

Método para formação de células de fabricação: aplicação em uma empresa da indústria metal-mecânica

Jean Ronaldo Alves Trintin ¹

Miguel Afonso Sellitto ²

Resumo

O objetivo deste artigo foi propor um método para a formação de células de fabricação em sistemas de produção. O método foi construído, tendo por base o referencial teórico oferecido pelo Sistema Toyota de Produção (STP). O método de pesquisa foi o Estudo de Caso. O método tem como objetivo o desenvolvimento e a implantação de células de manufatura, buscando facilitar e padronizar esse processo. Para testar o método proposto, foi conduzida uma aplicação de campo em uma indústria metal-mecânica localizada no Rio Grande do Sul, Brasil. O principal resultado obtido foi uma nova configuração no processo de produção, com 40% a menos de operadores para o atendimento da mesma demanda de produtos. Os resultados do novo processo serão acompanhados na continuidade desta pesquisa.

Palavras-chave: Célula de manufatura. Redução de custo. Sistema Toyota de Produção.

Abstract

The objective of this study was to propose a method for manufacturing cell formation in production systems. The method was built on the basis of the theoretical framework offered by the Toyota Production System (TPS). The research method was the Case Study. The method aims at the development and implementation of manufacturing cells, seeking to facilitate and standardize this process. In order to test the proposed method, a field application was conducted in a metal-mechanical industry in Rio Grande do Sul, Brazil. The main obtained result was a new setting in the production process with 40% less operators for the same product demand. The yield results on the new process will be accompanied on the continuity of this research.

Keywords: Manufacturing cell. Cost reduction. Toyota Production System.

¹ Engenheiro de Produção pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS, Brasil e engenheiro de planejamento na UTC Engenharia S/A em São Paulo, SP, Brasil. E-mail: jeantrintin@yahoo.com.br

² Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), professor e pesquisador do PPGEPS da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS, Brasil. E-mail: sellitto@unisinis.br

1 Introdução

A competitividade é parte integrante dos mercados tanto nacional quanto global e faz com que as empresas busquem melhorias em redução de custos e aumento de competitividade. Com isso, muitas empresas têm avaliado seu *layout* fabril, visto que muitas organizações têm se estabelecido de maneira rápida e sem planejamento, levando em consideração apenas qualidade e custo do produto, muitas vezes, mais simples e fáceis de resolver. O *layout* de uma organização pode auxiliar na redução de custos e na eficácia da produção, além de tornar-se construtor de competitividade (FERNANDES; TAHARA, 1996).

O *layout* celular mostra-se uma opção válida para muitas empresas, levando-se em consideração suas atividades e ramo de atuação. No entanto, a implantação de células, muitas vezes, não apresenta os resultados esperados, causando em algumas situações, transtornos à empresa que está realizando a implantação. A definição das máquinas e dos códigos de produtos que serão fabricados na célula também são etapas críticas desse processo.

Assim, esse artigo busca desenvolver um método de aplicação de células de manufatura, respaldado por um referencial teórico sobre células de produção e por um estudo de caso sobre a implantação de uma célula em uma empresa, pelo método proposto. O enfoque que foi dado à pesquisa foi baseado no Sistema Toyota de Produção (STP). A aplicação foi feita em uma empresa do setor metal-mecânico, localizada no Rio Grande do Sul, cujas principais operações ocorrem em tornos e em centros de furação por broca.

2 Células de fabricação

As células de manufatura vêm tornando-se uma das principais soluções encontradas

para diversos problemas, causados pelas mudanças no contexto mundial, em sistemas de manufatura (BOE; CHENG, 1991; HARVEY, 1994). Entre essas mudanças estão: o aumento da variedade de produtos, a redução do tamanho do lote, melhoria da qualidade, redução de custos, concorrência no mercado, flexibilidade, sistemas de fabricação, etc. Essas mudanças de mercado necessitam de uma resposta rápida para um melhor atendimento ao cliente.

Alguns pesquisadores como Currie e Creese (1990), Burbidge (1992), Burgess, Morgan e Vollmann, (1993) e Harvey (1994) indicam a utilização de células de manufatura para fabricação de peças em pequenos ou médios lotes de fabricação. Uma das principais etapas no desenho e implantação de um sistema de manufatura celular é a formação das células. O problema de formação de células consiste no agrupamento em famílias de peças e o agrupamento de máquinas, de maneira que as peças com processamentos semelhantes possam ser manufaturadas nas células (BURBIDGE, 1963, 1992).

Conforme Burbidge (1989) e Grznar (1997), a manufatura celular (MC) pode ser caracterizada pelo agrupamento de uma ou mais máquinas interligadas pela movimentação de materiais. O agrupamento das peças em famílias de peças se dá de acordo com as características, como similaridade da geometria ou dos processos de fabricação (WEMMERLOV; JOHNSON, 1997; OLORUNNIWO; GODWIN, 2002).

Para Hyer e Brown (1999), células de manufatura envolvem a conexão entre tempo, espaço e informação. Esses autores definem células de manufatura como um problema, onde é necessário agrupar peças de uma mesma família de produtos, com processos similares e máquinas, criando um fluxo de trabalho, onde os operários estejam conectados através do tempo, espaço e informação.

A partir da definição proposta por Hyer e Brown (1999), destaca-se que o processo de transformação de um sistema de produção qualquer, para um sistema de manufatura celular, compreende as seguintes etapas (YAUCH; STEUDEL, 2002):

1) formação: refere-se à criação conceitual das células;

2) desenho da célula: refere-se à determinação dos parâmetros operacionais da célula;

3) implementação: refere-se ao processo de executar as sugestões recebidas durante o processo de formação de células;

4) operação: refere-se ao funcionamento diário das células.

O *layout* celular ou tecnologia de grupo caracteriza-se pela formação de células de manufatura no fluxo produtivo com características similares de produção. Existem diferentes métodos para se estabelecerem as células de manufatura de uma organização, dentre os quais a classificação e codificação, análise de fluxo de produção, técnicas de *cluster*, procedimentos heurísticos e modelos matemáticos (TOMPKINS *et al.*, 2010).

Para Rother e Harris (2002), uma célula é um arranjo, onde há integração entre pessoas, máquinas, materiais e métodos em que as etapas do processo estão em uma sequência lógica e próximas umas das outras. Além disso, o autor ressalta que esse arranjo pode ser considerado uma célula, quando as peças são processadas em um fluxo contínuo. Um dos arranjos mais conhecidos de uma célula é o formato em “U”, mas outras formas são aplicáveis, de acordo com a necessidade de cada empresa. Para Drolet, Abdounour e Rheault (1996), uma célula é constituída por diferentes equipamentos e máquinas, arranjadas de forma a permitir a produção de produtos similares em pequenos ou médios lotes. Esse arranjo deve conter todos os recursos necessários para produção da família de produtos a serem produzidos na

célula (BURBIDGE, 1996). O conceito de Tecnologia de Grupo (TG) está presente no agrupamento dos produtos para formação do arranjo físico celular.

É válido ressaltar que existe também o arranjo físico por processo, que está preparado para produzir em volumes baixos e com grande variedade de produtos. Já o arranjo por produto é totalmente oposto a esse princípio e está preparado para produzir grandes volumes e pequenas variedades. Nesse sentido, pode-se dizer que o arranjo por células está entre estes dois arranjos, proporcionando a integração de volumes e variações (HAYES; WHEELWRIGHT, 1979; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002). Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), as células podem ser identificadas examinando a quantidade de recursos indiretos e diretos alocados internamente na célula, sendo que os recursos indiretos são aqueles que apoiam os recursos diretos em suas atividades de transformação.

De acordo com Hassan (1995) e Ching, Lam e Lee (1999), os dois principais indicadores utilizados para avaliar a *performance* de uma célula de manufatura são baseados em indicadores físicos e sociais. Os físicos medem a *performance* do sistema de manufatura celular, através da eficiência do *layout*, da redução do estoque em processo, da redução do *lead time*, etc. (SELIM; ASKIN; VAKHARIA, 1998; KANNAN; PALOCSAY, 1999). Por outro lado, no contexto social, a *performance* é obtida através da análise do processo de aprendizagem, fatores culturais e das mudanças sociais que acontecem na empresa.

A figura 1 apresenta uma classificação de células baseada na quantidade de recursos diretos e indiretos incluídos nas mesmas.

Para configurar uma célula, é importante descrever três conceitos: demanda, *takt time* e tempo de ciclo. Seguem as considerações acerca desses conceitos.

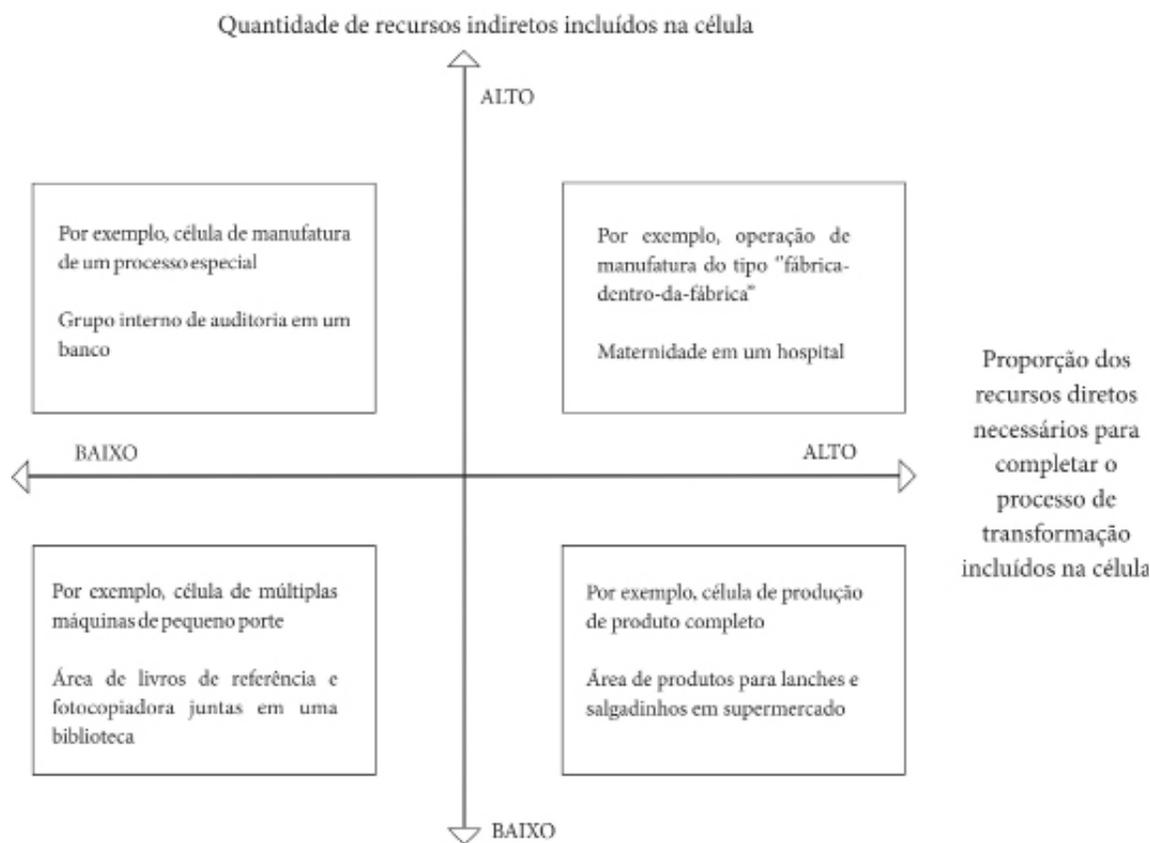


Figura 1 - Classificação de células
 Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2002).

2.1 Demanda em células de fabricação

A demanda é o fator que, realmente, move toda a empresa e que é responsável por mostrar as principais necessidades para a elaboração de melhorias contínuas nos sistemas. O Sistema Toyota de Produção pratica o *Just-in-time*, fundamentado nas exigências da demanda, ou seja, o objetivo é aproximar a taxa de produção diária o máximo possível da taxa pela qual o cliente está consumindo o produto (EDWARD; EDYELLI; RICHA, 1993).

Assim, a fábrica recebe a informação de que a demanda dos clientes, para um certo mês, será de 100 unidades de produto acabado. Com isso, é gerado o valor da demanda como 100 unidades por mês, ou seja, começa a surgir uma unidade de medida que indica qual deverá ser a velocidade de

produção da fábrica, para que esta atenda à demanda dentro daquele tempo. Essa velocidade de produção ainda pode ser expressa em base semanal, diária, ou por alguma base que seja mais interessante para cada caso (ROTHER; HARRIS, 2002).

2.2 Takt time

A frequência com que uma unidade é acabada em um processo produtivo, célula ou posto de trabalho, é chamada de tempo de ciclo (ROTHER; HARRIS, 2002). Conforme Antunes *et al.* (2008), Monden se equivoca ao enunciar seu conceito de tempo de ciclo, o qual corresponde, de fato, ao conceito de *takt-time*, conforme definido por Ohno (1997).

O *takt-time* é determinado para produção, através da demanda do mercado e do tempo disponível, pois

[...] trata-se do ritmo de produção necessário, em um determinado período, para atender a uma demanda específica deste período. Em alemão o *takt* serve para designar a batuta do maestro. (ANTUNES *et al.*, 2008, p. 147).

Para Antunes *et al.* (2008), *takt-time* é o ritmo de produção destinado para a produção de uma peça ou de um produto, que pode ser entendido como o tempo que rege o fluxo dos materiais em uma linha ou célula.

O *takt* pode ser calculado de acordo com o tempo, equivalente ao tempo de trabalho total, dividido pela quantidade de produtos a ser fabricada, resultando no tempo de fabricação unitário, ou seja, o resultado dessa divisão é o tempo necessário para a produção de um produto acabado (SHINGO, 1995).

2.3 Tempo de ciclo

Conforme Antunes *et al.* (2008), o tempo de ciclo é dado pelo período transcorrido entre a repetição de um mesmo evento que caracteriza o início ou fim desse ciclo. Em um sistema de produção, o tempo de ciclo é determinado pelas condições operativas da célula ou da linha. Antunes *et al.* (2008) descrevem que, em uma célula ou linha de produção, o tempo de ciclo é definido em função de dois elementos: (i) tempos unitários de processamento em cada máquina/posto (tempo padrão); e (ii) número de trabalhadores na célula ou linha.

Para uma máquina ou equipamento, o tempo de ciclo é o tempo necessário para a execução do trabalho em uma peça, é o tempo que ocorre entre o início da produção de duas peças sucessivas de um mesmo modelo em condições de abastecimento constante.

Ainda em algumas operações como tratamento térmico, tratamento químico e pintura em função de suas características, requerem que o mesmo seja definido com

o tempo para o processamento do lote todo. (ANTUNES *et al.*, 2008, p. 149).

O tempo de ciclo está diretamente ligado à função operação, quando visto do prisma do mecanismo da função produção, citado anteriormente. Quando o tempo de ciclo é analisado de forma isolada, ele é igual ao tempo padrão (ANTUNES *et al.*, 2008).

3 A pesquisa

De acordo com Yin (2001) e Miguel *et al.* (2010), o Estudo de Caso é um trabalho de caráter empírico que pesquisa um dado fenômeno dentro de um contexto real contemporâneo por meio de julgamento aprofundado de um ou mais casos. É, na verdade, um histórico do fenômeno, retirado de várias fontes de evidências que descrevem o fenômeno. Segundo Yin (2001), o Estudo de Caso usa a observação direta, entrevistas em profundidade e deve tratar com a diversidade entre as fontes de evidências.

Conforme Roesch (1999), pode-se ter dois tipos de Estudos de Caso: únicos e múltiplos. A escolha entre um Estudo de Caso Único ou Múltiplo depende da questão de pesquisa proposta. O método de pesquisa adotado, neste estudo, é o Estudo de Caso Único, na medida em que são tratadas a estruturação da estratégia de negócios e a criação de uma unidade estratégica de negócios de varejo da empresa, a partir de uma perspectiva de um único caso em estudo.

O método de trabalho utilizado foi constituído por 5 etapas:

Etapa 1 - consistiu na escolha da empresa foco do Estudo de Caso. A empresa foi selecionada por fabricar uma ampla gama de produtos para o mesmo segmento industrial.

Etapa 2 - estabeleceu a construção do referencial teórico. Para isso, foi realizada uma pesquisa a respeito do tema abordado com o desígnio de gerar um enfoque da

teoria adaptada às necessidades do trabalho.

Etapa 3 - constituiu as delimitações do trabalho prático. Essa etapa foi de grande importância, na medida em que se manteve uma constante preocupação com o ajuste da teoria proposta. No decorrer da pesquisa, foi necessário complementar a teoria e adaptar a mesma.

Etapa 4 - consistiu da construção do método de elaboração da pesquisa, utilizando as fontes de evidências. A primeira fonte de evidência adotada foi a documentação das diversas áreas envolvidas na pesquisa e foram utilizados vários arquivos internos da empresa, porém nem todas as informações foram demonstradas devido ao seu caráter sigiloso. Foi utilizada a observação direta como fonte de evidência.

Etapa 5 - consistiu no tratamento dos dados coletados e na conclusão da pesquisa.

Por motivo de confidencialidade, a empresa solicitou a não divulgação de detalhes do processo de fabricação e dos resultados do processo antes da modificação.

3.1 Proposta de método para implantação de células

Para a implantação de um método, é necessário que se tenha uma sequência de passos lógicos a serem executados, para melhor controle das etapas que envolvem essa implantação. Para tanto, apresenta-se, esquematicamente, na figura 2, as etapas que correspondem à evolução do ciclo PDCA para a implantação.

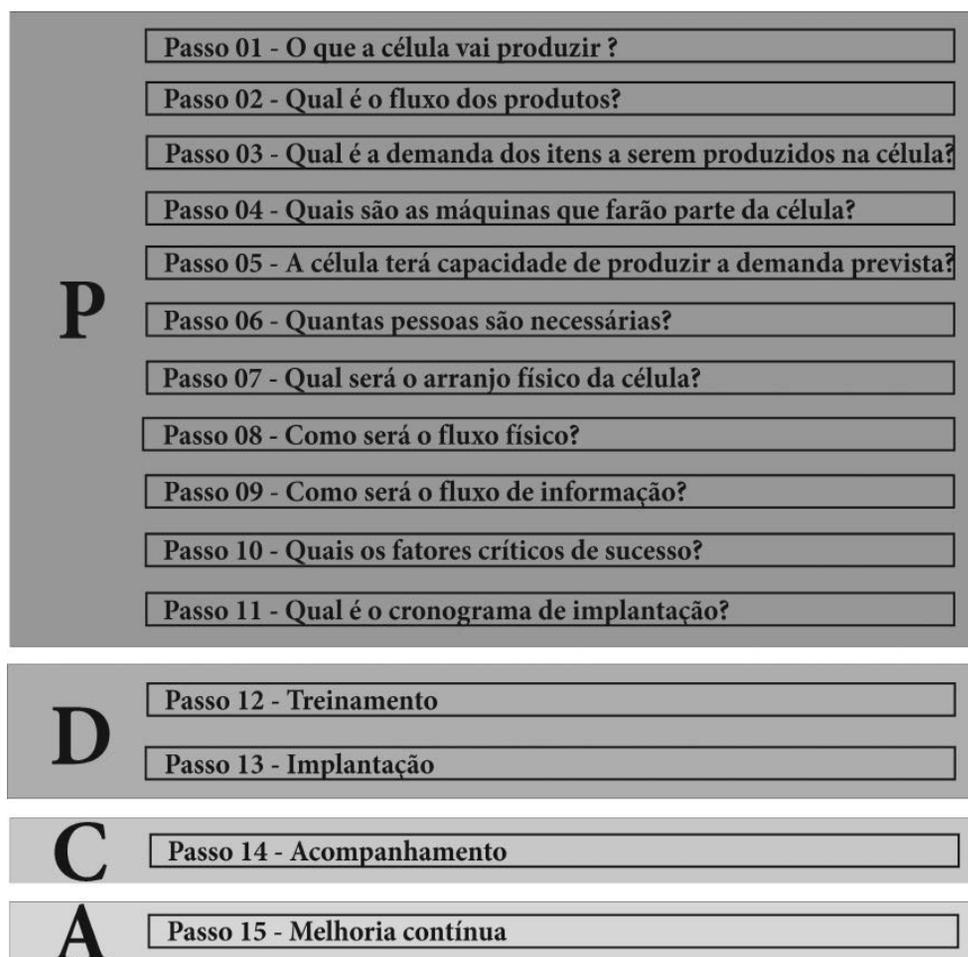


Figura 2 - Etapas do método segundo o ciclo PDCA
Fonte: Os autores (2012).

A lógica estabelecida permite que o método possa ser empregado em células de manufatura ou, ainda, em linhas de montagem. A partir da sequência proposta, faz-se necessária uma explicação mais detalhada de cada etapa. Isso possibilita maior facilidade de entendimento, o que, por consequência, traz maior rapidez no aprendizado. Assim, temos:

Etapa 1:

- analisar os itens a serem produzidos na célula;
- agrupar itens em famílias, considerando similaridade de processo (itens que possuam roteiros e tempos de ciclo semelhantes).

Etapa 2:

- mapear o fluxo atual das famílias definidas;
- elencar alguns itens de cada família para o mapeamento, considerando a curva de demanda;
- utilizar a metodologia de Mapeamento dos Fluxos e Valores (SHINGO, 1995);
- calcular o *lead time* atual dos itens;
- calcular as distâncias percorridas dos itens;
- identificar os volumes de estoque em processo (WIP).

Etapa 3:

- coletar os dados de demanda dos itens que serão produzidos na célula;
- projetar cenários de demanda, considerando os seguintes níveis de demanda: 150% - alta; 100% - atual e 50% - baixa;
- calcular o *takt-time* de cada item para cada cenário de demanda.

Etapa 4:

- fazer o levantamento dos roteiros de produção para cada família (utilizar, pelo menos, um item de cada família);
- os roteiros de produção devem conter no mínimo: operação; máquina; tempo de máquina e tempo do operador;
- definir o conjunto de máquinas que farão parte da célula.

Etapa 5:

- com base nas informações coletadas nos passos anteriores (demanda, roteiros, máquinas e itens), montar uma planilha de análise de

capacidade x demanda, analisando os 3 cenários de demanda;

- identificar a restrição que existe na célula;
- definir o gargalo;
- caso a célula não possua capacidade para atender a demanda projetada, solucionar o problema de capacidade de máquina, antes de avançar para os próximos passos.

Etapa 6:

- calcular, para cada operação da célula, a necessidade mínima de operadores;
- calcular o número mínimo de operadores total da célula;
- o cálculo de operadores deve considerar o gargalo da célula;
- identificar as operações que podem sobrecarregar os operadores.

Etapa 7:

- desenhar o micro *layout* da célula;
- alocar os operadores, partindo do número mínimo calculado anteriormente;
- após a definição de quantos operadores realmente serão necessários, cruzar as informações com a matriz de habilidades necessárias;
- completar o preenchimento do Formulário Matriz de Habilidades.

Etapa 8:

- dimensionar os *buffers*, utilizando a lógica “tambor-pulmão-corda”, na qual tambor é igual a gargalo, e pulmão é desacoplador do gargalo; *time buffer* é dimensionamento do estoque de tempo, antes do gargalo, para prevenir paradas de máquinas anteriores ao gargalo; *space buffer* é dimensionamento de um espaço para estoque, depois do gargalo, para suprir paradas de máquinas posteriores ao gargalo e corda é a entrada de peças de acordo com o ritmo do tambor;
- calcular a frequência de abastecimento da célula;
- validar o micro *layout* (arranjo físico proposto), considerando os espaços necessários para os *buffers*.

Etapa 9:

- definir indicadores e informações que existirão na célula;

- mapear como os dados serão coletados (plano de coleta): eletronicamente ou manualmente.

Etapa 10:

- discutir quais são os fatores críticos de sucesso (riscos) da célula: disponibilidade de informações para a gestão e controle pelos operadores (gestão visual); tempos de *setup* elevados (TRF); quebras de máquina (TPM); não cumprimento dos padrões (treinamento/gestão); eficiência abaixo do previsto (IROG); problemas de qualidade (Poka yoke/CEP); e economicidade do projeto.

Etapa 11:

- detalhar cronograma de implantação da célula, utilizando o Formulário Cronograma de Implantação.

Etapa 12:

- elaborar programa de treinamento conceitual, para os operadores, facilitadores e demais envolvidos na célula, considerando conceitos básicos de STP/TOC: IROG – Índice de Rendimento Operacional Global; *layout* e

células de manufatura; e *setup* em célula.

Etapa 13:

- Kaizen para a mudança das máquinas e construção da célula.

Etapa 14:

- deve ser definido quem e como será feito o acompanhamento, após a mudança de máquinas, para assegurar consistência entre o método e as ações de campo.

Etapa 15:

- após o acompanhamento, verificado que todas as mudanças ocorreram corretamente, deve-se voltar à etapa 1 e executá-la novamente, para, cada vez mais, melhorar os processos enxutos das unidades trabalhadas.

4 Descrição do Estudo de Caso

As pesquisas refere-se ao desenvolvimento de uma metodologia de implantação de células de manufatura, em uma empresa do setor metal-mecânico, situada no estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 1 - Resultados intermediários

Código Pai	Código Filho	Descrição
A	A1	A1
A	A2	A2
B	B1	B1
B	B2	B2
C	C1	C1
C	C2	C2
D	D1	D1
D	D2	D2
E	E1	E1
E	E2	E2
F	F1	F1
F	F2	F2

Fonte: Os autores (2012).

4.1 Etapa 1: O que a célula vai produzir?

A empresa possui diversos produtos, mas o estudo enfoca somente uma família. A empresa possui arranjo físico por processo, com vários grupos de máquinas, formados basicamente por centros de usinagem por corte, por centros de furação por broca e centros de montagens. Foi considerada, neste estudo, uma família de produtos constituída por seis itens que podem ser melhor entendidos na tabela 1. Por confidencialidade, não são dadas maiores informações sobre processos e produtos envolvidos.

4.2 Etapa 2: Qual é o fluxo dos produtos?

Segundo Shingo (1995), a principal transformação no entendimento dos sistemas de produção introduzida pelo STP foi o Mecanismo da Função Produção (MFP). A lógica da função produção deve ser entendida pela diferenciação conceitual entre as funções processo e operações. Antunes *et al.* (2008) apontam que é a partir desses dois olhares, distintos e interrelacionados, que surgem os conceitos da função processo e da função produção.

A função processo refere-se ao fluxo de materiais ou produtos, em diferentes etapas de produção, nas quais se pode observar a transformação das matérias-primas em produto acabado. Já a função operação, refere-se à análise das diferentes etapas, nas quais os trabalhadores e/ou máquinas encontram-se relacionadas durante a jornada de trabalho (ANTUNES *et al.*, 2008). O mapeamento acompanha a matéria-prima do início ao final do processo, o que possibilita uma visualização do todo e, por consequência, a identificação de melhorias a serem implementadas. O fluxo de produção foi mapeado.

A partir do estudo do mecanismo da função produção, Ohno (1997) e Shingo (1995) identificam sete grandes tipos de perdas: 1) perda por superprodução; 2) perdas por transporte; 3) perdas por processamento em si; 4) perdas por fabricar produtos defeituosos; 5) perdas por espera; 6) perdas por estoques; 7) perdas no movimento. Pelo mapeamento, foi possível visualizar as sete perdas, apresentadas na tabela 2, na qual também se pode observar o *lead time*, a agregação de valor e a não agregação de valor.

Tabela 2 - Resumo de informações do mapeamento

Processos	Tempo (h)	%
Operação	0,229	2,24%
Transporte	1,768	17,29%
Espera de processamento	2,331	22,79%
Espera de lote	5,786	56,58%
Inspeção	0,112	1,10%
<i>Lead time</i>	10,226	100%
Agregação de valor	0,229	2,2%
Não agregação de valor	9,997	97,8%

Fonte: Os autores (2012).

4.3 Etapa 3: Qual é a demanda dos itens a serem produzidos na célula?

De acordo com o setor de Programação e Controle da Produção dessa empresa, a previsão de demanda para ser produzida pela célula, encontra-se na tabela 3, na qual se observa um *mix* diversificado.

Tabela 3 - Resumo de informações do mapeamento

Código Pai	Código Filho	Descrição	Descrição
A	A1	A1	35
A	A2	A2	35
B	B1	B1	17
B	B2	B2	17
C	C1	C1	30
C	C2	C2	30
D	D1	D1	19
D	D2	D2	19
E	E1	E1	100
E	E2	E2	100
F	F1	F1	19
F	F2	F2	19

Fonte: Os autores (2012).

4.4 Etapa 4: Quais são as máquinas que farão parte da célula?

Nesta etapa, é fundamental o apoio da engenharia de processo, pois são esses profissionais que fornecem a lista e código de cada máquina que faz parte da célula, sendo que, de posse dessa informação, elaborou-se a tabela 4.

Tabela 4 - Lista de máquinas

Tipo Máquina	Máquina	Código Máquina
1	Torno	xxxxx1
2	Torno	xxxxx3
2	Torno	xxxxx5
3	Centro de furação	xxxx10
4	Montagem	xxxxx7

Fonte: Os autores (2012).

4.5 Etapa 5: A célula terá capacidade de produzir a demanda prevista?

Pela ferramenta de capacidade x demanda, identificaram-se as restrições e a eficiência necessária de cada máquina, para que a célula atenda a demanda planejada. Há

a possibilidade de que, ao final da análise, identifique-se a necessidade de inclusão de mais máquinas, mas essa decisão é tomada somente se todas as alternativas de aumento de eficiência e turnos esgotarem-se. Na tabela 5, pode-se visualizar a planilha de capacidade x demanda.

Tabela 5 - Lista de máquinas e análise de gargalo

Máquina	Qtd.	Capacidade			Demanda		Diferença	
		Horas totais	IROG	Peças/dia	Peças/dia	Horas requeridas	Horas	
torno	1	24	79%	19	220	18,19	0,81	
torno	1	24	79%	19	220	9,22	9,78	
torno	1	24	79%	19	220	18,13	0,87	
centro de furação	1	24	79%	19	220	16,91	2,09	
montagem	1	24	79%	19	220	7,68	11,32	

Fonte: Os autores (2012).

A planilha identifica o gargalo, o primeiro torno, seguido pelo terceiro torno, que é o recurso com capacidade restritiva e a eficiência global mínima, ou seja, IROG > 79%. Isso, necessariamente, as máquinas terão de ter, para que a célula funcione em perfeita sincronia.

4.6 Etapa 6: Quantas pessoas são necessárias?

Nesta etapa, é necessário que se realize a cronoanálise das operações, para conferir os tempos, identificando os tempos manuais e de caminhada, necessários para o cálculo do número de pessoas e o funcionamento da célula, conforme tabela abaixo. Na tabela 6, pode-se visualizar os tempos manuais e de caminhadas.

Tabela 6 - Lista de máquinas

Tempo (manual + caminhada)		
Sequência	Processo	Tempos
1	Usinagem	103
2	Usinagem	110
3	Furação	127
4	Montagem	264
	Total	604

Fonte: Os autores (2012).

Desse modo, conforme a tabela 6, pode-se visualizar os tempos manuais de caminhadas.

Após a coleta e análise dos tempos, é possível calcular o número de operadores pela equação 1. Sua aplicação com os dados de campo resulta na equação 2.

$$\text{Número de operadores} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\text{T. manual} + \text{T. caminhada}) \times \text{Número de peças}}{\text{Tempo de trabalho disponível}} \quad (1)$$

$$\text{Número de operadores} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(604) \times 440}{86400} = 3,07 \text{ operadores} \quad (2)$$

Para a decisão de transformar em números inteiros, Rother e Harris (2002) propõe a seguinte análise, exibida na tabela 7.

Tabela 7 - Orientação para arredondamento do número de operadores

Sobra a partir do cálculo do número de operadores	Orientação
< 0,3	Não adicione um operador extra. Aproveite para reduzir o desperdício e trabalhos não importantes.
0,3 – 0,5	Ainda não adicione um operador extra. Após duas semanas de operação da célula, cuidadosamente, avalie se os desperdícios e trabalhos não importantes ainda podem ser eliminados.
> 0,5	Adicione um operador extra, se necessário, e mantenha a redução dos desperdícios e trabalhos não importantes, para eventualmente eliminar a necessidade deste operador na célula.

Fonte: Rother e Harris (2002, p. 52).

Conforme Rother e Harris (2002), se o cálculo for < 0,3 existe a possibilidade de não adicionar um operador e, sim, aproveitar para fazer melhorias nos desperdícios e, com isso, trabalhar com o número de operadores ideal. Como no cálculo feito na equação 1, obteve-se 3,07, arredondando-se esse número para 3, o balanceamento foi calculado para 3 operadores. Observe-se que os seis produtos e suas demandas, quando produzidos no antigo *layout* por processo, oneravam a fabricação em um número de horas equivalentes a 5 operadores. Pode-se considerar uma redução de 40% na mão de obra, para a mesma quantidade de produção.

4.7 Etapa 7: Qual será o arranjo físico da célula?

Após todas as análises feitas e a partir das informações já documentadas, inicia-se o desenho do *layout*, tomando como base a melhor configuração possível, para se obter um fluxo contínuo e sem estoques intermediários. Em decorrência disso, obtém-se a diminuição do *lead time* de forma a entregar as peças em um menor tempo ao mercado. O *layout* proposto pode ser visualizado na figura 3. Nele, já estão alocados os operadores, de forma a atender o balanceamento.

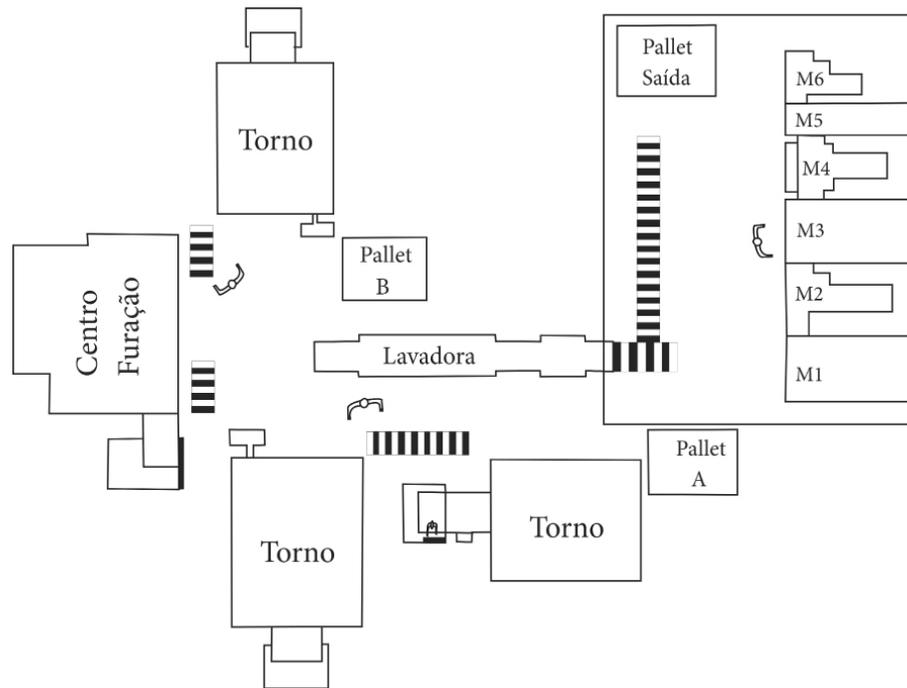


Figura 3 - Célula proposta
Fonte: Os autores (2012).

4.8 Etapa 8: Como será o fluxo físico?

O fluxo físico encontra-se detalhado na figura 4, onde se pode observar a entrada de

cada peça por um lado da célula e a saída pela parte superior. O transporte interno da célula é feito por calhas que controlam o nível de estoque intermediário existente.

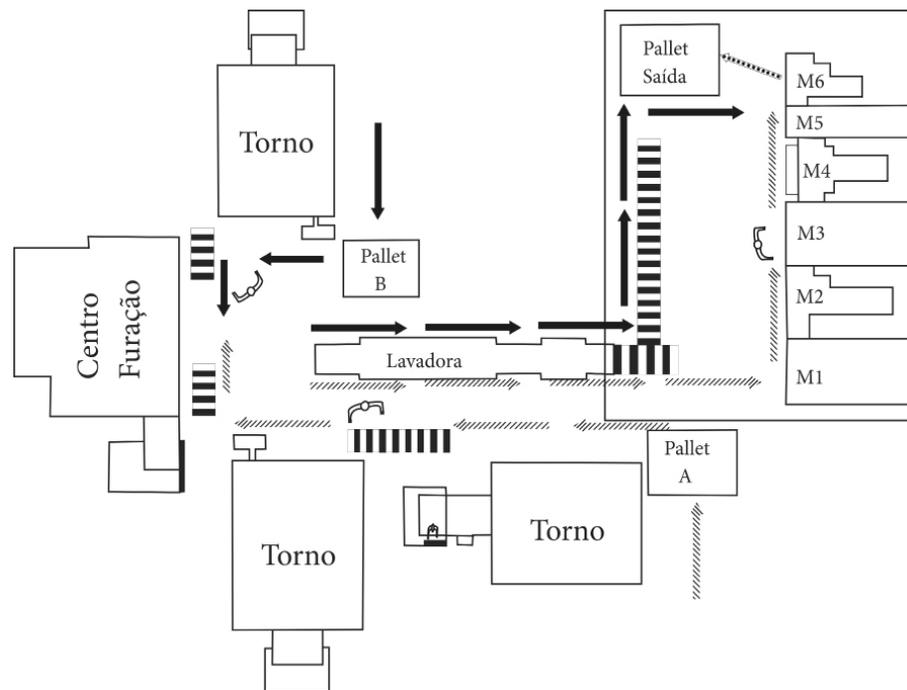


Figura 4 - Representação do fluxo físico
Fonte: Os autores (2012).

4.9 Etapa 9: Como será o fluxo de informação?

O fluxo de informações proposto para o início da célula contém alguns dados, para que os próprios operadores saibam o que está acontecendo dentro do local de trabalho, como, por exemplo, se a célula está entregando a produção prevista, qual a eficiência e se a meta está sendo atingida ao longo do dia. Na tabela 8, pode-se conferir a gestão visual proposta para esta célula.

Tabela 8 - Gestão visual

Gestão Visual		
Produção p horário	Meta	Eficiência
00:00		
01:00		
02:00		
03:00		
...		

Fonte: Os autores (2012).

4.10 Etapa 10: Quais os fatores críticos de sucesso?

Os fatores críticos de sucesso visam antecipar a solução de alguns problemas que possam acontecer de forma inesperada, tanto na implantação, quanto no controle da célula, atrapalhando o seu funcionamento. Busca-

se atacar todos os fatores críticos de sucesso, antes da implantação da célula, para que, no decorrer de seu funcionamento, não tenham problemas citados na lista de fatores críticos de sucesso que podem ser visualizados na tabela 9.

Tabela 9 - Riscos

Qtd.	Riscos
1	Tempos de <i>setup</i> elevado (TRF);
2	Quebras de máquina (TPM);
3	Não cumprimento dos padrões (treinamento/ gestão);
4	Eficiência abaixo do previsto (IROG);
5	Programas de qualidade (Poka yoke/ CEP).

Fonte: Os autores (2012).

4.11 Etapa 11: Qual é o cronograma de implantação?

O cronograma de implantação da célula foi de um mês de trabalho, pois a empresa não poderia parar de produzir com todas as máquinas ao mesmo tempo. Então, utilizaram-se quatro finais de semana para a organização das células. Na tabela 10, pode-se observar o macro cronograma dessa implantação. A tabela mantém o documento original, usado pela empresa, em *software* corporativo em língua inglesa.

Tabela 10 - Macro cronograma de mudança

Mudança da célula	duração	data	Dia da semana
Semana 1			
Limpeza do local para montagem da célula	1 dia	6/11/10	sábado
Instalação da infraestrutura para receber equipamentos	1 dia	7/11/10	domingo
Semana 2			
Mudança dos tornos	2 dias	13/11/10	sábado/domingo
Semana 3			
Mudança do centro de furação	1 dia	20/11/10	sábado
Ajuste das máquinas	1 dia	21/11/10	domingo
Semana 4			
Mudança da linha de montagem	1 dia	27/11/10	sábado
Ajustes gerais da célula	1 dia	28/11/10	domingo
Padronização de operações	1 dia	29/11/10	segunda

Fonte: Os autores (2012).

5 Considerações finais

Pode-se dizer que a implantação da célula, baseada no método de implantação, atingiu os objetivos esperados, tendo sido facilmente implantada. Os passos estabelecidos serviram como guia, e o cronograma final serviu como base para a toda a implantação. Além disso, percebeu-se que o cálculo do número de operadores trouxe uma redução de mão de obra, equivalente a 40%, para a mesma demanda. Por confidencialidade, não serão dadas mais informações acerca de metas de desempenho. Com base na demanda prevista para os códigos de produtos, foram estabelecidas as metas diárias de produção para a célula.

Como continuidade de pesquisa, são necessárias mais algumas aplicações em diferentes tipos de processos produtivos, a fim de autenticar a sua eficiência como método proposto de implantação de células.

Não foi objetivo de pesquisa analisar, a longo prazo, a diferença entre os resultados antes e depois da montagem da célula. Observou-se, com a célula em operação, um aumento na produtividade, o que abre a possibilidade de aumento de vendas. Para tanto, é necessário acompanhar a produção por mais tempo, para que se caracterize o resultado da transformação, o que fica sugerido a continuidade da pesquisa.

Referências

- ANTUNES, J. *et al.* **Sistemas de produção**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- BOE, W.; CHENG, C. A close neighbour algorithm for designing cellular manufacturing systems. **International Journal of Production Research**, v. 29, n. 10, p. 2097-2116, 1991.
- BURBIDGE, J. Change to group technology: process organization is obsolete. **International Journal of Production Research**, v. 30, n. 5, p. 1209-1219, 1992.
- _____. Production flow analysis. **Production Engineer**, v. 42, n. 12, p. 742-752, 1963.
- _____. **Production flow analysis for planning group technology**. Oxford: Clarendon Press, 1989.
- _____. The first step in planning group technology. **International Journal of Production Economics**, v. 43, p. 261-266, 1996.
- BURGESS, A.; MORGAN, I.; VOLLMANN, T. Cellular manufacturing: its impact on the total factory. **International Journal of Production Research**, v. 31, n. 9, p. 2059-2077, 1993.
- CHING, Y.; LAM, F.; LEE, C. Considerations for using cellular manufacturing. **Journal of materials processing technology**. New York, v. 96, n. 1-3, p. 182-187, 1999.
- CURRIE, K.; CREESE, R. **Justification methods for computer integrated manufacturing systems**. Amsterdam: Elsevier, 1990.
- DROLET, J.; ABDULNOUR, G.; RHEAULT, M. The cellular manufacturing evolution. **Computers and Industrial Engineering**, v. 31, n. 1/2, p. 139-142, 1996.
- EDWARD, D.; EDYELLI, R.; RICHA, C. Standard operations - the key to continuous improvement in a just-in-time manufacturing system. **Production and Inventory Management Journal**, v. 45, n. 3, p. 285-298, 1993.
- FERNANDES, F.; TAHARA, C. Um sistema de controle da produção para a manufatura celular parte I: sistema de apoio à decisão para a elaboração do programa mestre de produção. **Gestão & Produção**, v. 3, n. 2, p. 135-155, 1996.

- GRZNAR, J. Part family formation for variety reduction in flexible manufacturing systems. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 17, n. 3, p. 291-295, 1997.
- HARVEY, N. Socio-technical organization of cell manufacturing and production islands in the metal manufacturing industry in Germany and the USA. **International Journal of Production Research**, v. 32, n. 11, p. 2669-2681, 1994.
- HASSAM, M. Layout design in group technology manufacturing. **International Journal of Production Economics**, New York, v. 38, n. 2/3, p. 173-188, 1995.
- HAYES, G.; WHEELWRIGHT, S. Link manufacturing process and product life cycles. **Harvard Business Review**, jan./feb., 1979.
- HYER, N.; BROWN, K. The discipline of real cells. **Journal of Operations Management**, v. 17, n. 3, p. 557-574, 1999.
- KANNAN, R.; PALOCSAY, S. Cellular vs process layouts: an analytic investigation of the impact of learning on shop performance. **Omega**, v. 27, n. 5, p. 583-592, 1999.
- MIGUEL, P. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- OLORUNNIWO, F.; GODWIN, U. The impact of management and employees on cellular manufacturing implementation. **International Journal of Production Economics**, v. 76, n. 1, p. 27-38, 2002.
- ROESCH, S. **Projetos de estágios e de pesquisa em Administração**. Campus, Rio de Janeiro, 1999.
- ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando fluxo contínuo**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.
- SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookman, 1995.
- SELIM, H.; ASKIN, R.; VAKHARIA, A. Cell formation in group technology: review, evaluation and directions for future research. **Computers & Industrial Engineering**, v. 34, n. 1, p. 3-20, 1998.
- SLACK, N; CHAMBERS, S; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo, Atlas, 2002.
- TOMPKINS, J. *et al.* **Facilities planning**. New York: John Wiley, 2010.
- WEMMERLOV, U.; JOHNSON, D. Cellular manufacturing at 46 user plants: implementation, experiences and performance improvements. **International Journal of Production Research**, v. 35, n. 1, p. 29-49, 1997.
- YAUCH, A.; STEUDEL, H. Cellular manufacturing for small businesses: key cultural factors that impact the conversion process. **Journal of Operations Management**, v. 20, n. 5, p. 593-617, 2002.
- YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.