

Influência de fatores humanos no desempenho de células de *lean manufacturing* – estudo de caso com abordagem sócio-técnica

Alvair Silveira Torres Junior, professor doutor, Universidade de São Paulo, FEA-USP, alvair@usp.br, Brasil

Benedito Teodoro de Souza, mestre pela Faculdade de Engenharia Industrial – FEI-SP, beneteo@uol.com.br.

Abstract

Although the research about application of lean manufacturing in different organizations there is at least 25 years, it is still recognized significant differences performance in these applications. One hypothesis is the performance of technical and social systems to be specific to each level of integration between technology and the human factor. The present study aims to contribute for this discussion comparing operational performance of various manufacturing cells with different degrees of human intervention, and finally, performs an ergonomic adjustment in a manufacturing cell, to study the effects of socio-technical interface on performance. Thirty manufacturing cells were studied, with varying degrees of automation, in the Brazilian unit of certain multinational automaker. The results point to a range of performance improvements by adjusting the interface of the social system, before a complete automation.

Resumo

Embora já se tenha notícias e pesquisas de aplicação dos conceitos do *lean manufacturing* em diversas organizações há, no mínimo, 25 anos, reconhece-se que ainda impera diferenças significativas de desempenho nessas aplicações. Uma das hipóteses é o desempenho dos sistemas técnico e social ser peculiar para cada nível de integração entre tecnologia e fator humano. O presente trabalho visa contribuir com detalhes operacionais para essa discussão, na medida em que compara o desempenho operacional de diversas células de manufatura com graus distintos de intervenção humana junto ao seu sistema técnico e, por fim, experimentalmente realiza um ajuste de ordem ergonômica em uma das células como forma de estudar os efeitos da interface sócio-técnica sobre o desempenho. Foram 30 células de manufatura estudadas, com diversos graus de automação, na unidade brasileira de determinada multinacional automobilística. Os resultados apontam para uma escala de melhorias no desempenho por meio de ajustes na interface do sistema social, antes de uma automação completa.

1. Introdução e Objetivos

A implementação dos princípios e ferramentas da produção enxuta tem sido discutido nos últimos anos sobre dificuldades no que diz respeito à mudança de comportamento em sua aplicação (Rother, 2009; Liker e Convis, 2011). Na década de 90 com a difusão das práticas *lean* disseminadas a partir dos trabalhos de Womack e Jones (2004) iniciaram-se uma série de iniciativas de introdução em diversas empresas. Criou-se uma massa crítica de praticantes que culminou com um reconhecimento de vantagens competitivas da aplicação das ferramentas *lean* articuladas com princípios de gestão. Shah e Ward (2003) demonstraram através de pesquisa quantitativa as vantagens competitivas obtidas por empresas americanas que aderiram a estas práticas.

Todavia as implementações divergem quanto ao alcance das mudanças e profundidade de inserção no meio organizacional. Torres Jr e Gatti (2011) demonstraram que algumas empresas inclusive abandonam a prática das ferramentas por seus membros.

O aspecto comportamental na implantação das ferramentas lean e em especial no trabalho padronizado nas células de manufatura é muito bem resumido por Hines & Taylor (2000) quando sugerem que é preciso equipar os operários com óculos para ver os desperdícios, tornando-os aptos a enxergar as perdas com comportamento de colaborar na identificação e eliminação das perdas. Atingir este objetivo exige um sistema social que possibilite a adesão e comprometimento dos operadores.

O presente trabalho pretende contribuir para a discussão deste aspecto sócio-comportamental da implementação, aplicando a abordagem sócio-técnica de análise do trabalho na implantação da ferramenta de célula de manufatura do modelo lean em uma planta automobilística brasileira.

1.1. Produção enxuta

No sistema de produção em massa, os custos somente caem na medida em que os volumes de produção aumentam (economia de escala). No Japão do pós-guerra, a produção em massa não era aplicável e foi necessário adaptá-la para criar um sistema novo com características diferentes (WOMACK; JONES; ROOS, 1992). No sistema de produção enxuta, o custo por unidade cai devido a outros fatores que não o volume de produção, quais sejam a eliminação dos estoques desnecessários e a redução drástica das peças defeituosas.

O Sistema Toyota de Produção (STP) ficou sendo chamado de sistema de produção enxuta com a publicação do livro “A Máquina que Mudou o Mundo”, por Womack, Jones e Roos, em 1990 (no Brasil em 1992).

O STP tem como base a eliminação dos desperdícios e está sustentado por dois pilares: o *Just-in-Time* (JIT) e autonomia (OHNO, 1997); (WOMACK; JONES; ROOS, 1992); (SHINGO, 1996); (SLACK et al., 1997). Segundo Shingo (1996), *Just-in-Time* significa “no momento certo”, “oportuno” e tem como objetivo eliminar todas as atividades que consomem recursos, mas que não agregam valor ao produto, os desperdícios. No STP, os sete tipos de desperdícios são: superprodução, espera, transporte, processamento, estoques, movimentos e produção de itens defeituosos (OHNO, 1997); (SHINGO, 1996); (SLACK et al., 1996); (CORRÊA; GIANESI, 1996); (RIBEIRO, 1989).

O segundo pilar do STP é a autonomia (*Jidoka*) e significa uma automação com um toque humano ou automação humanizada (OHNO, 1997); (RIBEIRO, 1989). Uma forma de praticar a autonomia é separar o homem da máquina e permitir que ele atue em diversas máquinas, sempre tendo a autorização para parar a linha em caso de ocorrência de defeitos. Outra forma é através da implantação de dispositivos à prova de erros e falhas, também chamados de *poka-yoke* ou *baka-yoke* (SLACK et al., 1996); (OHNO, 1997).

Na produção enxuta, o arranjo físico ou *layout* mais usado é o celular. Uma célula de manufatura tem geralmente o formato de um “U”, pois a prática mostrou que esta forma permite atingir os melhores resultados em termos de produtividade, além de facilitar a comunicação entre os operadores e a visualização do todo. No arranjo físico celular, o número de operadores é 50% a 70% menor do que o número de máquinas existentes. Com a aproximação das máquinas, as distâncias e os percursos dos operadores diminuem proporcionalmente, permitindo a operação de várias máquinas por um mesmo operador.

O tempo de atravessamento da célula é, em média, 90% inferior do que no arranjo físico funcional (HARMON; PETERSON, 1991). As características destas células são: máquinas

menores, mais lentas e mais baratas, alocadas em sequência de acordo com o processo, produção em lote unitário com operadores multifuncionais trabalhando em pé e caminhando, tendo tempo de ciclo determinando a taxa de produção. Em cada máquina de uma célula de manufatura, deve ser previsto um dispositivo chamado desacoplador, no qual se coloca a peça já completada na máquina e pronta para ser encaminhada para a próxima.

Com isso, o operador pode trabalhar caminhando tanto no fluxo quanto no contra-fluxo da célula, alimentando as máquinas e verificando a qualidade. Serve também para desligar temporariamente uma máquina, quando o limite máximo de peças for atingido. Uma célula de manufatura pode ser balanceada ou não. Balancear significa igualar os tempos de processamento e, de acordo com Black (1998), uma célula não precisa ser necessariamente balanceada, porém, nenhum tempo de processamento individual pode ser maior do que o tempo *takt*, ou seja, maior do que o ritmo de vendas.

Numa célula de manufatura, a polivalência ou multifuncionalidade dos operadores é fundamental. Isso é obtido através de treinamento intensivo e rodízio de tarefas dentro da célula. Quando nem todos os operadores são aptos a realizar todas as tarefas, pode-se lançar mão dos “coringas”, os quais, segundo Alvarez e Antunes (2003), são operadores multifuncionais e habilidosos, capazes de realizar todas as tarefas da linha. Na falta de algum operador, nos períodos de descanso ou nos horários de refeição estes ocupam os locais dos operadores ausentes até seu retorno.

De acordo com Moura (1999), dentre os custos de produção o pior é o de estoque em processo (WIP). Estoques em processo, que já agregaram custos de produção, não podem ser vendidos, pois já não são nem matérias-primas aproveitáveis nem produtos utilizáveis. Além disso, quanto mais estoque em processo existir, maiores serão os *lead times* e menor a flexibilidade do processo para atender à demanda. A ferramenta usada na produção enxuta para o controle do fluxo produtivo e do estoque é o *Kanban*, palavra japonesa que equivale a cartão ou sinal.

Conforme Ohno (1997), o *Kanban* é uma ferramenta para operacionalizar o *Just-in-Time* (JIT) e começou com um pedaço de papel dentro de um envelope de vinil retangular, com informações sobre coleta, transferência e produção de componentes e produtos acabados. Segundo Moura (1999), trata-se de um sistema de autocontrole da produção que dispensa outros controles paralelos ou sistemas computacionais. A aplicação do *Kanban* vai além da informação de quando produzir e fornecer. Ele serve também para melhorar a produtividade, pois reduz o estoque no processo e expõe os problemas a serem solucionados.

Na produção enxuta, deve-se seguir o princípio de produzir “todas as peças em todos os intervalos” (*every part, every interval*), ou seja, deve-se aplicar o nivelamento da produção (*Heijunka*). Segundo Slack et al. (1997, p. 489), *Heijunka* é uma palavra japonesa que significa nivelamento do planejamento da produção, através do qual o *mix* e o volume de produção se tornam constantes ao longo do tempo. Para que a produção enxuta seja efetivamente implantada, é preciso tanto nivelar como também balancear e sincronizar a produção.

Balancear vem em primeiro lugar e tem a ver com o tempo, isto é, com o cálculo do tempo *takt* da produção para atender à demanda e regular as células de produção para que trabalhem todas com o mesmo tempo *takt*. Após o balancear, deve-se nivelar a produção para que se produzam pequenos lotes e se ganhem rapidez e flexibilidade. Por fim, deve-se sincronizar todas as células com a linha de produção final de forma que não se formem grandes estoques intermediários. Nivelar a produção não é uma tarefa fácil e depende

diretamente da redução do tamanho dos lotes, portanto, exige tempos de troca de ferramentas baixos.

A técnica usada para isso chama-se *setup* rápido ou troca rápida de ferramentas (TRF). Conforme Black (1999), *setup* é o tempo decorrido desde a produção da última peça boa de um lote até a primeira peça boa do próximo lote. De acordo com Shingo (2000), o conceito de TRF levou 19 anos para ser desenvolvido e ficou evidente que é possível reduzir quase todos os *setups* para menos de 10 minutos. Esta atividade foi, então, denominada de SMED (*Single Minute Exchange of Die*), o que significa “troca de ferramentas em um tempo inferior a 10 minutos, ou um dígito”.

Segundo Sharma e Moody (2003), a simples aproximação das operações pode gerar apenas “fluxo falso”, pois mantém altos os estoques em processo e os desperdícios. Não basta reagrupar as máquinas em células, é preciso que se reduza também o lote de transferência entre as operações. O fluxo unitário, ou por lote de transferência de uma peça, permite um fluxo real e mais rápido, além de representar um avanço em relação ao sistema de produção por lotes e ser um dos pontos mais desafiadores da produção enxuta. A redução do *lead time* de uma célula é alcançada com o fluxo unitário de peças, independentemente do tamanho do lote de processamento.

2. Metodologia

A investigação pesquisou 30 células de produção de uma empresa automotiva multinacional estabelecida no Brasil, identificando 16 características presentes na gestão da operação dos equipamentos em contexto de sistema de produção enxuta e observou o resultado na eficiência. Adicionalmente foi aplicado o software SPAD para análise multivariada de dados não paramétricos, analisando as influências das 16 funções sobre as células de produção, agrupando-as em classes.

A pesquisa foi dividida em três etapas com triangulação entre elas. Na primeira etapa foi desenvolvida ênfase quantitativa com a medição dos indicadores de rendimento das células de máquinas. Foram pesquisadas 30 células de produção de uma empresa automotiva multinacional estabelecida no Brasil.

Na segunda etapa a ênfase foi quali-quantitativa através da análise das características de utilização dos equipamentos sob o ambiente do sistema de produção lean adotado pela empresa. Foram identificadas 16 características de influência no rendimento submetidas à análise do software estatístico SPAD para análise multivariada de dados não paramétricos, analisando o grau de influência das 16 funções sobre as células de produção, agrupando-as em classes. Foi identificada a forte influência do fator humano no desempenho operacional das células.

Na terceira etapa, desenvolveu-se o protocolo de pesquisa-ação intervindo nas células de baixa eficiência através de alternativas de gestão sócio-técnica de âmbito ergonômico e social, visando melhorar o desempenho e adesão dos operadores. Foram realizadas medições do desempenho antes e após as intervenções. As 30 Células de Manufatura Estudadas

2.1. Coleta e análise de dados

As 30 células estudadas estão formadas há aproximadamente 15 anos e possuem grande maturidade em relação ao trabalho em grupo com os operadores na sua operação.

O sistema de produção destas células do estudo é composto por máquinas operatrizes dispostas em *layout* do tipo celular e adotado o JIT com forma de logística, bem como o

one piece flow. As peças em fabricação são transportadas em meios adequados para esta função.

As dimensões de todas as peças produzidas obedecem a um desenho desenvolvido pela engenharia de produto responsável pelas análises de desgaste e resistência mecânica. A cada etapa do processo produtivo, o operador checa as dimensões do conjunto através de um plano de processo que estipula a frequência de medição e as tolerâncias máximas e mínimas exigidas pelo desenho do produto. A aprovação da peça para a etapa de produção subsequente é de responsabilidade do operador, o que caracteriza o autocontrole.

Na primeira etapa da coleta de dados foram analisadas 32 características em comum nas 30 células observadas:

- a) Processo de alimentação é automático ou manual;
- b) Possui Trabalho em Grupo;
- c) Possui *layout* celular;
- d) A máquina gargalo tem o comando CNC;
- e) Posto na máquina gargalo é multimáquina ou singelo, ou seja, o operador da máquina gargalo trabalha somente nela ou opera mais máquinas;
- f) Possui interferência ergonômica, ou seja, o trabalho realizado na máquina gargalo tem alguma condição que desfavorece a ergonomia;
- g) Faz manutenção preventiva conforme necessidade;
- h) Possui controle estatístico de processo (CEP);
- i) Tipo de material usinado – aço ou ferro fundido;
- j) Idade da máquina gargalo dividida em 05, 10, 20, 30 ou acima de 30 anos;
- k) Quantidade de produtos que passam na célula;
- l) Peso dos produtos;
- m) Quantidade de *setup* semanal;
- n) Tempo médio gasto em cada *setup*;
- o) Quantidade de operadores que trabalham na célula.

Com o mapeamento das características individuais de cada uma das células, iniciou-se o estudo de caracterização delas, criando-se uma tabela (Tabela 1) na qual se verifica se a característica existe ou não em cada célula estudada. Depois, cada característica foi quantificada em percentual por grupo de rendimento. Foram adotados os três grupos de rendimento utilizados pela política de gestão da empresa: baixo – abaixo de 75%; médio - entre 75 e 85% e alto – acima de 85%.

Na análise percentual de participação de cada característica na amostra das células verificaram-se aspectos mais preponderantes em determinado grupo de rendimento. Por exemplo, a automação na carga e descarga dos equipamentos está presente em 33,3% das células de alto rendimento, em 9,1% das células de médio rendimento e em 0% das células de baixo rendimento.

Tabela 1 – Levantamento das Características por Célula

| Célula | Rendimento | Proc. Automático = 1 Proc. Manual = 0 | Trabalho Grupo Sim = 1 Não = 0 | Layout Celular Sim = 1 Não = 0 | CNC = 1 Convencional = 0 | Posto Multimáquina = 1 Posto Único = 0 | Interferência Ergonômica Sim = 1 Não = 0 | Manutenção Preventiva Sim = 1 Não = 0 | Controle Estatístico CEP Sim = 1 Não = 0 | Tipo de Material Aço = 1 FoFo = 0 |
|--------------------|------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|---|--|---|--------------------------------------|
| Forno | 93,49% | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Tubo de Apoio | 92,97% | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Prensa Cj. Carcaça | 91,20% | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Tubo de Apoio | 90,88% | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Forno | 90,25% | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Cubo HL5 | 88,40% | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Tubo de Apoio | 88,16% | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Prensa Cj. Carcaça | 87,95% | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Tambor HL7 | 86,46% | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Manga VO4 | 84,94% | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Sapata Pesada | 83,34% | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Tambor HL7 | 83,13% | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Disco Pesado | 82,87% | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Manga do LN | 82,23% | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Cavalete do Freio | 81,34% | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Manga VL3 | 80,32% | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Viga VL3 6,5 T | 80,16% | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Cartola | 78,08% | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cubo VL2/HL2 | 78,00% | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Cubo HL7 | 77,09% | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Caixa HL5/HL4R | 74,96% | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Tambor HL5/VL3 | 73,45% | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Cubo HL4 | 73,35% | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Cubo VL3 5T | 72,96% | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Carcaças Médias | 72,62% | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Sapata Média | 72,34% | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Cubo VO4/VL4 | 70,52% | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Cubo M2000 | 70,11% | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Tambor VL3 | 66,96% | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Sapata Média | 53,86% | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Fonte: autor.

Na segunda etapa, análise dos dados coletados, procurou-se investigar a participação relativa de cada característica nos agrupamentos de células por grau de rendimento. Na figura 1 busca-se sintetizar a presença de cada aspecto segundo a linha de rendimento.

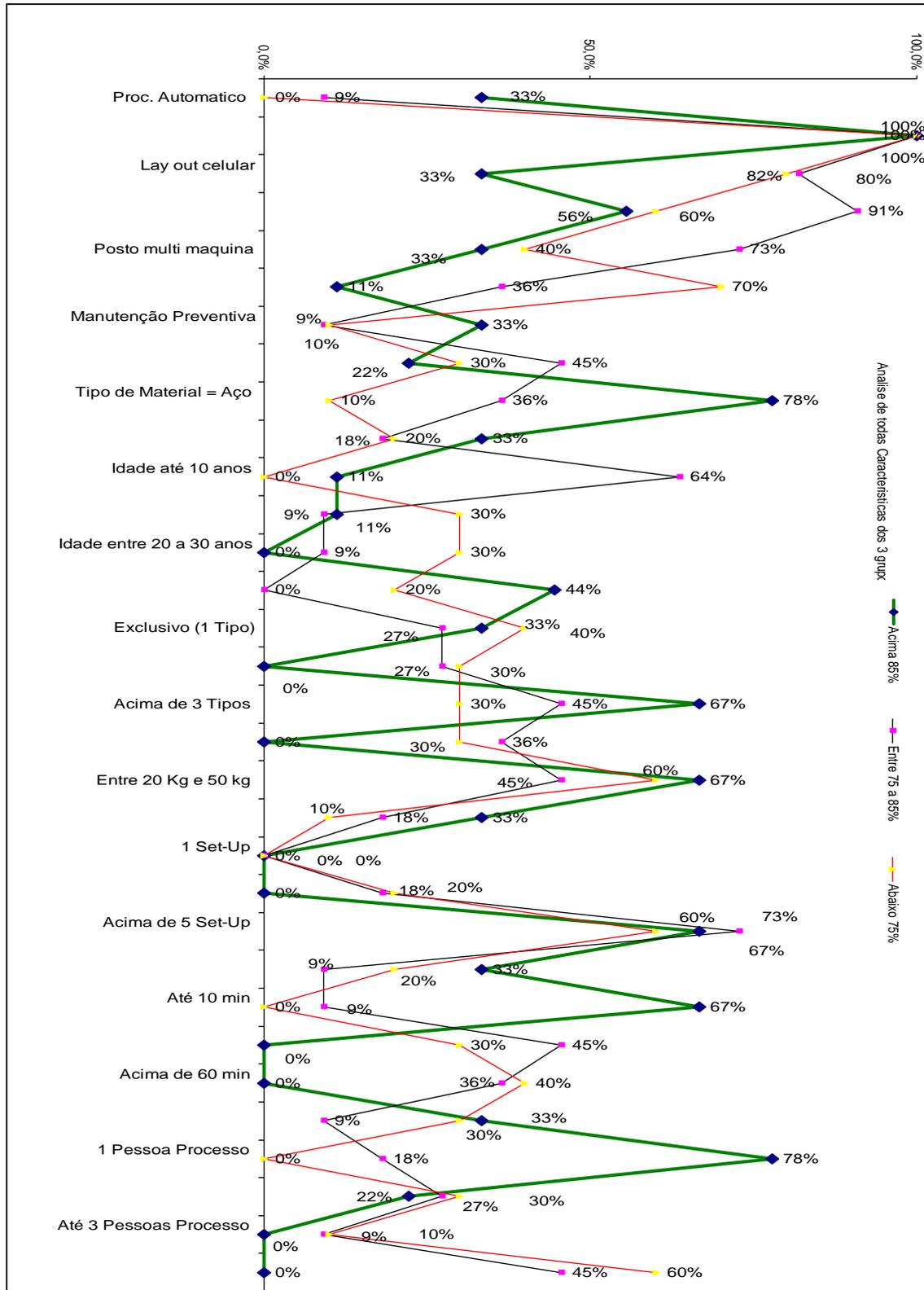


Figura 1 – Gráfico Demonstrativo do Percentual das Características Existentes nas Células

Analisando-se o gráfico da Figura 1 observa-se que algumas das características não influenciam no rendimento das células, pois estão presentes em dois ou nos três grupos.

Estas características podem ser desconsideradas. São elas:

- a) Possui Trabalho em Grupo;
- b) Possui controle estatístico de processo (CEP);
- c) Quantidade de produtos que passam na célula;
- d) Peso dos produtos.

Iniciou-se, então, o estudo das 16 características que mais influenciam no rendimento do processo de manufatura das células, a saber:

- a) Processo de alimentação é automático ou manual;
- b) Possui *layout* celular;
- c) A máquina gargalo é CNC;
- d) Posto na máquina gargalo é multimáquina ou singelo;
- e) Possui interferência ergonômica;
- f) Faz manutenção preventiva;
- g) Tipo de material usinado – aço ou ferro fundido;
- h) Idade da máquina gargalo até cinco anos;
- i) Tempo médio gasto em cada *setup*;
- j) Quantidade de operadores que trabalham na célula.

Descartando as características que não influenciam no rendimento das células, tem-se um novo gráfico (Figura 2) no qual se pode observar a existência de uma grande diferença em cada característica por grupo de célula conforme seu rendimento.

Da pesquisa dos fatores que influenciam no rendimento das células foi identificada a preponderância de frequência dos fatores humanos nas células de baixo e médio rendimento:

- a) Grupo Alto Rendimento = 09 células com rendimento maior ou igual a 85%.

Células com máquinas operadas por único operador com trabalho carga e descarga das peças nos equipamentos sendo feito de forma automatizada ou, se manual, com reduzida carga ergonômica e reduzido nível de stress psicológico pela ausência de máquinas gargalo.

- b) Grupo Médio Rendimento = 11 células com rendimento entre 75% e 85% e

Grupo Baixo Rendimento = 10 células com rendimento menor ou igual a 75%.

Ambos grupos apresentam de dois até quatro operadores atendendo as diversas máquinas da célula, presença de máquinas gargalo provocando stress psicológico e carga manual das peças nas máquinas com interferências ergonômica.

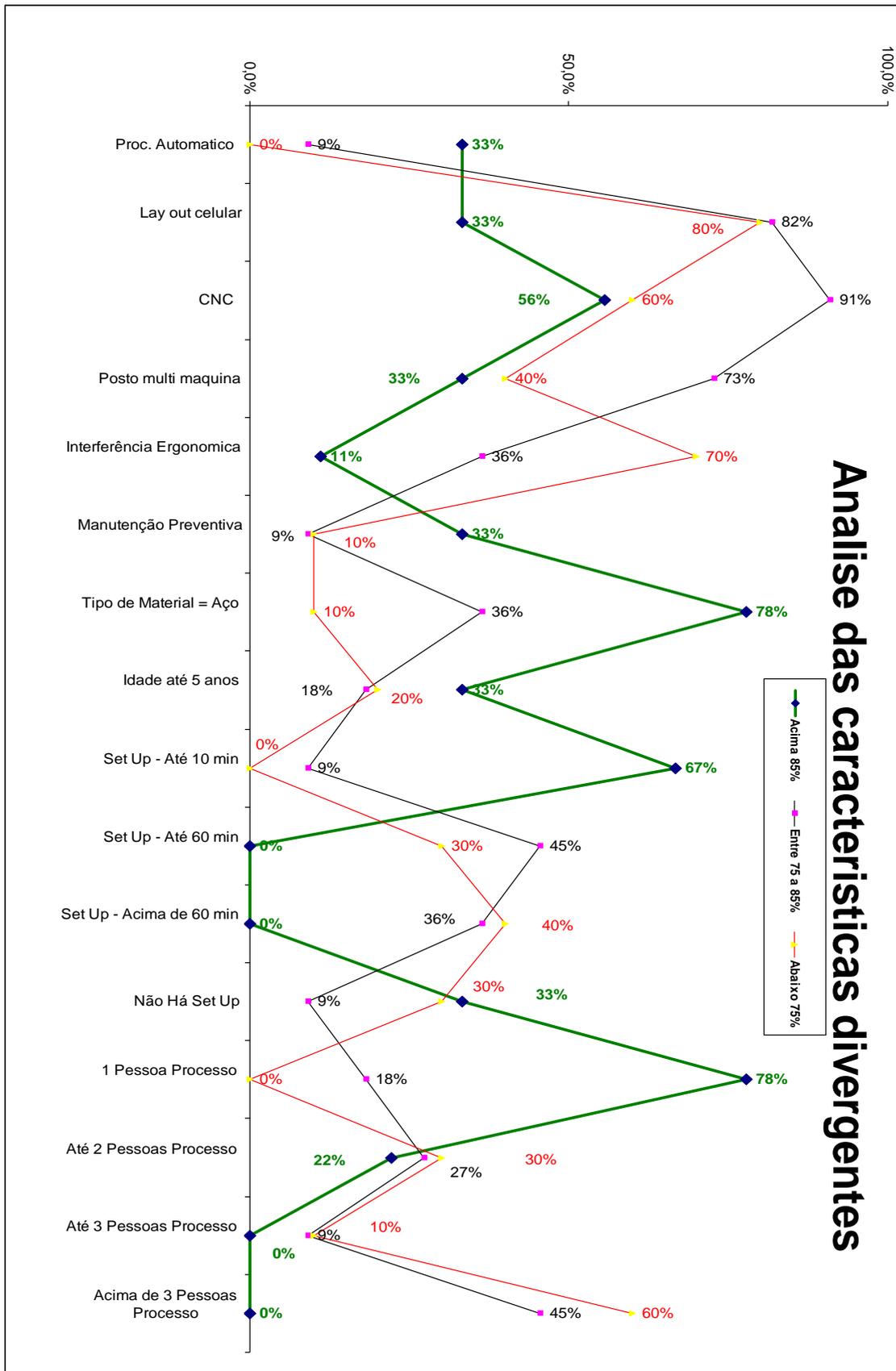


Figura 2 – Gráfico Demonstrativo do Percentual de Influência das Características Relevantes Existentes

3. Resultados e discussão

Com os dados coletados passou-se para a intervenção ergonômica com medida dos resultados. Foi realizada intervenção em célula de manufatura do grupo de baixo rendimento. A partir de uma lista de verificação dos impactos ergonômicos segundo Couto (1996) foi identificada a preponderância da fadiga provocada pela manipulação de cargas nas atividades de carga e descarga das máquinas. A pesquisa-ação resultou na negociação com os operadores do estudo comparativo de jornadas de trabalho com pausas prescritas nas células de manufatura.

A célula escolhida foi identificada com baixo rendimento (68%) durante o estudo, por isso resolveu-se fazer o trabalho de análise. Nos dados coletados identificou-se que o rendimento de uma célula é inversamente proporcional à interferência ergonômica, ou seja, quanto maior a interferência, menor o índice de eficiência.

A análise das características divergentes (figura 2) havia demonstrado que uma máquina automatizada é mais eficiente: nenhuma célula com baixo rendimento possui processo automatizado, 9% das células de médio rendimento possuem processo automatizado e 33% das células de alto rendimento possuem processo automatizado. Entretanto antes da decisão de investir no parque de máquinas, com claro impacto sobre rentabilidade, uma vez que a mudança de patamar tecnológico exigiria um salto no patamar de demanda para se justificar atualizações tecnológicas em todas as células, cabe aqui investigar que ajustes de ordem ergonômica poderiam ser feitos em uma escala gradual de integração do fator humano com o sistema técnico existente, aumentando a produtividade com mesmo capital investido.

Foi realizado um estudo de cronoanálise para coleta de dados durante 3 dias consecutivos em turnos de 8 horas/dia. Cada dia foi estudado uma situação diferente que apresenta o impacto do trabalho manual com a produtividade.

Para realizar comparações eficazes, foi utilizado o método de análise de Valores de Tempo Planejado que descreve o tempo esperado da operação manual.

Na situação antes da intervenção foram medidos os tempos manuais de alimentação das máquinas com registro dos tempos médios e dispersão ao longo da jornada de trabalho. Após introdução de duas pausas de 15 minutos durante o dia registrou-se diminuição dos tempos médios na operação manual e redução da dispersão, conforme demonstra gráfico da figura 3.

Após as coletas de dados, foi gerado o gráfico da figura 3 que demonstra o comparativo das duas situações estudadas.

Na segunda situação a percepção dos operadores na célula de manufatura foi de redução da fadiga, diminuição do grau de tensão e forneceu oportunidade para alguma interação social. Para a primeira situação, obteve-se um rendimento de 68% e para segunda situação 74,46%, descontando-se nesta intervenção as duas pausas de 15 minutos da base do cálculo. Caso os 30 minutos não sejam descontados, ainda assim o rendimento é melhor atingindo 70,67%, indicando o claro benefício da intervenção ergonômica. A pausa evidentemente é uma intervenção simples, uma estratégia da pesquisa para indicar que outras melhorias bio-mecânicas através de dispositivos estão indicadas, no lugar da pausa, trazendo a melhoria do rendimento sem necessidade de dispender os tempos de descanso.

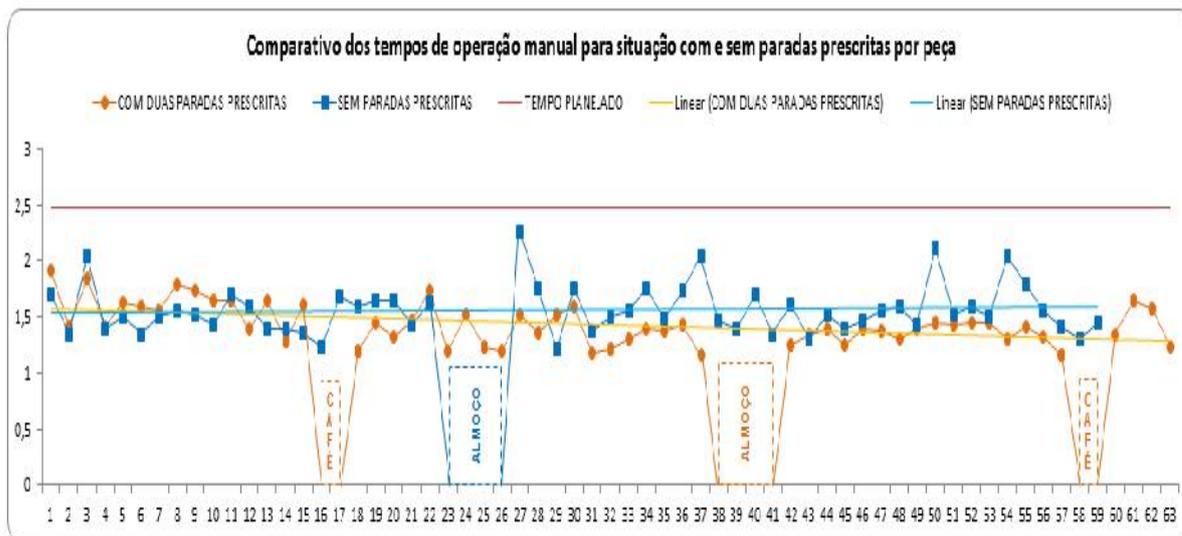


Figura 3 – gráfico comparativo dos tempos cronometrados antes e após intervenção

A célula estudada na intervenção ergonômica é representativa das demais células de baixo rendimento. Observaram-se neste grupo as seguintes causas de fadiga:

- Movimentos repetitivos;
- Excesso de carga;
- Má postura para controle de medição de peças;
- Má condição biomecânica na movimentação de carga. Segundo Couto (1996), existem condições ergonômicas definidas para movimentação de carga, sendo assim, encontram-se desvios na célula analisada, como: braços elevados acima do permitido; troco com inclinação indevida e com sobrepeso.

Deste modo a intervenção ergonômica influencia positivamente no trabalho do operador. Após a intervenção ergonômica o operador alegou ter reduzido dores nas pernas, nas costas e nos braços e o cansaço diminuiu aumentando sua disposição.

Assim, entende-se que as células de baixo e médio rendimento antes de investimentos maiores podem ter sua produtividade melhorada e condições de qualidade de vida aumentadas na medida em que uma escala de intervenções de ajuste do sistema técnico ao fator humano sejam planejadas e implementadas gradativamente.

Para a célula atingir médio/alto rendimento a pausa é o primeiro passo rudimentar, devendo-se avaliar outros fatores ergonômicos, tais como inserção de apoio para descanso postural, introduzir dispositivos de manipulação de carga, avaliar trocador de calor mais eficiente etc. No último estágio, ainda sem trocar a plataforma tecnológica, elementos automatizados para realizar operações que hoje são manuais podem ser introduzidos através de interface nos sistemas existentes.

4. Conclusão

Evidenciou-se que gerenciar os fatores humanos que influenciam no desempenho da célula de manufatura *lean* é uma solução mais econômica para aumentar o rendimento dos equipamentos antes que se avalie a necessidade de automatização. Muito embora no

presente estudo tenha sido evidenciado o impacto ergonômico através de pausas para descanso, essa foi uma estratégia da pesquisa para evidenciar a influência do fator humano no sistema técnico, assim adotado porque não havia necessidade de nenhum recurso adicional. Outras alternativas de ajuste ergonômico visando a recuperação física e psicológica do ser humano podem ser viabilizadas através de estudos técnicos de redução de carga bio-mecânica por meio de dispositivos e, ainda, introduzindo-se melhorias ambientais. Tais opções aumentariam ainda mais o rendimento global dos equipamentos uma vez que sem as pausas haveria mais tempo para produção.

5. Referências

SOUZA B. T. Um Estudo das Características Existentes em Células de Manufatura e suas Influências no Rendimento Global. Tese apresentada para obtenção do grau de Mestre em Eng. de Produção à FEI, 2011

COUTO HA. Ergonomia Aplicada ao Trabalho: O Manual Técnico da Máquina Humana. Belo Horizonte, UFMG, 1996.

DAL, B.; TUGWELL, P.; GREATBANKS, R. Overall Equipment Effectiveness as a measure of operational improvement: a practical analysis. *International Journal of Operational Improvement & Production Management / Emerald*. v. 20, ed. 12, p. 1488-1502, 2000.

GREENACRE, M.J. *Correspondence analysis in practice*. London: Academic Press, 1993.

_____. *Theory and applications of correspondence analysis*. London: Academic Press, 1984.

HAIR JR.; JOSEPH, F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W. *Análise multivariada de dados*. Tradução: Adonai Schlup Santáanna e Anselmo Chaves Neto. Supervisão técnica: Maria Aparecida Gouvêa. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HINES, P.; TAYLOR, D. (2000) *Going Lean. A guide to implementation*. Lean Enterprise Research Center. Cardiff, UK.

JONSSON, P.; LESSHAMMAR, M. Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems – The role of O.E.E. *Internacional Journal of Operation & Production Management*.

KENYON, G.; CANEL, C.; NEUREUTHER, B.D. The impact of lot-sizing on net profits and cycle times in the n-job, m-machine job shop with both discrete and batch processing. *International Journal of Production Economics*. 97, p. 263-278, 2005.

LIKER, J. e CONVINS, G. *The Toyota Way to Lean Leadership: Achieving and Sustaining Excellence through Leadership Development*. New York: McGraw Hill, 2011

NAKAJIMA, S. *Total productive maintenance*. Productivity Press, 1988.

OHNO, T. *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

ROTHER, Mike. *Toyota Kata: Managing People for Improvement, Adaptiveness and Superior Results*. New York: McGraw Hill, 2009.

ROTHER, M.; SHOOK, J. *Aprendendo a enxergar – Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício*. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.

SHAH, R. & WARD, P. T. 2003. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21 (2), 129-149.

TORRES JR., Alvaír S. e GATI, Ana. Identification of Barriers Towards Change and Proposal to Institutionalize Continuous Improvement Programs in Manufacturing Operations. *Santiago: Journal JOTMI v 6, n 2, 2011.*

WOMACK, J.D.; JONES, D.T.; ROOS, D.A. *Máquina que mudou o mundo*. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WOMACK, J.D.; JONES, D.T.A. *Mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza*. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.