Implantação de *layout* tipo "U" na linha de produção de uma empresa de pequeno porte

Fernando de Oliveira Lemos (UFRGS) ferlemos@ppgep.ufrgs.br

Flávio Sanson Fogliatto (UFRGS) ffogliatto@ppgep.ufrgs.br

Resumo

A proposta deste artigo é aplicar princípios do Sistema Toyota de Produção (STP), em particular estudos de layout associados à manufatura celular, na eliminação de perdas encontradas na linha de produção de uma empresa de pequeno porte. Para atingir esse objetivo, analisa-se a implantação de um layout tipo "U" em uma empresa que produz enceradeiras industriais. Foram levantados indicadores de desempenho da implementação do novo layout para comparação com a situação inicial. Através desses indicadores, obteve-se uma validação empírica dos benefícios gerados pela implementação do novo layout, bem como de sua importância na eliminação de perdas por transportes, movimentações, esperas e estoques.

Palavras chave: Layout tipo "U", manufatura celular, Sistema Toyota de Produção (STP).

1. Introdução

Em um ambiente de crescente pressão por resultados positivos, racionalização e aprimoramento de recursos internos, a aplicação dos princípios do Sistema Toyota de Produção (STP) aparece como um caminho para a obtenção de competitividade.

O STP surgiu após a Segunda Guerra Mundial, na *Toyota Motor Company*, com o objetivo principal de eliminar custos através da eliminação das perdas, ou seja, atividades que geram custo e não agregam valor ao produto (KARLSSON & AHLSTRÖM, 1996). Os sete tipos de perdas identificados pelo STP são: superprodução, espera, transporte, (inerentes ao) processamento, estoque, movimentação e má-qualidade (SHINGO,1996). Segundo Womack *et al*. (1990), o STP é hoje conhecido como produção enxuta por usar menos recursos em comparação com a produção em massa.

A produção enxuta combina as vantagens da produção de variedade de produtos (*mix* de produtos) e produção em massa (baixos preços). Para tanto, apóia-se nos princípios da manufatura celular, em particular na reorganização de *layouts* produtivos, no treinamento para formação de trabalhadores multifuncionais e na padronização/revisão contínua das operações (WEMMERLÖV & HYER, 1989; SPENCER & GUIDE, 1995; MONDEN *apud* MILTENBURG, 1998). O *layout* celular conjuga dois importantes benefícios dos *layouts* lineares e funcionais. Primeiro, através da tecnologia de grupo, reúne equipamentos e produtos afins, proporcionando ganhos de escala típicos da produção em linha. Segundo, através da reorganização física de equipamentos, aproxima trabalhadores promovendo a multifuncionalidade e a flexibilidade da força de trabalho, característica dos *layouts* funcionais.

O objetivo deste estudo é apresentar a reestruturação do *layout* produtivo como habilitador da eliminação de perdas e aprimoramento de sistemas produtivos. Reestruturações de *layout*

visam eliminar transportes e movimentações desnecessárias, reduzir distância de transporte de componentes, reduzir ciclo de produção, reduzir horas-homem de transporte, racionalizar os movimentos, reduzir estoque de *work-in-process* (WIP), aumentar a eficiência da produção e acelerar a implementação da produção *just-in-time* (JIT, ou produção contra-pedido). A proposta para alcançar o objetivo deste trabalho é analisar a implementação de um *layout* tipo "U", com trabalhadores multifuncionais, em uma empresa de pequeno porte, através de um estudo de caso.

2. Fundamentação Teórica

A manufatura celular aplica princípios de tecnologia de grupo à produção. A idéia central é converter todo ou parte do sistema produtivo em centros de trabalho ou células (equipe de trabalhadores e máquinas) para produção de famílias de produtos ou componentes (RUSSELL *et al.*, 1991). Os agrupamentos são baseados na similaridade de geometria dos produtos, de função dos equipamentos, ou de ambos (OLORUNNIWO & UDO, 2002). Nas células, é recomendado o treinamento de trabalhadores para a multifuncionalidade e para o controle e correção dos resultados que emergem do processamento na célula.

O *layout* tipo "U" é um tipo especial de manufatura celular, usado tipicamente em ambientes de produção JIT (MILTENBURG, 2001a). Reconhecem-se duas instâncias de utilização de *layout* tipo "U": (*i*) quando os princípios de tecnologia de grupo são usados para rearranjar funcionalmente o sistema de produção em células de manufatura, com o propósito de reduzir tempo de atravessamento e melhorar qualidade; e (*ii*) quando linhas de produção rígidas e repetitivas são reorganizadas para oferecer maior flexibilidade de *mix*, de tamanho de lote de produção, e facilitar a introdução de novos produtos.

No *layout* tipo "U", as máquinas e estações de trabalho são arranjados em forma de U, na ordem aproximada em que as operações de produção são realizadas, seguindo uma lógica de fluxo linear. Os operadores trabalham dentro do U e um mesmo operador pode supervisionar a entrada e saída da linha. O espaço central do U torna-se uma área de troca de informações e aprendizado mútuo (MILTENBURG, 2001a). O fluxo de produção e a movimentação dos operadores podem ser no sentido horário ou anti-horário. A cada produto que sai da linha de produção um novo componente ou matéria-prima entra na linha; nenhum material entra na linha a menos que um produto saia dela. Há um estoque constante de WIP entre estações de trabalho e máquinas, o que permite a visualização de desbalanceamentos de produção (MILTENBURG, 2001b).

Este tipo de *layout* explora a geometria da linha, visando minimizar distâncias e, conseqüentemente, o tempo de transporte de materiais e movimentação de operadores (MILTENBURG, 1998). No *layout* tipo "U", um operador controla várias máquinas ou processos diferentes, trabalhando em diferentes estações, visitando-as somente uma vez a cada ciclo de produção (e indo para a estação seguinte quando acaba a tarefa da estação onde ele se encontra).

As linhas de produção tipo "U" são usadas para promover melhor comunicação entre trabalhadores, permitir que os operadores desempenhem diferentes operações, facilitar balanceamento de produção usando auxílio visual e auxiliar a aproximação da equipe de operadores, o que facilita a resolução de problemas. O *layout* tipo "U" pode ser mais facilmente adaptado a mudanças, com redução do número de operadores alocados nos postos de trabalho e do tempo de ciclo, se comparado ao *layout* linear (MILTENBURG, 1998; NAKADE & OHNO, 1999). O número de estações é menor do que nas linhas tradicionais devido ao fato de permitir um maior agrupamento de tarefas (MILTENBURG & WIJNGAARD, 1994). Conseqüentemente, tem-se menores estoques, simplificação de

manuseio de material, facilidade de planejamento e controle de produção, e melhor controle de qualidade, entre outros benefícios (MILTENBURG & WIJNGAARD, 1994).

Os passos típicos para implementação de *layouts* tipo "U" em um ambiente de manufatura celular do tipo JIT são (SEKINE *apud* MILTENBURG, 2001a): (*i*) construir um ambiente de multifuncionalidade operacional, promovendo a disciplina e o treinamento de operadores; (*ii*) organizar centros de trabalho em um arranjo no formato de U; (*iii*) estabelecer um tempo de ciclo de produção; (*iv*) otimizar tempos de preparação, ajuste e troca de ferramentas; (*v*) estabelecer a produção puxada; (*vi*) introduzir métodos de automação; e (*vii*) introduzir gradualmente o sistema Kanban.

Miltenburg (2001a) indica que o rebalanceamento do fluxo produtivo deve ser levado em conta no planejamento do design do *layout* tipo "U". Rebalanceamentos devem ser feitos através de: (*i*) alocação de operadores a centros de trabalho específicos para aumentar taxa de produção, (*ii*) remoção de operadores para diminuir taxa de produção, (*iii*) movimentação de máquinas, e (*iv*) mudanças nos procedimentos das operações.

Empresas que convertem seus *layouts* tradicionais em células de manufatura com *layout* tipo "U" enfrentam problemas de implementação, com resultados muitas vezes inferiores aos esperados. A reorganização de um trabalho funcional em celular representa um impacto na cultura organizacional, funcionando como uma barreira à mudança e afetando o projeto e a implementação das células (YAUCH & STEUDEL, 2002). Wemmerlöv & Johnson (1997) concluíram que, embora grandes melhorias de desempenho sejam possíveis, empresas não devem inferir que melhorias imediatas serão alcançadas a partir da adoção da manufatura celular.

3. Estudo de Caso

Este estudo de caso reporta a aplicação de um *layout* tipo "U", aliado a princípios da produção enxuta, em uma empresa de pequeno porte que produz enceradeiras industriais. O fluxograma do processo pode ser visualizado na Figura 1. No momento da análise, trabalhavam dois operadores na linha de produção. Um dos operadores é responsável pela montagem das hastes e do produto final, enquanto o outro é responsável pela preparação do chassi e pintura de componentes. O processo é artesanal, englobando somente tarefas de pintura, montagem e ajuste de componentes.

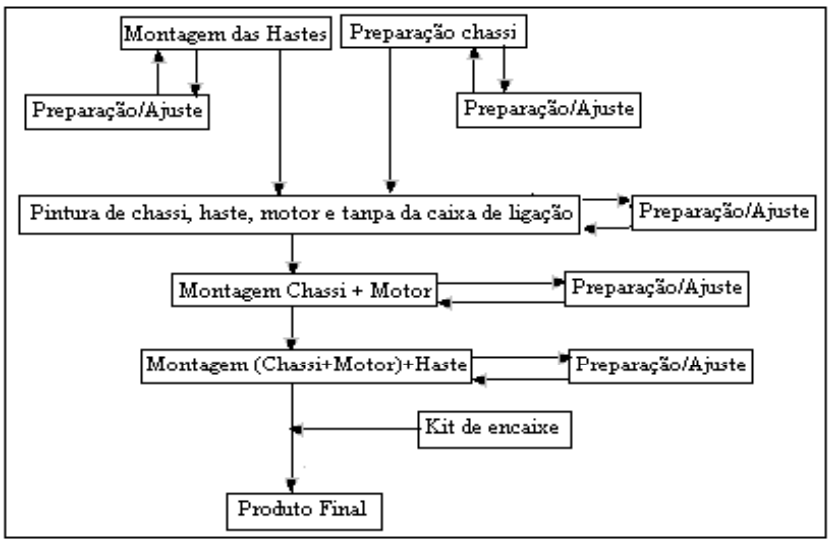

Figura 1 – Fluxograma da linha de produção de enceradeiras industriais

O objetivo deste estudo é identificar e eliminar perdas encontradas no processo produtivo. Os meios selecionados para melhoria das operações e combate às perdas foram (*i*) estudos de *layout*, em particular o *layout* tipo "U", relacionado à manufatura celular, (*ii*) padronização de operações, e (*iii*) capacitação de funcionários para a multifuncionalidade.

Analisando o funcionamento da área de produção da empresa analisada, identificaram-se as seguintes perdas na linha de produção: (*i*) por superprodução quantitativa, ou seja, produção além do necessário para precaução contra ineficiências na linha; (*ii*) por transporte e movimentação, devido a *layout* inadequado, e transporte e movimentações desnecessárias; (*iii*) por processamento, devido à falta de padronização das operações; (*iv*) devido a produtos defeituosos, com reclamações freqüentes de falta de peças nos produtos finais; (*v*) por estoque de matérias-primas em excesso, pois não havia controle de fluxo de produção, além de estoque de WIP; e (*vi*) por espera de peças em processamento, longo tempo de ciclo de produção e *lead time*, devido à falta de sincronização e balanceamento da linha de produção.

3.1. Implantação de Layout Tipo "U" e Resultados

Dentre as perdas identificadas no processo, este trabalho focou na eliminação de perdas por transporte, movimentação, esperas e estoques, através do aprimoramento do *layout* produtivo. Tal melhoria teve como facilitadores o fato da empresa estar mudando sua localização, seu interesse em aprimorar o *layout* de produção e a necessidade iminente de responder a demandas flutuantes do mercado, com aumento de produtividade.

Segundo Shingo (1996), o aprimoramento do *layout* do processo produtivo permite otimizar o transporte de materiais. Assim, eliminam-se horas-homem de transporte, obtém-se *feedback* de informações referente à qualidade com maior rapidez para ajudar a reduzir defeitos, reduzem-se ou eliminam-se esperas de lote ou de processo, reduz-se o ciclo de produção, diminuem-se os custos de transporte interprocessos, eliminam-se esperas interprocessos e reduzem-se os estoques de produtos acabados.

O primeiro desafio deste trabalho foi envolver os operadores da linha de produção na identificação de perdas no processo e ajustes de operações defeituosas. Após esse esforço inicial, partiu-se para a análise do *layout* utilizado na fábrica. A necessidade de rearranjo no *layout* foi evidenciada pelos seguintes fatores: não havia fluxo padrão de produtos e tempo de produção pré-determinado; congestionamentos freqüentes; precária utilização do espaço físico; quantidade excessiva de materiais no processo; movimentações desnecessárias e distâncias excessivas percorridas por componentes e produtos; falta de visibilidade do fluxo de produção; atrasos nas entregas e ciclos longos de produção; e dificuldade de controle do trabalho e pessoal. O *layout* original encontrado na fábrica está apresentado na Figura 2.

Alguns indicadores de desempenho foram usados neste estudo para analisar o sucesso de implantação da célula de manufatura. Estes indicadores são: redução de tempo de atravessamento, redução de estoque de WIP, redução do tempo de ciclo, redução de respostas a clientes, produtividade, e melhorias em qualidade do produto final.

Com a aprovação da gerência para implementação de um novo *layout*, observou-se a planta a ser modificada (*layout* original) e obtiveram-se valores médios dos tempos de ciclo, de atravessamento e de resposta a pedidos, bem como quantidades de WIP, defeituosos e produtividade da linha. Estes valores foram utilizados para o cálculo dos indicadores de desempenho da implementação do *layout* em "U" (Tabela 1).

Os primeiros procedimentos utilizados na reconfiguração do layout da fábrica foram procedimentos informais (exame visual e julgamento) e agrupamento de máquinas pela

combinação de rotas similares de componentes. O agrupamento por rotas é baseado na análise do fluxo de produção (BURBIDGE *apud* OLORUNNIWO & UDO, 1996), a qual foi utilizada neste trabalho não para formação de células, como geralmente é usada, mas sim na distribuição das máquinas nos postos de trabalho de uma única célula. Antes desta distribuição, as máquinas estavam todas alocadas em um único posto de trabalho, causando transporte e movimentações desnecessárias, além de excesso de componentes aguardando processamento.

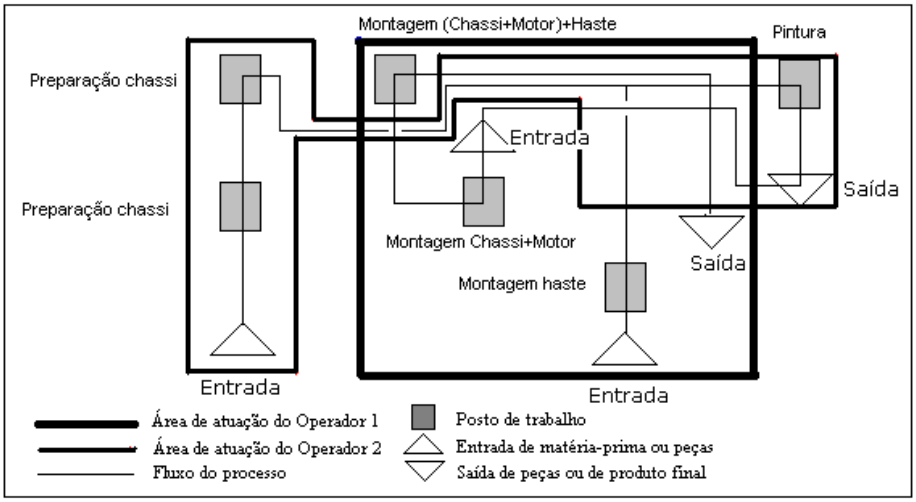

Figura 2 – Layout original

Os procedimentos seguintes seguiram os três primeiros passos típicos na implementação de linhas em "U" (SEKINE *apud* MILTENBURG, 2001a): (*i*) construir um ambiente de multifuncionalidade operacional, promovendo a disciplina e o treinamento de operadores; (*ii*) organizar centros de trabalho em um arranjo no formato de U; (*iii*) estabelecer um tempo de ciclo de produção. Neste trabalho, reportam-se os resultados decorrentes da aplicação desses passos; os demais passos, listados na seção 2, não haviam sido implementados quando da conclusão deste estudo de caso.

O ambiente de multifuncionalidade começou a ser desenvolvido através da apresentação, para os dois operadores e o gerente da empresa, dos potenciais benefícios decorrentes da adoção da manufatura celular. O treinamento dos operadores nas tarefas do processo foi desenvolvido baseado na padronização das operações, a qual foi conduzida paralelamente ao trabalho de construção do *layout* e não será abordada neste artigo.

Na construção do *layout*, analisou-se a viabilidade de implantação do *layout* tipo "U" proposto. A formação e *design* do *layout* resultaram de regras de bom senso, utilização da experiência dos operadores e sua familiaridade com os componentes e máquinas.

A Figura 3 apresenta o novo *layout* proposto para a área de produção. Implementou-se um *layout* tipo "U" com nove operações, onde a primeira e quinta tarefas carregam matérias-primas e peças nas linhas, e a quarta e nona descarregam produtos intermediários e produtos finais, respectivamente. As demais tarefas consistem basicamente de tarefas de montagem, ajustes e pintura, as quais são manuais. Para cada estação de trabalho, foi elaborado um manual de procedimentos e uma *check list* de peças utilizadas.

O *layout* construído engloba duas linhas em um único "U", o qual é flexível o suficiente para que um operador possa ser responsável pelas duas linhas quando houver diminuição da produção. As máquinas utilizadas no processo foram dispostas em correspondência com a

análise do fluxo do processo. Implantou-se também um sistema de entrega de matérias-primas diretamente nas estações de trabalho conforme necessidade, evitando, assim, estoques no processo.

Para estabelecer o tempo de ciclo de produção dividiu-se o tempo disponível de produção diária pela quantidade diária demandada de produtos. O objetivo do sistema de produção é trabalhar dentro deste tempo. Após o cálculo ajustou-se a produção ao valor obtido de tempo de ciclo. Analisou-se o tempo de ciclo do *layout* antigo com o tempo de ciclo obtido com o *layout* em "U"; os valores obtidos são apresentados na Tabela 1.

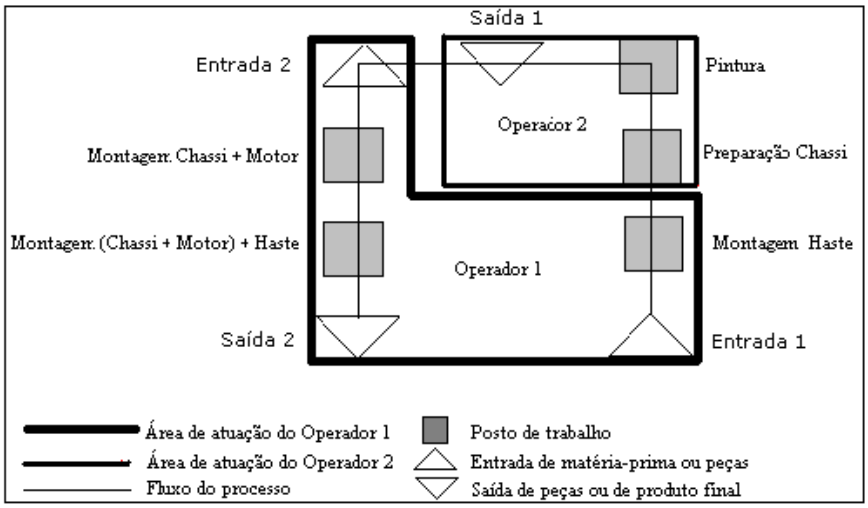

Figura 3 – *Layout* tipo "U" com duas linhas de produção

Analisando o *layout* implementado, obtiveram-se os valores médios dos tempos de ciclo, de atravessamento e de resposta a pedidos, bem como quantidades de WIP, defeituosos e produtividade da linha. Esses valores foram utilizados para o cálculo dos indicadores de desempenho e são apresentados na Tabela 1.

Indicadores	*Layout* original	*Layout* novo	Melhoria obtida
WIP (unidades de partes do produto em processamento)	94	56	40,0%
Tempo de atravessamento (minutos)	146	126	13,7%
Tempo de ciclo (minutos)	81	63	22,2%
Qualidade (% de defeituosos)	10	10	-
Resposta a clientes (horas)	48	37	22,9%
Produtividade (unidades/dia/operador)	5	7	40,0%

Tabela 1 – Indicadores de desempenho

3.2. Discussão dos Resultados

Analisando a Tabela 1, observa-se que a quase totalidade dos indicadores apresentou melhorias expressivas. O indicador de melhoria em qualidade, entretanto, não sofreu mudança. Isto se deve ao fato de operadores e gerência estarem passando por uma fase de adaptação ao novo sistema produtivo, necessitando de um período maior para o aprendizado

das novas tarefas, criação de um ambiente de equipe e adoção do controle de qualidade na fonte.

Os indicadores de desempenho obtidos para a empresa em estudo foram comparados com indicadores obtidos em estudos de empresas que implantaram linhas em "U" (Tabela 2). Apesar da obtenção de resultados inferiores aos reportados em outros estudos, observam-se melhorias em quase todos os indicadores medidos na empresa analisada. As melhorias mais significativas aparecem na redução da quantidade de WIP e no aumento da produtividade. A mudança de *layout* para reduzir distâncias entre operações reduziu os componentes e produtos em estoque, principalmente na forma de WIP. Também foi definido um estoque constante de componentes entre as estações de trabalho, o que propiciou uma melhoria expressiva em pouco tempo de funcionamento do *layout* em "U".

Indicadores	**Resultados deste estudo**	**Burbidge *apud* Wemmerlöv & Hyer (1989)**	**Wemmerlöv & Hyer (1989)**	**Dale apud Wemmerlöv & Johnson (1997)**	**Wemmerlöv & Johnson (1997)**	**Miltenburg (2001a)**
Redução de WIP (%)	40	62	41,4	50	48,2	86
Tempo de atravessamento (%)	13,7	70	45,6	60	61,2	-
Tempo de ciclo (%)	22,2	-	-	-	-	75
Tempo de resposta a clientes (%)	22,9	-	-	40	50,1	-
Produtividade (%)	40	-	-	-	-	76

Tabela 2 – Comparação de indicadores de desempenho

Um *layout* apropriado para a linha de produção permitiu a redução dos tempos de movimentação e das distâncias de movimentação e transporte, reduzindo assim, o tempo de ciclo, o tempo de atravessamento e, conseqüentemente, diminuindo o tempo de resposta a pedidos de clientes e aumentando a produtividade dos operadores. O tempo de ciclo, de atravessamento e de resposta à cliente também foram reduzidos devido à adoção de um sistema de entregas de componentes e matérias-primas nos pontos de uso. Outros resultados positivos intangíveis observados foram a melhoria das relações entre gerente e operadores, e um maior envolvimento dos operadores na resolução de problemas.

4. Conclusões

O presente estudo apresenta uma aplicação de princípios do Sistema de Toyota de Produção, em particular estudos de *layout* associados à manufatura celular, na implementação de um *layout* tipo "U" em uma empresa de pequeno porte. A análise dos resultados obtidos com a implementação ofereceu suporte empírico no sentido de demonstrar os benefícios decorrentes da adoção da manufatura celular em ambientes de produção.

Um estudo de caso apresentado neste artigo apresenta melhorias, decorrentes da adoção de um *layout* do tipo "U", em 5 indicadores de desempenho: redução em tempo de atravessamento, redução de estoque de WIP, redução do tempo de ciclo, redução de respostas a clientes, e produtividade. As evidências de trabalhos anteriores sobre a utilização de *layouts* em "U" sugerem que os indicadores da empresa analisada neste trabalho estão abaixo de resultados já reportados, mesmo apresentando valores expressivamente superiores aos níveis inicialmente encontrados na empresa.

A implementação do *layout* em "U" visa, entre outras coisas, a redução das distâncias de transportes de componentes e produtos, a redução do ciclo de produção, a redução de horas-homem de transporte, a racionalização dos movimentos dos operadores, o aumento da eficiência da produção e a aceleração da implementação de produção contra-pedido. Considerando que esses objetivos foram alcançados no caso reportado neste trabalho, mesmo que as melhorias não sejam superiores àquelas reportadas na literatura, pode-se afirmar que se obteve sucesso na implementação do novo *layout*. A redução do ciclo de produção obtido irá acelerar a implementação da produção contra-pedido, que é um objetivo da empresa, e ajudar a reduzir os estoques de produtos acabados.

A presente aplicação limitou-se aos três primeiros passos de implementação do *layout* em "U" propostos por Sekine *apud* Miltenburg (2001a), e obteve medições de indicadores de desempenho para comparação com aqueles reportados na literatura. A continuação da implementação do *layout* e uma nova comparação de resultados abrem-se como alternativas para desenvolvimentos futuros. Também é importante identificar as evidências da implantação dos princípios de produção enxuta e seu impacto no desempenho financeiro da empresa, o que também pode ser abordado em um próximo estudo.

Agradecimentos

O Prof. Flávio S. Fogliatto tem sua pesquisa parcialmente financiada pelo CNPq, através do projeto número 540710/01-6 (FIX).

Referências

KARLSSON, C. & AHLSTRÖM, P. (1996) - Assessing changes towards lean production. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 16, n. 2, p. 24-41.

MILTENBURG, J. & WIJNGAARD, J. (1994) - The U-line balancing problem. *Management Science*. Vol. 40, p. 1378-1388.

MILTENBURG, J. (1998) - Balancing U-lines in a multiple U-line facility. *European Journal of Operational Research*. Vol.109, p. 1-23.

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

MILTENBURG, J. (2001b) - One-piece flow manufacturing on U-shaped production lines: a tutorial. *IIE Transactions*. Vol.33, p. 303-321.

NAKADE, K. & OHNO, K. (1999) - An optimal worker allocation problem for U-shaped production line. *International Journal of Production Economics*. Vol. 60-61, p. 353-358.

OLORUNNIWO, F.O. & UDO, G. J. (1996) - Cell design practices in US manufacturing firms. *Production and Inventory Management Journal*. Vol. 37, p. 27-33.

OLORUNNIWO, F.O. & UDO, G. J. (2002) - The impact of management and employees on cellular manufacturing implementation. *International Journal of Production Economics*. Vol. 76, p. 27-38.

RUSSELL, R.; HUANG, P. & LEU, Y. (1991) - A study of labor allocation strategies in cellular manufacturing. *Decision Sciences*. Vol. 22, p. 594-611.

SHINGO, S. (1996) - *O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção*. Bookmark. 2ª Edição. Porto Alegre.

SPENCER, M. & GUIDE, D. (1995) - An exploration of the components of JIT. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 15, n. 5, p. 72-83.

WEMMERLÖV, U. & HYER, N. L. (1989) - Cellular manufacturing in the U.S. industry: a survey of users. *International Journal of Production Research*. Vol. 27, n. 9, p. 1511-1530.

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

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. & ROOS, D. (1990) – *The Machine that Changed the World.* Rawson Associates. New York.

YAUCH, C. A. & STEUDEL, H. J. (2002) - Cellular manufacturing for small businesses: key cultural factors that impact the conversion process. *Journal of Operations Management*. Vol. 20, p. 593-617.