

MELHORIA DO PROCESSO DE UMA METALÚRGICA ATRAVÉS DE FERRAMENTAS LEAN E SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

Diogo Nunes Dalosto

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Avenida BPS, 1303
diogodalosto@gmail.com

Rogério Santana Peruchi

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Avenida BPS, 1303
rogerioperuchi@unifei.edu.br

Pedro Paulo Balestrassi

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Avenida BPS, 1303
pedro@unifei.edu.br

Messias Borges Silva

Universidade de São Paulo - USP
Rodovia Itajubá-Lorena km 74,5
messias@dequi.eel.usp.br

RESUMO

Este artigo tem o objetivo propor melhorias para o processo de produção da indústria metalúrgica Fulton Bellows através do uso de ferramentas lean manufacturing e simulação por meio do software Visio®. Primeiramente definiu-se o estado atual da empresa que tem problemas de fluxo de produção, WIP e desbalanceamento, alto lead time e com valor agregado de 2,49 minutos e de não valor agregado de 7,25 dias na sua linha de produção de bellows. A proposta de melhoria para esse processo focou em agrupar os produtos em famílias. Então desenvolveu-se células de produção que foram simuladas e obtiveram resultados expressivos como a produção foi melhorada em 69%, o lead time reduzido em 88,2% e o tempo de valor não agregado reduzido em 95,9 %. As ferramentas empregadas e a simulação proporcionaram de maneira objetiva e em poucos passos a solução dos problemas como proposta de melhoria do processo.

PALAVRAS CHAVE. Lean Manufacturing, Melhoria de Processo, Simulação de Processos.

Área principal: Simulação.

ABSTRACT

In this paper the goal is offer improvements for the production process of the metallurgic company Fulton Bellows using lean manufacturing tools with the simulation through the software Visio®. First of all it was identified and define the actual production process of the company that has problems in production flows, WIP and unbalancing lines, high lead time, with value added of 2,49 minutes and of non-value added of 7.25 days in the bellows production line. The improvement proposal focused on clustering the products in families. So was developed production cells that the improvement approaches got expressive the results as the production was improved in 69%, the lead time decreased by 88,2%, and the non-value added reduced in 95.9%. The tools used and the simulation come with the problem solution up and process improvement in a few steps and in an objective way the proposal of process improvement.

KEYWORDS. Lean Manufacturing, Process Improvement, Process Simulations.

Mean area. Simulation

1. Introdução

O lean manufacturing ou popularmente conhecido em português como produção enxuta é definida por Wolmack, Jones e Roos (1990) como um novo sistema de organização industrial inspirado no Sistema Toyota de Produção (STP). Taj (2008) diz que a produção enxuta nasceu na Toyota com o nome de Just-in-time (JIT) ou Sistema Toyota de Produção (STP). Para Hallgren e Olhager (2009), os conceitos de produção enxuta são sinônimos de práticas desenvolvidas no

STP. Este tipo de sistema de produção vem sendo utilizada com sucesso em indústrias em todo o mundo.

As novas tecnologias são muitas vezes ignoradas pelos céticos e antigos mestres de produção que estão há anos nas empresas e são contra as novas ferramentas que auxiliam e melhoram a produtividade por estarem desatualizados e se sentirem os donos do processo em que trabalham, que têm aversão a toda e qualquer mudança (DALOSTO, 2014). Pode-se dizer ainda que são contra a ciência e o progresso e acabam se tornando escravos de um sistema arcaico de produção, que prejudica a sua empresa e reflete de várias formas negativas, como a perda de espaço no mercado de trabalho e principalmente na forma mais cruel e significativa dos indicadores: o lucro.

Este artigo está em um contexto análogo ao descrito. O projeto foi realizado em uma antiga indústria metalúrgica dos EUA que apresentava falta de fluxo de produção, caracterizado por produção em batelada e sistema empurrado. Pode-se dizer ainda que se trata de um problema comum a muitas indústrias nacionais e internacionais como é o caso da indústria objeto de estudo desse artigo. Uma contribuição importante do trabalho é retratar uma experiência vivenciada em profundidade junto a uma empresa real (manufatura) que é de grande valor, tendo em vista a dificuldade de se aplicar métodos da pesquisa operacional em indústrias manufatureiras.

Neste trabalho discuti-se o projeto com a proposta de melhoria de processo da indústria metalúrgica Fulton Bellows através de ferramentas de lean manufacturing e da simulação. Definiu-se o estado atual do processo através do mapeamento do processo, desenvolvimento do mapa de fluxo de valor constando-se a falta de fluxo de produção e também elaborou-se o Layout e a simulação do processo do estado atual. Essa definição apontou os problemas do processo que é em batelada, com grande tempo de espera entre as estações de operação e que se desenvolve na forma empurrada. A simulação do processo no software Visio® foi fundamental para a pesquisa, pois forneceu informações e permitiu criar cenários e testar as alterações de layout propostas, desenvolvendo-se um novo layout com o agrupamento dos principais produtos da empresa em famílias com o objetivo de favorecer a produção mais harmoniosa e que fluísse ao longo do processo, visando alcançar o sistema puxado. Simulou-se novamente todas as melhorias propostas no Visio® e os resultados foram expressivos. A capacidade de produção da empresa foi melhorada em 69%, o lead time reduzido em 88,2%, a taxa de utilização dos recursos do processo melhorada em 8% e o tempo de valor não agregado reduzido em 95,9%.

2. Lean manufacturing

Produzir é um jogo constante de fazer mais com menos (HOPP e SPEARMAN, 2008). Isto foi claramente o oposto do que o mundo ocidental estava fazendo com o seu sistema de produção em massa, com pensamentos voltados somente em torno de materiais e de planejamento de recursos e de sistemas informatizados complexos oriundas da filosofia de produção em massa originalmente desenvolvidos por Henry Ford, ou seja, uma grande produção de alto volume de produtos padronizados e mínima participação ou atenção às exigências particulares dos clientes. Esse sistema produtivo fez Taiichi Ohno refletir sobre um novo sistema de produção que fosse acima de tudo objetivo na eliminação de desperdícios e elementos desnecessários a fim de reduzir custos, que a ideia básica de produzir apenas o necessário, no momento necessário e na quantidade requerida (OHNO, 1997).

Dessa forma, todo esse conceito foi levado para o ocidente e que rendeu o tema do livro *“The Machine that changed the World”* (WOMACK *et al.* 1990), um livro que destaca primeiro métodos de produção japoneses, em comparação com tradicionais sistemas de produção em massa ocidentais e também realça o desempenho superior do primeiro. Os seus princípios e técnicas aplicados no ocidente foram denominados por Womack de Lean Manufacturing. O seu seguinte livro, *“Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Organization”*, é igualmente um passo importante na história do Lean por resumir os princípios de guia de ação para o termo no ocidente criando também o conceito de *“Lean Production”* (WOMACK e JONES, 1996).

Do livro, “*Lean Thinking*” (WOMACK e JONES, 1996), podemos compreender os princípios do Lean, que segundo os autores são: a identificação do valor, a eliminação dos resíduos e a geração de fluxo de valor para o cliente.

Segundo Bicheno (2000), o objetivo geral do pensamento enxuto pode ser descrito com referência a três dimensões principais que são a qualidade, a entrega e os custos. Gordon (2001) afirma que durante décadas, a manufatura enxuta tem sido considerada a melhor maneira de executar uma empresa de manufatura.

Ainda é importante ressaltar que o Lean está atualmente sendo empregado em diversos tipos de sistemas, desde saúde pública e privada, até empresas do terceiro setor, como afirma Martínez e Moyano (2013): “o lean se tornou também um sistema de gestão integrado”.

2.1. Ferramentas lean

Para alcançar o objetivo do Lean, que é eliminar os desperdícios, utilizam-se diversas ferramentas. Dentro dessa caixa de ferramentas pode-se citar as principais utilizadas para executar os princípios do Lean, segundo Werkema (2006): mapa de fluxo de valor, métricas lean, kaizen, kanbans, padronização, 5S, redução de *setup*, TPM (Total Productive Maintenance), gestão visual e poka- yoke (sistema a prova de erros). Além dessas ferramentas, pode-se citar ainda a simulação computacional.

2.3 Simulação computacional

A simulação computacional de projetos é capaz de gerar os recursos necessários e as estatísticas de desempenho, mantendo-se flexível para detalhes organizacionais específicos (ABDULMALEK e JAYANT, 2007). Esse recurso pode ser utilizado para lidar com a incerteza e criar exibições dinâmicas de níveis de estoque, prazos de entrega e utilização de máquinas para diferentes mapas do estado futuro mapa de fluxo de valor (VSM). Isto permite a quantificação de retorno derivado utilizando os princípios do lean, bem como o impacto destas no sistema total. As informações fornecidas pela simulação permitem comparar o desempenho esperado do sistema enxuto em relação ao sistema existente que se destina a substituir (DETTY e YINGLING, 2000).

Ainda segundo DETTY e YINGLING (2000) simular acaba com o retrospecto ruim do Lean que é justificativa suficiente para a não adoção das ideias e não ter uma previsão dos resultados que o projeto trará para convencê-los a adotar as métricas do Lean. Portanto, a simulação é parte essencial da elaboração de um projeto para provar, antes da sua implantação, que é significativamente melhor e dar credibilidade a sua adoção e venda.

3. Método de Pesquisa

Neste projeto o método de abordagem que será utilizado é a simulação. A simulação em softwares, segundo Ryan (2006) permite que estudos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, levando ao desenvolvimento de projetos eficientes antes que qualquer mudança física tenha sido iniciada. Além disso, a simulação é a utilização de um modelo que representa o processo real ou sistema, geralmente em um computador, com o objetivo de análise do comportamento deste sistema (OLIVEIRA, 2008). As principais vantagens da simulação advêm do fato que um modelo criado pode ser utilizado inúmeras vezes, o qual não depende da disponibilidade do sistema real para a realização de ensaios, nem incorre em custos para executar os experimentos (LAW e KELTON, 2000). Além disso, segundo Vergara (2007) este projeto é caracterizado ainda por ser uma pesquisa aplicada, motivada pela necessidade de resolver problemas concretos e de finalidade prática, visando propor resolução para os problemas detectados na empresa estudada.

Neste artigo, está desenvolvida a proposta de melhoria de processo que utilizou ferramentas de Lean Manufacturing para se propor uma solução ao problema de fluxo de produção da indústria Fulton Bellows e assim simular em software o cenário de melhorias antes da fase de implantação final. Essa proposta foi estruturada em quatro partes que englobam uma série de ferramentas, mas que podem ser facilmente compreendidas.

Em primeiro lugar realizou-se a investigação da produção e processo através do mapeamento do processo, construção do VSM, layout, layout espaguete e a simulação computacional, obtendo-se como resultado a definição do estado atual do processo.

A proposta de melhoria reuniu os principais produtos da linha de produção em famílias. A partir disso, visou-se proporcionar o balanceamento da produção e facilitar o seu gerenciamento. Então, com as metas definidas desenvolveu-se o VSM do processo, a proposta de mudança de layout, utilização de células de produção e o mapeamento do processo com a construção de um mapa de gerenciamento de produção para auxiliar na utilização das células e organizar a produção.

Toda a proposta de melhoria foi implementada em ambiente virtual, onde realizou-se a simulação do processo com a abordagem desenvolvida por meio da ferramenta de simulação computacional de processos, no software Visio®. A aplicação da simulação seguiu as seguintes fases: coleta do sequenciamento do processo produtivo, bem como dos tempos gastos em cada posto de trabalho; análise dos tempos por meio do Process Simulator, no comando Input Simulation Session do Visio®, de forma a determinar a melhor distribuição estatística para os tempos coletados; criação do modelo de simulação do processo e validação do modelo elaborado.

4. Objeto de estudo

A pesquisa foi desenvolvida nos Estados Unidos, através da Universidade do Tennessee (UTK) no segundo semestre de 2013. Foi realizada na Indústria Metalúrgica Fulton Bellows, localizada no Tennessee, que entrou em contato com os pesquisadores do departamento de Engenharia da Produção e Sistemas da UTK e solicitou um projeto para melhorar o fluxo de produção de bellows. Bellows são dispositivos utilizados para a medição de volumes em compartimentos de tanques de combustíveis, reservatórios de líquidos em geral e para controles e estabilização de voos de helicópteros e aviões, bem como válvulas.

A empresa em questão tem sua organização baseada no feeling dos gestores, o que levou o processo de produção à perdas e altos tempos de processamento, pois não havia metodologias de produção ou controles rigorosos. Um outro agravante foi conciliar a pesquisa à indústria que é antiga, ou seja, não está atualizada com relação as novas tecnologias da engenharia de produção. Seu sistema de produção é basicamente caracterizado em batelada. A priori o problema da empresa não estava bem definido e necessitava de maiores informações discutidas a seguir.

5. Desenvolvimento da proposta de melhoria

Para organizar o projeto, inicialmente elaborou-se um cronograma de visitas técnicas à indústria que teve a duração de dez semana. A primeira semana teve como objetivo conhecer a indústria, o processo de produção, as partes envolvidas desde o presidente da empresa e supervisor até os operadores, bem como destacar as delimitações do projeto por parte da empresa, que foram tidas como restrições de consideração do projeto. Essas delimitações são: dezoito operadores na linha, a imobilidade das hidroformadoras, a jornada de trabalho, que é limitada em um turno de oito horas por dia e cinco vezes por semana, a diversidade na produção e a limitação na produção de alguns produtos em máquinas específicas e seu setup. Além disso, outro agravante do projeto foi limitação de investimentos, ou seja, que pudesse ser viável a empresa de forma que não necessitasse de altos investimentos financeiros na linha de produção.

Na segunda e terceira semana as visitas diárias focaram na coleta de dados relacionados à produção com auxílio do supervisor da linha e operários. Os dados foram coletados e inseridos em planilhas, contendo informações sobre: tempo de produção, número de produtos produzidos por tempo, tamanho da batelada, tempo de ciclo, tempo total de produção, intervalos na produção, intervalos para descanso, periodicidade de manutenção, programação de produção, tempo de setup, número de máquinas, número de operadores por setor e máquina, quantidade de máquinas paradas, quantidade de máquinas disponíveis, fichas de controle, sistemas de transporte de material, armazenamentos de produtos e matéria prima, tempo de deslocamento e percurso dos produtos, tempo de espera da batelada, demanda de produção, descartes, descrição dos processos,

acompanhamento da produção, apresentação dos produtos mais importantes por demanda e o levantamento dos produtos mais relevantes para a empresa.

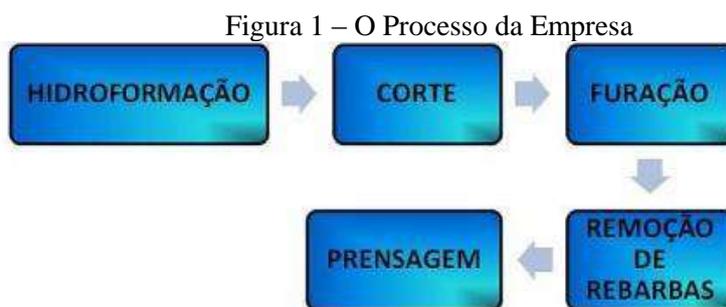
As semanas seguintes, quarta e quinta semanas, o trabalho foi dedicada à análise dos dados para extrair informações úteis para a definição do estado atual da linha de produção. Os dados com relação aos tempos de processamento foram organizados e agrupados de acordo com as máquinas, setores, operadores, turno, restrições e produtos. Com isso, construiu-se o estudo dos de tempos (time studies), que foi tabulado em planilhas. Após essa etapa, novas visitas foram feitas na sexta e sétima semana à empresa para mapear os produtos e realizar a construção dos layouts, simulação e VSM.

Com todas essas informações, os padrões de produção foram notados e pode-se identificar oportunidades de melhoria do sistema de produção. Nas semanas posteriores (oitava e nona semanas), desenvolveu-se a proposta de melhoria para o processo com a organização dos principais produtos da linha de produção em famílias. Com o mapa de todas as máquinas disponíveis na planta, essas famílias foram divididas em células de produção dedicadas e/ou mistas, realizou-se também a planilha de programação da produção e a pré-simulação do processo com a nova abordagem proposta.

Realizou-se a última visita a unidade fabril na décima semana com o objetivos de sanar dúvidas e alinhar o projeto aos interesses da Fulton. O feedback foi positivo e finalizou-se a última fase do projeto com a simulação final da abordagem obtendo-se os resultados.

5.1 O processo

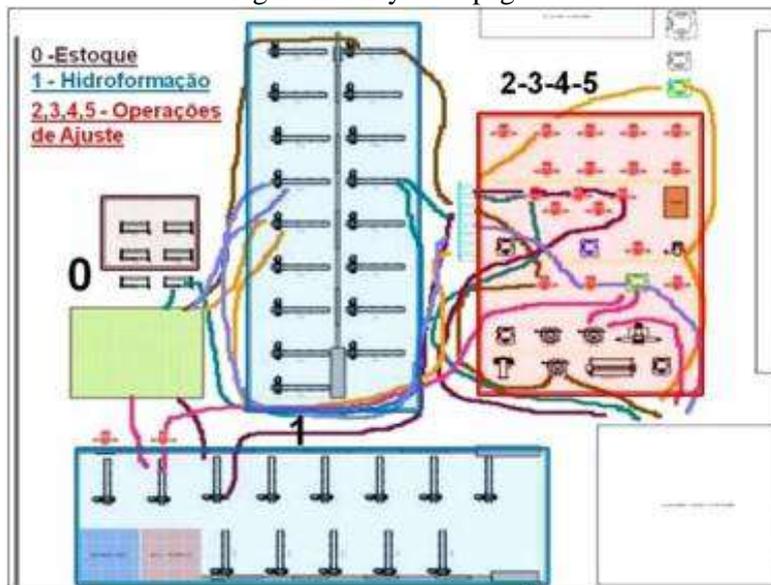
A linha de produção em foco pelo projeto é constituída de cinco etapas sequenciais, que são:



A matéria-prima, que são tubos vazados entram na máquina hidroformadora. A operação corte dá continuidade ao processo, onde corta-se os bellows em posições específicas individualmente. Em seguida tem-se é a furação, que realiza um furo nos produtos, se necessário ser perfurado, no fundo e/ou no topo. A remoção de rebarbas é um processo rápido, cujas bordas do bellow são alisadas numa pequena máquina. A prensagem dá a sequencia final, cuja ajusta altura necessária do Bellow.

A seguir são apresentadas algumas ferramentas que auxiliaram a definir o estado atual do processo e identificar os problemas da produção. Mapeou-se o processo para a demanda de produtos mais importantes e o Layout Espaguete foi desenvolvido para analisar a movimentação dos produtos ao longo do processo na planta:

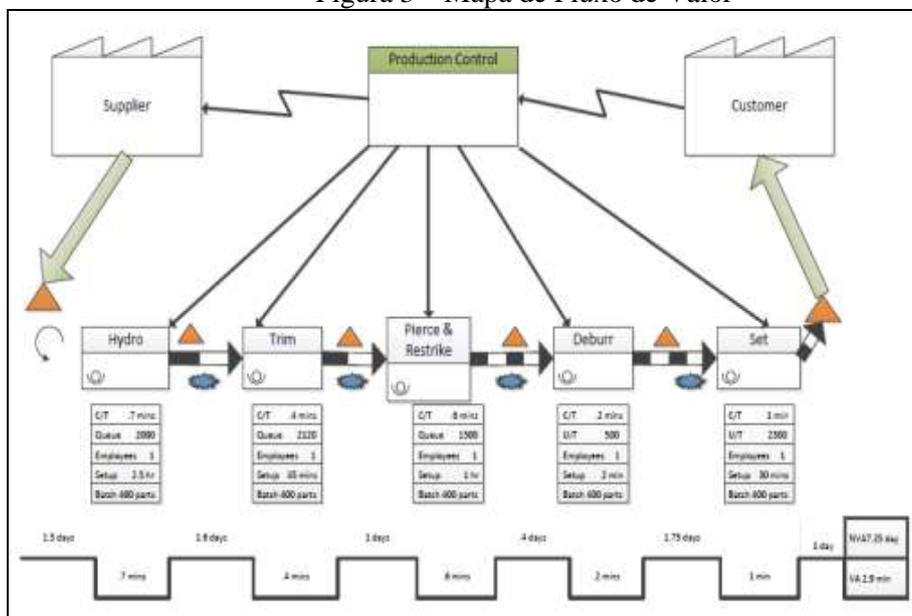
Figura 2 – Layout espaguete



Pode-se notar que não há distribuição homogênea do arsenal de máquinas da linha. Alguns produtos seguem o mesmo caminho de outros e não há o aproveitamento pleno da planta.

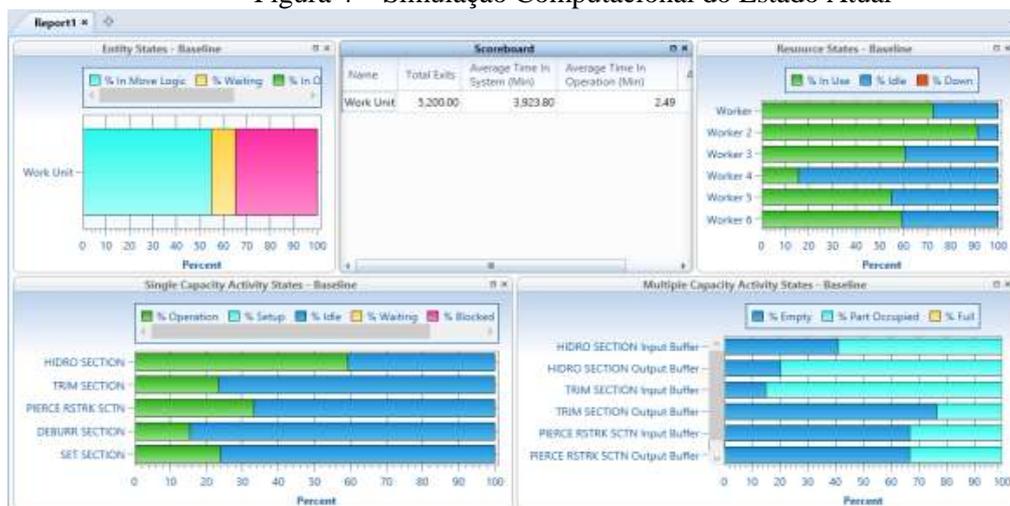
A partir do estudo dos tempos e dos dados sobre o tempo total do processo, tempo de ciclo, número da produção de cada peça em cada máquina, número de peças por máquina, bem como o tempo de transporte entre as operações, o VSM do processo foi desenvolvido para que os principais problemas fossem notados, bem como o valor agregado e não agregado de cada etapa, como segue:

Figura 3 – Mapa de Fluxo de Valor



Com a análise do VSM observa-se que o tempo de Valor Agregado (VA) é de 2,49 minutos e o tempo de valor não agregado de 7,25 dias ou 174 horas. Ainda, para auxiliar a análise do estado atual, realizou-se a simulação computacional no Visio®:

Figura 4 – Simulação Computacional do Estado Atual



Essa simulação foi realizada nas condições do produto que tem a maior demanda da indústria com a quantidade de 5000 unidades durante o tempo de um mês. A figura 13 traz como resultado a capacidade de utilização de 24 % das máquinas e operários, capacidade de produção de 15.600 peças e o tempo de produção de 3.923 minutos. Observa-se ainda que na maior parte do tempo, 76%, as máquinas estão no estado de ociosas, ou seja, estão disponíveis, mas não estão produzindo; ou ainda, significa que a indústria está trabalhando com um terço de sua capacidade.

A partir desses dados em mãos, analisou-se todos os mecanismos obtidos e definiu-se o estado atual do processo. O layout da planta mostra que há grandes oportunidades de melhoria na organização da planta e distribuição dos produtos ao longo das máquinas disponíveis. A disposição estratégica das máquinas hidroformadoras com as seguintes etapas evitam, por exemplo, o excesso de movimentação pelo setor de forma desnecessária e perda de tempo como mostra o Layout Espaguete.

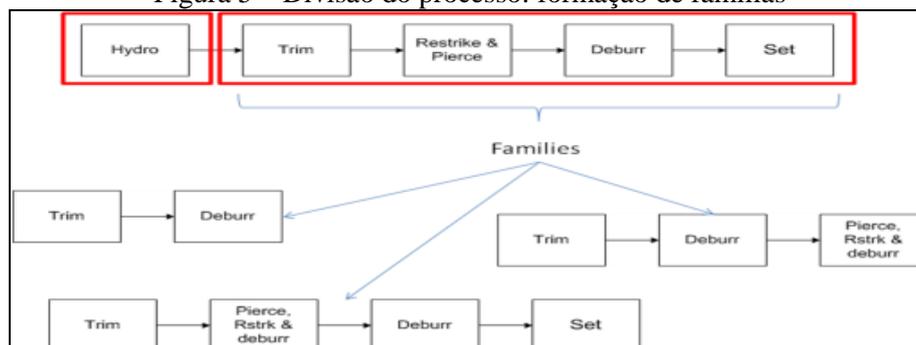
Com o VSM pode-se notar que o tempo de espera entre estações é muito maior que o tempo de processamento das peças, principalmente entre os processos de hidroformação e as etapas seguintes. Todos os procedimentos pós-hidroformação são conduzidos de forma empurrada (push system). Isso gera falta de continuidade no fluxo de produção, contrariando o princípio Just in Time.

Aliado às ferramentas de lean manufacturing, a simulação do processo forneceu as principais informações sobre o processo de fabricação, permitindo realizar alterações e levantar hipóteses sobre melhorias, além de trazer credibilidade à pesquisa quando apresentadas à empresa. A inserção dos dados reais coletados sobre o tempo de cada batelada permitiu verificar que existe uma grande quantidade de material parado entre uma operação e outra refletindo em material estacionário entre as estações (WIP), bem como ilustrar que a sua capacidade de produção pode ser melhor aproveitada. Para finalizar, observou-se também que o sistema está com a linha de produção desbalanceada entre as operações de hidroformação e as quatro outras, que são corte, furação, desbaste e prensagem, apesar de não ser o maior agravante, como é o caso da produção em lotes grandes que obstruem o fluxo de produção.

6. Resultados e discussão

Com a definição anterior, construiu-se a proposta de melhoria para os problemas no processo de produção da Fulton Bellows. Com base na definição do processo atual, notou-se um padrão de problemas, o que permitiu a criação da abordagem de melhoria, bem como a organização e falta de programação da produção da empresa. Como todos os produtos passam primeiro pela hidroformação, então, o processo foi dividido em duas partes (Figura 5) onde estão presentes a hidroformação e o conjunto das demais operações.

Figura 5 – Divisão do processo: formação de famílias



Ainda com relação aos padrões observados, pode-se agrupar os produtos do projeto de acordo com as suas características de produção, cujos foram organizados em famílias, como representado na parte de baixo da figura 5. Essas famílias são compostas por produtos que têm o mesmo processo de produção após a hidroformação que é a primeira etapa e fundamental para produção de Bellows, presente na fabricação de todos os produtos. Essas características marcantes permitiram a formulação de células de produção para facilitar, organizar e melhorar o fluxo do processo de produção.

Essa melhora acontece porque as células favorecem o fluxo e acabam com o desbalanceamento do atual processo. O tempo de ciclo na hidroformação é equilibrado com o tempo de ciclo das demais operações, de acordo com o estudo dos tempos, ou seja, o tempo de operação na hidroformação é tal, que pode-se atribuir uma hidroformadora para cada célula, o que evita o WIP e principalmente obriga o sistema a evoluir de forma puxada (pull system). Os produtos selecionados para trabalhar na forma de células de produção representam a demanda de 67% e estão representados e divididos em quatro células nomeadas de A, B, C e D, que têm demanda de 20,1%, 33,94%, 12,96% e 33,0% respectivamente.

O layout desenvolvido para as células da abordagem, com o nome de cada máquina atribuída está representado na figuras abaixo:

Figura 6 – Célula A

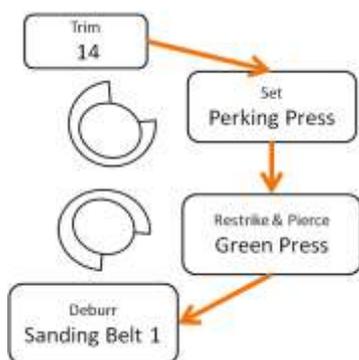


Figura 7 - Célula B

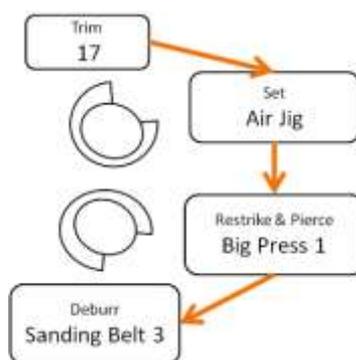


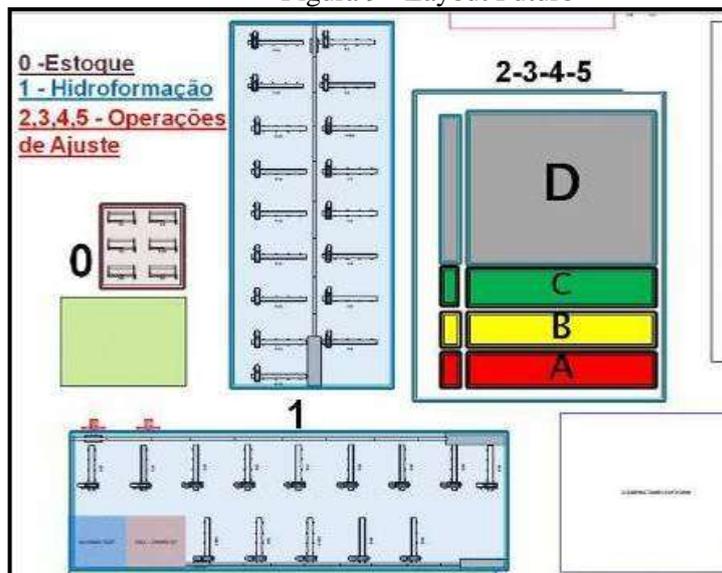
Figura 8 - Célula C



A abordagem emprega três células ativas de trabalho, que estão permanentemente montadas, cada uma com diferentes máquinas. A célula A inicia seu processo com o corte (Trim) na máquina TR14, depois o produto segue para a prensagem (Set) que é realizado pela máquina Perking Press, vai para a furação (Restrike & Pierce) na máquina Green Press e por final elimina-se as rebarbas (Deburr) no Sanding Belt 1. A célula B vai trabalhar primeiramente com corte (Trim) na TR17, encaminha-se para a prensa (Set) na máquina Air Jig, para a furação (Restrike & Pierce) na máquina Big Press 1 e por fim elimina-se as rebarbas (Deburr) do produto na máquina Sanding Belt 3. Na última célula C o processo é realizado somente por uma máquina de corte (Trim) na máquina TR16.

Com as células, montou-se o futuro layout da planta para a abordagem:

Figura 9 - Layout Futuro



A área D representa todas as outras peças que não têm similaridade de produção, ou seja, não foi possível obter um padrão de processo para que fosse construída uma nova célula ou que se enquadrasse nas demais. Para essa “família”, designou-se uma área com as máquinas que não foram atribuídos as células A, B e C.

Além do sistema de células de produção proposto, a abordagem desenvolveu em cima das oportunidades de melhoria analisadas um cronograma de produção. Esse cronograma atribui e utiliza todas as máquinas da linha de produção que antes não eram utilizadas, trazendo como benefício a organização da produção, auxílio ao gerenciamento, programação da produção e economia de tempo por meio de setups programados ou que pudessem ser evitados, pois já estão montados previamente de maneira objetiva em cada uma das máquinas a que a produção do produto foi atribuída.

O trabalho levou em consideração os produtos mais importantes de acordo com a demanda e as restrições do projeto, obtendo-se o seguinte quadro de programação da produção:

Tabela 1 – Controle de Produção

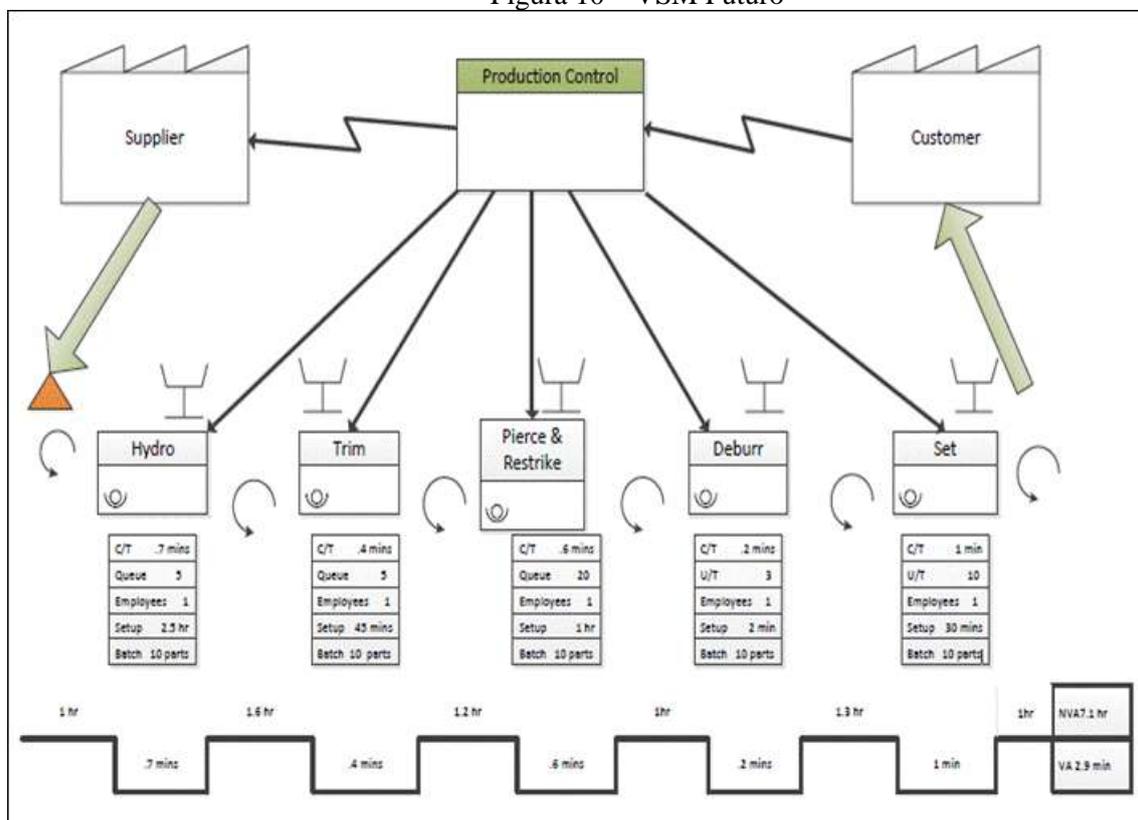
Family	Pieces	Hydro Done	Trim Done	Set done	RST&P Done	DEBURR
C	A01390A0014	H9	TR19			
	A02037A0007	H24	TR12			
	A02120A0010	H1	TR1, TR13, TR20			
	A01340A0003	H2	TR18			
D	A01136A0001	H22, H24, H23	TR3 TR5			
			TR4, TR5, TR6, TR11			
	A01510A0008	H25	TR5, TR6			
			TR7			
	A02000A0020	H25	TR9	Green Press		
	A02710A0001	H11	TR12	Big Press		
	A02710A0002	H11, H13, H16	TR12	Big Press		
A00560A0017	H6, H7	TR15	Perkins P1			
A	A01210A0004	H5	TR14		GRYPRESS	SandingB1
	A01115A0001	H17, H18	TR11		GRYPRESS	Grinding Ball
	A00715A0017	H9, H10, H10	TR14		GREENPRESS	SandingB1
	A00715A0011	H9	TR14		GREENPRESS	SandingB1
B	A02505A0006	H3	TR14	Perkins P2	GREENPRESS	SandingB1
	A01840A0001	H18, H31	TR14	Perkins P3	BLUEPRESS	SandingB2
	A02505A0004	H15, H16	TR17	Air Jig	BIGPRESS1	SandingB3
	A02505A0006	H15, H16	TR17	Air Jig	BIGPRESS2	SandingB3
	A02505A0005	H15, H16	TR17	Air Jig	BIGPRESS3	SandingB3
	A02505A0016	H15, H16	TR17	Air Jig	BIGPRESS4	SandingB1
	A01680A0005	H25, H30	TR13	By hands	BLUEPRESS	
C	A01340A0001	H1	TR10			
	A01775A0001	H21	TR16			

Com este quadro é possível gerenciar a produção. Todas as máquinas estão dispostas acima, bem como os produtos atribuídos a cada uma delas devidamente balanceados, ou seja, os produtos que demandavam duas hidroformadoras para que a linha fosse balanceada estão devidamente distribuídos.

Atualmente não é funcional a programação da produção da Fulton e é, na verdade, um dos grandes problemas enfrentados pelo supervisor da linha que não consegue realizar essa tarefa.

Para verificar as proposta de melhoria, construiu-se o VSM do processo futuro nas mesmas condições de processo simulado para o estado atual, ou seja, com o mesmo produto e número de peças produzidas. O VSM foi obtido através dos dados de melhoria simulados com a nova perspectiva e resultados da abordagem de melhoria. A estrutura é FIFO com lotes pequenos de 24 unidades, o que induzirá a linha de montagem ao sistema puxado. Então, a partir da demanda do cliente inicia-se produção que terá o fluxo balanceado e distribuído diante as células propostas.

Figura 10 – VSM Futuro



Com a análise do VSM observa-se que o tempo de valor agregado é de 2,49 minutos e o tempo de valor não agregado de 7,1 horas.

A fim de obter outros parâmetros para o projeto e dar maior credibilidade a proposta de melhoria simulou-se no Visio® o novo processo nas mesmas condições do projeto simulado para o estado atual descrito anteriormente, mas agora com as três células A, B e C ativas trabalhando em paralelo com os produtos que não têm célula definida trabalhando em conjunto. Logo, a produção simultânea trouxe flexibilidade ao processo e com a utilização de todas as máquinas disponíveis, o modelo resultou no processo com poucas paradas para setup. A existência de pontos estacionários foi eliminada e o sistema se comportou bem, apesar de durante a evolução da simulação o processo produtivo têm muitas máquinas ociosas, não como no processo atual que estavam esperando o lote do processo anterior, mas agora porque estão disponíveis e não estão produzindo, fator importante a ser analisado. Isso porque a ociosidade de operadores e

equipamentos deixa clara a capacidade de produção do projeto, inclusive de absorver mais funcionários ou eliminá-los.

A simulação foi validada em colaboração com os especialistas da Fulton, onde o gerente e também o supervisor da linha de produção, com vinte anos e vinte e sete anos de experiência, respectivamente, na produção metalúrgica e ambos com treze anos trabalhando na empresa Fulton Bellows verificaram e aceitaram o modelo simulado.

Portanto, o resultado alcançado com a abordagem de melhoria está resumido e apresentado no quadro a seguir com os resultados da simulação dos estados atual e futuro:

Tabela 2 – Resultados da Abordagem

Característica	Atual	Futuro	Melhorias
Capacidade da Produção	15.600 peças	26,400 peças	Aumento de 69%
Lead-time	3.923 minutos	463 minutos	Redução de 88,2 %
Utilização dos Recursos	24% da utilização	32% da utilização	Aumento de 8%
Valor Não Agregado	174 horas (7,25 dias)	7,1 horas	Redução de 95,9 %

Observa-se que há melhoria em todas as características analisadas quando comparadas com o atual processo. A utilização dos recursos disponíveis, conforme o resultado da simulação da Figura 11 significa que a utilização das máquinas e operadores no tempo em que estão disponíveis, foi melhorada em 8% com a diminuição do tempo de ocupação demasiado da produção parado nas máquinas (WIP) e ainda pode ser ampliado se houver mais operadores para produzir mais do que três pedidos ao mesmo tempo com as células, que é uma das limitações do atual processo; isso mostra também que as máquinas ainda suportam trabalhar com uma demanda maior, pois agora não estão sobrecarregadas com a produção estacionária. Além disso, a capacidade de produção foi melhorada em 69%, o lead time reduzido em 88,2 % e, por fim, o valor agregado se mantém o mesmo em 2,49 minutos, porém o tempo de valor não agregado reduziu em 95,9 % com o presente trabalho.

7. Conclusão

Conforme o resultado apresentado nesse trabalho conclui-se que as melhorias propostas, a partir do uso das ferramentas de lean aliadas à simulação, apresentam a solução para os problemas do fluxo de produção da indústria Fulton Bellows. Com as melhorias sugerem-se alternativas de layout para a empresa e analisando a simulação do sistema atual e o comparando com a proposta de melhoria os resultados são expressivos e satisfatórios, prontos para a fase de implantação final.

Então, quando implantadas as melhorias propostas composta da escolha do melhor layout, se obterá um processo dinâmico e mais produtivo, pois através da utilização das células há redução de movimento, diminuição do WIP, redução do tempo espera e, portanto o processo estará balanceado e será induzido ao sistema puxado. A planilha de controle e programação da produção buscará de forma clara e objetiva organizar a linha de produção com as células propostas. A simulação, parte fundamental do projeto, permitiu concluir que todas as melhorias têm o efeito de: reduzir o tempo total de produção em 88,2% e de valor não agregado em 95,9%, bem como melhorar a capacidade de produção em 69% e a utilização dos recursos em 8%.

Espera-se que esse artigo contribua para futuras pesquisas, pois empregam ferramentas metodológicas simples e que, em poucos passos, revelam os problemas do processo e trazem a proposta de melhoria que pode ser aplicada a outras empresas, bem como ser referência para

outros trabalhos, tendo em vista a dificuldade de aplicar pesquisa operacional à indústrias de manufatura.

O projeto buscou acima de tudo utilizar toda a capacidade disponível da empresa, em que as melhorias propostas não envolvem grandes comprometimentos orçamentários, uma vez que não necessita de investimento financeiro e não exige de muitos recursos externos, ou seja, é condizente com a realidade da empresa. A fase de implantação do projeto será discutida no próximo artigo.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Universidade do Tennessee, à indústria Fulton Bellows e também à FAPEMIG, CAPES e CNPq pelo apoio à esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Abdulmalek, F. A.; Jayant, R.** Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation. *International Journal of production economics*, 2007.
- Bicheno, J.** *The Lean Toolbox*. PICSIE Books. UK: Buckingham, 2000.
- Dalosto, Diogo N.** *Melhoria do processo de produção de uma metalúrgica através do uso de ferramentas Lean*. 2014. 53p. Trabalho de conclusão de curso- EEL, Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.
- Detty, R.B.; Yingling, J.C.** Quantifying benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation: a case study. *International Journal of Production Research*, 2000.
- Elmoselhy, S. A. M.** Hybrid lean–agile manufacturing system technical facet, in automotive sector. *Journal of Manufacturing Systems*, 2013.
- Gordon, P.** *Lean and green profit for your workplace and environment*. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 2001.
- Hallgren, M. e Olhager, J.** “Lean and agile manufacturing: external and internal drivers and performance outcomes”. *International Journal of Operations & Production Management*, 2009.
- Harrel, C. R.; Mott, J. R. A.; Bateman, R. E. Bowden, R. G. Gogg, T. J.** *Simulação: Otimizando sistemas*. 2. ed. São Paulo, SP: Instituto IMAM, 2002.
- Holweg, M.** The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 2007.
- Hopp, W., Spearman, M.** *Factory Physics*. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2007.
- Kelton, W. D.; Sadowski, R.P; Sadowski, D. A.** *Simulation with arena*. New York: McGraw-Hill, 1998.
- Martínez-Jurado, P. J.; Moyano-Fuentes, J.** Lean management, supply chain management and sustainability: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 2013.
- Moyano-Fuentes, J.; Sacristán-Díaz, M.** Learning on lean: a review of thinking and research. *International Journal of Operations Production Management*, 2012.
- Ohno, T.** *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.
- Oliveira, C. S.** *Aplicação de Técnicas de Simulação em Projetos de Manufatura Enxuta*. Universidade Federal de Minas Gerais, Estudos Tecnológicos, 2008.
- Ryan, J.; Heavey, C.** *Process modeling for simulation*. Computers in Industry, 2006.
- Taj, S.** “Lean manufacturing performance in China: assessment of 65 manufacturing plants”. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2008.
- Vergara, S. C.** *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. 9 ed. Editora Atlas, São Paulo, 2007.
- Werkema, M. C. C.** *Lean Six Sigma: introdução as ferramentas do lean manufacturing*. Ed.1.Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006.
- Womack, J.P.; Jones, D.T, Roos, D.** *The machine that changed the world: the story of lean production*. New York: HarperCollins, 1990.
- Womack, J.P.; Jones, D.T.** *Lean thinking: banish waste and create*. New York: HarperCollins Publishers, 1996.