



## UM ESTUDO SOBRE AS CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DE MANUFATURA CELULAR NAS EMPRESAS DA REGIÃO DE PIRACICABA/SP

**Nelson Carvalho Maestrelli**

Universidade Metodista de Piracicaba, Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Rodovia S.Bárbara-Iracemápolis, Km1, Santa Bárbara Doeste/SP, Brasil,

[nmaestre@unimep.br](mailto:nmaestre@unimep.br)

**Antonio Batocchio**

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Fabricação, Campinas/SP, Brasil.

[batocchi@fem.unicamp.br](mailto:batocchi@fem.unicamp.br)

**Resumo.** *Este trabalho apresenta os principais resultados de um estudo sobre as condições de utilização de Manufatura Celular em empresas situadas na região de Piracicaba SP. Os sistemas celulares de produção têm sido aplicados com frequência crescente nas empresas, como forma de manutenção de sua competitividade e ampliação de seus mercados de atuação. A adoção de arranjo físico celular é considerada a primeira etapa do procedimento necessário para modernização do chão de fábrica, dentro dos conceitos da “Lean Production”. Esta pesquisa analisou a metodologia utilizada pelas empresas para definição dos agrupamentos (peças e máquinas que formam as células) e os indicadores utilizados para avaliação do desempenho destes sistemas produtivos.*

**Palavras-chave:** *Manufatura Celular, Tecnologia de Grupo, Análise de Agrupamentos.*

### 1. INTRODUÇÃO

Dentre as técnicas mais recentes de organização da produção, destacam-se as células de manufatura. Embora utilizadas nos países altamente industrializados, desde a década de 70, no Brasil, os princípios de manufatura celular começaram a se difundir com maior intensidade no início dos anos 90. Em (Arruda, 1995), pesquisa realizada em 13 empresas paulistas revelou que 43% delas utilizava ou planejava utilizar os conceitos de manufatura celular nos próximos anos. A implantação dos conceitos de manufatura celular requer o estudo das questões estruturais relacionadas ao projeto das células e que incluem:

- a) definição do método a ser utilizado na formação das famílias de peças e grupos de máquinas;
- b) determinação das peças e máquinas pertencentes a cada célula;
- c) dimensionamento e balanceamento das células de manufatura;
- d) análise do desempenho das células de manufatura, em relação às condições de funcionamento para as quais as mesmas são projetadas.

Embora existam muitos modelos e técnicas de agrupamento para proceder à tarefa de identificação de famílias de peças e grupos de máquinas, existe relativamente pouca bibliografia sobre avaliação de projeto e desempenho para as células de manufatura.

Desse modo, as empresas que pretendem adotar os princípios de manufatura celular deparam-se com problemas da seguinte ordem:

- a) no caso da escolha do método para identificação de agrupamentos a ser utilizado, o número muito grande de opções e a dificuldade de estabelecer comparações entre eles é um ponto de particular importância;
- b) para a avaliação do projeto das células quanto à sua eficiência e para o exame das condições de uso e desempenho do sistema celular, há carência de parâmetros de análise.

A figura 1 apresenta as etapas a serem seguidas, no procedimento necessário para o projeto de células de manufatura (Kusiak, 1991).

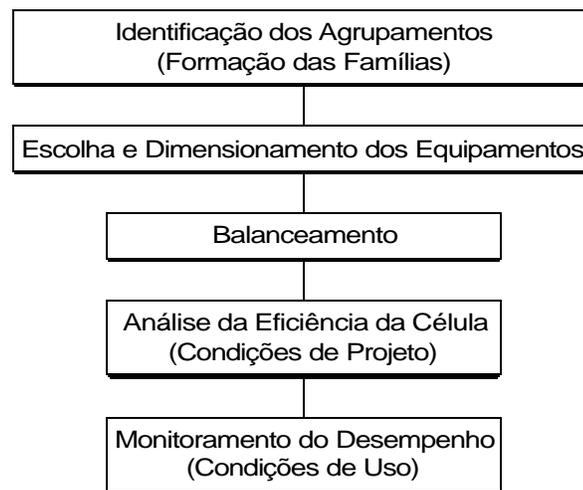


Figura 1: Etapas do Projeto de Células de Manufatura

Este trabalho apresenta os resultados obtidos em uma pesquisa realizada em empresas usuárias de manufatura celular da região de Piracicaba/SP, no período de agosto de 1999 a julho de 2000, visando identificar os principais problemas enfrentados por estas empresas, desde a fase de projeto das células, até as dificuldades de avaliar o desempenho das células ao longo do tempo. Embora a pesquisa tenha envolvido 20 empresas da região, os resultados apresentados neste trabalho concentram-se na experiência de quatro empresas, do ramo metal mecânico, que se destacam por sua participação significativa no mercado e pelo tempo de utilização de manufatura celular.

A metodologia utilizada para obtenção dos dados foi o *TDM (Total Design Method)*, uma técnica que se baseia em procedimentos a serem adotados na construção e aplicação de questionários, tanto enviados por correio como respondidos em entrevistas pessoais (Dilman, 1978). As duas formas de obtenção (correio e entrevista pessoal) foram utilizadas nesta pesquisa. O item seguinte deste trabalho apresenta os princípios do TDM.

## 2. PRINCÍPIOS DO TDM

O TDM (*"Total Design Method"*) foi o método escolhido para obtenção de dados nesta pesquisa. É um método estruturado para elaboração de questionários, desenvolvido na década

de 70 e originalmente usado para pesquisas na área de ciências sociais. O TDM é considerado tão eficaz quanto as pesquisas que se baseiam em entrevistas cara-a-cara (Dilman, 1978).

Os objetivos do TDM consistem em obter índices de respostas maiores, de maior qualidade e satisfação aos pesquisadores, através da aplicação de alguns princípios norteadores, tanto na elaboração dos questionários, como na sua utilização.

Os métodos usuais para levantamento de dados são três:

- Correio;
- Telefone;
- Entrevista pessoal.

A diferença entre eles está no tipo e na estrutura das questões a serem feitas. Este trabalho utilizou também correio eletrônico para obtenção de dados e troca de informações com as empresas pesquisadas.

Quando o questionário for enviado pelo correio, deve apresentar questões simples e de fácil compreensão. Junto a ele deve-se anexar documentos com explicações sobre a importância da pesquisa, tentando motivar o correspondente a preencher e a reenviar o questionário em curto prazo.

As vantagens dos questionários enviados pelo correio são:

- Economia de tempo, viagens e de pessoal para aplicá-los;
- Obtenção de grande número de dados devido à liberdade de respostas pelo anonimato;
- Grande número de pessoas respondem em horas mais favoráveis, num maior tempo;
- A não influência do pesquisador gera menos possibilidade de distorções nas respostas.

As desvantagens são:

- Poucos questionários retornam;
- A falta de compreensão dos correspondentes, gera um grande número de questões sem respostas ou nulas;
- Influência de uma questão para outra, devido à leitura de todas as perguntas anteriormente;
- Atraso na devolução do questionário.

A entrevista pessoal é uma maneira de se obter informações face a face com o entrevistado. Na entrevista pessoal são proporcionadas ao entrevistado todas as informações necessárias para sua compreensão. Ela permite ao entrevistador, observar as reações do entrevistado e utilizar estímulos para que as respostas sejam satisfatórias.

As vantagens da entrevista pessoal são:

- Obtenção de dados não documentados, possibilitando obter informações mais precisas;
- Maior flexibilidade ao entrevistador na formulação da pergunta de maneira diferente, a fim de proporcionar compreensão;

As desvantagens são:

- O entrevistador pode influenciar o entrevistado;
- Indisposição de tempo do entrevistado para dar as informações necessárias devido a entrevista ocupar muito tempo;
- Dificuldade de comunicação e expressão de ambas as partes;
- Falta de controle do entrevistador na coleta de dados.

O tipo de entrevista usado é a padronizada ou estruturada, onde o entrevistador segue um roteiro de questões predeterminadas, não podendo alterar a ordem dos tópicos ou fazer outras perguntas que não estejam elaboradas no questionário.

Desse modo, o pesquisador não é livre para adaptar suas perguntas a uma determinada situação. O motivo da padronização é obter, dos entrevistados, respostas às mesmas perguntas, para que elas sejam comparadas entre si.

No item seguinte deste trabalho, são apresentados os principais dados obtidos.

### 3. PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS

As empresas escolhidas para detalhamento da análise sobre a utilização de manufatura celular estão caracterizadas na tabela 1. Caracterizam-se por apresentar participação significativa no mercado em que atuam, tanto interno como externo e atuarem no ramo metal mecânico.

Tabela 1: Caracterização das Empresas Pesquisadas

IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA	E1	E2	E3	E4
Produto Principal	Máquinas rodoviárias, tratores e veículos especiais	Sistemas automotivos e autopeças	Sistemas automotivos e autopeças	Máquinas agrícolas
Principais Clientes	Empreiteiras, construção civil, órgãos públicos	Montadoras automotivas	Montadoras automotivas	Setor agrícola
Origem	Norte americana	Norte americana	Norte americana	Brasileira
Número de Unidades no Brasil	1	3	2	1
Localização	Piracicaba/SP	Piracicaba/SP Jambeiro/SP Paraisópolis/MG	Valinhos/SP Mogi Mirim /SP	Pompéia/SP
Número de Funcionários	2700	1000	1200	1300
Participação no Mercado	50 a 75%	25 a 50%	Não fornecido	Não fornecido

A tabela 2 apresenta as características dos sistemas produtivos das empresas analisadas.

Tabela 2: Caracterização do sistema produtivo das Empresas Pesquisadas

IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA	E1	E2	E3	E4
Sistema produtivo	Fabricação em lotes	Fabricação em lotes	Fabricação em lotes	Fabricação em lotes ou encomenda
Produção Terceirizada	Sim	Não	Sim, 30%	Sim, 10%
Média Anual de de Novos Produtos	2 a 3	5 a 7	1	8
Número de Produtos (Mix)	10 a 50	10 a 50	10 a 50	50 a 100
Tamanho Médio dos lotes de produção	20 a 200 unidades	Acima de 500 unidades	100 a 250	10 a 100
Tamanho Médio dos lotes de transferência	20 a 200 unidades	100 a 250 unidades	100 a 250	10 a 100
Tempo Médio de Preparação de Máquinas	10 min	10 a 30 min	10 a 30 min	10 a 30 min
Lead Time de Produção	14 dias	2 a 7 dias	2 a 7 dias	Acima de 7 dias
Tempo Médio de Operações por Máquina	30 a 60 min	NF	30 a 60 min	30 a 60 min
Número Médio de Operações por Peça	3 a 5	Acima de 12 operações	7 a 12	3 a 5

A manufatura celular é utilizada principalmente para as empresas que se caracterizam por fabricar pequenos e médios lotes, situação típica de grande parte da indústria atual, dadas as necessidades de diversificação de produtos e crescente velocidade na introdução de novos produtos.

As empresas analisadas neste trabalho, foram selecionadas em função do tempo que utilizam manufatura celular, o que permite estudar com mais detalhes os principais problemas que estas empresas enfrentam no gerenciamento deste tipo de arranjo físico. A tabela 3 mostra as características principais de arranjo físico adotado pelas empresas analisadas.

Tabela 3: Caracterização do Arranjo Físico das Empresas Pesquisadas

IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA	E1	E2	E3	E4
Arranjo Físico Predominante	Celular 100%	Celular 100%	Celular 100%	Por linha ou produto, com parte celular (usinagem e montagem de componentes)
Projeto das Células e Identificação do Setor Responsável	Interno, Engenharia de Planejamento	Interno, grupo multifuncional	Interno, Eng. De Fabricação	Interno, Setor de Usinagem
Tempo de Utilização	5 a 10 anos	Mais de 10 anos	5 a 10 anos	Mais de 10 anos
Metodo/ Técnica de Projeto Utilizada	Análise de Fluxo da Produção (PFA)	Análise de Fluxo da Produção (PFA)	PFA e Sistemas de Codificação (SCC)	PFA

As empresas analisadas apresentaram motivações diferentes, para adoção de arranjos físicos celulares (AFC) em suas instalações produtivas. Os objetivos prioritários, benefícios e ferramentas de apoio estão detalhados na tabela 4, seguinte.

Tabela 4: Benefícios do AFC nas Empresas Pesquisadas

IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA	E1	E2	E3	E4
Objetivos prioritários para adoção do AFC	Flexibilidade em relação ao fluxo produtivo	Reduzir tempos improdutivo	Melhorar fluxo produtivo	Reduzir lead time
Benefícios obtidos com o AFC (citados em ordem de prioridade pelas empresas pesquisadas)	1. Melhora de fluxo produtivo 2. Redução dos lotes de produção 3. Redução do <i>lead time</i> 4. Melhorar qualidade	1. Redução dos tempos improdutivo 2. Melhoria do fluxo produtivo 3. Redução do <i>lead time</i>	1. Melhorar fluxo 2. Reduzir lead time 3. Reduzir tempos improdutivo 4. Reduzir tempos de preparação de máquinas 5. Reduzir mão de obra 6. Melhorar qualidade	1. Reduzir lead time 2. Reduzir tempos improdutivo 3. Melhorar qualidade 4. Melhorar fluxo produtivo
Técnicas e ferramentas de apoio utilizadas	Ferramental de grupo Sistemas TRF (*) Sistemas JIT (**)	Sistemas TRF (*) Sistemas JIT (**)	Sistemas SMED Sistemas JIT	Sistemas TRF Sistemas JIT

Para avaliar o funcionamento das células, são utilizados indicadores de desempenho.

Embora existam indicadores desenvolvidos especialmente para avaliar a eficiência de projeto e de funcionamento das células, as empresas analisadas utilizam os indicadores tradicionais. A relação dos principais indicadores utilizados está mostrada na tabela 5.

A empresa E1 promove alterações de arranjo físico em intervalos variáveis de 6 meses a 1 ano. A empresa E2 faz alterações de arranjo em intervalos maiores, de 1 a 3 anos.

Tabela 5: Indicadores de Desempenho Utilizados pelas Empresas Pesquisadas

IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA	E1	E2	E3	E4
Tempo de Ciclo (*)	X		X	
<i>Lead Time</i>	X	X	X	
Tempo de Preparação	X	X		
Produtividade (unidades/hora.homem)	X	X	X	
Índices de refugo e retrabalho	X	X	X	X
Percentual de Utilização de Máquinas	X	X	X	
Eficiência Operacional	X	X	X	X
Percentual de Valor Agregado				
Rendimento Global do Equipamento (**)	X	X		

Em ambos os casos, no entanto, tais alterações não são motivadas por tentativas de otimização, mas por necessidades de introdução de novos processos (novos equipamentos) ou aumento de capacidade produtiva. No item seguinte deste trabalho os resultados obtidos são avaliados.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando-se as tabelas mostradas no item anterior, verifica-se que as empresas apresentam diversidade de produtos ( na faixa de 10 a 50 produtos fazem parte do *mix* de cada uma para E1, E2 e E3, e de 50 a 100 para E4) e desenvolvem constantemente novos produtos. Embora a média anual de novos produtos não seja alta, estas empresas caracterizam-se por produtos de alta complexidade tecnológica e grande número de componentes (ordem de milhares) e sub conjuntos (4 a 5 níveis de estrutura de produto). Seus sistemas produtivos caracterizam-se por trabalhar em lotes pequenos e médios, com lotes de transferência

próximos (empresa E2) ou iguais (empresa E1, E3 e E4) aos lotes de produção. A preocupação constante com a redução dos tempos de preparação de máquinas foi identificada nas quatro empresas: todas utilizam sistemas TRF (Troca Rápida de Ferramentas), embora apenas a empresa E1 utilize os conceitos de Ferramental de Grupo. O sistema produtivo das empresas E1 e E3 caracteriza-se por trabalhar com peças de grande porte e média de poucas operações por peça (3 a 5) ; na empresa E2 os lotes são maiores e as peças, por serem de pequeno porte, são mais facilmente transportadas internamente, mas o número médio de operações por peça é bastante alto (acima de 12 operações) Situação semelhante ocorre para E3. Isto pode ser relacionado com os objetivos prioritários declarados pelas empresas, para adoção do AFC (Arranjo Físico Celular) : as empresas E1 e E3 citaram a flexibilidade em relação ao fluxo produtivo como objetivo prioritário, enquanto a empresa E2 citou a necessidade de reduzir tempos improdutivos (esperas, filas, paradas não previstas) como prioridade. A empresa E4 citou a redução de *lead time* como prioridade.

Em relação ao método utilizado no projeto das células, as empresas pesquisadas foi citada a PFA (“*Production Flow Analysis*” ), ou Análise de Fluxo de Produção (Burbidge, 1971) . Este fato pode ser relacionado com o tempo de funcionamento das células (5 a 10 anos nas empresas E1 e E3, mais de 10 anos nas empresas E2 e E4), uma vez que este método foi utilizado com muita frequência na década de 80 pelas empresas que implantaram células. Atualmente existem métodos mais simples e rápidos para o projeto de células (Kusiak, 1991) , e que poderiam ser utilizados para otimização dos *layouts* atuais destas empresas.

Outra característica importante para as empresas pesquisadas é que E1, E2 e E3 utilizam manufatura celular em todo o seu sistema produtivo (100%). Apenas E4 tem parte de seu arranjo por produto. Todas utilizaram equipes internas para o desenvolvimento de projeto das células.

O grande inconveniente deste tipo de abordagem, quando se compara esta situação aos projetos desenvolvidos por empresas de consultoria e equipes externas, é a dificuldade em se documentar adequadamente os procedimentos adotados no projeto. Esta falta de cuidado com o registro das etapas de projeto, quando realizado internamente, muitas vezes pode comprometer trabalhos posteriores de adaptação do arranjo físico à introdução de novos itens produtivos , aumentos de capacidade e introdução de novos equipamentos.

Quanto aos benefícios que as empresas identificaram, após a adoção do AFC, destacam-se a redução de *lead time* e a melhoria do fluxo produtivo. Embora a redução dos tempos de preparação de máquinas seja citada constantemente na literatura como um dos benefícios potenciais do uso de AFC , apenas a empresa E3 citou este benefício.

A análise dos indicadores de desempenho utilizados pelas empresas merece especial atenção. Com exceção do indicador “Tempo de Ciclo” , que é característico dos arranjos celulares (Black, 1991), e é utilizado pelas empresas E1 e E3, os demais indicadores usados são aplicados a qualquer sistema produtivo, independentemente do arranjo físico adotado. Isto denota um problema, que é a falta de indicadores específicos para as células (Jayakrishnan e Narendran, 1997).

Dentre os indicadores citados na pesquisa , apenas o “% de Valor Agregado” não é utilizado. Tal fato revela uma inconsistência, uma vez que este indicador é utilizado tipicamente nas situações em que se deseja quantificar os tempos improdutivos associados ao *lead time* de fabricação, e a empresa E2 citou como objetivo prioritário, a redução de tempos improdutivos.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As empresas analisadas neste trabalho apresentam características, objetivos e motivações semelhantes para a adoção de células de fabricação. Para tais empresas, o AFC (arranjo físico

celular) mostrou-se mais adequado às características de seus sistemas produtivos, que os tradicionais arranjos funcionais.

No entanto, por terem projetado suas células há cerca de 10 anos, apresentam sinais de necessidade de melhorias e modernização de seus arranjos. Isto pode ser verificado quando se identifica que o método utilizado para projeto e os indicadores de desempenho foram estruturados com base nas ferramentas disponíveis na época de projeto.

Atualmente, existem métodos, ferramentas e indicadores específicos para manufatura celular, que podem ser aplicados, visando a melhoria da performance destes arranjos (Selim et al., 1998).

Os resultados obtidos neste trabalho são semelhantes aos dados identificados em (Wemmerlov e Johnson, 2000): existe atualmente uma lacuna entre as pesquisas na área de manufatura celular e Tecnologia de Grupo e as aplicações destes conceitos pelas empresas pesquisadas. Identifica-se portanto, um grande potencial de melhorias para as operações de manufatura realizadas em ambiente celular, a partir do estudo e aplicação das novas ferramentas de projeto e indicadores de desempenho disponíveis na literatura.

## REFERÊNCIAS

- Arruda, J. Perfil das empresas usuárias de Tecnologia de Grupo e Manufatura Celular. Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção/ ENEGEP 95. São Carlos. 1995.
- Black, J.T. The Factory with a Future. Prentice Hall. 154p. 1991.
- Burbidge, J.L. An Introduction to Group Technology. John Wiley & Sons, 190p. 1971.
- Dilman, D.A. The Total Design Method: Mail and Telephone Surveys. John Wiley & Sons. 518p. 1978.
- Jayakrishnan Nair, G. e Narendran, T.T. Cluster goodness: A new measure of performance for cluster formation in the design of cellular manufacturing systems. International Journal of Production Economics. Vol 48. pp49-61, 1997.
- Kusiak, A. Intelligent Manufacturing Systems. Prentice Hall. 290p. 1991.
- Selim, H.M., Askin, R.G., Vakharia, A. J. Cell Formation in Group Technology: Review, evaluation and directions for future research. Computers in Industrial Engineering. Vol 34. pp3-20, 1998.
- Wemmerlov, U. e Johnson, D.L. Empirical findings on manufacturing cell design. International Journal of Production Research. Vol.38. n.3. pp481-507, 2000.

## THE USE OF GROUP TECHNOLOGY AND CELLULAR MANUFACTURING CONCEPTS IN THE INDUSTRIES OF PIRACICABA / SP

**Abstract.** *This paper presents the meaning results obtained in a research that studied the use of Group Technology (GT) and Cellular Manufacturing (CM) in industries of Piracicaba, SP. The cellular manufacturing systems are considered the first step to introduce a “Lean Production” program, as a way to improve quality and productivity of production systems. This research compared many aspects of the use of GT and CM, including grouping methods, number of parts and machines for each cell, design procedures, cell design aspects, performance measures and cell design effectiveness.*

**Keywords:** *Cellular Manufacturing, Cluster Analysis, Group Technology*