

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**IMPACTO DOS PARÂMETROS DE UM SISTEMA  
PRODUTIVO EM SUAS MEDIDAS DE  
PERFORMANCE: UM ESTUDO DE SIMULAÇÃO EM  
UMA JOB SHOP**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Patrick Gabbi**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2016**

**IMPACTO DOS PARÂMETROS DE UM SISTEMA  
PRODUTIVO EM SUAS MEDIDAS DE  
PERFORMANCE: UM ESTUDO DE SIMULAÇÃO EM  
UMA JOB SHOP**

**POR**

**Patrick Gabbi**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia de Produção**.

**Orientador: Marcelo Battesini**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2016**

# IMPACTO DO TEMPO DE SETUP, SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO E DO TAMANHO DE LOTE NAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA: UM ESTUDO DE SIMULAÇÃO EM UMA JOB SHOP

**Patrick Gabbi (UFSM)**

patrick\_gabbi@hotmail.com

**Marcelo Battesini (UFSM)**

marcelo-battesini@ufsm.br

*Resumo: É uma máxima no ambiente industrial que setups curtos, tamanho de lote e o sequenciamento de pedidos são fundamentais ao desempenho no contexto industrial, com implicações estratégicas. Este artigo tem o objetivo de avaliar o impacto da variação em parâmetros de sistemas de manufatura nas suas medidas de performance. Esses fatores foram investigados em ambiente de simulação computacional de eventos discretos no software Flexsim em relação a diferentes cenários para um sistema produtivo composto por nove operações, coletivamente organizadas por processo (job-shop) e posteriormente analisados em relação a assertivas afirmadas pela literatura. Os resultados indicaram que parece não haver uma relação linear entre os fatores e que o makespan é menor quando os tempos de setup são baixos e lotes são unitários, independentemente do sequenciamento adotado; e maiores quando os tempos de setup são altos e os lotes são grandes também, como era esperado. Conclui-se que para uma empresa organizada por processos é mais importante investir, na diminuição dos tempos de setup antes de adotar tamanhos pequenos de lote e de investir em tecnologia para otimizar o sequenciamento de produção.*

*Palavras-chave: SIMULAÇÃO, SETUP, LOTES, JOB SHOP, PERFORMANCE.*

*Abstract: In the industrial environment there is a famous speech that says that short setups, batch(lot) size and order sequencing are fundamental to performance in the industrial context, with strategic implications. The objective of this paper is to evaluate the impact of the variation in parameters of manufacturing systems on their performance measures. These factors were investigated in an environment of computer simulation of discrete events in the Flexsim software in relation to different scenarios for a productive system composed of nine operations, collectively organized by job-shop and later analyzed in relation to assertives stated in the literature. The results indicated that there seems to be no linear relationship between the factors and that makespan is smaller when setup times are low and lots are unitary, regardless of the adopted sequencing; And larger when setup times are high and lots are great as well, as expected. to reduce the setup times before adopting small lot sizes and to invest in technology to optimize production sequencing.*

*Keywords: SIMULATION, SETUP, LOT, JOB SHOP, PERFORMANCE.*

## 1. Introdução

A gestão de sistemas de produção de bens passa por um conjunto de decisões acerca das mais diversas atividades em cada nível de planejamento da indústria, desde o longo prazo (estratégico) até o curto prazo (operacional), sendo o maior exemplo disso é a grande área de planejamento e controle de produção de uma indústria; o que produzir, como produzir, quando e quanto produzir (MIGUEL et al, 2012).

Essas decisões tornam o processo de gestão industrial extremamente complexo, contexto no qual simulação pode ser uma ótima opção como uma ferramenta crítica de sucesso para a gestão. A simulação é útil para analisar processos com relações não-lineares entre as variáveis, outro ponto que joga a favor desse método é que podem ser conduzidos experimentos sem interromper o funcionamento do sistema real e também pode-se obter estimativas de características operacionais em muito menos tempo do que pelo método de coleta de dados (KRAJEWSKI, 2009).

Um sistema dinâmico pode ser caracterizado como um conjunto de diferentes recursos que se integram com o objetivo de executar um processo. No caso de processos reais, como um sistema genérico de manufatura, a complexidade é grande e isso torna mais difícil o fato de que esses sistemas sejam modelados. Estudos de simulação estão relacionados a área de Pesquisa Operacional, subárea simulação, análise e modelagem, que delimitam o tema deste artigo. A principal questão que impulsionou a pesquisa foi qual é o impacto nas medidas de eficiência de um sistema de manufatura, com a alteração do tempo de setup, tamanho de lote e sequenciamento da produção?

A literatura apresenta os motivos pelos quais os lotes de produção devem ser os menores possíveis, que no limite têm tamanhos unitários, segundo os preceitos de manufatura enxuta, porém, em contrapartida, existe a influência no sistema do tempo de *setup*, ou de preparação. Quando os tempos de preparação são importantes para o sistema, talvez a produção em pequenos lotes não sejam o melhor ajuste para produção.

Como justificativa teórica a literatura diz que uma das principais variáveis que interferem no desempenho de um sistema de manufatura é o tamanho de lote em processamento. Cada lote de itens segue seu roteiro de industrialização a ser executado em diferentes centros de

trabalho, sendo que ao chegar ao centro de trabalho o lote precisa ser priorizado de acordo com regras predefinidas, isso define qual será a sequência em que os recursos serão utilizados (TUBINO, 2009).

Krajewski (2009) traz à tona a influência das variáveis de tamanho de lote e tempo de *setup* quando diz que lotes grandes de produção tem um tempo elevado de atravessamento do sistema produtivo em relação a lotes menores de produção. Godinho e Uzsoy (2010) sugerem se estudar o efeito de programas de melhoria contínua na relação tamanho de lote  $\times$  *lead time* em ambientes com mais estações de trabalho, sendo esse o objeto desenvolvido nesse trabalho, em relação a alteração do tamanho de lote.

O objetivo geral deste estudo é avaliar o impacto da variação em parâmetros de sistemas de manufatura nas suas medidas de performance. Serão estudados em ambiente de simulação, os parâmetros os tempos de *setup*, o tamanho de lote e o sequenciamento das operações e observadas as medidas de performance utilização, *work in process* e o *tempo de processamento* em um sistema produtivo composto por nove setores de uma job shop organizada por processos.

## **2. Referencial teórico**

Na contribuição teórica serão conceituadas as áreas de pesquisa relacionadas ao objetivo deste artigo, de modo a explicar detalhadamente e criticar alguns modelos ou conceitos que já foram abordados pelos principais pesquisadores da área de pesquisa operacional e administração de produção (MIGUEL et al.,2012).

### **2. 1 Modelagem e Simulação**

Processos produtivos reais são sistemas complexos e difíceis de serem modelados e, quando o objetivo é medir desempenho, isso se torna ainda mais complicado. No entanto, de acordo com Miguel et al. (2012), com o auxílio de ferramentas computacionais os cenários reais podem ser reproduzidos fielmente em um ambiente virtual, o que consolida a pesquisa operacional e a simulação como importantes ferramentas de apoio ao processo decisório. Simulação pode ser definida como uma imitação de um sistema dinâmico usando uma

modelagem computacional com o objetivo de avaliar e otimizar a performance do sistema (HARREL et al., 2012), sendo assim uma modelagem é uma técnica de análise usada para avaliar e melhorar sistemas dinâmicos de todos os tipos.

A utilização de modelagem consegue oferecer um melhor entendimento do ambiente estudado, as práticas de identificação de problemas, elaboração de estratégias e a sistematização do processo de tomada de decisão são facilitadas a partir de um modelo (MIGUEL, 2012). Segundo o autor, essa metodologia pode ser definida como uma representação de uma situação ou realidade, de acordo com o ponto de vista de uma pessoa ou uma equipe.

De acordo com Miguel et al. (2007), uma complementação à modelagem é o uso de simulação, que consiste no uso de técnicas computacionais para simular a operação de sistemas produtivos, baseado em um conjunto de variáveis em dado domínio, de forma a investigar a relação causal e quantitativa entre elas. Assim, a simulação trouxe à tona uma solução para esses casos com um nível de complexidade elevado (SILVA, 2004).

Miguel (2007) diz que modelos quantitativos compreendem um conjunto de variáveis de controle que variam em um domínio específico e variáveis de desempenho que interferem na qualidade da tomada de decisão obtidas a partir de relações causais, que é o diferencial dessa abordagem, ela permite a consideração simultânea das inter-relações descritas. Conforme Harrel et al (2012), ao invés de projetar soluções ao acaso, a simulação possibilita um jeito de validar ou não se as melhores decisões estão sendo tomadas, ela também evita o caro, desperdício de tempo e a natureza disruptiva das técnicas de otimização via tentativa e erro. Sob a ótica de pesquisa operacional, na primeira fase de uma simulação é quando se define o escopo do problema em estudo, as decisões relevantes, os objetivos além do modelo conceitual da problemática (MIGUEL, 2012). Segundo o autor, caso esse modelo não represente adequadamente o problema real, é muito difícil que se obtenha uma resposta satisfatória e que tenha relevância prática.

No momento de criação do modelo de abstração, a tarefa mais difícil é quando deve-se escolher sobre quais elementos do sistema devem ser incluídos ao modelo, para isso é preciso definir o objetivo do modelo (SOARES, 1990). Segundo o autor, esse é um processo complicado, dado existirem formas de simplificar essa etapa, por exemplo quando existem

leis físicas pertinentes ao sistema, ou quando se é possível representar o processo de maneira gráfica ou pictorial, ou ainda quando é possível controlar a variabilidade das entradas saídas e recursos do modelo. Ainda, segundo o autor, é importante é tentar abstrair sobre quais de seus elementos são importantes na resolução do problema particular definido anteriormente.

O modelo conceitual é o resultado do alto grau de detalhamento na coleta de dados cujo resultado é um mapa mental sobre a forma como o sistema opera, que inclui o uso de notas e diagramas em relação ao Sistema observado (HARREL et al., 2012). Segundo o autor, a construção de uma simulação requer que esse modelo conceitual se traduza em um modelo de simulação computacional. Ainda segundo autor, construir um modelo de simulação requer que esse mesmo modelo conceitual seja convertido em um modelo de simulação, transformação que exige duas importantes transições de pensamento: na primeira transição, o modelador precisa estar apto a pensar no sistema em termos do paradigma da simulação suportada pelo software de simulação a ser usado; na segunda transição, os diferentes modos possíveis de modelar o sistema podem ser avaliados para determinar o mais eficiente e efetivo jeito de representa-lo.

De maneira geral, a partir disso, constrói-se um modelo matemático a partir do modelo conceitual, caso as relações de dependência matemática sejam muito complexas para se permitir uma solução analítica, pode-se considerar a utilização de um modelo de simulação para solucionar esse problema (MIGUEL, 2012). De acordo com Chwif e Medina (2006), o modelo computacional deverá ser comparado com o modelo conceitual para avaliar-se o atendimento do que foi estabelecido na fase de concepção.

Um modelo de simulação deve seguir um conjunto estruturado de etapas, ver Figura 1, sendo que o modelo desenvolvido computacionalmente procura copiar um sistema real, viabiliza a realização de experimentos para avaliação e melhorias de desempenho em um sistema, sem provocar interferências é chamado de simulação (LAW e KELTON, 2000).

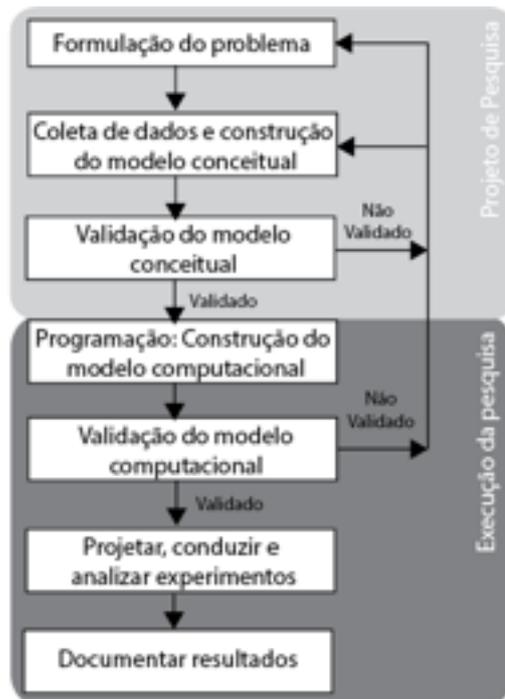


Figura 1 – Etapas para a realização de um modelo de simulação

Fonte: Adaptado de Law (2003)

Segundo Law (2003), a cada etapa apresentadas na Figura 1 são desenvolvidas ações específicas:

- Formulado o problema, que é o fato de elencar qual é o problema de interesse, nessa etapa deve-se definir o objetivo do estudo bem como seu escopo e quais as questões específicas que devem ser respondidas;
- Coleta de dados e informações com o objetivo de dar estrutura ao modelo conceitual, embasamento da segunda fase depende de uma definição dos parâmetros envolvidos no sistema e das variáveis de performance. Ainda nessa etapa, devem ser definidas quais serão as simplificações adotadas pelo modelo bem como a validação do mesmo;
- A validação do modelo conceitual, é muitas vezes uma etapa que passa despercebida, porém ela evita o retrabalho nas etapas posteriores. Nessa etapa, todas as definições sobre o problema de interesse e simplificações devem ser revistas. Se erros ou omissões são descobertos no modelo conceitual, que é quase sempre o caso, então o modelo conceitual deve ser atualizado antes de prosseguir para a programação;
- A programação do sistema através de uma ferramenta computacional, que poderá utilizar um software comercial (Arena, SIMUL8, ProModel, Flexsim, entre outros), outra alternativa é usar linguagem de programação como a linguagem C ou C++;
- Validação de resultados e é a importante técnica de validação do modelo computacional, na qual deve-se comparar as medidas desempenho do modelo de simulação do sistema existente com as medidas de desempenho comparáveis recolhidas a partir do sistema real existente;

- Realizar experimentos, é o momento em que questões táticas , como o comprimento simulação , duração do período *warm up* (geralmente necessário se o comportamento de estado estável de um sistema é de interesse) e o número de repetições da simulação para se obter um intervalo de confiança, serão alinhadas para a condução dos experimentos projetados;
- A documentação do modelo (e do projeto de simulação ) deve incluir o modelo conceitual (crítico para uma possível futura reutilização do modelo, o que é particularmente importante na comunidade de defesa, onde a maioria das análises são feitas usando modelos de estudos já realizados), uma descrição detalhada da criação da simulação computacional, e dos resultados para o estudo atual.

## 2. 2 Arranjo dos recursos produtivos

Os modelos de simulação podem ser aplicados a diferentes arranjos de sistemas de manufatura, que são extensamente registrados na literatura (GAITHER e FRAZIER, 2002; RITZMAN e KRAJEWSKI, 2009; SLACK, 1997).

O arranjo dos recursos produtivos preocupa-se com a localização dos mesmos para a transformação da matéria prima em produto final, também se define o modo segundo os recursos transformados atravessam as operações (SLACK et al., 1997). Ritzman e Krajewski (2009) definem os quatro tipos básicos de *layout*, o primeiro deles é o arranjo por processo (funcional ou *job shop*) que tem como característica um baixo volume e uma alta variabilidade, nesse contexto os recursos são alocados por função e não por produtos. O segundo tipo de *layout* retratado pelos autores tem como característica fluxo de trabalho linear e tarefas repetitivas, assim caracteriza-se o *layout* por produto.

Ainda conforme Ritzman e Krajewski (2009), o *layout* de posição fixa é caracterizado pelo local de produção ser fixo e os recursos se movimentarem de acordo com a necessidade. Por fim, os mesmos autores afirmam que algumas instalações são classificadas, quanto ao arranjo físico, como híbridas pois existe uma mistura de características do arranjo por processo e do arranjo por produto. Nessa classificação híbrida surgem as células de produção que podem ser definidas por duas ou mais estações de trabalho diferentes que são alocadas próximas, no qual uma quantidade restrita de modelos de produtos são manufaturados.

A formação de células de produção tem ganhado grande relevância em pesquisas pois é um elemento crítico no desenho de um sistema de manufatura capaz de atender uma demanda com maior flexibilidade, essa formatação de produção quebra o paradigma de que é

impossível obter, de forma simultânea, vantagens de economia de variedade e médias taxas de produção (CONCEIÇÃO, 2005)

A característica do arranjo físico celular é que as entidades são adicionadas na operação de acordo com uma seleção pré-definida, fazendo com que eles se movimentem em uma parte específica do processo (célula), que é onde estão alocados todos os principais recursos transformadores necessários para aquela entidade (SLACK et al., 1997).

Segundo Conceição (2005), as indústrias surgiram com o sistema de produção *job shop*, no qual os fluxos de produção são complexos e os recursos físicos são agrupados por processo com o objetivo de possibilitar que exista um elevado grau de flexibilidade em termos de variedade de produtos. Ainda segundo o autor, como alternativa para essa situação, surge o arranjo em forma de manufatura celular para otimizar o fluxo de materiais e a maior problemática a se resolver nesse caso, é a de formação de células baseadas no agrupamento de máquinas para minimizar o fluxo intercelular

Ainda na visão de Slack et al., (1997) as células representam uma mistura entre a flexibilidade do arranjo físico por processo e a simplicidade do arranjo físico por produto. De acordo com isso, Gaither e Frazier (2002), confirmam essa flexibilidade do sistema falando que na manufatura celular as máquinas são agrupadas em células, e as células funcionam de uma forma bastante semelhante a uma ilha de *layout* de produção dentro de uma *job shop* maior ou *layout* por processo.

Uma célula de manufatura pode assumir diversas formas, o fluxo de peças normalmente será mais parecido com um *layout* por produto do que a um *job shop*. Aderindo a esse arranjo celular as mudanças de máquinas são simplificadas, os custos envolvidos com manuseio de materiais são reduzidos, peças podem ser feitas e embarcadas mais rapidamente, os estoques em processo são reduzidos e se torna mais fácil de automatizar a produção (GAITHER e FRAZIER, 2002).

Tanto Conceição (2005) como Gaither e Fraizer (2002) concordam que o maior desafio ao desenvolver uma manufatura celular é a decisão quanto à formação da célula, que é a decisão sobre quais máquinas e quais peças agrupar numa célula. Essa decisão se torna tão relevante pois irá interferir no sequenciamento de produção e isso tem um grande reflexo no tempo de *setup*, no tamanho de lote de produção, no WIP que são umas das principais variáveis de um

sistema produtivo e terão impacto nos indicadores econômicos e financeiros da empresa (CONCEIÇÃO, 2005).

Sumarizando, de acordo com a teoria já revisada nesse estudo, variedade de produtos é um sinônimo de elevados tempos de *setup*, elevado WIP (*work in process*) e baixa taxa de saída do sistema.

### **2. 3 Medidas de eficiência e capacidade de sistemas de manufatura**

A literatura consultada retrata que uma das principais variáveis que interferem no desempenho de um sistema de manufatura é o tamanho de lote em processamento (TUBINO, 2009; RITZMAN E KRAJEWSKI 2009; GODINHO et al, 2010).

Cada lote de itens segue seu roteiro de industrialização a ser executado em diferentes centros de trabalho, sendo que ao chegar ao centro de trabalho o lote precisa ser priorizado de acordo com regras predefinidas, isso define qual será a sequência em que os recursos serão utilizados (TUBINO, 2009).

De acordo com Ritzman e Krajewski (2009) o processo produtivo que produz em lotes é, muitas vezes, confundido com o processo em *Jobbing*, porém esses processos não tem o mesmo nível de variabilidade, a diferença fundamental entre ambos é que no *Jobbing* os volumes são maiores, porque produtos ou serviços iguais ou similares são fornecidos repetidamente.

Godinho et al (2010), diz que decisões rotineiras no ambiente fabril, tais como, o tamanho de lote de produção, têm implicações estratégicas fundamentais para a empresa, sendo normalmente usados modelos de custos para dar embasamento às decisões acerca do tamanho de lote. O tamanho de lote ideal é o que minimiza os custos totais, sendo recomendado o uso de modelos denominados de lote econômico de compra para identifica-lo (KARIMI et al. 2003).

Lotes grandes de produção tem um tempo elevado de atravessamento do sistema produtivo em relação a lotes menores de produção (KRAJEWSKI, 2009). Segundo o autor, quando produtos defeituosos são observados em um lote produtivo, o atraso no prazo de entrega é maior quando o lote produtivo é grande pois todos os itens do lote deverão ser verificados e

por fim grandes lotes usam a maior parte da capacidade dos postos de trabalho e isso limita a atuação do planejamento. Ainda segundo o autor, lotes pequenos de produção distribuem a utilização do sistema de modo mais eficaz, isso faz com que o planejamento de produção seja mais flexível.

No entanto existe a desvantagem de que quando os lotes são pequenos as preparações de máquina (*setup*) são mais frequentes (KRAJEWSKI, 2009). Na maioria dos casos, ainda segundo o autor, o tempo de preparação é o mesmo para pequenos e grandes lotes, isso abre a possibilidade de que com muitos lotes pequenos de produção podem resultar em desperdícios na forma de recursos (fixos e móveis) inativos.

Uma realidade fabril o ideal seria um sequenciamento de lotes pequenos e com tempo de preparação muito pequeno (GAITHER, 2002), situação na qual os tempos de preparação (*setup*) forem reduzidos praticamente a zero, os níveis de estoque serão diminuídos e a fábrica passará a funcionar muito similarmente a um sistema de manufatura.

Seguindo os conceitos de Lambrecht e Vandaele (1996) o tamanho de lote é uma variável que também impacta diretamente o *lead time* do processo, quanto maiores forem os lotes de produção mais longos serão os *lead times* e, de acordo com a diminuição do tamanho dos lotes, o *lead time* decrescerá; porém uma vez que o tamanho de lote ideal mínimo é obtido, diminuir mais ainda essa variável causa um efeito contrário no sistema pois aumentará a intensidade do fluxo produtivo o que também resulta em *lead times* demorados.

Para monitorar o bom desempenho, ou não, do sistema produtivo a partir da alteração de variáveis como o tamanho de lote e o tempo de *setup*, muitas indústrias usam como um indicador de performance de produção a utilização do sistema (SLACK, 1997). Conceito que, como definido por Krajewski (2009), se refere ao grau em que o recurso está sendo usado, podendo ser calculado pela razão entre a taxa média de produção e a capacidade máxima de produção. A justificativa para a importância da utilização como um indicador é que qualquer perda de tempo de produção poderia ser aproveitada para gerar a industrialização de mais produtos que, por sua vez, gerariam mais lucros (SLACK, 1997).

O desempenho de uma indústria também pode ser vinculado ao indicador de *throughput*, que nada mais é que o número de itens que saem do sistema produtivo, ou seja, essa é o indicador pelo qual o sistema gera dinheiro por meio da industrialização e posteriormente vendas

(KRAJEWSKI, 2009). Dessa forma, refere ainda que um aumento de *throughput* leva, conseqüentemente, a um aumento no lucro líquido e no retorno sobre o investimento. A Figura 3 evidencia a complexidade das relações entre os parâmetros e os indicadores de capacidade e eficiência estudados neste artigo.



Figura 3 – Mapa mental de variáveis e parâmetros do Sistema  
Fonte: Adaptado Godinho e Uzsoy (2009)

A relação entre esses indicadores e parâmetros é encontrada na literatura expressa na forma de relações unidimensionalmente, que são a seguir caracterizadas na forma de cinco assertivas acompanhadas dos respectivos autores, que podem ser entendidas como frases síntese:

*Assertiva 1: Tamanho de Lotes pequenos reduzem o WIP. Lotes pequenos aumentam o número de setups. Tamanho de Lotes grandes aumentam o MLT.*

lotes pequenos têm a vantagem de reduzir o nível médio de estoque em relação aos grandes e (Krajewski, 2009, p. 290). “pequenos lotes ele diz que embora os lotes pequenos sejam benéficos para a produção, eles têm a desvantagem de que geram uma frequência muito maior de setups” (Krajewski, 2009, p. 290);

O tamanho do lote reduzido e uma diminuição de tempo de troca de ferramentas reduz o inventário em processo e da mesma maneira (Ohno, 1997, p. 107-108)

“lotes grandes de produção tem um tempo elevado de atravessamento do sistema produtivo em relação a lotes menores de produção” (Krajewski, 2009, p. 290);

E quanto maior o tamanho de lote, maior o tempo de processamento correspondente e portanto, maior o lead time da ordem” (Corrêa e Corrêa, 2010, p.115).

*Assertiva 2: A redução do tempo e troca permite reduzir o tamanho do lote de produção, flexibiliza o controle da produção e aumenta a utilização dos recursos*

A redução do tempo de troca de ferramentas poderia minimizar o lote de produção, reduzindo o estoque dos produtos tanto no estoque intermediário quanto no estoque final. Através de pequenos lotes de produção, o tempo de execução de vários tipos de

produtos pode ser reduzido e a companhia pode adaptar-se prontamente às ordens do cliente e às alterações de demanda (Monden, 2015, p. 43).

“Para que se atinja o ideal da produção com estoque zero é necessário que os tempos de setup para menos de 10 minutos ou até mesmo para segundos com a adoção da Troca Rápida de Ferramentas, o que possibilita a produção em pequenos lotes e, por conseguinte, permite respostas rápidas às flutuações da demanda” (Shingo, 1989, p. 98).

A taxa de utilização da capacidade das máquinas é aumentada, devido à redução do tempo de troca de ferramentas (Monden, 2015, p. 43)

A taxa alta de utilização das máquinas ocasiona uma super produção com tendências a perdas, o que é uma situação pior do que uma taxa baixa de utilização (Monden, 2015, p. 43)

*Assertiva 3: O adequado sequenciamento da produção aumenta o nível de utilização dos recursos produtivo, diminui o Work In Process (WIP) e reduz o MLT, que é constituído em sua maior parte por esperas entre processos (até 80%).*

Da mesma maneira, ressalta que o sequenciamento de produção diminui o estoque de material em processo e diminui o tempo ocioso de máquinas e trabalhadores, aumentando assim a utilização (Chase, 2011, p. 585).

A forma com que se sequenciam as ordens de produção em sistemas job-shop é influenciadora do desempenho da operação em termos de aspectos que têm repercussão estratégica como o nível de utilização dos recursos (Corrêa e Corrêa, 2010, p. 580).

“A função do sequenciamento é crítica para o desempenho do sistema produtivo em lotes, pois, via de regra, a maior parcela de lead time de um produto fabricado em lotes compreende o tempo em que o lote desse produto espera para ser trabalhado em um recurso, sendo que, caso essa função não seja adequadamente estruturada, esse tempo pode chegar facilmente a 80% do tempo total” (Tubino, 2009, p. 114);

“uma hora ganha no gargalo é uma hora ganha no sistema global. Assim, os tempos de fila são dependentes de como a programação é feita. A programação de atividades e capacidade deve ser feita simultaneamente e os lead times são resultados da programação. (Corrêa e Corrêa, 2010, p.465).

*Assertiva 4: Os tamanhos de lotes de transferência devem ser menores que o lote de produção para aumentar o fluxo de produção. Na operação gargalo os lotes de produção devem ser maiores para diluir os tempos de setup. Os tamanhos dos lotes deveriam ser variáveis para recursos gargalo e não gargalo.*

O lote de transferência pode não ser, e frequentemente não deveria ser, igual ao lote de processamento. O fato de manter lotes de produção grandes no gargalo, minimiza o tempo com setups e além disso os gargalos não só determinam o fluxo do sistema, mas também definem seus estoques recursos (Corrêa e Corrêa, 2010, p. 465).

Com conceitos alinhados, Corrêa (2010) também traz a questão dos tamanhos de lote dizendo que os lotes deveriam ser maiores para os gargalos pois os custos de parada passam a ser comparativamente mais altos que os custos de manutenção e estoque.

### **3. Procedimentos metodológicos**

A natureza desta pesquisa pode ser caracterizada como aplicada por ter como objetivo criar novo conhecimento em uma aplicação prática voltada à solução de problemas específicos (Silva e Menezes, 2001). Quanto aos objetivos, esta pesquisa será exploratória, com abordagem quantitativa pois as variáveis analisadas são indicadores numéricos de performance provenientes de um modelo matemático.

Por fim, os procedimentos utilizados serão alinhados com a metodologia de modelagem e simulação (Berto e Nakano, 2000); e (Bertrand e Fransoo, 2002). A modelagem compreende o uso de técnicas matemáticas para descrever o funcionamento de um sistema ou parte de um sistema produtivo (Berto e Nakano, 2000), consistindo, segundo Bertrand e Fransoo (2002) no uso de técnicas computacionais para simular a operação de sistemas produtivos e sendo baseada em um conjunto de variáveis em dado domínio, de forma a investigar a relação causal e quantitativa entre essas variáveis.

As etapas utilizadas nesta pesquisa seguiram a metodologia definida por Law (2003), já apresentadas na Figura 1, que foram utilizadas para estruturar a seção 4: formulação do problema, criar um modelo conceitual de um sistema produtivo; desenvolver, verificar e validar o modelo computacional; projetar, conduzir e analisar para os cenários propostos o melhor ajuste para os parâmetros definidos. Os modelos gerados foram rodados no software Flexsim e as variáveis estudadas com base na sua ferramenta *Experimenter*.

### **4. Resultados**

A primeira etapa é apresentada na seção 3.3.1 e a segunda na seção 3.3.2. As etapas seguintes serão objeto da pesquisa a ser conduzida posteriormente a este projeto, e também seguirão a metodologia de Law (2003). No seguimento desse estudo será elaborado um modelo computacional de simulação utilizando o software Flexsim, que ilustre todas as características definidas no modelo conceitual em um ambiente virtual.

Além de, verificar e validar o modelo computacional, através da comparação com o sistema real, especialmente quanto aos resultados observados. Sendo assim, serão analisados os cenários propostos e identificado o melhor ajuste para os parâmetros estudados, propondo conclusões sobre o ajuste ótimo.

#### **4.1 Formulação do problema**

O desenvolvimento do modelo da simulação teve inspiração no arranjo físico resultante do trabalho de Conceição (2005) para o modelo abstrato e computacional e para o conjunto de parâmetros e cenários a revisão bibliográfica e o trabalho de Godinho e Uzsoy (2009). Este projeto de pesquisa utilizará um cenário desenvolvido com base na empresa caracterizada no texto proposto por Conceição (2005) no qual o autor apresenta uma otimização do arranjo físico e fluxo de produção de uma fábrica do setor moveleiro. O processo é composto por dezenove recursos que foram arranjados de modo que atender os conceitos de manufatura celular, resultando em nove células dispostos esquematicamente em forma de um “U”.

Como investigado pelo autor, o sistema processa 52 conjuntos distintos de produtos, tratados conjuntamente para fins da otimização conduzida. O arranjo final obtido assume características de uma *job shop*, dado cada célula realizar processos distintos que foram rearranjados em nove setores/centros de trabalho. O modelo de Conceição (2005) traz a realidade da manufatura de uma média empresa do setor moveleiro, que por necessidades de mercado precisou readequar o seu arranjo físico para obter um maior nível de serviço e tentar diminuir prazo de entrega dos produtos e aumentar a flexibilidade do sistema.

Esse mesmo autor mapeou um total de cinquenta e duas categorias de produtos que são manufaturados nessa estrutura onde cada categoria de produtos é processada de acordo com um sequenciamento de operações particular, ver Figura 2.

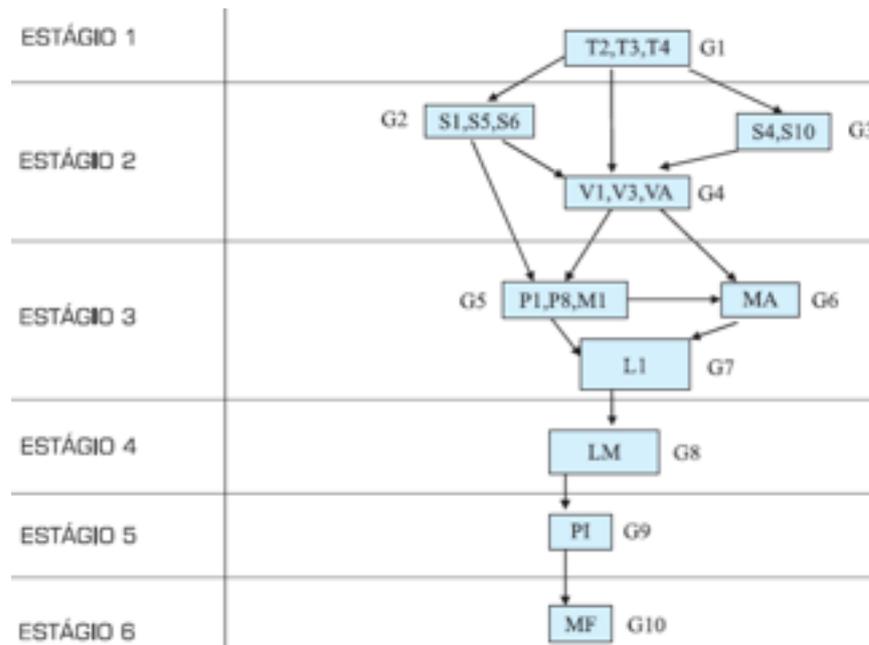


Figura 2 – Esquema do Sistema de manufatura  
 Fonte: Conceição (2005)

Como resultado, dezenove recursos produtivos (do tipo T, S, V, P, M, MA, L, LM, PI e MF) foram agrupados em formato de *job shop* por processo (G1 a G10), em seis estágios, porém na interpretação geral do sistema as *Jobs* serão interpretadas como nove células de manufatura. Assim, o arranjo final obtido assume características de uma *job shop*, dado cada célula (G) realizar processos distintos em nove Grupos/setores/centros de trabalho, em nove estágios distintos e sequenciais, todos necessários a realização dos produtos finais.

Além dessa estrutura de recursos os parâmetros e variáveis foram avaliados o efeito da variação no tamanho de lote e tempo de *setup* através da observação dos índices de utilização, tempo de processamento e *lead time* do sistema. Diferentes cenários serão construídos com a combinação de três tamanhos diferentes de lote de produção, três variações nos tempos de *setup* e com a demanda sequencia ou aleatória para os agrupamentos por células.

#### 4.2 Construção e validação do modelo conceitual

O primeiro passo para a construção do modelo conceitual foi definir as etapas do processo produtivo e ilustra-las de alguma maneira que facilite a visão sistêmica do contexto produtivo que pretende-se simular. A Figura 4 explicita um fluxograma com as operações em sequência de processo a ser simulado.

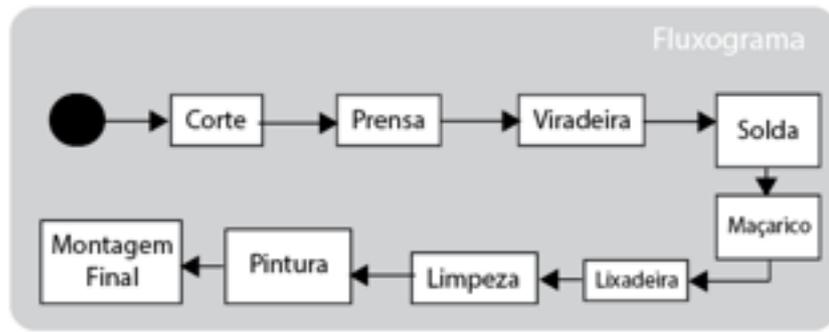


Figura 4 – Fluxograma do processo produtivo

Fonte: Autor

A primeira simplificação feita do modelo abstrato para o modelo conceitual, é em relação aos recursos fixos. Inicialmente o modelo de Conceição (2005) define que as máquinas são agrupadas em formas de células que internamente funcionam como etapas de um processamento arranjado como uma *job shop*. Em todo sistema existem dezenove recursos fixos divididos em nove células de produção, ver Tabela 1.

Operações	Máquinas/Recursos	Célula	Tempo de processamento
1 – Corte	T2 – T3 – T4	1	4,8 minutos
2- Prensa	S1 – S4 – S5 – S6 – S10	2	4,2 minutos
3 - Viradeiras	V1 – V3 – VA	3	5 minutos
4 – Ponteadeira de solda	P1-P8-M1	4	5,3 minutos
5 – Solda	MA	5	16 minutos
6 - Lixadeira	L1	6	14 minutos
7 - Limpeza	LM	7	17 minutos
8 – Pintura	P1	8	15 minutos
9 – Montagem Final	MF	9	15 minutos

Tabela 1 – Distribuição de recursos por célula

Fonte: Autor

Os controles presentes no sistema passam pelo mix de produção estabelecido e os sequenciamentos que são evidenciados na Tabela 2. São utilizadas dez classes de produtos diferentes correspondendo as entidades que circularão pelo sistema, cada um com seu respectivo sequenciamento de operações e com seu volume de produção, ver Tabela 2. A diferença entre a quantidade das classes de produtos definidas por Conceição (2005) e por esse projeto de pesquisa foi outra simplificação adotada pelo modelo conceitual.

Classe de Produto	Sequenciamento de operações	Volume	Mix (%)
A	1-2-3-2-4-6-7-8-9	11	26
B	1-2-3-4	11	26
C	1-2-3-5-4	8	19
D	1-2-3-5-4-6	4	9
E	1-3-4	3	7
F	1-2-3-8-9	2	5
G	1-2-4	1	2
H	1-3-5	1	2
I	1-2-4-3	1	2
J	1-2-3-7-8-9	1	2

Tabela 2 – Classes de produtos

Fonte: Autor

Como os estudos que basearam esse projeto não apresentavam as cargas de trabalho foi realizado um estudo determinístico, as cargas de trabalho (Ct) das nove células de produção foram intencionalmente equilibradas de acordo com os tempos de processamento (tp), volume de produção (v), e sequenciamento de operações(s).

Os volumes e fração do mix foram estabelecidos considerando que uma fábrica típica tenha a distribuição de vendas predominante em alguns tipos de produtos, seguindo uma proporção de que aproximadamente oitenta por cento do total de vendas estão relacionados com vinte por cento do total de produtos, ver Figura 5. Além disso, tem-se a relação do sequenciamento de produção, onde o uso de zero representa a falta de necessidade do processamento na célula, por exemplo a categoria de produtos “E” passará apenas pelas células um, três e quatro, enquanto as células restantes não serão utilizadas para essa classe de produtos.

PRODUTOS/MIX			SEQUENCIAMENTO									
CATEGORIA DE PRODUTOS	Volume	Mix	Célula	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	11	26%	A	1	2	1	1	0	1	1	1	1
B	11	26%	B	1	1	1	1	0	0	0	0	0
C	8	19%	C	1	1	1	1	1	0	0	0	0
D	4	9%	D	1	1	1	1	1	1	0	0	0
E	3	7%	E	1	0	1	1	0	0	0	0	0
F	2	5%	F	1	1	1	0	0	0	0	1	1
G	1	2%	G	1	1	0	1	0	0	0	0	0
H	1	2%	H	1	0	1	0	1	0	0	0	0
I	1	2%	I	1	1	1	1	0	0	0	0	0
J	1	2%	J	1	1	1	0	0	0	1	1	1

Figura 5 – Relação de fluxo de produtos pelos setores

Fonte: Autor

Na Figura 6 observa-se na última linha da figura a variação entre as cargas de trabalho (medidas em minutos) de todas as nove células. A carga de trabalho (Ct) de cada célula é o resultado do somatório dos minutos utilizados por cada classe de produtos para serem manufaturados em determinada operação. No caso da operação 1, a classe de produtos “A” demandará 52,8 minutos de processamento, que é o resultado da multiplicação do tempo de processamento da célula um ( $T_p = 4,8$  minutos) pelo volume de produção (11 unidades), seguindo na mesma coluna observa-se o mesmo cálculo para as restantes categorias de produtos, totalizando um somatório de 206,4 minutos para a operação um.

Matriz: (Sequenciamento de produção x tempo médio de processamento)* Mix de produção									
Classe de produto	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	52,8	92,4	55	58,3	0	154	187	165	165
B	52,8	46,2	55	58,3	0	0	0	0	0
C	38,4	33,6	40	42,4	128	0	0	0	0
D	19,2	16,8	20	21,2	64	56	0	0	0
E	14,4	0	15	15,9	0	0	0	0	0
F	9,6	8,4	10	0	0	0	0	30	30
G	4,8	4,2	0	5,3	0	0	0	0	0
H	4,8	0	5	0	16	0	0	0	0
I	4,8	4,2	5	5,3	0	0	0	0	0
J	4,8	4,2	5	0	0	0	17	15	15
<b>Células</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>
<b>CARGA DE TRABALHO</b>	<b>206,4</b>	<b>210</b>	<b>210</b>	<b>206,7</b>	<b>208</b>	<b>210</b>	<b>204</b>	<b>210</b>	<b>210</b>
<b>%</b>	<b>101%</b>	<b>103%</b>	<b>103%</b>	<b>101%</b>	<b>102%</b>	<b>103%</b>	<b>100%</b>	<b>103%</b>	<b>103%</b>

Figura 6 – Carga de trabalho das operações de produção  
Fonte: Autor

O modelo será simulado até que o sistema produza dez mil peças de acordo com o mix de produção estabelecido sem contabilizar o tempo de *warm up* do sistema, os lotes de produção serão unitários, em lotes de cinquenta peças e lotes de cem peças. O sistema estará disponível durante o tempo necessário para manufaturar toda a demanda necessária e o tempo entre chegadas será normalmente distribuído. Todos os tempos de processamento serão definidos no modelo conceitual com o objetivo de equilibrar as cargas de trabalho existentes nas células.

Serão manufaturadas dez entidades diferentes de acordo com o mix de produção e as cargas de trabalho das células serão equilibradas em função do tempo de processamento das máquinas, volume de produção e sequenciamento de operações das dez entidades que representam diferentes classes de produtos.

Os cenários que serão idealizados têm o objetivo de encontrar o melhor ajustes das variáveis para responder o questionamento do projeto de pesquisa, para a construção do modelo computacional e comparação dos diferentes cenários será usado o software Flexsim.

### 4.3 Construção e validação do modelo computacional

Seguindo a estrutura da Tabela 1, dezenove recursos produtivos foram arranjados em nove células de produção e tiveram seus tempos de processamento e setup regulados utilizando o software *Flexsim*. A planta produtiva foi pensada com o objetivo de facilitar o fluxo produtivo com apenas uma fonte de entidades, representando o almoxarifado da fábrica, e apenas uma saída para o escoamento da produção, representando o estoque da indústria.

Foram configurados dezenove recursos fixos, vinte filas de espera para processamento, ou estoques intermediários, com lotes de transferência unitários a fim de identificar os gargalos de todo o sistema. Não foram utilizados recursos móveis para fazer o transporte das entidades, essas por sua vez representam os produtos em movimento pela planta, que são caracterizados por dez cores diferentes, em alusão aos dez produtos diferentes que são produzidos, no modelo. O resultado da modelagem computacional está ilustrado na figura abaixo.

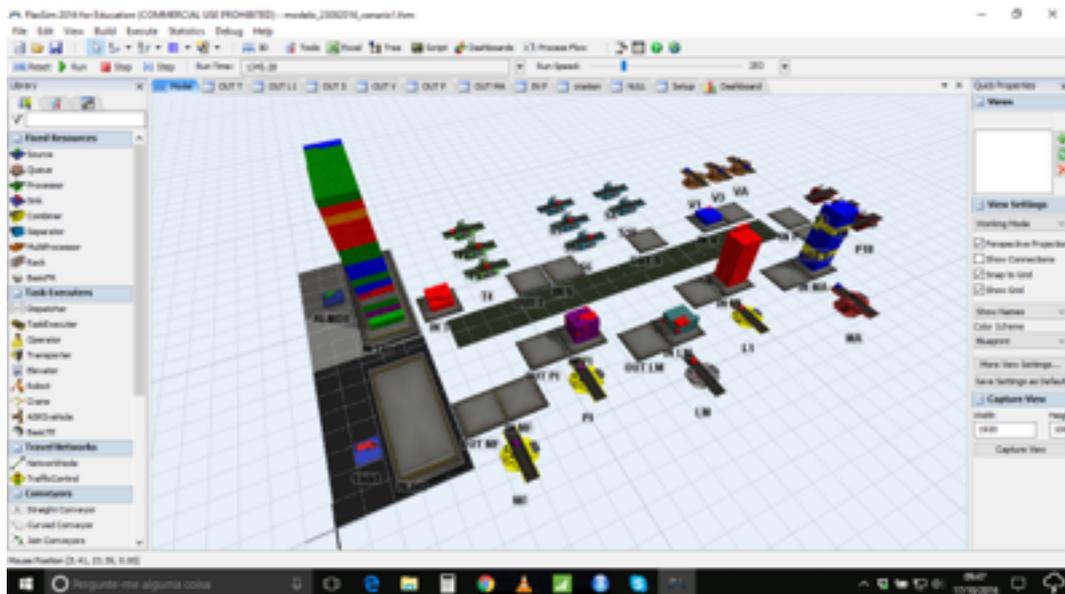


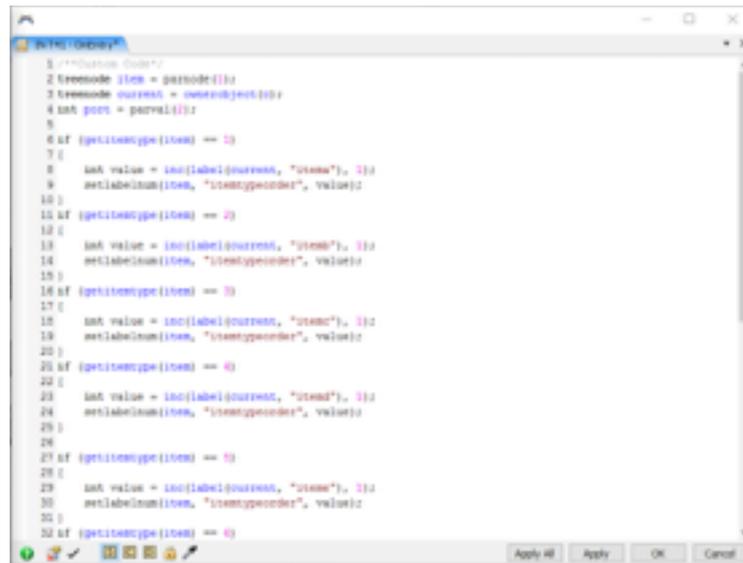
Figura 7 – Modelo computacional  
Fonte: *Flexsim*

Depois de concebido o modelo computacional, todas verificações dos controles estabelecidos no modelo conceitual foram feitas para poder-se validar a programação. Essas verificações passaram por uma checagem para avaliar se o mix de produção no início e no final do fluxo produtivo estava sendo respeitado.

Para cada um dos dez produtos foi avaliado o cumprimento do sequenciamento de operações. Para cada recurso produtivo verificou-se o cumprimento dos tempos de processamento e ocorrência de *setup*, bem como o tempo necessário para o mesmo, quando necessário. Sendo

todas essas exigências atendidas pelo modelo, define-se que o modelo foi construído, verificado e validado conforme a metodologia de simulação, reproduzindo assim as premissas definidas por esse projeto.

Toda a lógica de sequenciamento das operações do modelo, foi feita através de programação computacional, um exemplo está apresentado na figura abaixo.



```
1 /**Custom Code*/
2 itemnode item = partnode();
3 itemnode current = ownerobject();
4 int part = partval();
5
6 if (getitstype(item) == 1)
7 {
8   int value = inc(label(current, "item"), 1);
9   setlabelnum(item, "itemtypeorder", value);
10 }
11 if (getitstype(item) == 2)
12 {
13   int value = inc(label(current, "item"), 1);
14   setlabelnum(item, "itemtypeorder", value);
15 }
16 if (getitstype(item) == 3)
17 {
18   int value = inc(label(current, "item"), 1);
19   setlabelnum(item, "itemtypeorder", value);
20 }
21 if (getitstype(item) == 4)
22 {
23   int value = inc(label(current, "item"), 1);
24   setlabelnum(item, "itemtypeorder", value);
25 }
26
27 if (getitstype(item) == 1)
28 {
29   int value = inc(label(current, "item"), 1);
30   setlabelnum(item, "itemtypeorder", value);
31 }
32 if (getitstype(item) == 4)
```

Figura 8 – Script de programação  
Fonte: Flexsim

#### 4.4 Projetar, conduzir e analisar experimentos

Para testar os parâmetros identificados na literatura foram definidos cenários nos quais houve a variação nos parâmetros o tamanho de lote, tempo de setup e sequenciamento de produção, todos investigados em três ajustes.

Cada um dos ajustes de cada parâmetro foi combinado com os ajustes dos demais produzindo um conjunto total de 9 cenários, conforme indicado na Figura 8. Os fatores intermediários de cada parâmetro de simulação serão apenas usados para o cenário 0, os outros cenários são compostos apenas dos fatores altos e baixos de cada parâmetro.

O parâmetro tamanho de lote foi investigado em três ajustes lote unitário lote de tamanho cinquenta peças e lote de tamanho a cem peças. O parâmetro tempo de setup foi investigado tempo médio de 0,5 minutos com variabilidade de 10%. O nível intermediário para o tempo de setup foi fixado em 5 minutos de parada, também com variabilidade de 10%. O nível mais

alto do Fator B foi definido como tempo de setup, em média, igual a 10 minutos com variabilidade de 10%.

O Fator C do planejamento experimental é o parâmetro de sequenciamento de produção. O nível mais baixo é quando a demanda de produção está totalmente sequenciada de maneira planejada. O nível intermediário é quando a demanda de produção está metade sequenciada e metade ordenada aleatoriamente e por fim, o nível mais alto dos níveis do Fator C da modelagem é quando a demanda de produção está ordenada de forma totalmente aleatória. Abaixo, na Figura 8, ilustra-se a variação dos parâmetros e a construção dos nove cenários de simulação:

Cenários	Tamanho de Lote	Tempo de Setup	Sequenciamento
	A	B	C
0	50	Médio tempo de setup em média	Sequenciado/Aleatório
1	100	Baixo tempo de setup em média	Aleatório
2	1	Alto tempo de setup em média	Aleatório
3	1	Baixo tempo de setup em média	Aleatório
4	100	Alto tempo de setup em média	Aleatório
5	100	Baixo tempo de setup em média	Sequenciado
6	100	Alto tempo de setup em média	Sequenciado
7	1	Baixo tempo de setup em média	Sequenciado
8	1	Alto tempo de setup em média	Sequenciado

Figura 9 – Cenários de Simulação  
Fonte: Autor

Cada um dos nove cenários de simulação foi submetido a processar a dez mil peças, sendo analisada o como indicador indireto de lead time de todos os lotes, o tempo total de simulação.

Além dele, foram acompanhadas dez variáveis em cada cenário, consideradas indicadores de performance do sistema para fins de comparação do sistema. Esses indicadores são: Utilização médio do sistema, Número médio de itens em espera na fila gargalo, Tempo médio de espera dos itens na fila gargalo, Work in process de todo sistema.

Além desses, foram monitoradas as variáveis: Utilização média do gargalo MA, Utilização média do gargalo L1, Tempo médio de espera de itens (considerando todas as filas), Work in process do sistema e Número médio de itens em espera em todas as filas do sistema. Todos os cenários serão simulados quantas vezes forem necessárias para analisar o experimento para garantir com um intervalo de confiança de 95% o erro admitido de 30 minutos.

Após rodar os cenários no software *Flexsim*, de uma maneira geral as modelagens levaram o mesmo tempo para gerar os dados necessários, no entanto dois cenários (cenário 2 e 8) necessitaram um tempo maior que a média para gerar os dados dentro do intervalo de confiança e com o erro admitido desejados, conforme a Figura 9.

Observa-se na Figura 10 que menor tempo de simulação foi encontrado no cenário 7 com 50.234,69 minutos (837 horas) e o maior tempo de simulação foi obtido no cenário 2 com 62.395,29 minutos (1040 horas). Observa-se que os se os tempos não diferem estatisticamente entre si o que pode ser observado pelos intervalos de confiança, significando que existe diferença estatisticamente significativa entre eles.

Cenário	Replicações	Erro Admitido (min)	Erro encontrado (min)	Tempo necessário para gerar os resultados (min)	LI	Média de Tempo total	LS
0	10	30	2,3	00:03:32:00	50232,4	50234,7	50237
1	20	30	3,1	00:03:35:00	50432,9	50438,1	50443,2
2	120	30	3,1	00:13:20:90	51224,5	51227,6	51230,7
3	10	30	5,15	00:01:30:36	51329,2	51333,7	51338,2
4	20	30	23	00:04:36:48	51390,3	51399,6	51408,9
5	20	30	4,5	00:03:29:48	51960	51982,8	52006
6	20	30	8,15	00:03:38:98	53422,5	53430,6	53438,8
7	20	30	2,3	00:04:08:15	56067	56089,0	56111
8	140	30	22	00:23:28:20	62369	62395,3	62422

Figura 9 – Cenários de simulação: Erros encontrados e tempo necessário de obtenção de dados  
Fonte: Autor

Apesar de significativa a diferença entre os tempos totais de simulação cenários considerou-se aceitável uma diferença de tempo de simulação entre eles é menor que 8h (480 minutos), o que representaria um dia de trabalho, por isso eles foram enquadrados na mesma análise. Assim, como pode ser observado na Figura 11 os tempos totais de processamento (TT<sub>médio</sub>) apresentam uma tendência de crescimento que parece ser compatível com a linearidade. Observa-se que o TT<sub>médio</sub> dos cenários 8 (11,65% de variação do TT<sub>médio</sub> em relação ao melhor cenário, equivalente a 100 horas) e 2 (24,21% de variação em relação ao melhor cenário, equivalente a 200 horas) são muito superiores aos dos cenários 7 e 3.

Como critério, admitiu-se que uma diferença de 480 minutos (8h) entre os cenários seria um critério com relevância prática para diferencia-los.

Para fins de práticos os cenários foram divididos em *clusters* (agrupamentos) de análise, essa divisão será feita baseada no tempo total de simulação. A Figura 11 ilustra a divisão dos cenários para análise e também ilustra que a relação entre tamanho de lote, tempo de setup e sequenciamento de produção não é linear para o tempo total de produção.

Quanto maior o tempo de simulação, maior é o tempo de atravessamento de todos os pedidos e pior é o desempenho do cenário, o primeiro *cluster* de análise de desempenho foi composto pelos cenários 7 e 3. Os cenários de desempenho intermediário, que compõe o segundo *cluster*, são os cenários: 0, 1, 4, 5, 6 e 8. A diferença de tempo total de simulação entre eles é sempre maior que 480 minutos, por fins práticos serão analisados de maneira conjunta. O *cluster* de pior performance foi composto apenas pelo cenário 2, que teve o maior tempo de simulação e não se assemelha aos demais cenários por ter uma diferença de tempo bem elevada (excede 480 minutos) se comparado ao cenário 8, que é o último cenário do *cluster* intermediário.

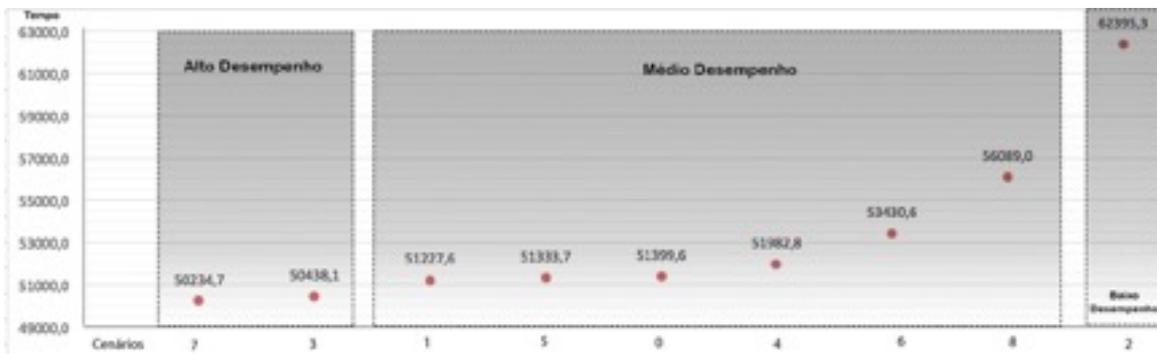


Figura 11 – Clusters de análise  
Fonte: Autor

A Figura 12 ilustra todos os resultados obtidos para as cinco variáveis utilizadas como indicadores de performance.

Cenários	Média de Tempo total simulação [minutos]	Média de U média sistema(%)	Média de Número médio itens espera no gargalo (itens)	Média de Tempo médio de espera gargalo (minutos)	Média de WIP em todo sistema
0	51.399,59	31,90	1.256,95	21.543,74	4.999,75
1	51.227,57	31,04	1.243,40	21.236,05	4.999,75
2	62.395,29	53,89	702,55	14.846,00	4.906,15
3	50.438,05	32,48	1.225,90	21.019,16	4.700,60
4	51.982,85	32,60	1.174,25	20.350,64	4.999,75
5	51.333,67	30,92	1.311,02	22.434,26	4.999,75
6	53.430,61	30,32	1.257,68	22.400,71	4.999,75
7	50.234,69	31,49	1.238,37	21.149,03	4.643,34
8	56.089,02	38,95	973,89	18.532,70	4.840,17

Figura 12 – Dados coletados das simulações  
Fonte: Autor

## 5. Discussão

A discussão dos resultados será conduzida na forma de comparação entre agrupamentos de cenários de melhor e pior desempenho e em relação aos conceitos identificados na literatura.

## 5.1 Comparação dos cenários

O agrupamento alto desempenho (Os cenários 7 e 3), com tempos de simulação respectivamente de 50.234,7 minutos e 50.438,1 minutos, compõe o *cluster* de melhor desempenho de todos as possibilidades ensaiadas por esse projeto. Eles se caracterizam por serem configurados com lotes unitários de processamento, baixo tempo de setup em média (0,5 minutos, com variação de 10%), independentemente do sequenciamento escolhido (aleatório ou ordenado).

Ambos cenários apresentaram uma utilização média do sistema de aproximadamente 30% da sua capacidade produtiva, que foi o comportamento normal para praticamente todos cenários. O comportamento dos indicadores em relação ao gargalo do sistema produtivo não permitiu fazer nenhuma inferência sobre o alto desempenho desses cenários. Porém performance do indicador de *Work in process (WIP)* para o *cluster* de alto desempenho foi de 4643 itens em média para o cenário 7 e de 4700 itens em média para o cenário 3, o que também justifica o melhor desempenho dessas duas combinações dos três parâmetros de simulação, confirmando os menores tempos totais de simulação. A ilustração dos indicadores de desempenho está feito na Figura 12 para facilitar a visualização dos dados.

Cenários	Média de Tempo total simulação (minutos)	Média de U média sistema(%)	Média de Número médio itens espera no gargalo (itens)	Média de Tempo médio de espera gargalo (minutos)	Média de WIP em todo sistema
7	50234,69	31,49	1238,37	21149,03	4643,34
3	50438,05	32,48	1225,90	21019,16	4700,60

Figura 13 – Indicadores do *cluster* de alto desempenho  
Fonte: Autor

Os melhores cenários mostram que independentemente do sequenciamento de produção configurado, o alto desempenho está condicionado a combinação de lotes unitários com um baixo tempo de setup. O agrupamento de baixo desempenho, caracterizado pelo cenário 2, teve o tempo de simulação de 62.395,3 minutos e foi considerado o *cluster* de pior desempenho de todos as possibilidades ensaiadas por esse projeto. Ele se caracteriza por ser configurados com lotes unitários de processamento, alto tempo de setup em média (10 minutos, com variação de 10%), sem um sequenciamento de produção planejado, ou seja, sequenciamento aleatório.

Apresentou-se uma utilização média do sistema de aproximadamente 53% da sua capacidade produtiva, que foi a utilização mais alta entre todos os cenários. O comportamento dos indicadores em relação ao gargalo do sistema produtivo é bem curioso, o cenário 7 apresentou os menores índices do experimento. A performance do indicador de *Work in process (WIP)* para o *cluster* de alto desempenho foi de 4906 itens em média para o cenário 2, o que também justifica o pior desempenho dessa combinação dos três parâmetros de simulação, confirmando os menores tempos totais de simulação. Os indicadores de performance estão retratados na Figura 13.

Cenários	Média de Tempo total simulação (minutos)	Média de U média sistema(%)	Média de Número médio itens espera no gargalo (itens)	Média de Tempo médio de espera gargalo (minutos)	Média de WIP em todo sistema
2	62395,29	53,89	702,55	14846,00	4906,15

Figura 14 – Indicadores do *cluster* de baixo desempenho  
Fonte: Autor

Apesar dos lotes de produção serem unitários nesse caso, a interação entre o sequenciamento aleatório e o alto tempo de *setup* prejudica criticamente o desempenho desse cenário do sistema produtivo estudado.

## 5.2 Comparação com a literatura

Os resultados obtidos permitem comparação com o estabelecido na literatura, nesta seção analisados em relação a sistematização na forma de assertivas indicada na seção 2.3.

Em relação a assertiva 1, realmente o tempo de atravessamento em uma indústria organizada por processos depende do sequenciamento, do tamanho de lote e do tempo de *setup* como indica a comparação entre os resultados dos agrupamentos de alto e baixo desempenho. No entanto, o fator que se apresentou mais crítico para todo o sistema foi o tempo de *setup*, os cenários com tempos altos de *setup* foram os que tiveram pior desempenho e os melhores cenários foram ambos que foram programados com lote de produção unitário e tempo baixo de *setup*, independentemente do sequenciamento adotado o que contrasta em partes com o que é afirmado na assertiva 3.

Em relação a assertiva 2, o único autor que embasa citando um panorama completo, de que lotes pequenos de produção são vantajosos para a indústria desde que sejam programados

juntamente com tempos de setup baixos, é Shingo (1989). O restante dos autores falam apenas que lotes unitários ou pequenos são o melhor ajuste para o ambiente fabril, sendo que isso não é uma verdade absoluta visto que lotes pequenos aumentam a frequência das paradas de máquina e se nesse contexto o tempo de setup for alto, o sistema será gravemente prejudicado. Isso é confirmado pelo cenário dois desse projeto.

A assertiva de número 3, é em relação ao peso do sequenciamento correto de produção e diz que ele interage diretamente com o nível de utilização da planta e com o Work in process do sistema. O nível de utilização de quase todos os cenários foi aproximadamente 30%, a única alteração no % de utilização se deu no cenário 2 e não pode ser vinculado com o sequenciamento da job-shop. Para o caso do Work in process também não se pode afirmar que o sequenciamento da job-shop é crítico para a alteração desse indicador, visto que todos os cenários variaram entre 4643 unidades e 4999 unidades. Nesse caso o sequenciamento é sim um fator que altera o comportamento de um sistema produtivo, mas não se pode afirmar nada sobre como está configurado um sequenciamento que melhore significativamente a performance de um sistema.

A assertiva número 4 diz que quando o tamanho de lote é pequeno, assim como o tempo de setup o Work in process diminui. Comparando essas afirmações da literatura com os resultados encontrados nos cenários com melhor desempenho desse experimento, essa assertiva se confirma visto que os cenários 7 e 3, respectivamente, tiveram um work in process de 4643 unidades e 4700 unidades. Esses foram os que apresentaram os menores índices de Work in process de todo esse projeto.

Por fim, a assertiva 5, fala que mesmo que o lote de produção seja unitário, na operação gargalo os lotes de transferência deveriam ser maiores para poder diluir os tempos de preparação. Os dados de média de número médio de itens em espera para serem processados no gargalo e da média de tempo médio de espera para processamento no gargalo para todos cenários, poderiam ter seus índices melhorados se os lotes de transferência fossem maiores. Dessa maneira os tempos de preparação poderiam ser diluídos e então tempo de processamento seria mais significativo no tempo de ciclo.

Dessa maneira, fica claro que não existe uma relação linear entre os três fatores investigados que assumem uma relação de causa e efeito caracterizada na figura 15.

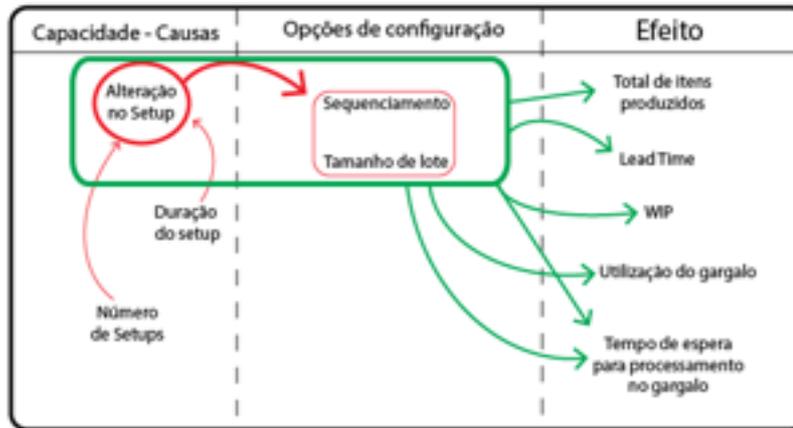


Figura 15 – Relação de Causa e efeito entre os parâmetros e indicadores de desempenho  
 Fonte: Autor

A alteração no tempo ou na quantidade de *setup* depende de um investimento maior, seja financeiro ou de pessoas. Na maioria dos casos a empresa simplesmente tem capacidade de fazer um *setup* rápido, como uma troca rápida de ferramentas por exemplo, ou não tem, não é uma questão de opção ou planejamento. Já no caso do dimensionamento do tamanho do lote e do sequenciamento da produção, a empresa tem condições de alterar esses parâmetros baseando-se apenas em inteligência relacionada ao planejamento e controle da produção.

## 6. Conclusão

O objetivo geral desse estudo foi avaliar o impacto da variação em parâmetros de sistemas de manufatura nas suas medidas de performance. Foram estudados, em ambiente de simulação, os parâmetros tamanho de lote, e tempo de *setup* das operações e as medidas de performance utilização, *Work in process* e o *tempo de processamento* em um sistema produtivo composto por nove células de manufatura, coletivamente organizadas por processo (*job-shop*).

A literatura consultada retrata que uma das principais variáveis que interferem no desempenho de um sistema de manufatura é o tamanho de lote em processamento (TUBINO, 2009; RITZMAN E KRAJEWSKI 2009; GODINHO et al, 2010). Lotes grandes de produção tem um tempo elevado de atravessamento do sistema produtivo em relação a lotes menores de produção, no entanto existe a desvantagem de que quando os lotes são pequenos as preparações de máquina (*setup*) são mais frequentes (KRAJEWSKI, 2009). Para monitorar o bom desempenho, ou não, do sistema produtivo a partir da alteração de variáveis como o tamanho de lote e o tempo de *setup*, muitas indústrias usam como um indicador de

performance de produção a utilização e o número de inventário em processo (*Work in process*) (SLACK, 1997).

Os resultados desse estudo indicam que o desempenho de um sistema produtivo arranjado em um job-shop é criticamente alterado pela interação entre os fatores de tamanho de lote e de tempo de setup, o sequenciamento da produção não foi tratado como um fator decisivo pela análise desse experimento. Mesmo que o nível de criticidade do tamanho de lote e do tempo de setup seja maior para o sistema, a variação no sequenciamento de produção também interage, de maneira não linear, com o desempenho da indústria estudada.

Quanto maior for o tempo de setup da job shop, mais negativo será o impacto na sua performance. Porém se o tempo de preparação for grande e os lotes de produção também, constrói-se um cenário melhor do que se os lotes de produção forem mínimos e os tempos de setup forem grandes.

Os melhores resultados encontrados por essa modelagem foi em condição de lotes unitários e tempos baixos de setup (0,5 minutos com uma variação de 10%), a alteração no sequenciamento da job-shop não se mostrou tão significativa para os resultados. Isso leva a concluir que para uma empresa que esteja arranjada dessa maneira é muito mais válido investir-se para diminuir os tempos de setup do que investir em inteligência ou tecnologia para otimizar o sequenciamento de produção. Se fosse elencado um nível de prioridade para melhorias para uma indústria real desses três fatores, sem dúvidas o primeiro a ser trabalhado seria o tempo de preparação das máquinas, tanto em relação de diminuir o tempo de setup quanto as quantidades de paradas. Em segundo lugar os esforços deveriam ser alocados para diminuir o tamanho dos lotes produtivos, visando assim poder atender todas as sazonalidades do mercado e alterações na demanda se tornando uma fábrica extremamente flexível e em última posição de prioridade surgiria o fator do sequenciamento da produção para ser melhorado.

Como uma ideia para projetos futuros e sequência desse trabalho, sugere-se que seja estudada a relação entre os três fatores (tempo de setup, tamanho de lote e sequenciamento de produção) que visivelmente não é uma relação linear ou ainda, estudar essa mesma estrutura produtiva com lotes de transferência não unitários.

## 7. Referências

BERTO, R.M.v.S., NAKANO, D. N. **A Produção Científica nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Um Levantamento de Métodos e Tipos de Pesquisa.** Produção, v. 9, n. 2, p. 65-76, 2000.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. **Modeling and Simulation: Operations Management Research Methodology Using Quantitative Modeling.** International Journal of Operations and Production Management, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002

CHASE, JACOBS. - **Operations and Supply Chain management**, 13th edition (2011) - The Mcgrall-Hill Companies, Inc. New York, New York 10020

CHWIF, L. & MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações.** São Paulo: Ed. dos Autores, 2006.

CONCEIÇÃO, S.V. **Otimização do fluxo de materiais através da manufatura celular** Revista Produção, v. 15, n. 2, p. 235-250, mai-ago 2005

CORRÊA, HENRIQUE L., 2016 - **Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/ERP: conceitos, uso e implementação: base para SAP, Oracle Applications e outros softwares integrados de gestão** - Henrique L. Correa, Irineu G. N. Gianesi, Mauro Caon - 5 ed – Atlas 2016

CORRÊA, HENRIQUE L., - **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica** - Henrique L. Correa, Carlos A. Correa - 2 ed - 5 reimpressao - Sao paulo: Atlas 2010

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações.** 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

GODINHO FILHO, M.; UZSOY, R. **Estudo do efeito de programas de melhoria contínua em variáveis do chão de fábrica na relação entre tamanho de lote de produção e lead time.** Gest. Prod., São Carlos, v. 17, n. 1, p. 137-148, 2010

GOLDRATT, E.M. **Standing on the Shoulders of Giants – Production concepts versus production applications The Hitachi Tool Engineering example.** Gest. Prod. , São Carlos, v. 16 n. 3, p. 333-343, jul-set. 2009

HARREL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. O. **Simulation using ProModel, Third Edition.** Singapore: McGraw Hill, 2012.

KARIMI, B. et al. **The capacitated lot sizing problem: A review of models and algorithms.** Omega - International Journal of Management Science, v. 31, p. 365-378, 2003.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. **Administração da produção e operações.** – 8 ed - São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LAMBRECHT, M. R.; VANDAELE, N. J. **A General Approximation for the Single Product Lot Sizing Model with Queueing Delays.** – European Journal of Operational Research - v. 95, p. 73-88, 1996.

LAW, A. M.; KELTON, D. W. **Simulation modeling and analysis.** 3.ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

LAW, A. M. **How to conduct a successful simulation study** - Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference - S. Chick, P. J. Sánchez, D. Ferrin, and D. J. Morrice, eds., 2003.

MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MIGUEL, P.A.C. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução.** Produção, v. 17, n. 1, p. 216-229, Jan./Abr. 2007

MOKOTOFF, E. **Parallel machine scheduling problems: a survey.** Asia-Pacific Journal of Operational Research 18 (2001) 193-242

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de produção: uma abordagem Integrada ao Just-in-time.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 552 p.

OHNO, TAIICHI - **O Sistema Toyota de produção: Além da produção em larga escala** - Taichii Ohno trad Cristina Schumacher - Porto Alegre, 1997

PACHECO, D. A. J.; LACERDA, D. P.; JUNG, C.; JUNIOR J.A.V.A. **Balaceamento de fluxo ou balanceamento de capacidade? Análises e proposições sistêmicas.** Gest. Prod., São Carlos, v. 21, n. 2, p. 355-367, 2014

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** Florianópolis: UFSC, 2001.

SILVA, W. A.; GALHARDO, M. R.; MONTEVECHI, J. A. B. **Otimização de uma célula de manufatura utilizando simulação computacional.** Anais XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Florianópolis, 2004.

SHINGO, SHINGEO. **A study os the toyota production sistem from an industrial engineering viewpoint** - Productivity Press, Inc 1989

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção** – 1 ed – São Paulo: Editora Atlas, 1997.

SOARES, L. F. G. **Modelagem e simulação discreta de sistemas.** São Paulo: IME-USP, 1990.

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção: Teoria e prática** - 2 ed. – São Paulo: Atlas, 2009