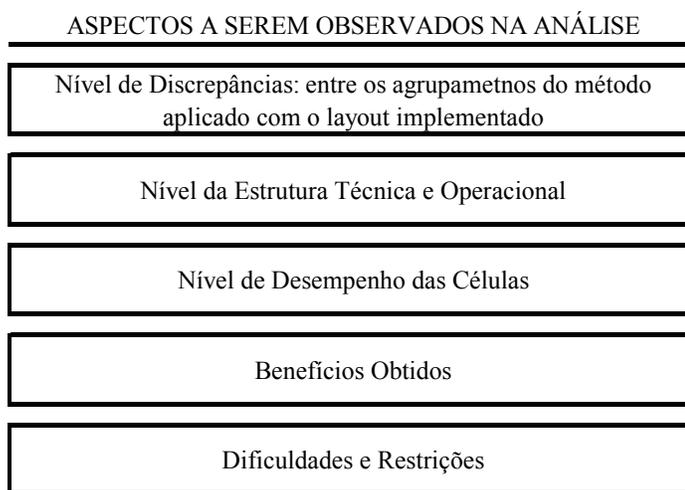


Figura 25: Análise do Layout Celular Instalado
Fonte: Elaborado pelo autor

O conjunto destes fatores observados nas três etapas desta fase proporciona uma avaliação crítica dos *layouts* celulares já implementados no chão de fábrica, quanto ao seu atendimento aos objetivos propostos da manufatura celular.

4 AVALIAÇÃO DE UM *LAYOUT* CELULAR IMPLEMENTADO – ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, propõe-se a avaliação do *layout* celular instalado na unidade de manufatura de juntas fixas da empresa GKN DO BRASIL LTDA, numa análise do sistema de produção, na tentativa de identificar oportunidades de melhoria.

O *layout* celular instalado na empresa é constituído de quatro células de manufatura em forma de U, como será apresentado com maiores detalhes ao longo do capítulo. A implementação desse *layout* ocorreu há seis anos, na unidade de manufatura do estudo em questão.

4.1 ANÁLISE ESTRATÉGICA DO ESTUDO

Os elementos centrais da análise do trabalho são: avaliar a construção e implementação, analisar a gestão sistêmica e a prática do gerenciamento dos recursos do *layout* celular na empresa.

A instalação do *layout* celular na unidade de manufatura de juntas fixas promoveu uma mudança na cultura industrial da companhia. De uma situação inicial caracterizada por diversos níveis hierárquicos extremamente dependentes de instruções, trabalho individualizado, metas de produtividade individual por máquina, desmotivação para a

melhoria contínua e trabalho em um só tipo de máquina, passou-se para um cenário caracterizado por uma maior autonomia e fluidez da comunicação, trabalho em equipes, com objetivos compartilhados e acordados, promoção de sugestões para melhorias contínuas, alta responsabilidade (em especial quanto à qualidade da manufatura, *set-ups* de máquina e manutenção) e trabalho multifuncional, com treinamento extensivo. A Figura 26 sumariza os componentes do sistema de produção em células concebidos na empresa.

A nova organização da produção introduzida na companhia requer uma análise estrutural, técnica e administrativa, promovendo questionamentos sobre o seu desempenho desde a sua implementação.

A capacidade do processo e os níveis de flexibilidade requeridos para trabalho em célula necessitam do comprometimento de toda a estrutura da companhia, para a busca da completa transformação no chão de fábrica, onde é contínua e constante a perseguição da melhoria do trabalho.

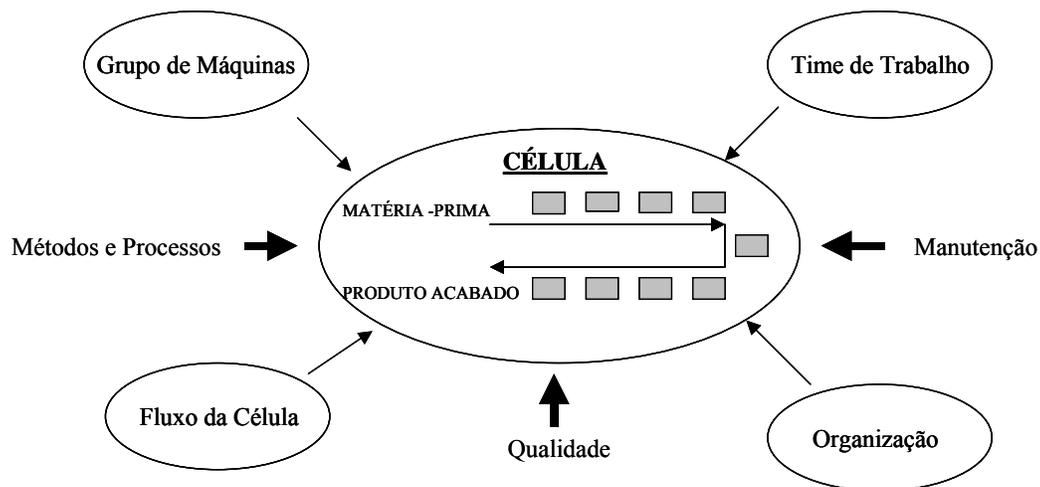


Figura 26: Sistema de Produção em Células
Fonte: GKN DO BRASIL LTDA (1997)

4.2 TIME DE TRABALHO

Formou-se um time de profissionais com características multidisciplinares para a avaliação do *layout* celular, com atuação nas áreas de produção, engenharia industrial, *pre-set* (área de preparação de ferramentas e dispositivos para as trocas de peças nas máquinas), *layout*, manutenção e administração de produção, que exercem atividades diretamente

relacionadas a *layout* no chão de fábrica. O autor deste trabalho teve participação ativa na operacionalização dos processos de administração dos recursos produtivos na unidade de manufatura em estudo, sendo o líder do processo de avaliação aqui reportado.

O time de trabalho para este estudo foi formado por membros (i) da unidade manufatura: o gerente, o chefe de produção, o analista do processo da área de *pre-set*, um técnico de manufatura (líder da célula), um operador da célula e o analista de manutenção; e (ii) da engenharia industrial: o analista de *layout* e o analista de processo.

4.3 FATORES CARACTERÍSTICOS

4.3.1 Unidade de Manufatura

As unidades de manufatura de usinagem são formadas por minifábricas compostas por células de manufaturas. Os equipamentos que compõem essas células estão dispostos em forma de U permitindo a otimização da área fabril e a utilização de operadores multifuncionais, entre outras vantagens características do *layout* celular. A interligação entre os equipamentos que compõem as células é feita a partir de esteiras acionadas, esteiras por gravidade ou pelos próprios operadores.

As unidades de manufatura (UM) operam de forma descentralizada com uma estrutura formada por gerente, chefias, lideranças de manufatura e operadores. As áreas de manutenção e *pre-set* pertencem à lotação das unidades de manufatura, respondendo operacionalmente para o gerente da UM. Áreas de apoio como engenharia de processos e qualidade não respondem para este gerente, mesmo tendo seu trabalho diário focalizado na UM.

Na Figura 27, está ilustrada uma Junta Fixa, parcialmente produzida na UM, em estudo neste trabalho. Juntas Fixas são componentes de construção compacta, montadas no lado da roda dos veículos com tração dianteira, que transmitem torque e rotação em ângulos de até 50 graus, garantindo velocidade constante ao veículo. Na Figura 27, é indicado o principal componente da junta, o qual é produzido nas células de manufatura aqui abordadas.



Figura 27: Junta Fixa
Fonte: GKN DO BRASIL LTDA (2004)

4.3.2 Programação de Produção

Neste estudo, avaliam-se quatro células de manufatura que compõem a unidade de juntas fixas, designadas por Alfa, Beta, Delta e Zeta. A programação de produção na fabricação de juntas fixas depende da demanda dos clientes. Procura-se atender às janelas de entrega dos diversos clientes, assim como os prazos de entrega dos itens de exportação.

A programação da produção diferencia-se em cada célula. Nas células Alfa e Beta, estabeleceu-se uma sintonia direta com as necessidades da montagem, isto é, determinaram-se lotes mínimos de fabricação orientados por um sistema visual do nível de consumo da montagem. Nas células Delta e Zeta, o que orienta a produção é uma planilha preparada pelo setor de PPCM (Programação de Produção e Controle de Produção) e revisada diariamente, onde são indicados o tamanho do lote e o momento da sua entrada em produção. Variações na planilha podem decorrer das necessidades advindas da manufatura, do cliente, da entrega de matéria-prima ou de sincronia na montagem.

4.3.3 Processamento e Coleta dos Dados

Um Diário de bordo (DB) é preenchido por cada operador em cada posto de trabalho, onde são registradas todas as paradas dos equipamentos. Com o objetivo de facilitar o preenchimento dos dados de parada no DB e nos sistemas automáticos de coleta, foi criada uma tipologia de paradas envolvendo as principais causas de paradas nos equipamentos.

De posse dessa tipologia, os operadores passaram a registrar as paradas e quantidades de produção de seus equipamentos, em todos os turnos de trabalho. Finalizado os turnos, os DB são recolhidos e seus dados lançados no sistema corporativo. Para a coleta

automática de dados, foram desenvolvidas interfaces de comunicação entre os fabricantes dos sistemas de coleta e a área de tecnologia da informação da empresa, que permitiram a gravação automática dos dados no sistema corporativo.

Outra coleta de dados necessária para efetivar o cálculo da eficiência está relacionada aos problemas de qualidade, os quais, na empresa, são registrados em cartões de sucata e retrabalho. Esses cartões são recolhidos, mas somente são lançados no sistema após análise crítica por parte dos analistas de qualidade das unidades de manufatura.

4.3.4 Análise de Eficiência

Em 1999, foi desenvolvido pela área de Sistemas da Informação da empresa um módulo específico para o cálculo da Eficiência Global do Equipamento (OEE - *Overall Equipment Efficiency*). Para o cálculo da OEE, além dos dados de paradas, são utilizados registros de tempo de ciclo teóricos por item e os registros de sucata e retrabalho, todos disponíveis no sistema corporativo da empresa, representando respectivamente os índices de disponibilidade (D), *performance* (P) e qualidade (Q). O cálculo da OEE é dado por (NAKAJIMA, 1989):

$$OEE = D \times P \times Q. \quad (2)$$

Os cálculos de disponibilidade (D), *performance* (P) e qualidade (Q) são dados nas equações (3), (4) e (5), respectivamente.

$$D = \frac{\text{Tempo de carga} - \text{Paradas}}{\text{Tempo de carga}} \quad (3)$$

$$P = \frac{\text{Ciclo teórico} \times \text{Quantidade produzida}}{\text{Tempo de operação}} \quad (4)$$

$$Q = \frac{\text{Produção total} - \text{Re fugos e retrabalhos}}{\text{Produção total}} \quad (5)$$

4.3.5 Modelos e Roteiros do Processo de Fabricação de Juntas Fixas

Uma tabela inicial, apresentada no Apêndice A, foi formada indicando todos os modelos de juntas fixas e o seu roteiro no processo de fabricação. Na tabela, é possível observar a variedade de peças consideradas, bem como seus diferentes roteiros de fabricação. Algumas operações são comuns a todos os modelos de peças.

4.3.6 Tamanho das Juntas Fixas

O tamanho das juntas fixas é a sua característica principal, determinada pelas dimensões dos diâmetros externo e interno, e representando a capacidade de transmissão de cada junta.

4.3.7 Agrupamento da Peças e Operações

Com o objetivo de facilitar a análise do estudo e sem prejuízo técnico do mesmo, num primeiro momento, foram agrupados modelos que possuem o mesmo roteiro de fabricação e tamanho. O resultado desse agrupamento inicial vem apresentado no Apêndice B.

Num segundo momento, foram selecionadas as operações significativas do ponto de vista técnico de usinagem. Nesta seleção, foram removidas operações de inspeção e proteção à integridade das peças [por exemplo, lavar (40) e teste de camada (45)] comuns a todos os modelos.

No Apêndice C, está apresentado o agrupamento final de modelos, tamanhos e roteiros de processo. Os dados no Apêndice C serão usados na aplicação do método de formação de famílias, apresentada na seção 4.7.

4.4 FORMAÇÃO DO *LAYOUT* CELULAR IMPLEMENTADO

Para exemplificar o trabalho desenvolvido na formação do *layout* celular implementado na unidade de juntas fixas da empresa em estudo, apresenta-se, a seguir, o processo de formação da célula Beta.

4.4.1 *Layout inicial*

Anterior à adoção do *layout* celular, as máquinas que atualmente compõem a célula Beta encontravam-se dispostas em um *layout* tipo zig-zag, conforme ilustrado na Figura 28, onde as máquinas vêm representadas por retângulos numerados.

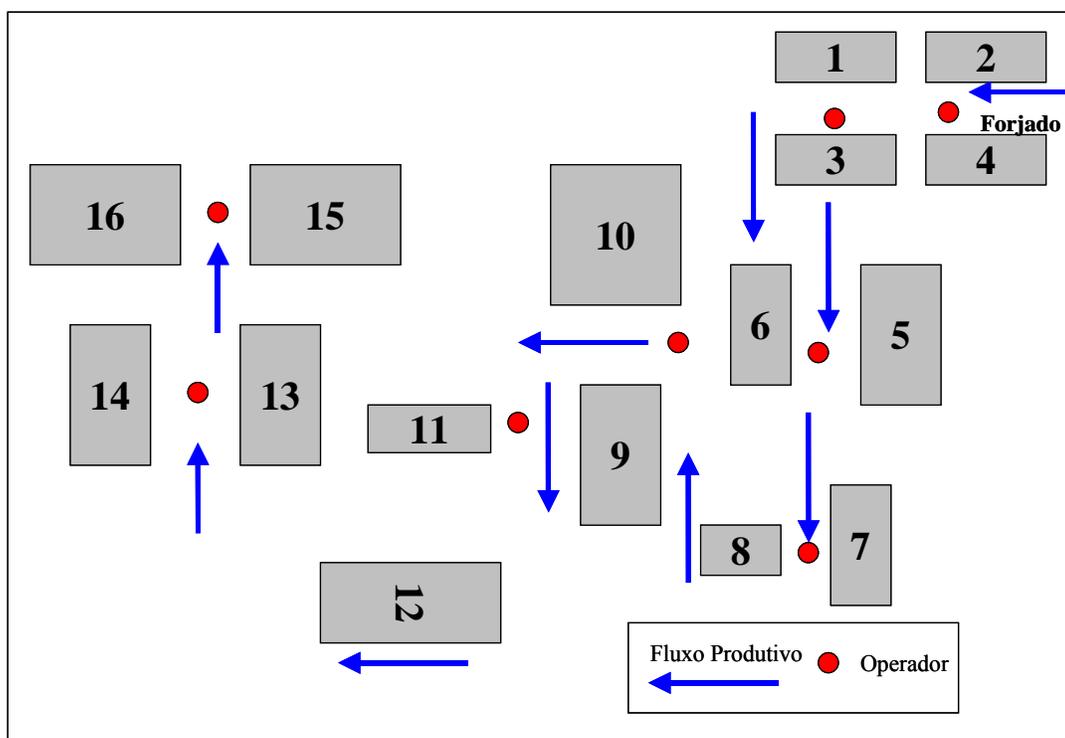


Figura 28: Layout inicial das máquinas que compõem a célula Beta
 Fonte: Elaborado pelo autor

O arranjo da Figura 28, com equipamentos dedicados a um conjunto limitado de operações e controlados por um único operador, não favorecia o trabalho de equipe, tornando

a ação do supervisor primordial para o desempenho do sistema. A Tabela 6 traz as informações de carga de operações, máquinas e operadores no *layout* da Figura 28.

Tabela 6: Carga de operações, máquinas e operadores do layout orientado pelo processo

CARGA DE OPERAÇÕES <i>versus</i> MÁQUINAS <i>versus</i> OPERADORES						
OPERAÇÃO	OPERAÇÃO	MÁQUINA	QUANTIDADE	PEÇAS POR		CARGA e DESC
Nº	DESCRIÇÃO	Nº	OPERADORES	HORA	CICLO	M / A
5	TORNEAR DIÂMETRO EXTERNO	1	1	56	1	MANUAL
5	TORNEAR DIÂMETRO EXTERNO	3		56	1	MANUAL
5	TORNEAR DIÂMETRO EXTERNO	2	1	56	1	MANUAL
5	TORNEAR DIÂMETRO EXTERNO	4		56	1	MANUAL
10	TORNEAR DIÂMETRO INTERNO	5	1	150	2	AUTOMÁTICO
10	TORNEAR DIÂMETRO INTERNO	6		70	1	MANUAL
20	FRESAR RASGO DE CHAVETA	7	1	288	2	MANUAL
25	LAVAR	8		857	1	AUTOMÁTICO
30	ROLAR ENTALHADO	9	1	331	1	AUTOMÁTICO
35	TEMPERAR POR INDUÇÃO	10		158	1	AUTOMÁTICO
55	REVENIR TOPO	11	1	400	1	MANUAL
65	REVENIR	12		545	1	AUTOMÁTICO
75	RETIFICAR DIÂMETRO INTERNO	13	1	125	1	MANUAL
75	RETIFICAR DIÂMETRO INTERNO	14		125	2	MANUAL
80	RETIFICAR DIÂMETRO DE PISTAS	15	1	90	2	MANUAL
80	RETIFICAR DIÂMETRO DE PISTAS	16		94	2	MANUAL
TOTAL			8			

Fonte: Elaborado pelo autor

O estoque de peças em processamento na linha era grande. Apesar do esforço de balanceamento da linha, era comum a formação de filas de processamento em máquinas críticas, o que demandava ações de decisão por parte do supervisor. Como consequência, tinha-se um *lead-time* alto no processo, necessitando de estoques de conjuntos montados para atender ao cliente e à montagem de semi-eixo homocinéticos.

4.4.2 Lógica de projeto da célula Beta

A formação da célula Beta, bem como das demais células, foi desenvolvida seguindo as etapas descritas abaixo:

1. Definição do time, regras e líder para a realização do projeto da célula;
2. Para as peças: listagem, volumes de produção, distribuição e previsão de demanda para os próximos três anos;
3. Coleta de dados: ciclo por peça, carga e descarga, ajustes, inspeções e troca de ferramentas;

4. Identificação do tempo disponível para a produção;
5. Verificação do nível de capacidade para cada máquina da linha;
6. Definição da taxa de produção desejável;
7. Revisão do processo produtivo e de seus pontos críticos;
8. Cálculo do tempo manual total (tempos para manuseio das peças nas máquinas, carga e descarga manual, trocas manuais de ferramentas e inspeções de qualidade) e cálculo teórico do número de operadores;
9. Verificação do número de máquinas e operadores necessários;
10. Seleção e formação da equipe de operadores;
11. Treinamento conceitual sobre células de manufatura;
12. Debate sobre o *layout* básico;
13. Definição do *layout* final;
14. Plano de ação para a implementação do *layout* projetado;
15. Justificativa Básica para a aprovação do investimento necessário;
16. Cálculo do retorno do investimento, aprovação e prazos;
17. Movimentação das máquinas para o reposicionamento das mesmas;
18. Verificação final; e
19. Avaliação contínua e melhoria do projeto.

4.4.3 Requisitos para Implantação da Célula

Antes da instalação da célula, deve-se garantir que as máquinas satisfaçam os seguintes requisitos: alta confiabilidade (reduzido número de quebras), boa capacidade do processo, alta flexibilidade, com baixos tempos de *set-up* nas trocas e condições adequadas de limpeza e ruído.

Todas as máquinas envolvidas no projeto da célula sofreram uma verificação de: capacidade, folgas e ajustes, fontes de ruído, pontos negros de acúmulo de sujeira e itens de melhoria no trabalho de *set-up*. Um plano de reparos foi realizado nas máquinas com

intervenções de manutenções corretivas, alterações nas carenagens (chaparia, janelas de inspeções e reforço das proteções) e a separação do *set-up* em interno e externo.

Algumas diretrizes foram seguidas na montagem da célula Beta: (i) a célula deveria ser compacta, com não mais do que 15 máquinas e não mais do que 5 operadores, (ii) a célula deve apresentar um único ponto de entrada de matéria-prima e um único ponto de saída do produto acabado e (iii) deve-se fazer um uso extensivo do transporte por gravidade ou automatizado.

4.4.4 Projeto da célula

O projeto da célula Beta foi desenvolvido por uma equipe formada por: técnico de processo da engenharia industrial, líder da produção, técnico de qualidade, técnico de manutenção e o técnico de *layout*. Essa equipe realizou o estudo de variedade das peças e seus volumes correspondentes, para a definição de famílias de peças similares.

A coleta e a conferência básica de dados buscaram a frequência da troca de ferramentas e inspeções para a qualidade, informações do tempo de ciclo por peça, carga e descarga de cada máquina, ajustes em operação e paradas, frequência e quantidade de quebras das máquinas e o número de peças sucata por máquina. Esses dados possibilitaram a determinação dos tempos manuais para troca de ferramentas, inspeções de qualidade e trajeto dos operadores.

O estudo da capacidade das máquinas revelou problemas com algumas operações. Os equipamentos correspondentes foram substituídos por outros índices de qualidade adequados. Da mesma forma, quando da revisão do processo corrente produtivo, verificou-se a possibilidade da eliminação de uma operação (tornear o diâmetro interno), com a utilização de um forjado de nova geração, que obteve a aprovação por parte da engenharia de produto, sendo logo adotado.

Após estes estudos, análises e definições, chegou-se ao número total de 12 máquinas necessárias para compor a célula. A Tabela 7 traz a proposta de composição da célula. O projeto do *layout* da célula envolveu um estudo inicial do tamanho individual das máquinas, de suas áreas de acesso e restrições de posicionamento, e do processo de fabricação. Determinou-se, assim, um *layout* básico.

A partir do *layout* básico, o estudo desenvolveu-se com a distribuição da carga de trabalho, o projeto do manuseio dos materiais, a localização no chão de fábrica e o *layout* individual das máquinas. Desenvolveram-se várias alternativas de *layout* e as 4 melhores foram analisadas.

Tabela 7: Operações versus Máquinas da Célula de Manufatura

OPERAÇÃO Nº	OPERAÇÃO DESCRIÇÃO	MÁQUINA Nº	PEÇAS POR		CARGA e DESC M / A
			HORA	CICLO	
5	TORNEAR DIÂMETRO EXTERNO	1	56	1	MANUAL
5	TORNEAR DIÂMETRO EXTERNO	2	56	1	MANUAL
5	TORNEAR DIÂMETRO EXTERNO	3	56	1	MANUAL
20	FRESAR RASGO DE CHAVETA	7	288	2	AUTOMÁTICO
25	LAVAR	8	857	1	AUTOMÁTICO
30	ROLAR ENTALHADO	9	331	1	AUTOMÁTICO
35	TEMPERAR POR INDUÇÃO	10	158	1	AUTOMÁTICO
55	REVENIR TOPO	11	400	1	AUTOMÁTICO
65	REVENIR	12	857	1	AUTOMÁTICO
75	RETIFICAR DIÂMETRO INTERNO	13	181	1	AUTOMÁTICO
80	RETIFICAR DIÂMETRO DE PISTAS	15	90	2	MANUAL
80	RETIFICAR DIÂMETRO DE PISTAS	16	94	2	MANUAL

Fonte: Elaborado pelo autor

O tempo manual total, determinado a partir da coleta de dados, diz respeito aos tempos para manuseio das peças nas máquinas, principalmente daquelas que exigem carga e descarga manual, tempo para trocas manuais de ferramentas e inspeções de qualidade. A Tabela 8 apresenta os tempos manuais da célula Beta. O item “fora” designa o tempo de caminhada do operador enquanto a máquina fica parada, enquanto o item “dentro” designa o tempo de caminhada enquanto a máquina fica operando.

Tabela 8: Cálculo do Tempo Manual Total

Tempos Manuais												
Operação	Máq	Tempo Manual / Peça (segundos)				Total Manual	Troca Ferramenta			Inspeção		
		Fora	Dentro	Sub-total troca ferram + insp	Frequência		Tempo (segundos)		Frequência	Tempo (segundos)		
							Total	Por Peça		Total	Por Peça	
5	1	1,5	6,0	5,1	12,6	400	144	0,4	30	143	4,8	
5	2	1,5	6,0	5,1	12,6	400	144	0,4	30	143	4,8	
5	3	1,5	6,0	5,1	12,6	400	144	0,4	30	143	4,8	
20	7	5,0	5,0	3,7	13,7	600	1800	3,0	30	20	0,7	
25	8	0,0	0,0	0,0	0,0	1	0	0,0	1	0	0,0	
30	9	1,0	0,0	5,1	6,1	18000	1800	0,1	30	150	5,0	
35	10	0,0	0,0	0,4	0,4	18000	1800	0,1	200	60	0,3	
55	11	0,0	0,0	0,1	0,1	18000	1800	0,1	1	0	0,0	
65	12	0,0	0,0	0,0	0,0	1	0	0,0	1	0	0,0	
75	13	1,0	0,0	2,0	3,0	450	291	0,6	60	81	1,4	
80	15	1,5	6,0	1,7	9,2	360	120	0,3	100	140	1,4	
80	16	1,5	6,0	1,7	9,2	360	120	0,3	100	140	1,4	
Total					79,6						5,7	24,4

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir das informações de tempos manuais, foi possível proceder ao cálculo do número teórico de operadores, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Cálculo do Número Teórico de Operadores

Turnos de Trabalho			3,0
Horas Totais por Funcionário	Por Turno		8,0
	Refeição		0,50
	Ginástica Laboral		0,25
	Concessões Pessoais		0,25
Horas Trabalhadas por Funcionário	Por Turno	Horas	7,0
	Por Turno	Segundos	25200
Capacidade Produtiva da Máquina Gargalo	TEMPERAR POR INDUÇÃO	Peças por hora	158
		Peças por turno	1264
Nº Teórico de Operadores			
	= (Peças por Turno X Tempo Total Manual) / (Total de Segundos por Turno)		4,0

Fonte: Elaborado pelo autor

4.4.5 Balanceamento da Célula

O balanceamento da célula deve proporcionar o mínimo de estoque entre as operações, para compensar ajustes de máquinas e variações nos tempos manuais. Assim, o balanceamento da célula deve respeitar os seguintes princípios:

- Ritmo: determinado pelo tempo de ciclo de cada máquina ou operador, no caso de operação manual.
- Harmonia: dado pelo balanço entre máquina ou ciclos manuais.
- Fluidez: dado pelo desempenho total (qualidade, quebras, etc.).

Os resultados do balanceamento da célula Beta, considerando quatro operadores, vem apresentado na Tabela 10. O balanceamento foi baseado em análise de especialistas, sem aplicação de um estudo de variabilidade dos dados observados.

Tabela 10: Estudo dos tempos para o balanceamento com 4 operadores

OPERAÇÃO Nº	MÁQUINA Nº	PEÇA POR		Operador Responsável				
		HORA	CICLO	Op1	Op2	Op3	Op4	
5	1	56	1	1				
5	2	56	1		1			
5	3	56	1			1		
20	7	288	2				1	
25	8	857	1				1	
30	9	331	1				1	
35	10	158	1				1	
55	11	400	1				1	
65	12	857	1				1	
75	13	181	1			1		
80	15	90	2		1			
80	16	94	2	1				
Subtotal tempo manual por operador (segundos)				15,0	15,0	8,5	11,0	49,5
Tempo de caminhada por operador (segundos)				6,9	6,9	7,1	9,3	30,1
Total tempo por operador (segundos)				21,9	21,9	15,6	20,3	79,6
Tempo de Ciclo Teórico para 4 operadores (segundos)								19,9

Fonte: Elaborado pelo autor

Há dificuldade de se obter um perfeito balanceamento entre todos os operadores, podemos observar que as máquinas com carga e descarga manual, que requerem maior tempo manual, estão posicionadas próximas umas das outras, no caso os operadores 1 e 2. Entretanto, as máquinas com carga e descarga automáticas, que requerem menor tempo manual, também estão posicionadas próximas entre si, em referência aos operadores 3 e 4.

4.4.6 Implementação da Célula

De posse do *layout* básico e do número teórico de operadores, partiu-se para a montagem do time de operadores que iria trabalhar nos três turnos da 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 *layout* final foi realizada em conjunto com o time de operadores. Tomando como base os 4 *layouts* inicialmente selecionados, 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 *layout* individual de cada máquina com transferência dos quadros elétricos e sistemas hidráulicos para a parte posterior das máquinas, dos itens de segurança, e da estrutura para o sistema de transporte de peças, foi elaborado um plano de ação.

Com o 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 básica. O projeto foi apresentado e aprovado pela diretoria da empresa. Finalmente, o *layout* implementado foi realizado, o trabalho da célula iniciado, ajustado e revisado. O *layout* da célula de manufatura implementado é apresentado na Figura 29.

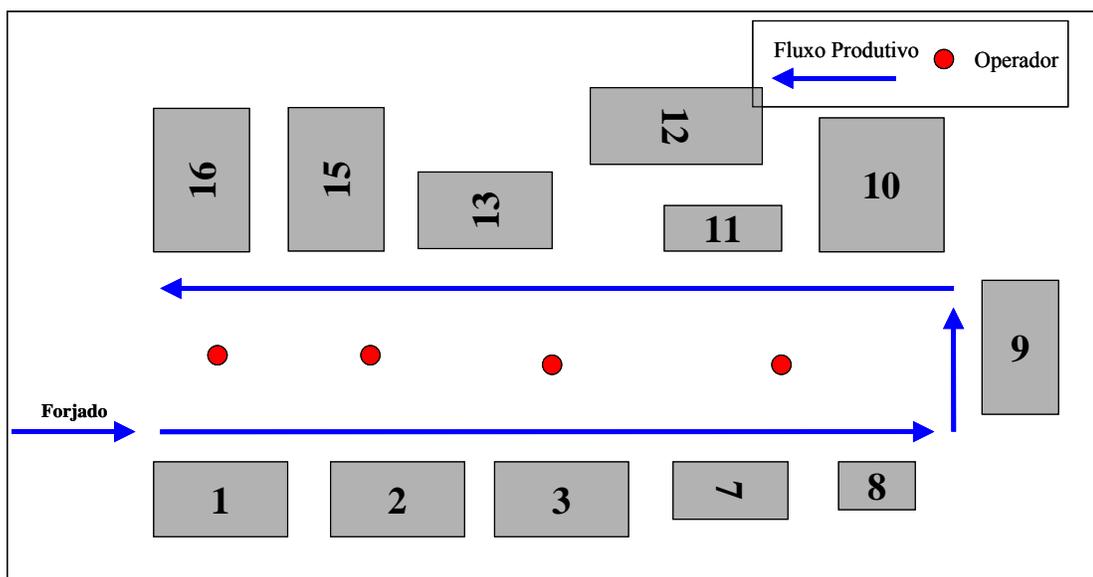


Figura 29: Layout final da célula Beta
Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 CARACTERÍSTICAS DAS CÉLULAS IMPLEMENTADAS

A concepção da área física de cada célula foi elaborada de forma a evitar o acúmulo de inventário entre as operações e possibilitar a multifuncionalidade dos operadores. O transporte automático entre as operações, sem a interferência direta dos operadores, capacita o fluxo contínuo e unitário das peças. O acúmulo de peças só ocorre nas esteiras transportadoras até um limite de no máximo 15 peças antes de cada operação.

Outra característica desejável na concepção do *layout* de célula em forma de U é que operações de desbaste foram posicionadas em frente às operações de acabamento. 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 segregando rapidamente peças defeituosas.

A Tabela 11 apresenta dados característicos das células de manufatura para a fabricação de juntas fixas.

Tabela 11: Características das Células

Características	Células				
	Alfa	Beta	Delta	Zeta	Zeta Anexo
Máquinas	13	12	16	13	4
Operadores por Turno de Trabalho	5	4	7	5	2
Operações	10	9	12	9	3
Modelos	11	5	25	12	3
Tamanhos	4	2	8	9	2
Tamanho Mínimo	51	50	49	48	101
Tamanho Máximo	60	55	60	106	106
Área Ocupada (m ²)	438	307	455	420	142

Fonte: Elaborado pelo autor

As operações comuns em todas as células com carga e descarga manual (5 e 80) são as de tornear diâmetro externo e retificar pistas. As operações comuns em todas as células com carga e descarga automática (20, 25 e 30) são as de lavar, rolar entalhado e temperar.

As esteiras de transportes podem ser por gravidade e acionadas, dependendo da distância entre as máquinas. As entradas e saídas de material acontecem no mesmo ponto.

As Figuras 30 a 34 apresentam os *layouts* das células Alfa, Beta, Delta, Zeta e Zeta – Anexo, respectivamente.

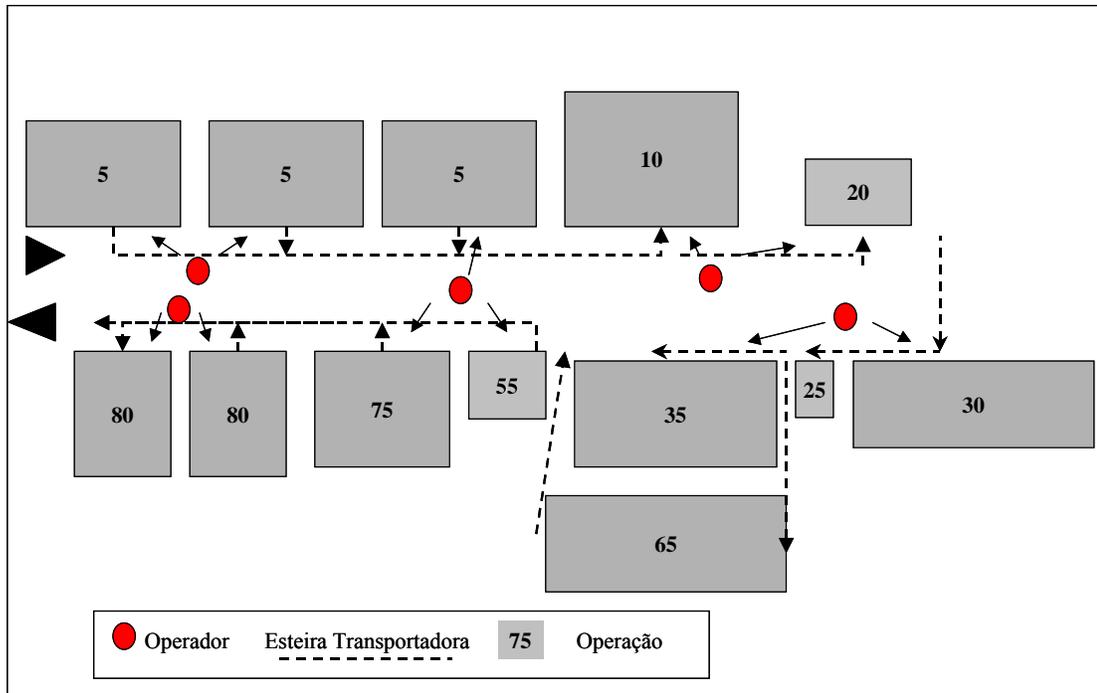


Figura 30: Layout da célula Alfa
Fonte: Elaborado pelo autor

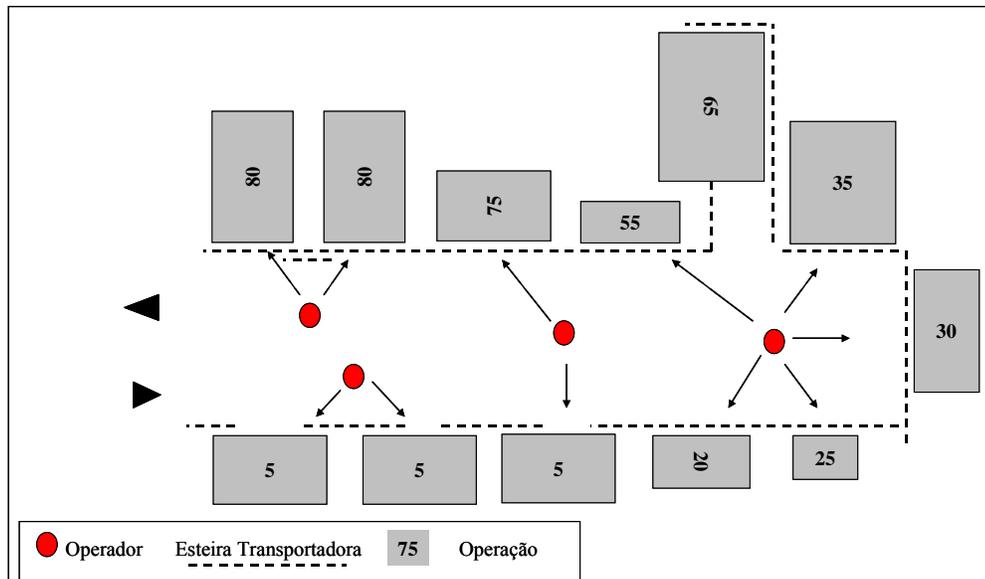


Figura 31: Layout da célula Beta
Fonte: Elaborado pelo autor

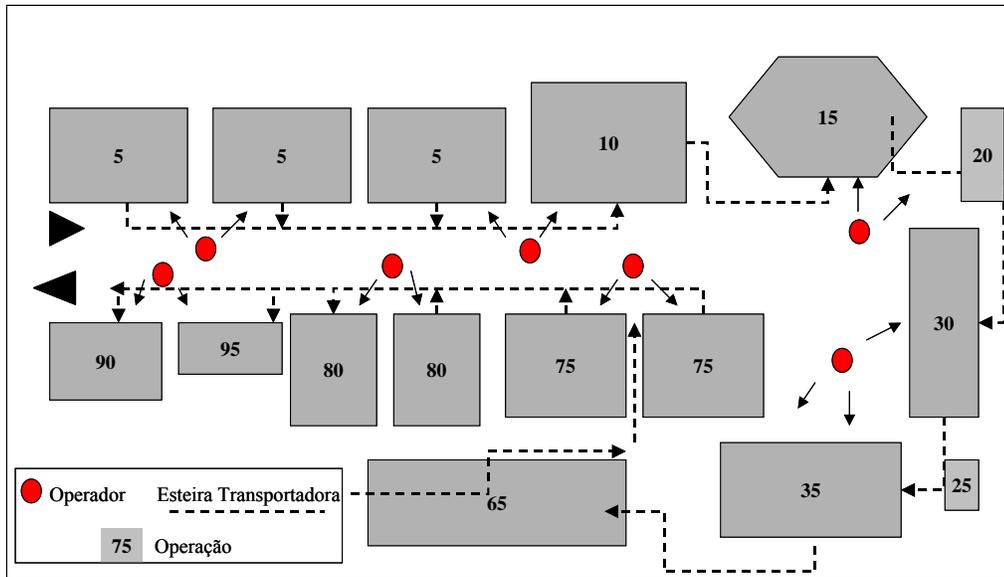


Figura 32: Layout da célula Delta
Fonte: Elaborado pelo autor

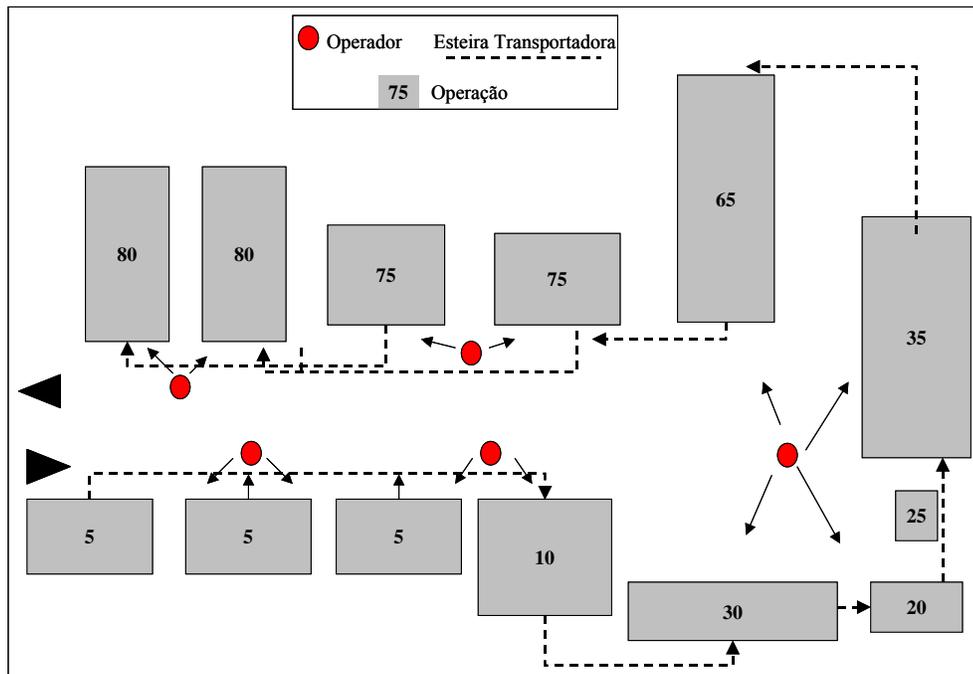


Figura 33: Layout da célula Zeta
Fonte: Elaborado pelo autor

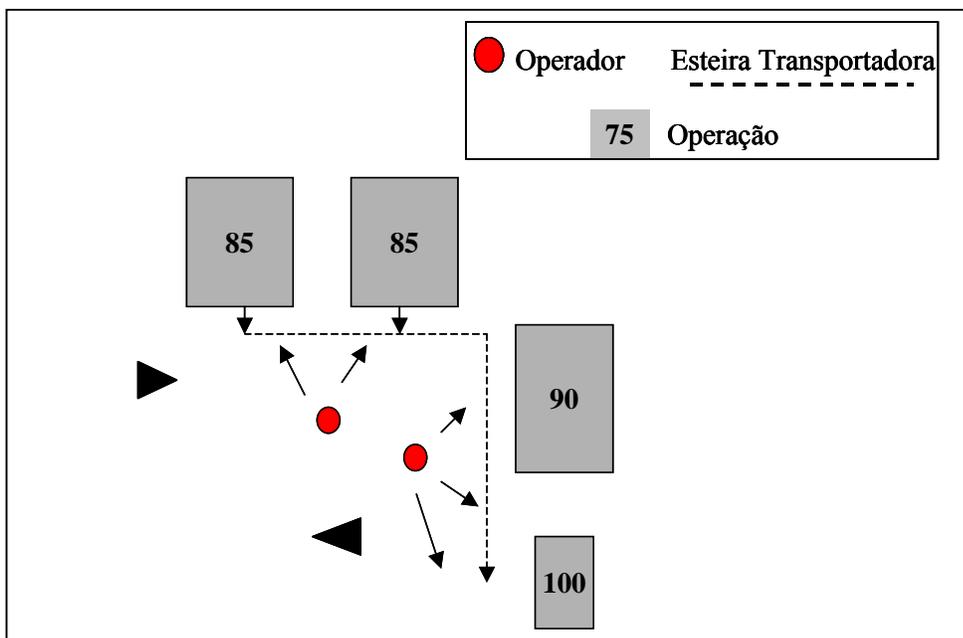


Figura 34: Layout do anexo da célula Zeta
Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 35 apresenta a distribuição dos modelos (peças) nas quatro células de manufatura. Os modelos estão identificados pelos seus códigos. A célula Zeta tem um *layout* anexo com as operações 85, 90 e 100 para atender especificamente aos modelos 2580, 2590 e 2600, mantendo a célula Zeta com o seu tamanho original para os outros modelos.

Células					
	Alfa	Beta	Delta		Zeta
Modelos	2100	2090	2030	2350	2010
	2120	2120	2050	2380	2030
	2140	2160	2080	2390	2040
	2150	2170	2090	2400	2050
	2180	2200	2120	2410	2070
	2200		2130	2420	2100
	2260		2150	2430	2130
	2280		2240	2440	2270
	2290		2250	2450	2310
	2300		2310	2460	2350
	2390		2320	2480	2580
			2330	2500	2590
				2510	2600

Figura 35: Distribuição dos modelos nas células de manufatura
Fonte: Elaborado pelo autor

4.6 VOLUME DE PRODUÇÃO FUTURA E NOVOS PRODUTOS

No Apêndice D, está apresentado o volume de produção de cada modelo para os próximos três anos. Estes dados completam o conjunto de informações que caracterizam as peças que fazem parte do estudo. Pode-se observar, naquele apêndice, sete novos modelos que usam o processo de fabricação de juntas fixas. Os novos produtos geram a necessidade de três novas operações no processo de manufatura (85 – Retificar Chanfro, 90 – Qualificar Diâmetro e 100 – Rebarbar Rosca). Pode-se observar, na Figura 36, o crescimento da variedade de produtos ao longo dos últimos dez anos, na empresa em estudo.

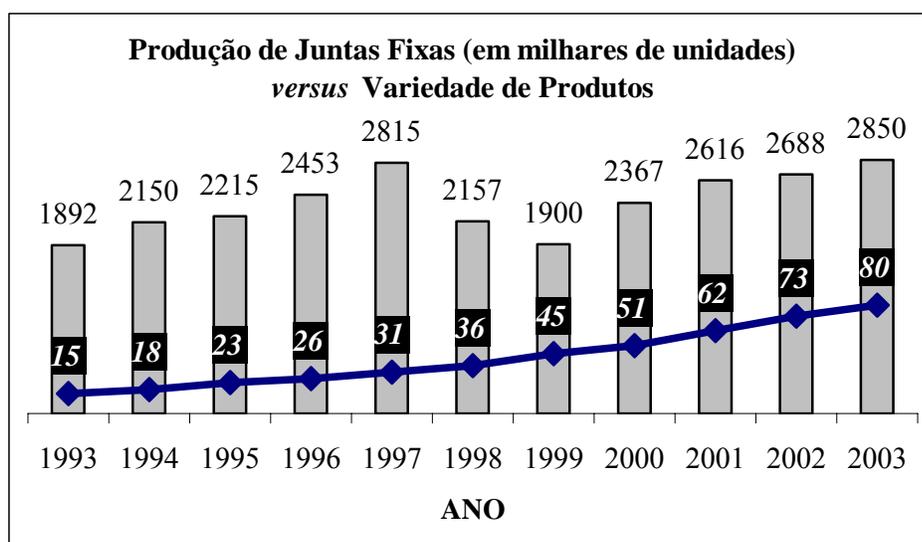


Figura 36: Produção de Juntas Fixas (em milhares de unidades) versus variedade de produtos
Fonte: GKN DO BRASIL LTDA (2004)

4.7 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE FORMAÇÃO DA CÉLULA

No presente estudo, o algoritmo de agrupamento *Close Neighbour Algorithm* foi selecionado para verificar o número adequado de células e seu correspondentes agrupamentos de produtos e máquinas do cenário de produção descrito nas seções anteriores. O objetivo é verificar a adequação do *layout* celular atualmente adotado e determinado pela empresa, utilizando métodos visuais de formação de células. A seleção do *Close Neighbour Algorithm* no desenvolvimento desta etapa justifica-se por sua simplicidade de implementação, custo baixo, rapidez e a promoção do agrupamento tanto de máquinas como de peças. O

desenvolvimento do algoritmo utilizou as informações constantes no Apêndice C. Os passos operacionais do algoritmo vêm detalhados na seqüência.

4.7.1 Matriz Inicial de Incidências

Na matriz inicial de incidências, máquinas são listadas nas linhas e produtos, nas colunas da matriz. Sempre que um produto necessitar de uma máquina em seu processamento, assinala-se com 1 no cruzamento correspondente; caso contrário, o cruzamento recebe um zero. A Matriz Inicial de Incidências neste estudo vem apresentada no Apêndice E.

4.7.2 Matriz B (máquina *versus* máquina)

A Figura 37 traz a matriz **B** obtida a partir da matriz inicial de incidências. Cada célula da matriz indica quantos produtos necessitam de cada máquina para o seu processamento. S_i designa a soma de incidências em cada máquina.

	5	10	15	20	25	30	35	55	65	75	80	85	90	95	100	Si
5		22	7	17	18	46	46	5	46	46	46	3	18	12	7	339
10	22		7	8	8	22	22	3	22	22	22	3	9	7	4	181
15	7	7		2	1	7	7	0	7	7	7	0	2	3	0	57
20	17	8	2		16	17	17	5	17	17	17	0	4	0	1	138
25	18	8	1	16		18	18	5	18	18	18	1	6	0	3	148
30	46	22	7	17	18		46	5	46	46	46	3	18	12	7	339
35	46	22	7	17	18	46		5	46	46	46	3	18	12	7	339
55	5	3	0	5	5	5	5		5	5	5	0	1	0	0	44
65	46	22	7	17	18	46	46	5		46	46	3	18	12	7	339
75	46	22	7	17	18	46	46	5	46		46	3	18	12	7	339
80	46	22	7	17	18	46	46	5	46	46		3	18	12	7	339
85	3	3	0	0	1	3	3	0	3	3	3		3	2	3	30
90	18	9	2	4	6	18	18	1	18	18	18	3		8	5	146
95	12	7	3	0	0	12	12	0	12	12	12	2	8		4	96
100	7	4	0	1	3	7	7	0	7	7	7	3	5	4		62

Figura 37: Matriz B
Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.3 Tabela de Reordenação das Linhas da Matriz Inicial

Este estágio tem por objetivo reordenar as linhas da matriz inicial como passo intermediário na busca de aglomerações de incidências. Para definir a nova ordem das linhas na matriz inicial, analisa-se a matriz **B** relativamente a alguns critérios. Para selecionar a 1^a linha a ser reordenada na matriz inicial, escolha a linha com maior valor de S_i na matriz **B**; no caso de empate, escolha a linha de menor índice i . As linhas seguintes a serem reordenadas são determinadas pela utilização seqüencial de três regras: (i) identifique o maior valor de b_{ij} na última linha trabalhada, o índice j (da coluna) indica a próxima linha a ser trabalhada; no caso de empate, use o próximo critério; (ii) escolha a linha com maior S_i dentre as empatadas; no caso de novo empate, use o próximo critério; (iii) escolha a linha com menor índice i dentre as empatadas. Reorganize as linhas da matriz inicial, seguindo a ordem definida acima.

Na Tabela 12, está apresentada a reordenação das linhas da matriz inicial.

Tabela 12: Reordenação da Matriz Inicial

Índice Linhas	Máquinas Possíveis	Máquina Selecionada	Razão
v=1	5,30,35,65,75,80	5	S5=S30=S35=S65=S75=S80=MÁX;5<30<35<65<75<80
v=2	30,35,65,75,80	30	B305=B355=B655=B755=B805=MÁX;30<35<65<75<80
v=3	35,65,75,80	35	B3530=B6530=B7530=B8030=MÁX;35<65<75<80
v=4	65,75,80	65	B6535=B7535=B8035=MÁX;65<75<80
v=5	75,80	75	B7565=B8065=MÁX;75<80
v=6	80	80	B8075=MÁX
v=7	25,90	25	B2580=B9080=MÁX;25<90
v=8	20	20	B2025=MÁX
v=9	10	10	B1020=MÁX
v=10	90	90	B9010=MÁX
v=11	95	95	B9590=MÁX
v=12	100	100	B10095=MÁX
v=13	85	85	B85100=MÁX
v=14	15,55	15	B1585=B5585=MÁX;15,55
v=15	55	55	B5515=MÁX

Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.4 Matriz Intermediária Obtida

A matriz com linhas reordenadas é apresentada no Apêndice F. Naquela matriz, pode-se observar que as máquinas 5, 30, 35, 65, 75 e 80 estão presentes em todas as peças, formando assim um grande agrupamento de peças e máquinas, caracterizando uma grande

linha de produção. Optou-se, assim, por formar uma matriz alternativa sem as máquinas acima referidas. Algumas peças que demandavam exclusivamente as máquinas 5, 30, 35, 65, 75 e 80 não foram consideradas na nova matriz. A matriz alternativa, designada como *nova matriz intermediária* e apresentada no Apêndice G, será usada no restante do algoritmo. A Tabela 13 traz a nova matriz **B** obtida a partir da nova matriz intermediária.

Tabela 13: Nova Matriz Máquina versus Máquina Obtida

	25	20	10	90	95	100	85	15	55	Si
25		16	8	6	0	3	1	1	5	18
20	16		8	4	0	1	0	2	5	36
10	8	8		9	7	4	3	7	3	49
90	6	4	9		8	5	3	2	1	38
95	0	0	7	8		4	2	3	0	24
100	3	1	4	5	4		3	0	0	20
85	1	0	3	3	2	3		0	0	12
15	1	2	7	2	3	0	0		0	15
55	5	5	3	1	0	0	0	0		14

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 14 apresenta a nova tabela de reordenação das linhas da nova matriz intermediária.

Tabela 14: Nova reordenação da nova matriz intermediária

Índice Linhas	Máquinas Possíveis	Máquina Seleccionada	Razão
v=1	10	10	S10=MÁX
v=2	90	90	B9010=MÁX
v=3	95	95	B9590=MÁX
v=4	100	100	B10095=MÁX
v=5	25,85	25	B25100=B85100=MÁX;25<85
v=6	20	20	B2025=MÁX
v=7	55	55	B5520=MÁX
v=8	15,85	15	B1555=B8555=MÁX;15<85
v=9	85	85	B8515=MÁX

Fonte: Elaborado pelo autor

A nova matriz intermediária com as linhas reordenadas é apresentada no Apêndice H.

4.7.5 Reorganização das colunas da Nova Matriz Intermediária

Neste passo, reordenam-se as colunas conforme a ordem de seleção determinada no processo de formação da matriz final. A operacionalização da reordenação pode ser observada no Apêndice I. O Apêndice J traz a matriz final do algoritmo. As células resultantes são identificadas ao longo da diagonal principal, conforme destacam as letras **A** e **B**.

4.7.6 Agrupamento resultante da aplicação do algoritmo

A aplicação do *Close Neighbour Algorithm* como método de agrupamento de peças e máquinas apresentou a seguinte escalação:

- Um grande agrupamento das máquinas 5, 30, 35, 65, 75 e 80 e de todas as peças, foi identificado pelo algoritmo em uma grande célula. Todas as peças com similares roteiros de processo, indica a formação de uma célula;

- Célula A, com o agrupamento das máquinas 10, 90, 95 e 100 e as peças explicitadas na Tabela 15;

- Célula B, com o agrupamento das máquinas 15, 20, 25 e 55 e as peças explicitadas na Tabela 16;

- Máquina 85, que atende somente às peças 2580, 2590 e 2600, não foi alocada a nenhuma célula. Esta máquina poderia ser inserida na célula A, pois ela atende somente àquelas peças que estão na Célula A; e

- Vinte incidências de peças e máquinas fora dos agrupamentos acima mencionados indicam necessidade de duplicação de máquinas nas células A e B.

Tabela 15: Máquinas e peças pertencentes à célula A

Peças =>		2040	2070	2100	2110	2230	2130	2200	2140	2350	2320	2330	2360	2410	2390	2440	2510	2400	2570	2580	2590	2600
Máquinas	10			1	1		1	1					1	1	1	1			1	1	1	1
	90	1	1		1				1	1		1	1		A	1	1	1	1	1	1	1
	95					1	1				1	1	1	1		1	1	1	1	1		1
	100					1	1			1											1	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 16: Máquinas e peças pertencentes à célula B

Peças =>		2010	2050	2160	2120	2170	2240	2270	2250	2280	2310	2340	2430	2500	2480	2450	2470	2540	2550	2560
Máquinas	25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	B	1	1		1
	20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		1
	15												1	1		1			1	
	55			1			1			1					1		1			

Fonte: Elaborado pelo autor

4.8 COMPARAÇÃO DO AGRUPAMENTO PROPOSTO COM O EXISTENTE

A Figura 38 traz um comparativo entre o agrupamento proposto a partir da utilização do *Close Neighbour Algorithm* e o agrupamento visual de peças e máquinas, o que resultou no *layout* existente atualmente na empresa.

CRITÉRIOS	LAYOUT EXISTENTE	PROPOSTO PELO MÉTODO
Distribuição das Peças	4 células distintas conforme Tabela 4.8, a distribuição dos modelos procura minimizar a diferença de tamanhos entre os modelos, isto é, formar famílias com similaridade de tamanho.	Todas as peças num grande agrupamento para os roteiros de processo das operações 5, 30, 35, 65, 75 e 80. 21 peças na célula A, 19 peças na célula B e 3 peças da máquina 85 podem estar na célula.
Distribuição das Máquinas	Células abrangendo todas as máquinas necessárias para atender os roteiros de processo requisitados pelos modelos atribuídos às células, em média 13 equipamentos por célula e 4 no anexo da Zeta.	Uma grande agrupamento que caracteriza uma linha de produção com 38 equipamentos. Mais duas células com 4 máquinas cada uma e mais as duplicações necessárias para atender as incidências comuns das células.
Tamanho das Células	Conforme apresentado na Tabela 4.7 as quatro células possuem em média e uma área ocupada de 430 m ² e um anexo com área de 142 m ² . Área total ocupada de 1.762 m ² .	Uma grande agrupamento que caracteriza uma linha de produção que ocuparia uma área aproximadamente de 1.400 m ² . Mais 2 células menores com área prevista de 200 m ² cada. Um anexo de 70 m ² . Área total prevista em 1.870 m ² .
Layouts Anexos ou Complementares	1 <i>layout</i> anexo à célula Zeta para os modelos 2580, 2590 e 2600.	1 <i>layout</i> anexo para os modelos 2580, 2590 e 2600 para a máquina 85.
Movimentos Intercelulares	Frequência anual = 954 movimentos de transferência. Da célula Zeta para o anexo à célula Zeta para os modelos 2580, 2590 e 2600	Frequência anual = 6.314 vezes movimentos de transferência. Das células A e B para a agrupamento maior
Duplicação de Máquinas	Comparativamente ao agrupamento proposto, no <i>layout</i> existente têm-se 7 equipamentos a mais que o necessário para as máquinas 10, 20, 25 e 55.	Para atender as 20 incidências fora das células A e B, têm-se a necessidade de mais 2 equipamentos para as máquinas 15 e 100.

Figura 38: Comparação entre resultados do Close Neighbour Algorithm e layout existente

Fonte: Elaborado pelo autor

O método de formação de célula utilizado apresentou uma escalação de peças e máquinas que difere do *layout* existente. Como todas as peças possuem nos seus roteiros de fabricação seis operações em comum, o método considerou a formação de um grande agrupamento, não agrupando pelos tamanhos das peças.

O agrupamento resultante pela aplicação do método propõe a remoção de máquinas das células do *layout* existente, para a formação de duas células menores para um agrupamento específico de peças e máquinas.

Houve a indicação de duas células distintas, de uma operação isolada e da necessidade de duplicação de 2 máquinas para as duas células, de forma a atender a produtos comuns às células. O método também indicou 7 equipamentos a mais do que o necessário no *layout* existente, evitando o investimento das 2 máquinas necessárias, pela compensação financeira da venda dos 7 equipamentos que sobrariam. A análise do balanço para a necessidade de duplicação de máquinas está apresentada na Figura 39.

Layout Existente															
Máquinas Instaladas															
Célula	Operações														
	5	10	15	20	25	30	35	55	65	75	80	85	90	95	100
Alfa	3	1		1	1	1	1	1	1	1	2				
Beta	3			1	1	1	1	1	1	1	2				
Delta	3	1	1	1	1	1	1		1	2	2		1	1	
Zeta	3	1		1	1	1	1		1	2	2				
Anexo												2	1		1
Total 1	12	3	1	4	4	4	4	2	4	6	8	2	2	1	1

Agrupamento Proposto															
Necessidade de Máquinas															
	Operações														
		10	15	20	25			55						90	95
Célula A		1	1		1								1	1	1
Célula B		1	1	1	1			1					1		1
Total 2		2	2	1	2			1					2	1	2
Total 1 - Total 2		1	-1	3	2			1					0	0	-1
Falta			1												1
Sobra		1		3	2			1							7

Figura 39: Análise do balanço para a necessidade de duplicação de máquinas

Fonte: Elaborado pelo autor

O grande agrupamento resultante da aplicação do método deverá sofrer um processo de fracionamento, pois esta célula ficaria com um tamanho impraticável para os conceitos do *layout* celular, esta é uma questão a ser resolvida com a aplicação de um outro método.

A frequência de movimentos intercelulares do agrupamento principal para as células A e B, pelo método proposto, seria 6 vezes maior do que o existente.

4.9 ANÁLISE ESTRUTURAL E OPERACIONAL

A análise crítica da situação do *layout* celular atualmente instalado na planta analisada quanto a recursos humanos, máquinas e instalações, e gestão do processo vêm apresentada nas Figuras 40, 41, e 42, respectivamente.

ASPECTO	AVALIAÇÃO
Sistema de Gestão do Posto de Trabalho	Cada operador possui um posto de trabalho em um local específico onde estão localizados: plano de controle operacional, desenho da operação, registro de <i>set-up</i> , diário de bordo, carta de controle estatístico (CEP), dispositivos de medição e registros de qualidade.
Habilidades Multifuncionais dos Operadores	Os operadores normalmente realizam no máximo 3 operações distintas dentro da célula, não fazem o rodízio de funções, procuram manter-se nas operações determinadas e o plano de treinamento, limita-se a atualização e manutenção do seu posto de trabalho.
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. Na ausência de um operador, um colega disponível assume a função para manter o ritmo da célula.
Melhoria Contínua do Processo	Os operadores possuem tarefas diárias de verificação de manutenção autônoma dos equipamentos e são estimulados a registrar os defeitos encontrados e propor idéias para a melhoria do processo.

Figura 40: Análise dos Recursos Humanos
Fonte: Elaborado pelo autor

ASPECTO	AVALIAÇÃO
Agrupamento de Peças e Máquinas Definidas por Célula	Há uma definição clara dos roteiros de produção em cada célula. Ocorre eventualmente o atravessamento de peças para outras células devido a quebra de máquinas críticas.
Adequação e Disposição do <i>Layout</i> Físico	O espaço ocupado na célula é o menor possível. Quadros elétricos e unidades hidráulicas localizam-se na parte externa da célula, quadros de comando ficam na parte interna. Observam-se distâncias longas percorridas da ponta até a curva do U, baixa visibilidade entre estes operadores.
Transporte e Manuseio de Peças	O transporte entre máquinas é todo ele automatizado, não necessitando da interferência dos operadores. O manuseio de peças se dá nas máquinas com sistema de carga e descarga manual.
Ambiente de Trabalho	O ambiente de trabalho é limpo e organizado. Os equipamentos possuem travas de segurança, as instalações de transporte são protegidas e possuem cores de alerta. A taxa de acidentes está bem abaixo dos níveis exigidos. O nível de ruído está no limite por lei.
Fluxo de Processo	As máquinas estão dispostas em forma de U conforme o roteiro de processo. A visibilidade do fluxo produtivo é prejudicada pela instalação de algumas esteiras fora da área interna visível da célula.

Figura 41: Análise das Instalações e do Ambiente de Trabalho
Fonte: Elaborado pelo autor

ASPECTO	AVALIAÇÃO
Controle do Estoque em Processo	Um <i>pallet</i> de matéria-prima e um <i>pallet</i> de produto acabado na entrada e saída da célula. Dentro da célula a orientação é que as peças estejam somente nos espaços das esteiras de transporte entre as máquinas, mas é comum encontrar carros ou <i>pallets</i> com peças dentro da célula.
Sistema de Controle da Qualidade	Todas as peças com problemas de qualidade dentro da célula são segregadas do fluxo e armazenadas com identificação apropriada e em local demarcado. É realizado o registro de todas as ocorrências.
Gestão do <i>Set-up</i>	Há o controle do tempo de cada <i>set-up</i> realizado em cada máquina. Dispositivos de medição e ferramentas ficam preparados em local próximo da célula, conforme programação prévia de produção. Laboratórios e área de estoque estão localizados no centro das quatro células. Não há padronização operacional para a execução do <i>set-up</i> .
Gestão Administrativa	Controle exercido pelo técnico de manufatura (líder de uma ou mais células ao mesmo tempo) de todas as atividades da célula. Autonomia em grau médio pelos operadores. Informações gerais, metas e gráficos de desempenho por célula em local visível.

Figura 42: Análise da Gestão
Fonte: Elaborado pelo autor

4.10 ANÁLISE DO DESEMPENHO DAS CÉLULAS

A Tabela 17 apresenta a evolução de indicadores de desempenho das células atualmente implantadas na empresa em um período de doze meses contínuos de acompanhamento. As informações foram obtidas de registros no sistema de coleta, processamento e armazenamento de dados da empresa e de verificações locais nas células. Os indicadores são apresentados em três grupos: instalações, peças e desempenho.

Observa-se que as células maiores em números de máquinas, quantidade de operadores e espaço físico ocupado, no caso as células Delta e Zeta, possuem os piores desempenhos em eficiência, produtividade, *lead-time* e estoque de peças em processo. Essas células também apresentam como característica uma maior diversidade de modelos e tamanhos fabricados.

Apesar de as células Alfa e Beta apresentarem estruturas de menor porte, elas não demonstraram ter uma flexibilidade superior. A célula Delta apresentou a melhor relação entre a eficiência geral pela quantidade de trocas e o melhor tempo de *set-up*.

As taxas de manutenção não planejadas e das peças sucateadas não apresentaram relação com as estruturas das células.

A célula Zeta, que inclui o *layout* do anexo e dois pontos de entrada e saída de materiais, possui estrutura mais pesada e foi a célula que apresentou o pior desempenho, considerando os indicadores analisados.

Tabela 17: Indicadores de Desempenho das Células

INDICADORES		Unidade	Células			
			Alfa	Beta	Delta	Zeta
Instalações	Somente um ponto de entrada e saída do material		1	1	1	2
	Máquinas com carga e descarga Automática	%	54	58	56	41
	Sistema de transporte de peças automatizado	%	95	100	90	85
Desempenho	Eficiência Geral da célula	%	74,2	76,8	71,0	70,2
	Produtividade - Número de operadores para fabricar 1000 peças		2,4	1,8	3,5	3,5
	Taxa de Manutenção não planejadas	%	2,8	2,2	1,4	2,0
	Estoque de peças em processo	dias	0,8	0,7	1,2	1,8
	Taxa de Peças Sucateadas	PPM	14542	8397	9323	13999
	<i>Lead-Time</i>	Horas	2,0	2,0	2,5	3,5
	Tempo Médio de <i>Set-up</i> da Célula	minutos	102	107	89	210
	Relação entre a eficiência geral da célula pela quantidade de trocas		4,1	4,5	1,8	4,1

Fonte: Elaborado pelo autor

4.11 ANÁLISE DO *LAYOUT* CELULAR INSTALADO

O *layout* celular instalado é analisado quanto aos seus benefícios, dificuldades e restrições, agrupamento de peças e máquinas, e desempenho e estrutura. Uma avaliação final é apresentada como encerramento do estudo de caso.

4.11.1 Benefícios Obtidos

O *layout* celular é reconhecido pelas empresas de manufatura como uma alternativa de *layout* 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 18 apresenta valores associados a esses benefícios alcançados a partir da adoção do *layout* celular na unidade de manufatura de juntas fixas da empresa. Os valores correspondem a médias observadas nas quatro células atuais.

Tabela 18: Benefícios Obtidos com as Células de Manufatura

CARACTERÍSTICA	BENEFÍCIO
Nº DE OPERADORES	Redução de 45%
PRODUTIVIDADE	Crescimento de 65%
ESTOQUE EM PROCESSO	Redução de 55%
<i>LEAD-TIME</i>	Redução de 55%
ÁREA OCUPADA	Redução de 41%
MANUSEIO DE MATERIAL	Redução de 36%
SUCATA	Redução de 42%

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados na Tabela 18 comprovam que a adoção do *layout* celular foi positiva. O uso de células de manufatura para produzir um grupo similar de itens reduz o manuseio e aumenta a produtividade e reduz a taxa de peças defeituosas. Há também uma contribuição coletiva, na forma da dedicação focalizada, uma visão global da atuação do operador da célula de trabalho, e não somente no seu posto de trabalho.

4.11.2 Dificuldades e Restrições

Quanto à flexibilidade, que é uma vantagem fundamental de *layouts* celulares, o *layout* implementado não apresentou resultados positivos. Somente a célula Delta apresentou capacidade em atender a uma variedade maior de peças e roteiros de processo.

Conforme estudo de Miltenburg (2001), citado no Capítulo 2, apresentado em seu trabalho de pesquisa, envolvendo 114 empresas japonesas e americanas que utilizam um *layout* em forma de U, as células são compostas em média por 10,2 máquinas e 3,4 operadores. As células deste estudo apresentaram tamanhos grandes para os padrões referenciados na literatura acadêmica. As dificuldades decorrentes em termos de visibilidade do fluxo produtivo na célula foram constatadas na análise estrutural.

O trabalho em equipe e o uso das habilidades multifuncionais não são evidenciados como características predominantes no trabalho dentro das células. O rodízio de funções é limitado, apesar da configuração em U permitir que o mesmo trabalhador opere simultaneamente em dois lados.

4.11.3 Agrupamento de Peça e Máquinas

As juntas fixas possuem características construtivas muito similares entre si, diferenciando-se pelo tamanho e o número de operações necessárias ao roteiro de processo.

A aplicação do algoritmo *Close Neighbour* não definiu claramente células para as peças em 6 operações comuns a todas elas. O algoritmo não leva em consideração características construtivas das peças; sendo assim, o grau de discrepância entre o agrupamento resultante do algoritmo e o existente foi grande.

O *layout* celular implementado utilizou uma metodologia por inspeção visual e análise dos dados característicos construtivos das peças. O resultado é um agrupamento das peças em quatro células, três delas claramente formadas a partir da similaridade de tamanho das peças nelas alocadas (células Alfa, Beta e Delta; na célula Zeta não se observa uma família definida).

A configuração das células resultantes da aplicação do algoritmo *Close Neighbour* (a saber, duas células menores, com quatro operações, para atender um conjunto de peças

específicas) representa um *trade-off* em termos decisórios. Por um lado, a proposição é boa sob o ponto de vista de focalizar máquinas e peças e tornar as células menores. Por outro lado, ela vai acarretar em um maior nível de movimentos intercelulares que, no *layout* corrente, é evitado (com exceção do anexo da célula Zeta).

As melhorias nos indicadores de desempenho que poderão advir da configuração propostas com células menores e mais focalizadas, oferecendo uma maior visibilidade e rapidez de comunicação seria na: taxa de peças defeituosas, relação entre a eficiência da célula pela quantidade de trocas e tempo médio de *set-up* da célula.

4.11.4 Desempenho e Estrutura

O *layout* celular instalado apresenta uma boa estrutura para suportar a busca da melhoria contínua no desempenho e aperfeiçoamento do trabalho nas células. O sistema de gestão deve aprimorar o controle do estoque em processo, *set-up* e autonomia operacional. Este sistema possui um bom gerenciamento sobre os dados e informações para a tomada de decisão, monitorando a sua eficiência.

O desempenho das células pode ser comparado às melhores práticas de companhias fabricantes de juntas fixas ao redor do mundo, que utilizam *layout* celular e pertencem ao grupo mundial controlador da empresa. O comparativo é apresentado na Tabela 19. Por este comparativo, percebe-se que o *layout* celular instalado deve melhorar o seu desempenho em quatro dos seis indicadores analisados.

Tabela 19: Comparativo de Desempenho

INDICADOR	UNIDADE	BENCHMARKING
Produtividade	2,8	2,0
Eficiência Geral da Célula	73%	80%
<i>Lead-Time</i> (horas)	2,5	2,0
Sucata (PPM)	11500	8000
Estoque de Peças em Processo (dias)	1,1	1,5
Taxa de Manutenção não planejada	2,1	2,5

Fonte: Elaborado pelo autor

4.11.5 Avaliação Final

O *layout* 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 flexibilidade operacional, habilidades multifuncionais, autonomia operacional e trabalho em equipe, necessitam ser aprimoradas.

A análise aqui apresentada demonstrou que o *layout* celular atualmente implementado pode ser transformado quanto à sua estrutura física, através da adoção de células de menor tamanho, com maiores ganhos de flexibilidade, *lead-time*, visibilidade e comunicação entre os operadores.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação de *layouts* celulares já implementados e sua aplicação em um estudo de caso foi o objetivo principal deste trabalho. A metodologia foi desenvolvida e aplicada na unidade de manufatura de juntas fixas de uma indústria de autopeças.

O presente trabalho apresentou uma contextualização da importância do *layout* celular no contexto da indústria automobilística nacional, em especial em indústrias de autopeças fornecedoras de componentes para as montadoras de automóveis. Tal contextualização aponta no sentido da baixa escala de produção, oferta global maior que demanda, forte acirramento da concorrência e incremento da variedade dos produtos ofertados. É neste cenário que o *layout* celular constitui-se em elemento central no intuito de melhorar o sistema produtivo das empresas que atuam no Brasil. Este trabalho explicitou os elementos estruturais necessários para a constituição de uma metodologia de avaliação de um *layout* celular já implementado.

Aprofundando a compreensão e aplicabilidade de uma série de conceitos associados a células de manufatura, a metodologia proposta permite avaliar os benefícios e desvantagens deste tipo de *layout* na organização e no desempenho. De forma geral, a metodologia foi concebida com o intuito de incrementar a habilidade de planejar e executar melhorias contínuas na organização.

As implicações práticas do uso da metodologia proposta para o administrador fabril podem ser assim listadas: (i) a implantação efetiva da manufatura celular em uma

empresa requer a compreensão de técnicas e métodos a ele subjacentes; (ii) o processo de avaliação e redesenho do *layout* fabril deve envolver a força de trabalho, apontando claramente suas vantagens e desvantagens; e (iii) a adoção da manufatura celular deve ser precedida do estabelecimento e medição prévia de indicadores de desempenho, que permitam validar os benefícios da adoção do *layout* celular e aprimorar seus pontos fracos.

O estudo apresenta uma análise da utilização de células de manufatura em uma unidade de manufatura de juntas fixas. Através dos passos metodológicos, analisa a importância da adoção de células de manufatura para a estratégia da empresa em foco. O estudo de caso aponta para as seguintes conclusões conflitantes: (i) as células atualmente em uso na empresa, organizadas através de análise visual de aspectos dimensionais dos produtos da empresa, apresentam-se deficientes em termos de agrupamento, gerando excesso de máquinas duplicadas; e (ii) as células de manufatura resultantes da utilização do *Close NeighbourAlgorithm* promovem um agrupamento correto de produtos e máquinas em famílias similares, mas acarretariam intensivos movimentos intercelulares.

Em relação aos objetivos secundário estabelecido, a aplicação de um método de agrupamento de peças e máquinas confirmou sua função básica de projeto, demonstrou ser apropriado e necessário para a melhoria do *layout* celular instalado. Tal algoritmo deveria ser adotado como uma ferramenta de suporte para a tomada de decisão acerca de *layouts* celulares na empresa.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A elaboração desta pesquisa permitiu visualizar desdobramentos que poderão ser realizados em pesquisas futuras, conforme listado a seguir.

- Propõe-se identificar um método de agrupamento de peças e máquinas que considere características construtivas das juntas fixas, propiciando ao setor de planejamento de *layout* da empresa uma ferramenta de análise rotineira.

- Sugere-se que a relação entre o desenvolvimento de novos produtos e o planejamento do *layout* realizados no chão de fábrica seja metodologicamente formalizada, em particular no contexto da manufatura celular.

- O projeto de células de manufatura, muitas vezes, não leva em conta a problemática da realização do *set-up* passo-a-passo dentro da célula, do primeiro ao último

equipamento. Sendo assim, sugere-se que esse estudo seja incorporado ao processo de projeto de células de manufatura.

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.

BOE, W. J.; CHENG, C. H. A close neighbour algorithm for designing cellular manufacturing systems. **International Journal of Production Research**, v. 29, nº 10, p. 2097-2116, 1993.

CHAKRAVORTY, S. S.; HALES, D. N. Implications of cell design implementation: A case study and analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 152, p. 602-614, 2004.

CHEN, M. Configuration of cellular manufacturing systems using association rule induction. **International Journal of Production Research**, v. 41, nº 2, p. 381-395, 2003.

CHENG, C. H.; KUMAR, A.; MOTWANI, J. A comparative of selected cellular manufacturing clustering algorithms. **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 15, No. 12, p. 86-97, 1995.

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

COLMANETTI, M. S. **Modelagem de Sistemas de Manufatura Orientada pelo Custeio das Atividades e Processos**. São Carlos: Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, 2001.

D'ANGELO, A.; GASTALDI, M.; LEVIALDI, N. Production variability and shop configuration: An experimental analysis. **International Journal of Production Economics**, v.68, p.43-57, 2000.

DEGASPARI, J. D. Cell Culture. **Mechanical Engineering**, v.123, p.56-59, 2001.

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.

DILLION, T. R. Thinking about throughput. **Manufacturing Engineering**, v. 130 n.3, p.168, March 2003.

DIMOPOULOS, C.; MORT, N. A hierarchical clustering methodology based on genetic programming for the solution of simple cell-formation problems. **International Journal of Production Research**, v.39, n° 1, p.1-19, 2001.

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.

HICKS, C. A genetic algorithm tool for design manufacturing facilities in the capital goods industry. **International Journal of Production Economics**, v. 90, p.199-211, 2004.

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

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.

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

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

LI, M. L.; PARKIN, R. E. Expansion of group technology to handle logical operations. **International Journal of Production Research**, v.40, n.16, p.4169-4194, 2002.

LI, J. W. Improving the performance of job shop manufacturing with demand-pull production control by reducing set-up/processing time variability. **International Journal of Production Economics**, v.84, p.255-270, 2003.

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.

MEREDITH, J. R. **Administração da produção para MBAs**. Porto Alegre: Bookmann, 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.

MUKHOPADHYAY, S. K.; GOPALAKRISHNAN, A.; KRIPALANI, M. K. Moments-based clustering techniques for manufacturing cell formation. **International Journal of Production Resources**, v.33, n.4, p.1091-1115, 1995.

NAKADE, K.; OHNO, K. An optimal worker allocation problem for a U-shaped production line. **International Journal of Production Economics**, v. 60/61, p.353-358, 1999.

OLIVEIRA, F. A.; MONTEVECHI, J. A. B. Avaliação da Configuração Celular de Manufatura do Ponto de Vista Econômico. **Anais do XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2001.

OLIVEIRA, M. R. G.; CARMONA, C. U. M. Avaliação da Eficiência através da metodologia DEA. **Anais do XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2001.

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

ONWUBOLU, G. C. E.; MUTINGI, M. A genetic algorithm approach to cellular manufacturing systems. **Computers & Industrial Engineering**, v. 39, p. 125-144, 2001.

ÖSBAYRAK, M.; BELL, R. A knowledge-based decision support system for the management of parts and tools in FMS. **Decision Support Systems**, v.35, p.487-515, 2003.

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.

RIBEIRO FILHO, G.; LORENA, L. A. N. A constructive evolutionary approach to the machine-part cell formation problem. **Anais do VI International Conference on Industrial Engineering Operations Management**, 2000.

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

SANCHEZ, L. M.; NAGI, R. A review of agile manufacturing systems. **International Journal of Production Resources**, v.39, n.16, p.3561-3600, 2001.

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

SHAMBU, G.; SURESH, N. C. Performance of hybrid cellular manufacturing systems: A computer simulation investigation. **European Journal of Operational Research**, v. 120, p. 436-458, 2000.

SHARIFI, H.; COLQUHOUN, G.; BARCLAY, I.; DANN, Z. Agile manufacturing: A management and operational framework. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers**, v.215, n.6, p.857, 2001.

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

SILVEIRA, G. J. C. **Uma metodologia de implantação da manufatura celular**. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

SILVEIRA, G. A methodology of implementation of cellular manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 37, n° 2, p. 467-479, 1999.

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.

VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. São Paulo: Atlas, 2000.

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

WILKS, N. Strength in Agility. **Professional Engineering**, v. 13, p. 34-35, 2000.

YASUDA, K.; YIN, Y. A dissimilarity measure for solving the cell formation problem in cellular manufacturing. **Computers & Industrial Engineering**, v. 39, p. 1-17, 2001.

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

XAMBRE, A. R.; VILARINHO, P. M. A simulated annealing approach for manufacturing cell formation with multiple identical machines. **European Journal of Operational Research**, v.151, p.434-446, 2003.

ZOLFAGHARI, S.; LINAG, M. Comprehensive machine cell/part family formation using genetic algorithms. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 15, n° 6, p. 433-444, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Modelos de Juntas Fixas e Roteiro do Processo de Fabricação

APÊNDICE B: Agrupamento de Peças pelo critério de similaridade por Tamanho e Roteiros de Processo

APÊNDICE C: Agrupamento Final dos Modelos, Tamanhos e Roteiros de Processo

APÊNDICE D: Demanda de cada modelo para os próximos 3 anos

APÊNDICE E: Matriz Inicial de Incidência

APÊNDICE F: Matriz Intermediária Obtida

APÊNDICE G: Nova Matriz Intermediária

APÊNDICE H: Nova Matriz Intermediária Reordenada

APÊNDICE I: Processo de Formação da Matriz Final

APÊNDICE J: Matriz Final

APÊNDICE A: MODELOS DE JUNTAS FIXAS E ROTEIRO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Roteiro do Processo		Tornear Externo	Tornear Interno	Fresar Pistas	Fresar Chaveta	Lavar	Rolar Entalhado	Temperar	Lavar	Teste de Camada	Marcar	Revenir Topo	Insp Spline	Revenir	Olear	Retificar Interno	Retificar Pistas	Retificar Chanfro	Qualificar Diâmetro	Furar	Furar Rosquear	Rebarbar Rosca	Lavar	Teste de Trincas	Olear
Operação =>		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
Modelo	Tamanho																								
2010	48	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2020	48	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2030	49	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2040	49	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1				1	1	1
2050	50	1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2060	50	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2070	50	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1				1	1	1
2080	50	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1				1	1	1
2090	50	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2100	51	1	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2110	51	1	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1				1	1	1
2120	54	1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2130	54	1	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1			1		1	1	1	1
2140	54	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1				1	1	1
2150	54	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2160	54	1			1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1						1	1	1
2170	54	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2180	54	1	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2190	54	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2200	54	1	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2210	54	1			1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1
2220	54	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2230	54	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1			1		1	1	1	1
2240	54	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1
2250	54	1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1			1	1	1	1
2260	54	1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2270	54	1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2280	55	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1
2290	55	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1
2300	55	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1
2310	56	1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1		1		1	1	1

Continua

Continuação

Roteiro do Processo		Tornear Externo	Tornear Interno	Fresar Pistas	Fresar Chaveta	Lavar	Rolar Entalhado	Temperar	Lavar	Teste de Camada	Marcar	Revenir Topo	Insp Spline	Revenir	Olear	Retificar Interno	Retificar Pistas	Retificar Chanfro	Qualificar Diâmetro	Furar	Furar Rosquear	Rebarbar Rosca	Lavar	Teste de Trincas	Olear
Operação =>		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
2320	56	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1			1			1	1	1
2330	56	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1			1	1	1
2340	56	1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2350	56	1				1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1			1	1	1	1
2360	60	1	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1			1	1	1
2370	60	1	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1			1	1	1
2380	60	1	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1			1	1	1
2390	60	1	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2400	60	1	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1				1	1	1
2410	60	1	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1			1			1	1	1
2420	60	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2430	60	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2440	60	1	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1			1	1	1
2450	60	1	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2460	60	1	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1			1	1	1
2470	60	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1				1	1	1
2480	60	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	1
2490	60	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2500	60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2510	60	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1			1	1	1
2520	60	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1			1	1	1
2530	60	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2540	65	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1				1	1	1
2550	81	1	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2560	90	1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2570	94	1	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1		1		1	1	1
2580	101	1	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
2590	101	1	1			1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1
2600	106	1	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1
2610	106	1	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1

APÊNDICE B: AGRUPAMENTO DE PEÇAS PELO CRITÉRIO DE SIMILARIDADE POR TAMANHO E ROTEIROS DE PROCESSO

Roteiro do Processo		Tornear Externo	Tornear Interno	Fresar Pistas	Fresar Chaveta	Lavar	Rolar Entalhado	Temperar	Lavar	Teste de Camada	Marcar	Revenir Topo	Inspec Entalhado	Revenir	Olear	Retificar Interno	Retificar Pistas	Retificar Chanfro	Qualificar Diâmetro	Furar	Rebarbar Rosca	Lavar	Teste de Trincas	Olear	
Operação =>		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	
Modelo	Tamanho																								
2020	2010	48	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	48	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	2030	49	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	2040	49	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1				1	1	1
	2050	50	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2090	2060	50	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	50	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2080	2070	50	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1				1	1	1
	50	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1				1	1	1
	2100	51	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	2110	51	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1				1	1	1
2210	2160	54	1			1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	54	1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	2230	54	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1				1	1		1	1
2260	2180	2120	54	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1				1	1	1	1	1
	54	1	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	54	1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	2130	54	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1				1	1		1	1
	2170	54	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	2240	54	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
2220	2150	54	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	54	1					1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	2190	54	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	2200	54	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	2140	54	1				1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1				1	1	1
	2270	54	1			1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	2250	54	1			1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1		1		1	1	1
2300	2290	2280	55	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	55	1	1			1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	55	1	1			1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1
	2310	56	1			1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1				1	1	1

Continua

Continuação

Roteiro do Processo			Tornear Externo	Tornear Interno	Fresar Pistas	Fresar Chaveta	Lavar	Rolar Entalhado	Temperar	Lavar	Teste de Camada	Marcar	Revenir Topo	Inspec Entalhado	Revenir	Olear	Retificar Interno	Retificar Pistas	Retificar Chanfro	Qualificar Diâmetro	Furar	Rebarbar Rosca	Lavar	Teste de Trincas	Olear
Operação =>			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
Modelo	Tamanho																								
	2350	56	1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1		1	1	1	1
	2320	56	1				1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1			1		1	1	1
	2330	56	1				1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1		1	1	1
	2340	56	1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1					1	1	1
2460	2380	2370	2360	60	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1		1	1	1
				60	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1		1	1	1
				60	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1		1	1	1
				60	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1		1	1	1
				2410	60	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1			1		1	1	1
				2430	60	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1					1	1	1
				2390	60	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	1					1	1	1
	2490			2420	60	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1					1	1	1
				60	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	1					1	1	1
				2530	60	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1					1	1	1
				2440	60	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1		1	1	1
				2500	60	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1					1	1	1
				2480	60	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1					1	1	1
				2450	60	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1					1	1	1
				2510	60	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1		1	1	1
	2520			2400	60	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1		1	1	1
				60	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1					1	1	1
				2470	60	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1		1			1	1	1
				2540	65	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1			1	1	1
				2550	81	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1					1	1	1
				2560	90	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1					1	1	1
				2570	94	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1		1	1	1
				2580	101	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
				2590	101	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1				1	1	1
	2610			2600	106	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
				106	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

APÊNDICE C: AGRUPAMENTO FINAL DOS MODELOS, TAMANHOS E ROTEIROS DE PROCESSO

Roteiro do Processo		Tornear Externo	Tornear Interno	Fresar Pistas	Fresar Chaveta	Lavar	Rolar Entalhado	Temperar	Revenir Topo	Revenir	Retificar Interno	Retificar Pistas	Retificar Chanfro	Qualificar Diâmetro	Furar	Rebarbar Rosca
Operação = >		5	10	15	20	25	30	35	55	65	75	80	85	90	95	100
Modelo	Tamanho															
2010	48	1	1		1	1	1	1		1	1	1				
2030	49	1					1	1		1	1	1				
2040	49	1					1	1		1	1	1		1		
2050	50	1			1	1	1	1		1	1	1				
2060	50	1					1	1		1	1	1				
2070	50	1					1	1		1	1	1		1		
2100	51	1	1				1	1		1	1	1				
2110	51	1	1				1	1		1	1	1		1		
2160	54	1			1	1	1	1	1	1	1	1				
2230	54	1					1	1		1	1	1			1	1
2120	54	1			1	1	1	1		1	1	1				
2130	54	1	1				1	1		1	1	1			1	1
2170	54	1	1		1	1	1	1		1	1	1				
2240	54	1			1	1	1	1	1	1	1	1				
2150	54	1					1	1		1	1	1				
2190	54	1					1	1		1	1	1				
2200	54	1	1				1	1		1	1	1				
2140	54	1					1	1		1	1	1		1		
2270	54	1			1	1	1	1		1	1	1				
2250	54	1			1	1	1	1		1	1	1		1		1
2280	55	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1				
2310	56	1			1	1	1	1		1	1	1		1		
2350	56	1				1	1	1		1	1	1		1		1
2320	56	1					1	1		1	1	1			1	
2330	56	1					1	1		1	1	1		1	1	
2340	56	1			1	1	1	1		1	1	1				
2360	60	1	1				1	1		1	1	1		1	1	
2410	60	1	1	1			1	1		1	1	1			1	
2430	60	1	1	1	1		1	1		1	1	1				
2390	60	1	1				1	1		1	1	1				
2420	60	1					1	1		1	1	1				
2530	60	1					1	1		1	1	1				
2440	60	1	1	1			1	1		1	1	1		1	1	
2500	60	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1				
2480	60	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1				
2450	60	1	1	1			1	1		1	1	1				
2510	60	1					1	1		1	1	1		1	1	
2400	60	1					1	1		1	1	1		1	1	
2470	60	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1		1		
2540	65	1	1		1	1	1	1		1	1	1		1		
2550	81	1	1	1			1	1		1	1	1				
2560	90	1			1	1	1	1		1	1	1				
2570	94	1	1	1			1	1		1	1	1		1	1	
2580	101	1	1				1	1		1	1	1	1	1	1	1
2590	101	1	1			1	1	1		1	1	1	1	1		1
2600	106	1	1				1	1		1	1	1	1	1	1	1

APÊNDICE D: DEMANDA DE CADA MODELO PARA OS PRÓXIMOS 3 ANOS

MODELO	2003	2004	2005
2010	34.925	37.307	34.792
2030	87.624	99.430	102.630
2040	1.400	1.442	1.486
2050	355.120	362.639	465.098
2060	45.368	53.916	55.572
2070	23.556	23.556	23.550
2100	154.988	116.108	98.716
2110	15.000	20.000	25.000
2160	560.189	610.924	628.462
2230	73.300	73.260	73.440
2120	30.046	35.500	39.400
2130	68.998	70.837	72.753
2170	5.302	5.334	5.409
2240	23.430	26.067	25.888
2150	457.072	426.551	415.537
2190	12.156	12.520	12.900
2200	220.576	224.996	240.096
2140	520	550	550
2270	94.215	95.089	96.173
2250	26.483	54.347	59.250
2280	111.543	109.548	103.893
2310	43.503	44.667	46.012
2350	58.112	60.000	69.152
2320	34.856	42.288	44.840
2330	15.064	18.064	19.208
2340	26.706	46.160	70.740
2360	28.772	29.066	29.376
2410	18.000	18.540	19.096
2430	9.824	9.824	9.399
2390	68.601	63.474	54.979
2420	179.823	260.288	308.606
2530	42.000	53.000	65.000
2440	110.129	108.576	109.963
2500	6.587	7.226	7.905
2480	12.156	12.520	12.900
2450	129.188	124.684	126.044
2510	4.439	4.750	4.655
2400	118.402	117.146	118.608
2470	1.200	6.200	8.300
2540	555	664	696
2550	1.100	1.500	1.500
2560	15.886	27.562	39.962
2570	2.000	4.200	5.000
2580	25.000	35.000	50.000
2590	248.000	330.000	360.000
2600	30.500	146.000	206.000
TOTAL	3.632.214	4.031.320	4.368.536

APÊNDICE E: MATRIZ INICIAL DE INCIDÊNCIA

Máquina X Peça	2010	2030	2040	2050	2060	2070	2100	2110	2160	2230	2120	2130	2170	2240	2150	2190	2200	2140	2270	2250	2280	2310	2350
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1						1	1				1	1				1				1		
15																							
20	1			1					1		1		1	1					1	1	1	1	
25	1			1					1		1		1	1					1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
55									1					1							1		
65	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85																							
90			1			1		1										1		1		1	1
95										1		1											
100										1		1								1			1

Máquina X Peça	2320	2330	2340	2360	2410	2430	2390	2420	2530	2440	2500	2480	2450	2510	2400	2470	2540	2550	2560	2570	2580	2590	2600	
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10				1	1	1	1				1	1	1	1		1	1	1		1	1	1	1	1
15					1	1					1	1		1				1		1				
20			1			1					1	1				1	1		1					
25			1								1	1				1	1		1				1	
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
55													1			1								
65	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
85																						1	1	1
90		1		1							1				1	1	1	1			1	1	1	1
95	1	1		1	1						1				1	1					1	1		1
100																						1	1	1

APÊNDICE F: MATRIZ INTERMEDIÁRIA OBTIDA

Máquina X Peça	2010	2030	2040	2050	2060	2070	2100	2110	2160	2230	2120	2130	2170	2240	2150	2190	2200	2140	2270	2250	2280	2310	2350	2320	2330
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
65	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1			1						1		1		1	1					1	1	1	1	1	
20	1			1						1		1		1	1					1	1	1	1		
10	1						1	1				1	1					1				1			
90			1			1		1										1		1		1	1		
95										1		1										1	1		1
100										1		1									1			1	
85																									
15																									
55									1					1								1			

Máquina X Peça	2340	2360	2410	2430	2390	2420	2530	2440	2500	2480	2450	2510	2400	2470	2540	2550	2560	2570	2580	2590	2600
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
65	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1								1	1				1	1		1			1	
20	1			1					1	1				1	1		1				
10		1	1	1	1			1	1	1	1			1	1	1		1	1	1	1
90		1						1				1	1	1	1			1	1	1	1
95		1	1					1				1	1					1	1		1
100																			1	1	1
85																			1	1	1
15			1	1				1	1		1					1		1			
55										1				1							

APÊNDICE G: NOVA MATRIZ INTERMEDIÁRIA

Máquina X Peça	2010	2040	2050	2070	2100	2110	2160	2230	2120	2130	2170	2240	2200	2140	2270	2250	2280	2310	2350	2320
25	1		1				1		1		1	1			1	1	1	1	1	
20	1		1				1		1		1	1			1	1	1	1		
10	1				1	1				1	1		1				1			
90		1		1		1								1		1		1	1	
95								1		1										1
100								1		1						1			1	
85																				
15																				
55							1					1					1			

Máquina X Peça	2330	2340	2360	2410	2430	2390	2440	2500	2480	2450	2510	2400	2470	2540	2550	2560	2570	2580	2590	2600
25		1						1	1				1	1		1			1	
20		1			1			1	1				1	1		1				
10			1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1		1	1	1	1
90	1		1				1				1	1	1	1			1	1	1	1
95	1		1	1			1				1	1					1	1		1
100																		1	1	1
85																		1	1	1
15				1	1		1	1		1					1		1			
55									1				1							

APÊNDICE H: NOVA MATRIZ INTERMEDIÁRIA REORDENADA

Máquina X Peça	2010	2040	2050	2070	2100	2110	2160	2230	2120	2130	2170	2240	2200	2140	2270	2250	2280	2310	2350	2320
10	1				1	1				1	1		1				1			
90		1		1		1								1		1		1	1	
95								1		1										1
100								1		1						1			1	
25	1		1				1		1		1	1			1	1	1	1	1	
20	1		1				1		1		1	1			1	1	1	1		
15																				
55							1					1					1			
85																				

Máquina X Peça	2330	2340	2360	2410	2430	2390	2440	2500	2480	2450	2510	2400	2470	2540	2550	2560	2570	2580	2590	2600
10			1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1		1	1	1	1
90	1		1				1				1	1	1	1			1	1	1	1
95	1		1	1			1				1	1					1	1		1
100																		1	1	1
25		1						1	1				1	1		1			1	
20		1			1			1	1				1	1		1				
15				1	1		1	1		1					1		1			
55									1				1							
85																		1	1	1

APÊNDICE I: PROCESSO DE FORMAÇÃO DA MATRIZ FINAL

Máquina X Peça	2010	2040	2050	2070	2100	2110	2160	2230	2120	2130	2170	2240	2200	2140	2270	2250	2280	2310	2350	2320
10	1				1	1				1	1		1				1			
90		1		1		1								1		1		1	1	
95								1		1										1
100								1		1						1			1	
25	1		1				1		1		1	1			1	1	1	1	1	
20	1		1				1		1		1	1			1	1	1	1		
15																				
55							1					1					1			
85																				

Máquina X Peça	2330	2340	2360	2410	2430	2390	2440	2500	2480	2450	2510	2400	2470	2540	2550	2560	2570	2580	2590	2600
10			1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1		1	1	1	1
90	1		1				1				1	1	1	1			1	1	1	1
95	1		1	1			1				1	1					1	1		1
100																		1	1	1
25		1						1	1				1	1		1			1	
20		1			1			1	1				1	1		1				
15				1	1		1	1		1					1		1			
55									1				1							
85																		1	1	1

Continua

Continuação

v=1	2010	2040	2050	2070	2100	2110	2160	2230	2120	2130	2170	2240	2200	2140	2270	2250	2280	2310	2350	2320
SEQ1	1	1	0	1	1	2	0	2	0	3	1	0	1	1	0	2	1	1	2	1
SEQ2	2	0	2	0	0	0	3	0	2	0	2	3	0	0	2	2	3	2	1	0
SEQ1>SEQ2		X		X	X	X		X		X			X	X					X	X
Coluna		1		2	3	4		5		6			7	8					9	10

v=1	2330	2340	2360	2410	2430	2390	2440	2500	2480	2450	2510	2400	2470	2540	2550	2560	2570	2580	2590	2600
SEQ1	2	0	3	2	1	1	3	1	1	1	2	2	2	2	1	0	3	4	3	4
SEQ2	0	2	0	1	2	0	1	3	3	1	0	0	3	2	1	2	1	1	2	1
SEQ1>SEQ2	X		X	X		X	X				X	X					X	X	X	X
Coluna	11		12	13		14	15				16	17					18	19	20	21

v=5	2010	2040	2050	2070	2100	2110	2160	2230	2120	2130	2170	2240	2200	2140	2270	2250	2280	2310	2350	2320
SEQ1	2		2				2		2		2	2			2	2	2	2		
SEQ2	0		0				1		0		0	1			0	0	1	0		
SEQ1>SEQ2	X		X				X		X		X	X			X	X	X	X		
Coluna	22		23				24		25		26	27			28	29	30	31		

v=5	2330	2340	2360	2410	2430	2390	2440	2500	2480	2450	2510	2400	2470	2540	2550	2560	2570	2580	2590	2600
SEQ1		2			2			3	2	1			2	2	1	2				
SEQ2		0			0			0	1	0			1	0	0	0				
SEQ1>SEQ2		X			X			X	X	X			X	X	X	X				
Coluna		32			33			34	35	36			37	38	39	40				

APÊNDICE J: MATRIZ FINAL

Máquina X Peça	2040	2070	2100	2110	2230	2130	2200	2140	2350	2320	2330	2360	2410	2390	2440	2510	2400	2570	2580	2590	2600	
10			1	1		1	1					1	1	1	1			1	1	1	1	
90	1	1		1				1	1		1	1		A	1	1	1	1	1	1	1	
95					1	1				1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	
100					1	1			1											1	1	1
25									1												1	
20																						
15													1		1			1				
55																						
85																				1	1	1

Máquina X Peça	2010	2050	2160	2120	2170	2240	2270	2250	2280	2310	2340	2430	2500	2480	2450	2470	2540	2550	2560
10	1				1				1			1	1	1	1	1	1	1	
90								1		1						1	1		
95																			
100								1											
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	B	1	1		1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		1
15												1	1		1			1	
55			1			1			1					1		1			
85																			