

# USO DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS PARA ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE CONCEITOS DE PRODUÇÃO ENXUTA

## *USE OF DISCRETE-EVENT SIMULATION FOR THE ANALYSES OF IMPLEMENTATION OF LEAN PRODUCTION CONCEPTS*

Gilmar D'Agostini Oliveira Casalinho<sup>1</sup>, Fábio Kellermann Schramm<sup>2</sup>  
e Ana Paula Nogueira e Silva<sup>3</sup>

Recebido em: 21/04/2011  
Aprovado em: 16/09/2011

### RESUMO

A implementação de conceitos de produção enxuta em indústrias de manufatura é uma tarefa complexa e que demanda muita cautela nos momentos de tomada de decisão, a fim de que a organização não perca seu foco estratégico. Assim, o objetivo geral deste trabalho é avaliar os impactos da implementação de conceitos de produção enxuta em um sistema de produção real através do uso de simulação de eventos discretos. Este estudo tem caráter exploratório, uma vez que se optou pela estratégia de estudo de caso, realizado em uma empresa industrial na área de equipamentos e insumos destinados ao setor médico-hospitalar. A coleta de informações e a análise dos dados foram desenvolvidas com base em técnicas quantitativas e de pesquisa documental. Não obstante, este trabalho também tem como objetivos específicos propor o uso de conceitos de produção enxuta no sistema real de produção, simular o sistema real implementando estes conceitos, avaliar os impactos desta implementação e avaliar o uso da simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Simulação. Produção enxuta. Tomada de decisão.

### ABSTRACT

*The implementation of some lean production concepts in manufacturing industries is a complex task that requires great caution in the decision making to ensure that the organization does not lose its strategic focus. Thus, the aim of this study is to assess the impacts of implementing lean manufacturing concepts in a real production system through the use of discrete-event simulation. This study is exploratory, since it uses the strategy of case study, undertaken in an industry of equipment and supplies for the medical sector. Data collection and data analysis were developed based on quantitative techniques and documentary research. Nevertheless, this work also aims to propose the use of specific concepts of lean production system in real production, simulate the real system implementing these concepts, evaluate the impact of this implementation and the use of simulation as a tool to support decision making.*

**Keywords:** Simulation. Lean production. Decision making.

<sup>1</sup> Mestrando em Administração pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
E-mail: gdocasalinho@ea.ufrgs.br.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Civil (UFRGS). Professor da Universidade Federal de Pelotas.  
E-mail: fabioks@ufpel.edu.br.

<sup>3</sup> Especialista em Administração Pública pela Universidade Federal de Pelotas. Chefe do Departamento de Projetos Especiais do Instituto Federal Sul-rio-grandense. E-mail: ana\_nsilva@hotmail.com.

## INTRODUÇÃO

A qualidade do processo de tomada de decisão mostra-se muito importante para que a empresa possa apresentar alguma vantagem competitiva, a fim de colocar as decisões em prática de maneira rápida e consistente. De acordo com Ghemawat (2007), uma empresa apresenta vantagem competitiva sobre seus rivais somente se ela desenvolve uma distância maior do que seus concorrentes entre a disposição de pagar dos clientes e seu custo de produção. Assim, algumas empresas do setor industrial buscam formas de aperfeiçoar seus sistemas de produção, através de novas abordagens e conceitos, além de focar a questão do planejamento do sistema produtivo.

A Produção Enxuta (*Lean Production*) caracteriza-se como uma dessas formas, uma vez que apresenta propostas de melhorias contínuas no processo de manufatura, por meio do uso de práticas japonesas de produção. De acordo com Womack e Jones (2003), a Produção Enxuta (PE) pode ser descrita como um processo de cinco passos: definir o valor do cliente, definir o fluxo de valor, fazê-lo fluir, analisar o processo de produção a partir do cliente e ir rumo à excelência. Já para Liker (2005), para ser uma indústria enxuta, é preciso um modo de pensar que se concentre em fazer o produto fluir através de processos ininterruptos de agregação de valor (fluxo unitário de peças), um sistema puxado que parta da demanda do cliente, reabastecendo somente o que a operação seguinte for consumir em curtos intervalos, e uma cultura em que todos lutem continuamente para a melhoria.

A fim de diminuir a dificuldade de implementação e/ou manutenção de um sistema de produção enxuto, o uso de *softwares* de simulação de produção apresenta-se à indústria como uma forma de suporte à tomada de decisão. O uso de métodos de simulação vem ganhando cada vez mais espaço, uma vez que representa uma

economia de tempo e custo se comparado a uma tentativa de visualização do processo em um sistema real (SCHAPPO, 2006).

Segundo Pidd (1998), a simulação é geralmente utilizada quando se torna impossível ou inconveniente achar outra maneira de resolver o problema. O uso da simulação apresenta algumas vantagens, se comparada com a experimentação direta através de um sistema real. Para esse autor, essas vantagens são: menor custo, menor tempo de execução, possibilidade de replicações do modelo, maior segurança e legalidade de execução do modelo.

Com base nessas considerações, este estudo versa sobre o uso da simulação e de que forma ela pode auxiliar na tomada de decisão na gestão da produção, mais especificamente na implementação de conceitos de produção enxuta em um modelo construído para este estudo. Desta forma, este trabalho objetiva responder, principalmente, a seguinte questão: “Quais os impactos da implementação de conceitos de produção enxuta em um sistema de produção real utilizando a simulação de eventos discretos?”. A importância deste estudo revela-se devido à complexidade da implementação de princípios enxutos em indústrias de manufatura, principalmente no momento de decisões que podem definir o rumo da organização.

Assim, tem-se como objetivo principal a avaliação dos impactos da implementação de conceitos de produção enxuta em um sistema de produção real através do uso de simulação de eventos discretos. Para tanto, traçam-se seis objetivos secundários: a) selecionar o sistema de produção adequado para o estudo; b) caracterizar e analisar o sistema de produção escolhido; c) propor o uso de conceitos de produção enxuta no sistema real; d) simular o sistema real implementando estes conceitos; e) avaliar os impactos desta implementação; e, f) avaliar o uso da simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

## SISTEMAS DE PRODUÇÃO ENXUTOS

A Toyota chamou a atenção mundial pela primeira vez na década de 1980, quando ficou claro que havia algo de especial na qualidade e na eficiência japonesas (LIKER, 2005). Os veículos fabricados por essa montadora duravam mais do que os automóveis americanos e exigiam muito menos manutenção. Era o modo como a Toyota concebia e fabricava os veículos que levava a uma inacreditável consistência nos processos e produtos (LIKER, 2005).

De acordo com Ohno (1988), na equação simples de produtividade (produto total/quantidade de trabalho aplicada), a forma tradicional de se conseguir a sua elevação é pelo aumento do numerador através da ampliação da escala de produção. Entretanto, em períodos de lento crescimento econômico, ou até de queda de produção, a eficiência deve ser alcançada mediante a redução do denominador. Desse modo, desenvolve-se uma racionalização do processo de trabalho diferente daquela da produção em massa, pois à medida que o processo amadurece na trajetória de produção em grandes volumes, estreitam-se as possibilidades de intensificação do trabalho, da fragmentação de tarefas e do uso de automação como fatores de acréscimos na produtividade.

A Produção Enxuta é um conjunto de princípios e práticas envolvidas desde a criação e a fabricação de um produto específico, da concepção à sua disponibilidade, passando pelo projeto; da venda inicial à entrega, registrando pedido e programação da produção, e da matéria-prima produzida distante e fora do alcance da empresa, até as mãos dos clientes. É uma aliança voluntária de todas as partes (SHAH; WARD, 2003). As práticas de PE habilitam a organi-

zação a reduzir seu tempo de desenvolvimento de produtos, produzir com uma qualidade superior e usar os recursos de forma mais eficiente (SAYER; WILLIAMS, 2007).

Para Tubino (1999), trabalhar com lote de produção pequeno é uma grande vantagem porque, com a produção de grandes lotes e o baixo sincronismo entre os vários pontos de trabalho, ocorre a formação de filas de esperas antes de cada máquina, aumentando os *lead times* dos itens e os estoques do sistema. Para se reduzir o tempo de espera na fila, ações devem ser feitas para se diminuir os tempos de *setup*, de forma a tornar econômico o uso de lotes pequenos. Com lotes pequenos e tempos de *setups* na casa de minutos ou até segundos, as filas de espera nos recursos andarão de forma rápida e permitirão a produção *just-in-time* (TUBINO, 1999).

Para Liker e Meier (2007), é preferível que se comece a implementação *lean* analisando o desempenho do passado e do presente, como, por exemplo, o crescimento dos lucros, ganhos em produtividade, níveis de qualidade e de segurança.

Embora os conceitos e práticas da Produção Enxuta tenham sido extensamente estudados e divulgados nos últimos anos, são poucas as empresas que obtêm o sucesso pleno na implantação do Sistema de Produção Enxuta nas suas plantas (FURINI; SAURIN, 2008). A introdução da produção enxuta traz diversos benefícios e mostra um caminho que se deseja trilhar (ROTHER; SHOOK, 1998). Dentre os benefícios, por exemplo, a redução do tempo de *setup* é uma peça fundamental a ser implementada. Nishida (2006) comenta que diminuir o *setup* possibilita trabalhar em pequenos lotes, diminuir os estoques, aumentar a flexibilidade e atender mais rapidamente a demanda dos clientes.

## MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Dentre as diversas ferramentas capazes de auxiliar um processo de tomada de decisão, a simulação é uma técnica para imitar as operações de vários tipos de processos e facilidades de um sistema real. Para Schriber (1974), a simulação implica na modelagem de um processo ou sistema real em uma sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo. Utilizando uma definição mais completa, abrangendo todo o processo de simulação, Pegden, Shannon e Sadowski (1991) dizem que simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação. Prado (2004) afirma que quando se utiliza um *software* de simulação, deseja-se que o sistema tenha um funcionamento eficiente ou otimizado. Por otimizado entende-se um custo adequado e usuários satisfeitos com o ambiente ou com o serviço oferecido.

Hillier e Liberman (2000) apresentam a simulação por eventos discretos como aquela em que as mudanças no estado do sistema ocorrem instantaneamente em pontos aleatórios no tempo. Esta se diferencia da simulação contínua uma vez que as mudanças no estado do sistema não ocorrem continuamente ao longo do tempo. Na simulação por eventos discretos, pode-se ter, por exemplo, um sistema de filas, no qual o estado do sistema é o número de clientes no sistema. Os eventos discretos que mudam esse estado são a chegada e a saída de um cliente em decorrência da finalização desse serviço. A maioria das aplicações de simulação, na prática, é simulação por eventos discretos. A simulação discreta é um dos métodos mais frequentemente utilizados

para a tomada de decisão (LAW; KELTON, 2000).

Assim, a simulação de eventos discretos é também o método mais usado para estudar, modelar, analisar e melhorar os sistemas de manufatura. A maioria dos pacotes de simulação de manufatura é baseada na interação das entidades através do fluxo do processo, ou seja, um conjunto de processos ou transações flui através de um conjunto de blocos ou recursos no modelo, alterando as variáveis de estado deste. Os ambientes de simulação são constituídos de mecanismos de interface homem-máquina e de base de dados que, combinados, permitem que o processo de decisão ocorra de forma transparente e independente do grau de expertise do usuário. Isto significa que novos usuários, porém conhecedores dos problemas que desejam resolver, podem ser facilmente habilitados na utilização de ambientes de apoio à decisão (TSUBONE, MATSUURA; KIMURA, 1995).

## MÉTODO

Cada estratégia de pesquisa representa uma forma diferente de coletar e analisar provas empíricas, de acordo com sua própria lógica, apresentando, dessa forma, suas vantagens e desvantagens (YIN, 2002). Dessa forma, com relação aos seus objetivos, a natureza deste trabalho pode ser considerada exploratória, já que buscou explorar aquelas situações pouco conhecidas tanto para a organização estudada quanto para o pesquisador (RICHARDSON, 1999; YIN, 2002).

O modelo de pesquisa se configurou conforme o esquema tradicional de pesquisa operacional, adaptado de Wagner (1986) e Winston (1994), apresentado e discutido a seguir (Figura 1).



Figura 1 – Desenho de pesquisa. Fonte: Adaptada de Wagner (1986) e Winston (1994).

A etapa de definição do problema de pesquisa consistiu na escolha dos cenários modelados, dos objetivos propostos e também da coleta e tratamento dos dados reais da empresa para que estes pudessem fazer parte do modelo proposto.

Já a segunda etapa, de formulação e solução do modelo, englobou uma pesquisa detalhada de diversos modelos já propostos para resolver problemas semelhantes e a consequente adaptação ao cenário estudado.

No que tange à implementação computacional, esta foi feita utilizando o Software Arena®, um ambiente gráfico integrado de simulação que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados. É considerado, por especialistas em simulação, como o mais inovador *software* de simulação, por unir os recursos de uma linguagem de simulação à facilidade de uso de um simulador, em um ambiente gráfico integrado (PARAGON, 2009).

Tal como a maioria dos *softwares* de simulação, o Arena® visualiza o sistema a ser modelado como constituído de um conjunto de estações de trabalho que prestam serviços a clientes (também chamados de entidades ou transações) que se movem através do sistema. O movimento pode ser feito pela própria entidade ou por transportadores (empilhadeiras, por exemplo) ou correias (PRADO, 2004).

A quarta etapa, de verificação do modelo, foi realizada verificando-se o nível de aderência do modelo proposto com a re-

alidade da empresa. Os dados extraídos da implementação desse modelo foram comparados com os dados reais, buscando-se uma conformidade entre os padrões.

A última etapa do desenho proposto, a de experimentação, foi aquela em que foram rodados diferentes cenários que permitiram avaliar a redução do tamanho dos lotes de produção e do tempo utilizado para os *setups*.

Ainda de acordo com Richardson (1999), o método quantitativo, utilizado neste trabalho – também para compor os dados de entrada e parâmetros do modelo a partir de pesquisas documentais –, caracteriza-se pelo emprego da quantificação tanto em modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas.

A organização foco deste estudo de caso foi uma empresa industrial, que atua há 31 anos na área de produção de equipamentos e insumos destinados ao setor médico-hospitalar, presentes nos maiores hospitais brasileiros, com plantas de produção no Rio Grande do Sul, possuindo diversas certificações, tais como a ISO 9002/1994, o Certificado de Boas Práticas de Fabricação de Produtos Médicos, concedido pela ANVISA e a ISO 9001/2000. Além disso, seus produtos têm conformidade com as normas NBR IEC 60601-1, NBR IEC 60601-1-2 e NBR IEC 60601-2-24.

O setor escolhido para o estudo foi a Unidade de Polímeros, responsável por produzir insumos à montagem dos produtos finais que a empresa comercializa. Nesta unidade, encontram-se os setores de extrusão, injeção e montagem desses componentes. Devido a uma maior disponibilidade da própria empresa e também pelo maior envolvimento do coordenador de produção da Unidade de Polímeros com o projeto de implementação *lean*, resolveu-se desenvolver o estudo de caso nessa unidade.

A fim de delimitar um pouco mais o escopo deste trabalho, optou-se por anali-



sar a linha de produção referente à Injeção de componentes, a qual produz cerca de 20 subprodutos que compõem alguns dos produtos finais da empresa.

Quanto à classificação deste estudo de simulação, este se caracteriza por ser estocástico, uma vez que foram utilizados alguns dados probabilísticos na simulação das filas à montante dos processos, pois o uso de dados determinísticos não foi suficiente para uma aproximação dos efeitos dos conceitos propostos (LAW; KELTON, 2000). Este estudo também se define como um modelo discreto e dinâmico, já que se refere ao estudo do comportamento de um sistema ao longo do tempo, caracterizando uma simulação dinâmica, ou seja, representa um sistema e como ele evolui ao longo do tempo (LAW; KELTON, 2000; SALIBY, 1989).

Uma vez concluídas as etapas anteriormente descritas, foi possível fazer um conjunto de análises acerca da linha de produção estudada, tanto em sua forma real como em algumas adaptações, a fim de simular alguns diferentes cenários. Tais análises foram feitas com base nas informações disponibilizadas pelos relatórios do próprio *software* e também por meio de todas as informações disponibilizadas pela empresa durante toda a etapa do estudo de caso.

## DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Uma vez que os princípios enxutos são vários e, muitas vezes, alguns autores entram em discordância quanto a eles, foram aplicados, na simulação, dois dos princípios mais citados por autores e profissionais da área de produção: a redução do tempo de *setup* e a redução do tamanho dos lotes de produção, uma vez que o diagnóstico do processo de produção revelou uma grande quantidade de matéria-prima entre processos.

O tempo simulado compreende o período entre os meses de maio a setem-

bro, totalizando cinco meses de produção. Para a base de cálculo do período de produção de qualquer um dos cenários explicitados a seguir, utilizou-se o tempo disponível real que a unidade dispunha, ou seja, 23 horas por dia e 23 dias por mês de trabalho, produzindo 20 tipos diferentes de produtos.

O setor de injeção conta com quatro processos distintos, a saber: a) injeção; b) inspeção executada por operadores; c) inspeção executada por funcionários da área de controle da qualidade (CQ); e d) peneiragem, pesagem e embalagem.

O primeiro processo, a injeção, é responsável por transformar a matéria-prima (ex.: ABS) nos vinte produtos os quais a Unidade de Polímeros é responsável por produzir. Este processo conta com três injetoras, razão pela qual se optou por dividir o setor em três linhas de produção diferentes (Linha da Injetora 1; Linha da Injetora 2 e Linha da Injetora 3). Dessa forma, conseguiu-se reproduzir o modelo de forma que pudesse representar o sistema real da Unidade. É importante salientar que é sobre este processo que o tempo de *setup* incide.

Já o processo de inspeção desses produtos é realizado por dois grupos diferentes de funcionários. Nessa etapa, foi aplicada uma pequena abstração ao modelo, dividindo os processos em dois tipos, a fim de não sobrecarregar um grupo de funcionários no modelo, algo que não acontece no cenário real. Por isso, os processos de inspeção feitos pelo operador ou pelo CQ são intercalados.

Quanto ao processo de peneiragem, pesagem e embalagem dos produtos, fica claro que se caracteriza por apresentar três diferentes tipos de processamento. Porém, já que esses são executados no mesmo posto de trabalho, pelo mesmo funcionário e em sequência, fez-se uma nova abstração deste processo real para o que foi construído no modelo. Assim, eles foram agrupados em

um único processo, a fim de simplificar o modelo. É válido ressaltar que, mesmo agrupados em um só módulo no *software*, esses processos não perdem suas características reais.

Além das injetoras, conforme exposto acima, alguns outros recursos estão envolvidos, como: a) auxiliar – responsável pela peneiragem, pesagem e embalagem; b) balança – utilizada na pesagem das peças; c) CQ – responsável pela inspeção; d) dois operadores – responsáveis pela inspeção e *setup* de máquinas e e) talha – utilizada para mover os moldes das injetoras.

Os fatores selecionados para aplicação e discussão neste trabalho correspondem àqueles definidos pelos pesquisadores como mais prováveis de terem contribuição tanto para a demanda atual da empresa quanto para o cumprimento dos objetivos deste trabalho.

Na próxima seção, serão analisados, além do sistema real, três cenários diferentes de simulação, a fim de propor o emprego destes princípios da Produção Enxuta (utilizou-se o número de 30 replicações para cada cenário).

Assim, construiu-se o sistema real da unidade de produção estudada e, a partir deste, foram feitas proposições quanto à diminuição dos tempos de *setup* e diminuição do tamanho dos lotes. Obtiveram-se, portanto, cenários que permitem auxiliar a tomada de decisão dentro da empresa.

O sistema atual de trabalho, denominado sistema real, traduz a realidade operacional em vigor. A partir da construção deste sistema, foi possível traçar, com ajuda da equipe da empresa, metas para redução do tempo de *setup* e redução do tamanho dos lotes de produção.

Assim, o Cenário 1 foi estudado com o tamanho real dos lotes produzidos, porém com um tempo menor de *setup* (reduziu-se o tempo de *setup* de uma hora para meia hora). A seguir, no Cenário 2, foram analisados os dados do terceiro cenário, o qual conta

com um tamanho reduzido dos lotes de produção, mas com o tempo real de *setup*. Por fim, no Cenário 3, foi analisado diminuindo tanto o tamanho dos lotes de produção quanto o tempo dos *setups*.

Vale ressaltar que esses três cenários mais o sistema real não partiram somente da decisão dos pesquisadores, mas principalmente da necessidade de a empresa conhecer um pouco mais sobre os impactos que essas mudanças poderiam acarretar em sua produção. Por isso, foi feita uma série de encontros com a equipe envolvida com esse projeto na empresa, a fim de que fosse investigado algo que realmente servisse de maneira prática, desde os primeiros passos, para a construção deste modelo até a fase final de apresentação dos resultados.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção, serão discutidos os resultados do sistema real e dos três cenários propostos. Primeiramente será analisado o sistema real, que corresponde à realidade operacional da Empresa.

### *Resultados do sistema real*

De acordo com os dados obtidos através da fase de coleta de dados, foi possível comprovar que o modelo elaborado para representar o processo em análise se aproxima da situação existente, uma vez que a construção do modelo foi acompanhada por especialistas da área de manufatura da empresa em questão. Os resultados obtidos através da simulação para o sistema real são visualizados logo abaixo.

Primeiramente, na figura 2, apresenta-se a formação da fila de produtos aguardando serem processados pelas três injetoras disponíveis, denominadas Injetora 1, Injetora 2 e Injetora 3. A figura mostra os números mínimo, médio e máximo de horas que um lote de produtos aguarda para ser processado em cada uma dessas injetoras.

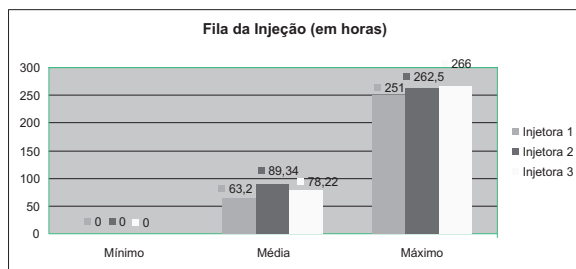


Figura 2 – Fila da Injeção do sistema real. Fonte: elaborada pelos autores

Em alguns momentos, os lotes chegam a esperar muito mais horas para serem processados, caracterizando, assim, o número máximo de horas que um lote aguarda na fila. O número máximo de horas que um lote espera para ser processado na Injetora 1 é de 251 horas; na Injetora 2, é de 262 horas e 30 minutos e, na Injetora 3, é de 266 horas, o que equivale a cerca de onze dias úteis para a produção na fábrica.

Já o número de horas que um lote aguarda ser inspecionado, logo após a injeção, é bem mais reduzido. Após passarem pelo processo de injeção, uma amostra dos produtos é inspecionada por um conjunto de funcionários, que compreende dois operadores e um CQ. Estes três funcionários são responsáveis pela inspeção dos produtos oriundos das três injetoras e desempenham suas funções de forma intercalada.

O tempo máximo que um lote espera para ser inspecionado no sistema real é de 1,6 hora, inspeção esta realizada pelo CQ em um lote de produtos proveniente da Injetora 1. Por essa razão, este processo não se caracteriza como gargalo da produção, uma vez que o tempo que o lote aguarda antes dele é notadamente inferior ao do processo anterior (injeção).

Pelo fato de o sistema apresentar dois operadores para inspeção e apenas um CQ, o tempo que o lote espera na fila antes de ser inspecionado pelos operadores é maior do que na inspeção feita pelo CQ.

Por sua vez, o tempo de espera dos lotes para serem peneirados, pesados e em-

balados, logo após a inspeção, é ainda inferior ao da inspeção. Essa característica é explicada devido ao fato de o processo de peneiragem, pesagem e embalagem ser executado exatamente após a inspeção e por um funcionário específico para realizar este processo, o Auxiliar de Produção. O tempo máximo que um lote espera para ser peneirado, pesado e embalado fica em torno de 20 minutos.

Quanto à utilização dos recursos desta linha de produção, optou-se por dividi-los em recursos humanos e em demais recursos, a fim de permitir uma melhor visualização. A figura 3 ilustra a utilização dos Recursos Humanos no sistema real. Como já explicado acima, os recursos humanos são: a) auxiliar, responsável pelo processo de peneiragem, pesagem e embalagem; b) CQ, responsável pela inspeção e c) operadores, responsáveis pelo *setup* das injetoras e também pela inspeção.

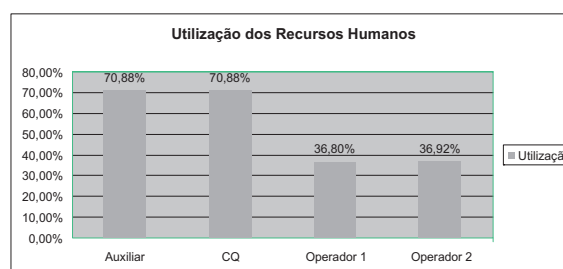


Figura 3 – Utilização dos recursos humanos de sistema real. Fonte: elaborada pelos autores.

As representações do auxiliar e do CQ tiveram o índice mais alto de utilização, 70,88%, enquanto os operadores 1 e 2 obtiveram 36,80% e 36,92% de utilização, respectivamente. A baixa utilização dos operadores justifica-se porque esses funcionários são requisitados por outros processos de outras linhas próximas ao setor de injeção, as quais não estão incluídas no escopo deste estudo.

O nível de utilização dos demais recursos pode ser conferido na figura 4. A balança, utilizada após a injeção, apresenta



uma utilização de 70%, enquanto as injetoras 1, 2 e 3 apresentam, respectivamente, percentuais de utilização de 93,63%, 95,39% e 99,37%. Além desses quatro recursos, também se coletou a utilização da talha, utilizada para movimentação dos moldes das injetoras. Este recurso, por ser utilizado somente para *setups*, apresentou 3,61% de utilização.

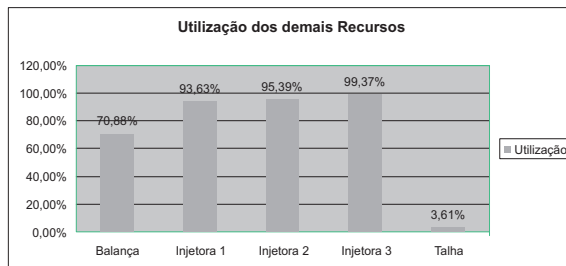


Figura 4 – Utilização dos demais recursos do sistema real. Fonte: elaborado pelos autores.

Além do percentual de utilização dos recursos foi possível obter o número de vezes em que os recursos foram mobilizados, como mostra a figura 5. O uso de simulação revela, neste indicador, grande importância, uma vez que obter dados tão precisos e numerosos apenas por observação *in loco* seria uma tarefa bastante árdua.

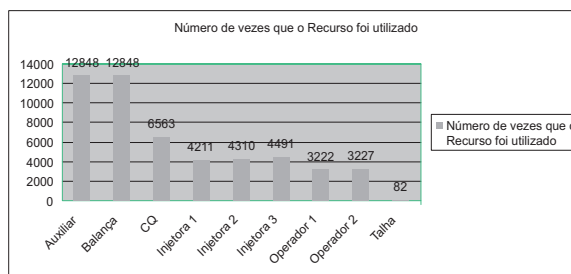


Figura 5 – Número de vezes que o recurso foi utilizado no sistema real. Fonte: elaborada pelos autores.

Assim, os recursos mais utilizados foram o auxiliar e a balança, com 12.848 utilizações cada um. Logo a seguir, o CQ, com 6.563 utilizações. Já as injetoras 1, 2 e 3 foram utilizadas, respectivamente, 4.211, 4.310 e 4.401 vezes. O operador 1 foi utilizado 3.222 vezes, enquanto o operador 2 foi

utilizado 3.227 vezes. O recurso menos utilizado, por razões já explicadas acima, foi a talha, com 82 utilizações.

### Resultados do Cenário 1

Com base nos dados obtidos com a simulação do sistema real, construiu-se o Cenário 1 diminuindo o tempo de *setup* de uma hora para trinta minutos. É bom salientar que, nesse cenário, o tamanho dos lotes de produção não foi alterado.

O tempo máximo que um lote esperou para ser processado foi na injetora 3, equivalente a 266 horas na fila, igualmente ao sistema real. As médias também sofreram alterações apenas na casa dos minutos, conforme por ser visualizado na figura 6. Esta diferença não significativa é explicada porque não foi alterado o tamanho dos lotes, mas apenas o tempo de *setup*.

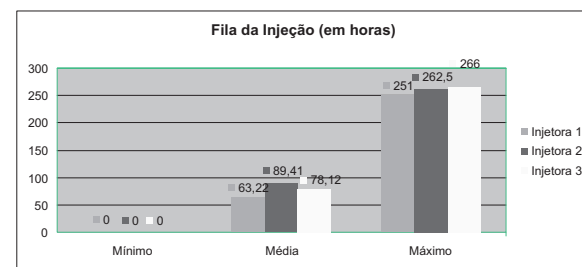


Figura 6 – Fila da injeção do Cenário 1. Fonte: elaborada pelos autores.

Já quanto à fila antes do processo de inspeção, esta teve uma diminuição se comparada ao sistema real. Esta ocorrência é devida ao fato de que, com um menor tempo de *setup*, o operador envolvido no *setup* ganha mais tempo para realizar atividades no processo de inspeção, uma vez que o operador compartilha funções nestes dois processos.

O tempo máximo que um lote esperou para ser inspecionado no Cenário 1 foi cerca de uma hora, enquanto no sistema real este tempo chega a 1 hora e 40 minutos.

A fila de espera para a execução do processo de peneiragem, pesagem e embalagem não apresentou grande variação, se

comparada ao cenário real, porque é executada por um funcionário independente do processo de *setup*, incidindo, assim, apenas pequenas variações relativas à diminuição do tempo de *setup*.

A utilização dos recursos humanos no Cenário 1 também apresentou pouca variação, se comparada ao sistema real, o que se considera um comportamento normal e esperado. Nota-se que a utilização dos operadores diminuiu porque não despenderam uma hora para o *setup*, como no sistema real, mas apenas 30 minutos. Este índice de utilização não é menor ainda porque os operadores desempenham atividades em outras funções, além do *setup* das injetoras.

Quanto à utilização dos demais recursos, percebe-se que o percentual de utilização da talha caiu para 1,81%, metade da utilização no sistema real, já que esta é utilizada apenas no *setup* das injetoras, que teve seu tempo diminuído pela metade no Cenário 1. Os demais recursos continuaram com, praticamente, a mesma taxa de utilização do cenário real.

O número de vezes que os recursos foram utilizados também se manteve na mesma faixa do sistema real, mesmo suas utilizações tendo variado. Seguindo o mesmo exemplo da talha, tem-se que este recurso foi usado as mesmas 82 vezes pelo sistema, mesmo sua utilização tendo caído pela metade.

### Resultados do Cenário 2

Os dados do Cenário 2 foram obtidos através da simulação de um cenário com tamanho de lotes menores e com o tempo de *setup* real equivalente a uma hora. Por lotes menores, entende-se a produção de cada uma das vinte peças produzidas pela linha de injeção, ao menos uma vez por semana, em lotes menores em relação à situação real, sendo alguns produtos produzidos com intervalos de até três meses entre um lote e outro.

Os resultados de maior impacto aparecem onde se apresenta o tempo, em horas, que os lotes de produtos esperam pelo processamento nas três injetoras, caracterizando, assim, a fila do processo de injeção (Figura 7).

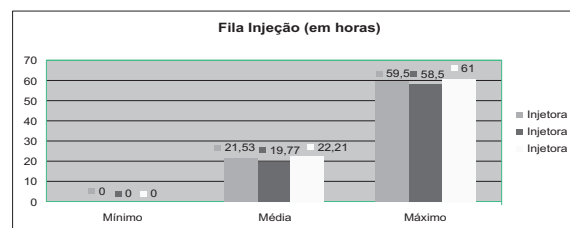


Figura 7 – Fila da injeção do Cenário 2. Fonte: elaborada pelos autores.

Nota-se que o tempo máximo que um lote aguardou nesta fila foi de 61 horas na injetora 3, ou seja, um tempo bastante inferior ao de 266 horas obtido no cenário real na mesma injetora. A média de tempo na fila antes deste processo – que no sistema real é de 63 horas e 12 minutos, 89 horas e 20 minutos e 78 horas e 12 minutos, respectivamente para as injetoras 1, 2 e 3, ficou em 21 horas e 30 minutos, 19 horas e 46 minutos e 22 horas e 12 minutos, também naquela ordem de injetoras.

Essa queda do tempo que os lotes esperam na fila do processo é reflexo direto da diminuição do tamanho dos lotes proposta neste cenário. Dessa forma, diminui-se a quantidade de produtos no estoque intermediário antes deste processo, representando uma economia de espaço, de capital e de movimentação.

Quanto à fila das inspeções neste cenário, observa-se que os dados são, praticamente, os mesmos do cenário anterior. As inspeções, quando não são executadas imediatamente após o processo de injeção, demoram poucos minutos para serem executadas.

Na fila formada antes do processo de peneiragem, pesagem e embalagem, praticamente não houve alterações frente ao sistema real pelo mesmo motivo evidenciado

nos outros cenários: o fato de haver um profissional dedicado a esta função.

Já quanto à utilização dos recursos humanos no Cenário 2, percebe-se um aumento no percentual de utilização dos operadores se comparados ao sistema real. Como o tamanho dos lotes foi reduzido, de modo que cada produto fosse produzido ao menos uma vez por semana, o número de *setups* aumentou, fazendo com que esses recursos tenham um aumento de utilização. A utilização dos operadores 1 e 2, que no sistema real é de 36,8% e 36,92%, respectivamente, no Cenário 2 passa a ser de 40,02% e 39,86%.

Os dados relativos à utilização dos demais recursos no Cenário 2 mostram que as injetoras 1, 2 e 3, respectivamente, apresentaram utilização de 97,12%, 94,57% e 88,26%. O aumento da utilização da injetora 1, assim como a diminuição da utilização da injetora 3, se comparadas ao sistema real, são oriundas da nova programação de produção construída para que este cenário pudesse ser simulado, não interferindo no plano de produção estipulado.

Deve-se salientar o aumento da utilização da talha neste cenário, já que, diminuindo os tamanhos dos lotes, faz-se necessário um maior número de *setups*, processo este no qual aquele recurso é utilizado. O percentual de utilização da talha passou de 3,61%, no sistema real, para 14,21% na simulação do Cenário 2. Todos os recursos no Cenário 2 foram utilizados mais vezes do que no sistema real, à exceção da injetora 3, por razões já explicadas anteriormente.

### Resultados do Cenário 3

Por fim, o Cenário 3 evidencia como o sistema real se comportaria se fossem diminuídos os tamanhos dos lotes (os mesmos tamanhos utilizados para se construir o Cenário 2) e, além disso, se também fosse diminuído o tempo de uma hora, necessário para realizar os *setups*, para trinta minutos.

A figura 8 evidencia que os tempos que os lotes esperam na fila para serem processados pelas injetoras são, praticamente, os mesmos do Cenário 2, mas, assim como aqueles, bem diferentes dos cenário real.

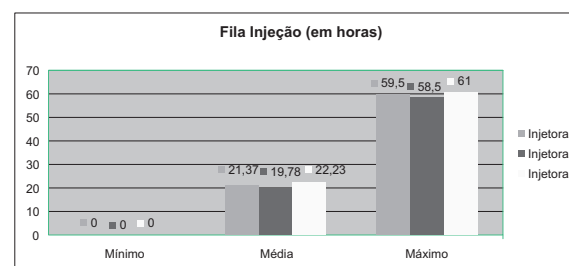


Figura 8 –Fila da injeção do Cenário 3. Fonte: elaborada pelos autores

Quanto ao tempo de espera dos lotes antes da inspeção, este atinge o nível máximo de 1 hora e 8 minutos, para a inspeção feita pelo CQ, e de 11 minutos, para a Inspeção feita pelo operador. Já o tempo máximo que um lote esperou para ser peneirado, pesado e embalado foi de cerca de 20 minutos, após ser processado pela injetora 3 e inspecionado.

Ao compararem-se estes dados com o sistema real, nota-se que o percentual de utilização dos operadores 1 e 2, respectivamente, subiu de 36,80% e 36,92% para 37,48% e 37,91%. Estes dados não são impactantes e nem demonstram uma grande diferença entre estes dois cenários no que tange à utilização desses recursos, mas é extremamente importante para avaliar a aplicabilidade deste cenário na fábrica.

À exceção da injetora 1 e da talha, todos os outros recursos tiveram uma diminuição em sua percentagem de utilização, a exemplo da injetora 3 que, no cenário real, apresenta 99,37% de utilização e, no Cenário 3, apresenta 89,2% de utilização.

Neste cenário, a talha apresenta 7,31% de utilização contra os 14,21% apresentado no Cenário 2, devido à diminuição do tempo necessário para se realizar o *setup*. Mesmo assim, não apresenta o mesmo percentual de utilização do Cenário 1 (situ-

ação na qual o tempo de *setup* também foi diminuído) porque naquele cenário o tamanho do lote não havia sido reduzido, realizando-se um menor número de *setups* do que no Cenário 3.

A maioria dos recursos foi utilizada mais vezes do que na situação real pelo mesmo motivo do ocorrido no Cenário 2, ou seja, quanto menor o tamanho do lote de produção, mais vezes alguns recursos, como a talha e os operadores, serão utilizados.

#### *Comparativo entre o tempo necessário de produção nos três diferentes cenários e no sistema real*

Além dos dados apresentados para os três cenários acima e para o sistema real foi possível coletar, através do programa de simulação utilizado, o número de horas e, por conseguinte, o número de dias de produção necessários para o cumprimento do programa de produção.

O Cenário 2 foi aquele que demandou mais tempo para sua realização: 2.534 horas ou 110 dias de produção. Já o cenário que demorou menos tempo para cumprir a programação foi o Cenário 1, com 2.250 horas ou 98 dias de produção.

O Cenário 2, portanto, é o que apresenta o maior tempo necessário para cumprir a programação de produção estipulada. Porém, a figura 9 auxilia a percepção de que não se deve levar em conta apenas o tempo ou, neste caso, os dias necessários para a produção, mas também os dias disponíveis para ela.

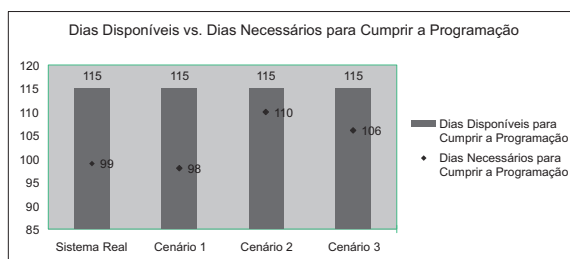


Figura 9 – Dias disponíveis vs. Dias necessários para cumprir a programação.

Fonte: elaborada pelos autores.

Pode-se notar que, para cumprir a programação, a empresa dispõe de 115 dias, o equivalente a 23 dias de trabalho por mês. Deste modo, fica clara a ideia de que os 110 dias necessários para o Cenário 2 estaria de acordo com o tempo que a fábrica tem para produzir a mesma quantidade de produtos.

#### CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A implementação de conceitos, práticas ou ferramentas de produção enxuta é uma tarefa que requer muitos estudos prévios e uma boa política de acompanhamento, a fim de se tomar decisões adequadas, não se incorrendo em erros provenientes de mau planejamento e aplicação de ideias equivocadas. A partir disso, a contribuição deste trabalho foi avaliar os impactos da implementação de conceitos de produção enxuta em um sistema de produção real através do uso de simulação de eventos discretos.

A seleção do sistema de produção utilizado para este trabalho transcorreu sem complicações, uma vez que os pesquisadores tiveram total apoio da empresa em que o estudo de caso foi desenvolvido, desde a escolha do sistema até a avaliação do modelo proposto para representá-lo. O sistema encaixou-se perfeitamente no escopo do trabalho, uma vez que a empresa necessitava de dados mais técnicos acerca das mudanças que este modelo propôs. Assim, os resultados aqui encontrados possuem relevância teórica e prática.

Quanto à proposição do uso de conceitos de produção enxuta no sistema real, optou-se, novamente em consonância com a empresa, no estudo da implementação de tempos menores de *setup* e de tamanhos reduzidos de lotes de produção. Esses conceitos foram propostos uma vez que a empresa admite que seus tempos de *setup* estão acima do necessário e que o tamanho de seus lotes poderia ser nivelado a ponto de

obter uma melhor política de produção. Assim, com base em estudo teórico, foi possível traçar os três diferentes cenários e o sistema real de produção que este trabalho apresentou.

Foi possível também avaliar os impactos de diferentes níveis de implementação dos conceitos propostos. Dessa forma, avaliou-se que o grande impacto percebido foi quando da implementação de tamanhos menores de lotes de produção ao sistema real, não importando se o tempo de *setup* fosse o real, equivalente a uma hora, ou se fosse utilizado o tempo de *setup* menor, proposto por este trabalho, equivalente a meia hora.

Quando diminuído o tempo de *setup*, nos cenários 1 e 3, o maior ganho foi em relação à utilização de alguns recursos. Porém, quando os lotes de produção foram alterados para tamanhos menores, notou-se um significativo ganho quanto à quantidade de material entre um processo e outro, ou seja, a quantidade de material esperando na fila de um processo diminuiu. Esta diminuição do tamanho dos lotes de produção contribuiu de forma direta para a redução de algumas das principais perdas de produção (as quais os sistemas de produção enxutos buscam eliminar) como a espera, transporte e movimentação desnecessários e excesso de estoques.

Não obstante, o uso da simulação mostrou-se uma ferramenta capaz de auxiliar em vários aspectos o processo de tomada de decisão na gestão da produção. Através desta ferramenta foi possível obter dados mais pormenorizados dos cenários criados, além de se ter uma comprovação real dos impactos que tais mudanças ocasionariam no sistema real de produção.

Como sugestões de pesquisas futuras, destaca-se, primeiramente, a utilização de outros conceitos ou ferramentas de produção enxuta na própria linha de produção estudada. Desta forma, aproveita-se o modelo do sistema real já construído e, a partir

daí, propõem-se algumas variações de cenários. Além disso, este estudo pode ser desenvolvido em outras áreas da empresa, a fim de analisar a implementação de conceitos de produção enxuta em mais de uma linha de produção.

Revela-se interessante ampliar o escopo deste trabalho para analisar o impacto das mudanças aqui propostas nos custos de produção da empresa. Como uma das limitações deste estudo, pode-se avaliar se tais mudanças são financeiramente viáveis à organização. Não obstante, é possível que o objetivo apresentado por este trabalho seja utilizado em estudos em diferentes empresas, a fim de se comparar os resultados obtidos por uma ou outra empresa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FURINI, G.; SAURIN, T. Proposta de um método de análise da cultura lean em uma empresa que está implementando práticas do sistema de produção enxuta. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENEGEP, 2007. p. 1-18.

GHEMAWAT, P. **A estratégia e o cenário dos negócios**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

HILLIER, F.; LIBERMAN, G. **Introdução à pesquisa operacional**. 8. ed. São Paulo: Mc Graw Hill, 2000.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 3<sup>rd</sup> ed. New York: McGraw Hill, 2000.

LIKER, J. **O Modelo Toyota**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIKER, J.; MEIER, D. **The Toyota talent**. New York: McGraw-Hill, 2007.



- NISHIDA, L. **Como determinar metas para o tempo de setup**. Disponível em: <[http://www.lean.org.br/bases.php?&interno=artigo\\_18](http://www.lean.org.br/bases.php?&interno=artigo_18)> Acesso em: 18 dez. 2010.
- OHNO, T. **Toyota production system**. Cambridge/Norwalk: Productivity, 1988.
- PARAGON. O software de simulação Arena. Disponível em: <<http://www.paragon.com.br>> Acesso em: 12 nov. 2010.
- PEGDEN, C.; SHANNON, R.; SADOWSKI, R. **Introduction to simulation using SIMAN**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- PIDD, M. **Computer simulation in management science**. 4. ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 1998.
- PRADO, D. **Usando o Arena em simulação**. Belo Horizonte: INDG, 2004.
- RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.
- SALIBY, E. **Repensando a simulação: a amostragem descritiva**. Rio de Janeiro: Atlas, 1989.
- SAYER, N.; WILLIAMS, B. **Lean for dummies**. Indianapolis: Wiley, 2007.
- SCHAPPO, A. J. **Um método utilizando simulação discreta e projeto experimental para avaliar o fluxo em manufatura enxuta**. 2006. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- SCHRIBER, J. **Simulation using GPSS**. New York: Willey, 1974.
- SHAH, R.; WARD, P. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. **Journal of Operations Management**, v. 21, p. 129-149, 2003.
- TSUBONE, H.; MATSUURA, H.; KIMURA, K. Decision suport system for production planning and prototype. **Decision Support System**, n. 13, p. 207-215, 1995.
- TUBINO, D. F. **Sistemas de produção: a produtividade no chão de fábrica**. Porto Alegre: Bookman, 1999.
- WAGNER, H. M. **Pesquisa operacional**. Prentice-Hall: Rio de Janeiro, 1986.
- WINSTON, L. W. **Operations research applications and algorithms**. California-Belmont: Duxbury Press, 1994.
- WOMACK, J.; JONES, D. **Lean thinking**. New York: Free, 2003.
- YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.