

ANÁLISE DO IMPACTO DOS TEMPOS DE INSPEÇÃO E CAPACIDADE PRODUTIVA ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS EM UMA EMPRESA AUTOMOBILÍSTICA

Tábata Fernandes Pereira

Universidade Federal de Itajubá
Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG
tabatafp@gmail.com

José Arnaldo Barra Montevechi

Universidade Federal de Itajubá
Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG
montevechi@unifei.edu.br

Jonathan Daniel Friend

Universidade Federal de Itajubá
Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG
daniel.friend1@gmail.com

RESUMO

A simulação a eventos discretos vem sendo utilizada de forma crescente para auxílio a tomada de decisão nas mais variadas áreas do conhecimento. Esse artigo faz uma aplicação real de um projeto de simulação em um ambiente de manufatura, utilizando a metodologia *Soft System Methodology* para identificar os objetivos a serem estudados. Com auxílio da simulação, pode-se responder as questões de pesquisas identificadas com a SSM, que consistiam em apresentar a empresa sua capacidade produtiva e verificar o impacto da variação do tempo de inspeções e a influência de um preparador de materiais no total produzido. A pesquisa foi conduzida pelo método de pesquisa Modelagem e Simulação. Os resultados alcançados permitiram apresentar dados importantes para a empresa, nos quais serviram de apoio à tomada de decisão.

PALAVRAS CHAVE: Simulação a eventos discretos, soft system methodology, manufatura,

Área principal: SIM, Simulação.

ABSTRACT

Discrete-event simulation (DES) has come to be known as a capable tool for aiding in decision-making processes in a wide range of knowledge areas. This article presents a real-world application of a discrete-event simulation project in a manufacturing environment using the complex problem-solving methodology known as Soft Systems Methodology (SSM) in order to identify the project's objectives. Through the use of simulation, researchers were able to respond to the quantitative questions identified using the qualitative approaches in SSM. These questions involved validating the line's throughput capacity, quality-inspection routine time intervals and the influence of an extra employee to serve as a material preparer and enable the constant utilization of certain machines. The study was conducted using the methodology Modeling and Simulation. The results obtained enabled the presentation of all of the data regarding the questions identified with SSM, which the company has evaluated and will use to make decisions shortly.

KEYWORDS: Discrete events simulation, soft system methodology, manufacturing,

Main area: SIM, Simulation.

1. Introdução

A simulação a eventos discretos tem sido empregada de forma crescente para auxiliar a tomada de decisões através da modelagem, análise e projeto de sistemas, a fim de caracterizar o impacto de mudanças de parâmetros no desempenho desses sistemas (BANKS *et al.*, 2005; GARZA-REYES *et al.*, 2010; SARGENT, 2009).

Law e McComas (1998) afirmam que a modelagem de sistemas de manufatura para simulação é utilizada desde os primórdios da década de 1960 e tornou-se uma das técnicas mais populares e adequadas para analisar sistemas complexos de manufatura (BANKS *et al.*, 2005).

No decorrer de uma pesquisa de simulação, analistas, modeladores, gestores e clientes do projeto de simulação, ganham um maior entendimento do sistema sob estudo (SARGENT, 2010). Chwif e Medina (2010) acreditam que a fase de concepção é a parte mais difícil do processo de simulação. A fase concepção é considerada a mais importante, na qual os objetivos do modelo e as definições do sistema são estabelecidos. Se essas informações não são definidas corretamente, nas fases posteriores a ela certamente ocorrerão falhas.

Nesse trabalho, para realizar com precisão a fase de concepção foi utilizada a metodologia *Soft System Methodology* (SSM). A SSM é uma técnica usada para lidar situações complexas, nas quais os problemas não são identificados ou são vistos de perspectivas diferentes pelos vários integrantes do sistema (CHECKLAND, 1999). A SSM serviu para identificar os objetivos do trabalho.

Dessa forma, a partir dessa técnica chegou-se aos seguintes objetivos para este trabalho: verificar a capacidade produtiva da linha, identificar o impacto dos tempos de inspeção na produção e, por fim, analisar a influência do preparador de materiais no total produzido.

O presente trabalho está organizado em quatro seções. A primeira apresenta a fundamentação teórica sobre a simulação a eventos discretos. A segunda apresenta o método de pesquisa utilizado no desenvolvimento do trabalho. A terceira seção apresenta a aplicação do método e os resultados obtidos. Por fim a quarta seção traz as conclusões gerais desse trabalho.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Simulação a eventos discretos

A simulação computacional é a representação de um sistema real através de um modelo utilizando um computador, trazendo a vantagem de se poder visualizar esse sistema, implementar mudanças e responder a questões do tipo “o que aconteceria se” (*what-if*), minimizando custos e tempo (MORABITO NETO e PUREZA, 2012). Desse modo, o objetivo da simulação é estudar o comportamento de um sistema, sem que seja necessário modificá-lo ou mesmo construí-lo fisicamente.

De acordo com Harrel, Ghosh e Bowden (2004), a simulação pode ser definida como “a imitação de um sistema dinâmico usando um modelo computacional para avaliar e melhorar o desempenho deste sistema”. Para Banks (1998), a simulação envolve a “criação de uma história artificial de um sistema real ao longo do tempo e a observação desta história artificial para fazer inferências a respeito das características da operação do sistema real representado”. Adicionalmente, Shannon (1998) apresenta as seguintes vantagens para o uso da simulação:

- Possibilidade de testar leiautes e projetos sem comprometer recursos para a implantação,
- Pode ser utilizada para explorar novas políticas de estoque, procedimentos operacionais, regras de decisão e fluxo de informações, sem interrupção do sistema real,
- Permite o controle do tempo, uma vez que se pode executar o modelo simulado por vários meses ou anos em questão de minutos, permitindo uma rápida análise ao longo do tempo ou desacelerar um fenômeno para compreender melhor,

- Permite identificar gargalos no fluxo de informações, materiais ou produtos e testar opções para aumentar a taxa de fluxo,

- Permite adquirir conhecimento de como o sistema modelado realmente trabalha e compreender quais variáveis são importantes para seu desempenho.

Banks *et al.* (2005) e Law e Kelton (2000) ressaltam que apesar das vantagens que a simulação apresenta, esta também possui algumas desvantagens: os modelos de simulação são, em geral caros e consomem tempo para serem desenvolvidos, se um modelo não for a representação adequada de um sistema, sua real utilidade será mínima, a construção de modelos requer treinamento especial, a modelagem e a análise podem tomar muito tempo, entre outras desvantagens.

Desde sua origem, a simulação tem sido apropriada para auxiliar as tomadas de decisão. Segundo Siebers (2006), a simulação é geralmente reconhecida como um auxílio valioso a tomada de decisões estratégicas e táticas, que são requeridas no estágio de avaliação dos projetos dos sistemas de manufatura. Para Baines *et al.* (2004), a simulação permite que os sistemas sejam modelados além de produzir melhores previsões de desempenho.

Autores como Banks *et al.* (2005), O'kane, Spenceley e Taylor (2000) afirmam que a simulação tem se tornado uma das técnicas de pesquisa mais populares para se analisar problemas complexos em ambientes de manufatura.

3. Metodologia de Pesquisa

O trabalho aqui desenvolvido usa a metodologia Modelagem e Simulação. A Modelagem e Simulação é o processo de criar e experimentar um sistema físico através de um modelo matemático computadorizado (CHUNG, 2004). Alguns propósitos de se conduzir uma pesquisa através da Modelagem e Simulação de sistemas são: conhecer mais a fundo a forma de operação do sistema, desenvolver políticas operacionais e recursos para aperfeiçoar o desempenho do sistema, testar novos conceitos e/ou sistemas antes de implementá-los e obter informações sem alterar o sistema atual (MORABITO NETO e PUREZA, 2012).

Para representar a lógica de um projeto de simulação, utilizou-se o método proposto por Montevechi *et al.* (2010). Este método divide-se em três etapas: concepção, implementação e análise. Sendo cada uma das etapas compostas por um determinado número de atividades apresentadas na Figura 1.

Um projeto de simulação inicia-se com a fase de **concepção**, na qual os pesquisadores conhecem o processo a ser simulado, delimitam o sistema, definem os objetivos da pesquisa, o escopo e o nível de detalhe para o modelo (ROBINSON, 2008). Ao longo da etapa de concepção é elaborado o modelo conceitual, que é uma abstração da realidade que é feita utilizando alguma ferramenta de mapeamento de processo. Law (1991), Robinson (2008) e Chwif e Medina (2010) constatarem que a modelagem conceitual é, provavelmente, a parte mais difícil do processo de desenvolvimento de modelos de simulação.

Tendo construído o modelo conceitual, este deve passar pela validação, de modo a evitar que acarrete erros nas etapas posteriores. Validado o modelo conceitual, as variáveis de entrada e de saída do modelo são determinadas, os pontos de coleta de dados são identificados e por fim, os dados necessários são coletados e ajustados a uma distribuição de probabilidade.

Com isso, tem início a fase de **implementação**. Nesta fase, é construído o modelo computacional (SARGENT, 2010), em que os analistas utilizam um *software* de simulação para construir o modelo. Construído o modelo computacional, o analista deve verificar e validar a capacidade do modelo em simular a realidade. Os passos de validação e verificação são importantes para pesquisas de simulação (SARGENT, 2010). Um modelo é considerado validado quando possui a exatidão necessária para cumprir as metas do modelo.

Após a validação, os resultados dos modelos são analisados, chegando a última etapa do projeto de simulação, a etapa de **análise**. Nessa fase, são efetuadas várias rodadas do modelo e os resultados da simulação são analisados e documentados. A partir dos resultados, conclusões e recomendações sobre o sistema podem ser feitas. Caso necessário, o modelo pode ser modificado, e este ciclo reiniciado (PAIVA *et al.*, 2009).

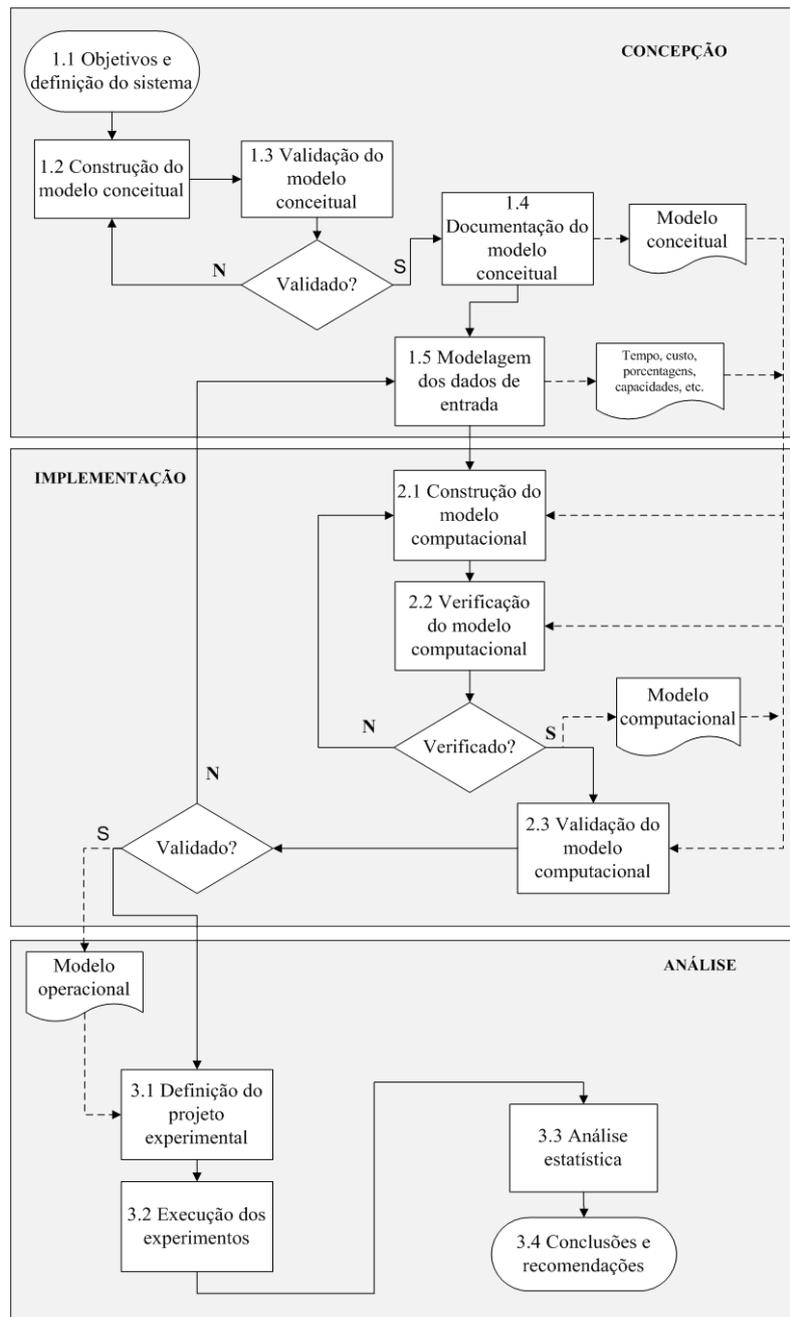


Figura 1 – Fases de um projeto de simulação
Fonte: Montevechi *et al.* (2010)

4. Objeto de estudo

O objeto de estudo deste trabalho é uma empresa multinacional do setor automobilístico, que possui uma fábrica no Brasil. A empresa abastece a maioria das montadoras de componentes e peças, além de ter uma presença considerável no mercado regional e internacional. A investigação examinou toda linha de produção da empresa, a qual é composta por um sistema puxado, possuindo máquinas manuais e automáticas, inspeções de qualidade realizadas pelo departamento de qualidade e operadores na linha de produção. Os nomes dos processos e detalhes da empresa foram omitidos por questões de confidencialidade, de acordo com o pedido da empresa.

Um estudo mais profundo na fase de concepção foi realizado. Para fazer a identificação correta das definições do sistema e da identificação dos objetivos, utilizou-se a metodologia

SSM. Assim, serão apresentadas as fases que correspondem a Figura 1 de Montevechi *et al.* (2010) e o procedimento adotado em cada uma delas, durante o estudo do sistema.

5. Desenvolvimento da metodologia

A fase inicial do projeto de simulação é a concepção, considerada a principal fase de um projeto, como já citado anteriormente por alguns autores. De acordo com a sequência de passos mostrada na Figura 1, a fase de concepção se inicia com a definição do sistema a ser simulado e com a definição do objetivo do estudo de simulação. Dessa forma, será apresentada a fase inicial de um projeto de simulação para o estudo proposto.

5.1 Concepção

5.1.1 Objetivos e definição do sistema

Para este projeto, o maior interesse da empresa era a modelagem da capacidade produtiva da linha, porém existiam dúvidas sobre o escopo e o nível de detalhe do projeto. Durante reuniões e entrevistas várias ideias foram exploradas com a gerência e funcionários sobre os papéis dos operadores, das máquinas dos inspetores, de qualidade, dos preparadores de máquinas e dos almoxarifes, os processos de monitoramento e controle e as restrições sob as quais eles têm que trabalhar. Três sistemas distintos foram identificados: Produção, Logística Interna e Qualidade, conforme apresentado na Figura 2.

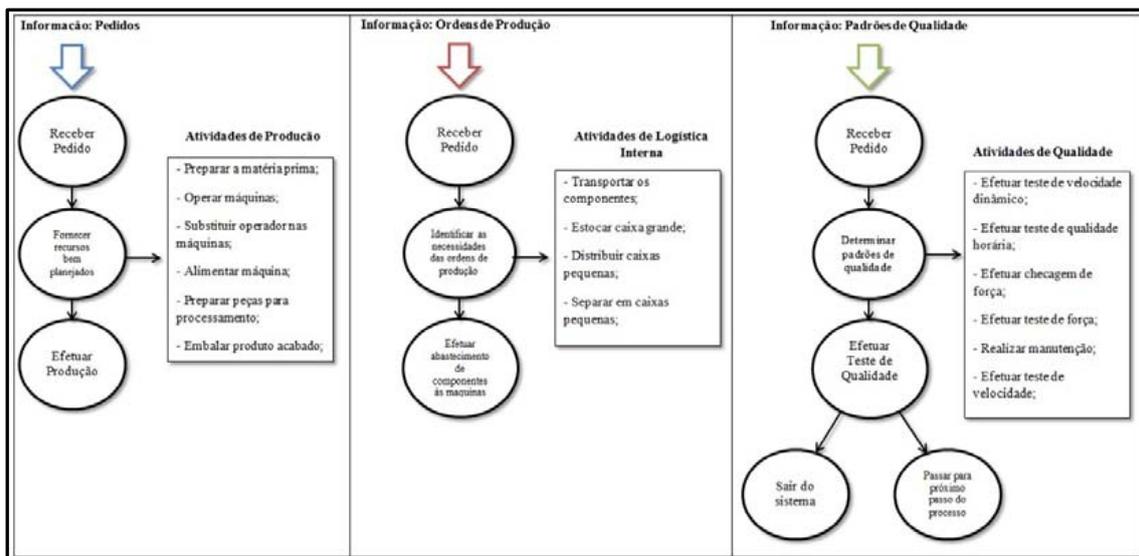


Figura 2 – Sistemas identificados para o modelo em estudo

Através das conversas e reuniões, conseguiu-se identificar três sistemas distintos: o sistema da linha de produção (o sistema principal), o sistema de inspeção e qualidade (um sistema secundário) e o sistema de logística interna (um sistema secundário). Dessa forma, com o auxílio na metodologia SSM, o estudo deste trabalho se concentrou na criação de um modelo de simulação para responder as seguintes questões:

1. Qual é a capacidade produtiva da linha de produção, levando-se em consideração as condições atuais do sistema?
2. Qual o impacto do intervalo de tempo entre as inspeções de qualidade no total produzido?
3. A presença dos preparadores de materiais no sistema incrementam o total produzido?

5.1.2 Construção e validação do modelo conceitual

Para este trabalho, os pesquisadores traduziram as atividades mostradas na Figura 2 em um modelo conceitual, usando a técnica de modelagem IDEF-SIM (LEAL, 2008).

O IDEF-SIM é uma técnica de modelagem conceitual, que inclui uma simbologia que representa os componentes existentes em muitos pacotes de simulação, tais como lógica do processo, recursos, regras e transporte (LEAL, 2008). Ao final da elaboração do modelo conceitual, os pesquisadores solicitaram uma reunião com todos os membros envolvidos, na qual eles explicaram o modelo inteiro, desde o início até o fim, detalhando cada atividade, transporte e recurso. Dessa forma, o mesmo foi validado através da técnica face a face segundo a qual os especialistas do sistema compreenderam o modelo como correto (SARGENT, 2009). Com o modelo conceitual validado passou-se para a etapa seguinte.

5.1.3 Modelagem dos dados de entrada

Após a conclusão e validação o modelo conceitual passou-se para a etapa de modelagem dos dados de entrada, esta etapa é composta por três passos: coleta dos dados, tratamento dos dados e inferência.

Na empresa alvo desse estudo, os dados do processo de produção são coletados pelo sistema que está ligado diretamente nas máquinas por um aparelho que copia as informações dos programas das máquinas e envia para o banco de dados. Com todos estes registros é possível gerar relatórios sobre a quantidade de peças produzidas por hora, a quantidade de peças perdidas, identificar o funcionário que está produzindo mais e quais os motivos de paradas que mais atrapalham a produção.

Os tempos de deslocamento dos funcionários foram coletados através de observação e cronometragem. Para os demais pontos de coletas que foram identificados a empresa já possuía dados históricos armazenados em planilhas ou banco de dados, dessa forma a gerência autorizou que esses dados fossem utilizados pelos pesquisadores.

Feita a coleta é necessário tratar os dados. Para esse tratamento é feita uma análise estatística dos dados, seguindo as seguintes etapas:

- Tirar observações incomuns (*Outliers*),
- Identificar uma família de distribuições que descrevem o processo (ex.: normal),
- Estimar os parâmetros do fenômeno (média, moda, desvio padrão),
- Realizar testes de hipóteses para determinar o ajuste da distribuição e seus parâmetros.

Os dados coletados foram analisados usando o *software* de análise estatística *Minitab*®. Para cada conjunto de dados as observações incomuns foram eliminadas, um relatório, juntamente com um histograma e um gráfico *boxplot*, foi gerado para representar visualmente as amostragens. A partir desses conjuntos de dados depurados, foi possível usar o *software* *StatFit*® para estimar as distribuições de cada processo e identificar os parâmetros para cada distribuição.

5.2 Implementação

5.2.1 Construção do modelo computacional

Após a definição do modelo conceitual e os tempos de processamentos envolvidos em cada operação, foi definido o *software* a ser utilizado para a construção do modelo computacional. Escolheu-se o *Promodel*® devido a sua aceitação científica e seus recursos de animação. A construção iniciou-se com um modelo simples que depois foi sendo adaptado, conforme necessidades. Após 14 versões, chegou-se à versão final, que representava, de maneira fiel, a realidade da linha de produção (Figura 3).

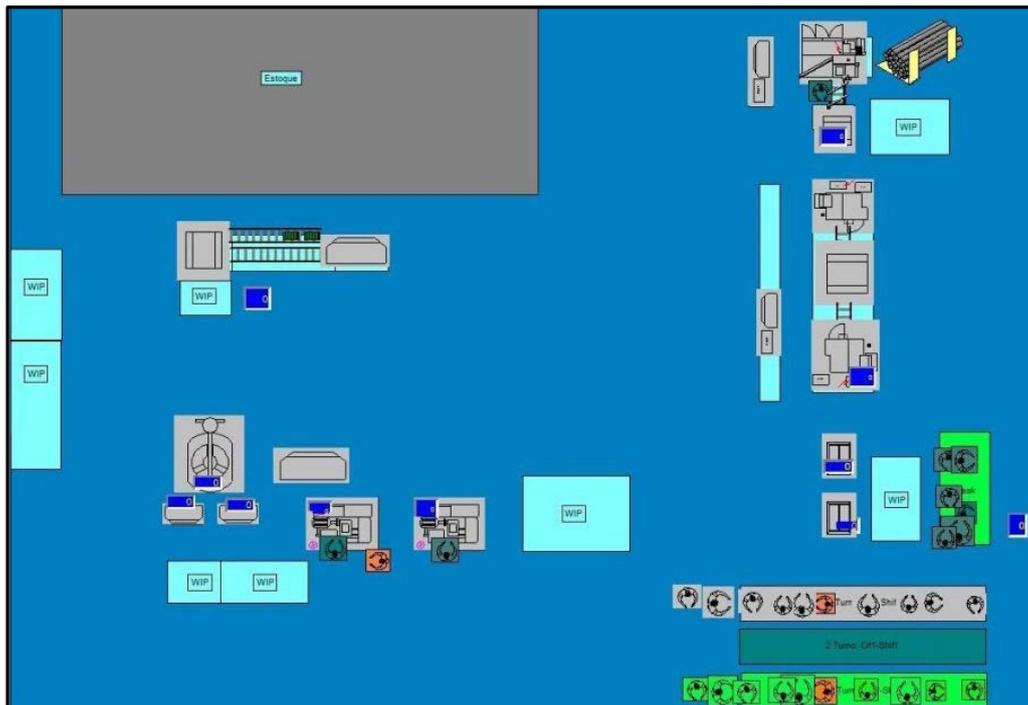


Figura 3 – Tela do modelo computacional

5.2.2 Verificação do modelo computacional

Segundo Sargent (2009), a verificação de um modelo é definida ao assegurar-se que o programa computacional e sua implementação estão corretos. Neste trabalho, a verificação foi feita através dos recursos do *Promodel*®. Dessa forma, pode-se verificar analisando a lógica do modelo e comparando com o modelo conceitual para que erros pudessem ser corrigidos.

5.2.3 Validação do modelo computacional

A validação do modelo computacional é definida como a determinação de que o comportamento do modelo simulado detém precisão suficiente para representar o modelo real no qual está simulando. Desta forma, se o modelo não é uma aproximação bastante próxima do sistema real, todas as conclusões vindas deste, estarão expostas a erros e poderão resultar em decisões incorretas (SARGENT, 2009). Para Banks *et al.* (2005), a etapa de validação deve ser executada até que o modelo possua a precisão desejada pelos analistas de simulação.

O modelo construído foi validado estatisticamente usando um teste *t* (*Two-Sample t*) para comparar valores de produção do ano anterior, selecionados aleatoriamente de uma população de dados com uma distribuição normal. O modelo se mostrou estatisticamente robusto para simular a variabilidade do sistema de produção, permitindo assim usar o modelo para prever a capacidade produtiva e avaliar os objetivos do estudo.

5.3 Análise e discussão dos resultados

De posse de um modelo de simulação verificado e validado para representar a linha de produção, pode-se utilizar este modelo para testar e avaliar percepções de melhorias ou cenários para expansão da capacidade produtiva para o sistema, evitando o processo de tentativa e erro.

Chung (2004) alerta que, devido ao fato dos resultados da simulação apresentar variações, é inapropriado tirar conclusões em cima de uma única execução da simulação. Segundo Leal (2008), para reduzir as chances de uma recomendação errada após a experimentação, é necessário executar certo número de replicações e então, basear as recomendações em todos os dados disponíveis.

Ainda segundo este autor o número de dados da amostra pode ser entendido como o número de replicações utilizadas. O aumento da precisão (redução do tamanho do intervalo) pode ser obtido através do aumento do número de replicações. Dessa forma, para este trabalho foi

realizada uma pré-amostragem com 10 rodadas do modelo de simulação, para então se efetuar o cálculo da quantidade necessária de replicações para o estudo.

Os cálculos foram realizados tomando-se por base um nível de confiança de 95% e uma taxa de erro admissível igual a 1% do valor médio das 10 replicações realizadas. Obteve-se assim, que o número de réplicas apontado pelo cálculo foi inferior às replicações já realizadas. Dessa forma adotou-se o número de replicações como sendo igual a 10.

Para o modelo em estudo, foi utilizado um total de 10 replicações referentes a uma semana, considerou-se um período de uma semana devido ao fato que a empresa possui controles de produção semanais, sendo assim pode-se analisar a capacidade produtiva do cenário atual, respondendo a primeira pergunta de pesquisa desse trabalho.

Com a realização das 10 réplicas pode-se estimar o total produzido pela empresa durante uma semana, sendo este igual a 57564 peças produzidas em média. Utilizando os valores para o total produzido referente a 10 replicações e utilizando um nível de confiança de 95%, pode-se construir o intervalo de confiança para a média, que para este caso se situou entre 57520 e 57597 peças por semana. Este caso corresponde ao cenário atual da linha de produção, com inspeções de qualidade sendo realizadas a cada hora e com um operador dedicado para a realização das preparações das máquinas.

Respondida a primeira questão, pode-se passar para a pergunta referente ao impacto dos tempos de inspeção no total produzido. Para responder a esta questão, foram criados três cenários com variações de tempos de inspeção. No primeiro cenário, as inspeções eram realizadas a cada 30 minutos de máquina em operação, no segundo cenário, as inspeções eram realizadas a cada 90 minutos, e por fim no terceiro cenário, as inspeções eram realizadas a cada 120 minutos. Os valores desses cenários foram comparados com o cenário atual, no qual as inspeções eram realizadas a cada 60 minutos. Os resultados obtidos com a realização dos quatro cenários são apresentados na Tabela 1.

Com base nos dados da Tabela 1, pode-se, com auxílio de testes de hipóteses, comprovar que existe um aumento de produção, quando há um deslocamento do primeiro cenário até o último. Por meio da ANOVA, pode-se constatar que as médias dos conjuntos de dados de cada cenário são diferentes, e, posteriormente, com a realização do Teste *t* pode-se verificar que a produção, quando a inspeção é realizada a cada 120 minutos, é maior que o total produzido nos demais cenários, sendo o cenário 1 (inspeções a cada 30 minutos) o de menor produção.

Tabela 1 – Total produzido *versus* variação do intervalo de inspeção das peças

	Intervalo de Inspeção			
	Cenário 1 (30 min)	Cenário Atual (60 min)	Cenário 2 (90 min)	Cenário 3 (120 min)
Peças Produzidas	57078	57456	57780	57834
Peças Produzidas	57348	57564	57780	57834
Peças Produzidas	57078	57564	57780	57834
Peças Produzidas	57024	57510	57780	57834
Peças Produzidas	57402	57618	57780	57834
Peças Produzidas	57294	57564	57780	57834
Peças Produzidas	57024	57618	57726	57780
Peças Produzidas	57402	57618	57726	57780
Peças Produzidas	57348	57564	57780	57834
Peças Produzidas	57348	57510	57780	57834
Média	57235	57559	57769	57823
Desvio padrão	162	54	23	23
IC (95%)	57119-57350	57520-57597	57753-57785	57807-5783

De posse desses dados, pode-se responder a segunda questão de pesquisa desse trabalho: Qual o impacto do intervalo de tempo entre as inspeções de qualidade no total produzido?

Com as informações contidas na Tabela 1, percebe-se que quando há um aumento no intervalo de tempo entre as inspeções na linha, também há um aumento no total produzido. Percebe-se assim que a variação do tempo de inspeção influencia diretamente o total produzido. A decisão a ser tomada com relação a qual tempo adotar para a linha de produção ficou sob responsabilidade dos diretores da empresa, que devem levar em consideração não só a quantidade produzida, mas o nível de qualidade de seu produto final.

Respondida a segunda questão desse trabalho, passou-se para a última pergunta de pesquisa, na qual os diretores da empresa desejavam saber se os preparadores de materiais influenciavam ou não o total produzido.

Para responder a esta questão, foram criados outros 4 cenários sem a presença do preparador de materiais, para que dessa forma a análise da influência do mesmo no sistema fosse analisada. As atividades do preparador de materiais foram repassadas aos demais operadores da linha, conforme divisão realizada pela direção da empresa. Os cenários construídos mantiveram como no caso anterior, os mesmos intervalos de inspeção, de modo que fosse possível comparar os cenários novos com os antigos. Os resultados obtidos com a realização dos quatro cenários são apresentados na Tabela 2.

Testes de hipóteses semelhantes aos utilizados anteriormente foram realizados para responder a última questão de pesquisa deste trabalho. Com o uso da ANOVA pode-se verificar que os totais produzidos em cada cenário são diferentes e com o Teste *t* constatar que existe um incremento de produção, quando há um deslocamento do primeiro cenário até o último, o que corrobora com a resposta dada a questão anterior, mesmo sem o preparador de materiais o total produzido aumenta, quando se aumenta o intervalo entre inspeções.

Por fim, como forma de se avaliar o impacto da retirada do preparador de materiais foi realizado um teste de hipótese *Paired t*, confrontando os totais produzidos dos cenários em que o preparador de materiais esteve presente (Tabela 1) com os totais produzidos sem sua presença (Tabela 2), avaliando aí sua influência na produção total. Com a realização do teste pode-se confirmar que os cenários em que o preparador de materiais esteve presente possuem média maior que os cenários sem a presença do preparador. Com isso, pode-se afirmar que a presença de operador impacta de forma positiva no aumento do total produzido pela linha.

Tabela 2 – Total produzido sem preparador *versus* variação do intervalo de inspeção das peças

	Intervalo de Inspeção			
	Cenário 1 (30 min)	Cenário 1 (30 min)	Cenário 1 (30 min)	Cenário 1 (30 min)
Peças Produzidas	57078	57240	57780	57726
Peças Produzidas	57078	57240	57672	57726
Peças Produzidas	57024	57240	57672	57780
Peças Produzidas	57078	57348	57726	57726
Peças Produzidas	57024	57348	57510	57780
Peças Produzidas	57024	57348	57672	57726
Peças Produzidas	57078	57510	57780	57834
Peças Produzidas	57024	57456	57726	57834
Peças Produzidas	57024	57348	57672	57780
Peças Produzidas	57024	57402	57510	57726
Média	57046	57348	57672	57764
Desvio padrão	28	92	95	44
IC (95%)	57026-57066	57282-57414	57604-57740	57732-57796

A Figura 4 apresenta o valor médio produzido em cada um dos cenários gerados. Pela análise da figura pode-se verificar o comportamento de crescimento da produção com o aumento no tempo de inspeção, bem como a diferença no total produzido entre os cenários com e sem preparador.

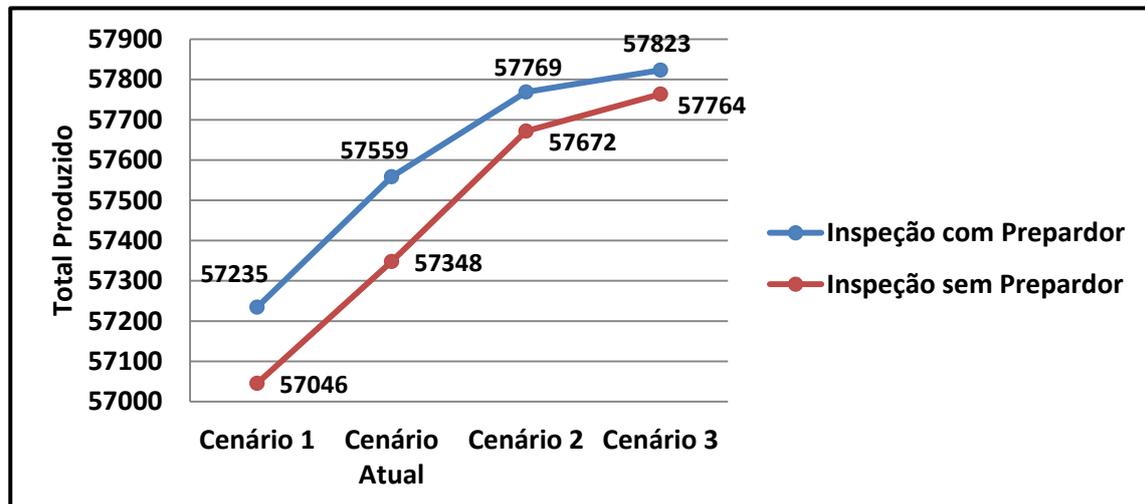


Figura 4 – Total produzido por cenário

6. Conclusão

O trabalho aqui desenvolvido teve como objetivo responder a três questões de pesquisa aos diretores de uma empresa do setor automobilístico, através do uso da simulação a eventos discretos. Ao início deste trabalho, foi utilizada a metodologia SSM (*Soft System Methodology*) para realizar a identificação dos objetivos do estudo, na primeira fase de um projeto de simulação. Após esse estudo, chegou a três questões de pesquisa:

1. Qual é a capacidade produtiva da linha de produção, levando-se em consideração as condições atuais do sistema?
2. Qual o impacto do intervalo de tempo entre as inspeções de qualidade no total produzido?
3. A presença dos preparadores de materiais no sistema incrementam o total produzido?

Para responder a essas questões foi necessário construir um modelo computacional que representasse fielmente os processos executados no dia a dia da empresa. Para tal, todos os passos do método de pesquisa, aqui utilizado, foram seguidos levando a elaboração de um modelo computacional verificado e validado.

De posse do modelo construído e validado pode-se passar para a etapa de análise, visando responder aos gestores da empresa, as questões de pesquisa levantadas. A primeira questão que pode ser respondida foi o dimensionamento da capacidade produtiva da empresa. Inicialmente o número de replicações necessárias para o estudo foi calculado, admitindo-se um nível de confiança de 95% e um erro máximo de 1% do valor da média, valores esses amplamente utilizados na literatura. Com isso, chegou-se ao número de 10 replicações. Com as replicações realizadas no modelo de simulação, pode-se estimar a capacidade produtiva da empresa dentro de um intervalo de confiança de 95%, situado entre 57520 e 57597 peças por semana. A determinação da capacidade de produção em semana se deu devido aos controles de produção da empresa serem todos semanais.

Para responder a questão referente ao impacto do tempo de inspeção na produção, foram propostos 3 cenários com variações desses tempos. O primeiro cenário consistiu em reduzir o intervalo de tempo entre inspeções (a cada 30 minutos) e nos outros dois cenários esse intervalo foi aumentado (90 minutos e 120 minutos). Os resultados alcançados foram comparados por meio de testes de hipóteses com o valor produzido no sistema atual (inspeções a cada 60

minutos). Pode-se concluir que a produção aumenta com o aumento do tempo de inspeção. No entanto, há de se ressaltar que o aumento no intervalo de tempo de inspeção pode trazer impacto negativo para a qualidade de produtos, caso a linha não seja capaz de identificar problemas antes da realização da inspeção e possa agir corretivamente. Outra questão a ser avaliada é se o aumento no total produzido com o maior espaçamento entre as inspeções compensaria os riscos aí associados.

A última questão foi respondida com a alteração do modelo de simulação. Para verificar o impacto do preparador de materiais no total produzido, esse foi retirado do modelo e suas atividades foram distribuídas aos outros operadores, segundo divisão realizada pela empresa. Como no caso anterior, testes de hipóteses foram empregados para verificar se ocorreria diferença significativa entre os totais produzidos. Pode-se constatar que sem os preparadores de materiais, o total produzido diminui quando comparado aos cenários em que este estava presente. Dessa forma, pode-se responder a empresa que a presença desse operador no sistema implica no aumento do total produzido.

Sem o uso da simulação, as perguntas levantadas pela empresa dificilmente seriam respondidas sem a experimentação real no chão de fábrica, resultando em custos e em possíveis paralisações da linha de produção. Nesse sentido, a simulação a eventos discretos se mostra como uma ferramenta útil e versátil para a resolução de uma grande quantidade de problemas, possibilitando a geração de inúmeros outros cenários, sem a necessidade de investimentos, alterações reais na linha produtiva ou custos decorrentes de implantações.

Vale ainda ressaltar que a simulação não tira do analista, neste caso dos gerentes da empresa, o poder de decisão final sobre o processo. Mesmo com a simulação apontando que o aumento do tempo de inspeção incrementa o total produzido, fica a critério do gerente da empresa tal decisão, assumindo os riscos referentes à possível diminuição de qualidade dos produtos. Como trabalho futuro, recomenda-se a análise das taxas de ocupação dos operadores e dos postos de trabalho, buscando novos cenários que incrementem a produção sem alterar a política de inspeção da empresa.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG, a CAPES, ao CNPq e a PADTEC pelo apoio e suporte ao longo dessa pesquisa.

Referências Bibliográficas

- Baines, T.; Mason, S.; Siebers, P.; Ladbroke, J.** Humans: the missing link in manufacturing simulation? *Simulation Modelling Practice and Theory*, n.12, p.515–526, 2004.
- Banks, J.** Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice. *John Wiley & Sons*, 1998.
- Banks, J.; Carson II, J. S.; Nelson, B. L.; Nicol, D. M.** *Discrete-event Simulation*. 4. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2005.
- Checkland, P.** *Systems Thinking, Systems Practice*. Chichester, UK: Wiley, 1999.
- Chung, C. A.** *Simulation Modeling Handbook: a practical approach*. Washington, D.C: CRC Press, 2004.
- Chwif, L. e Medina, A. C.** *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. 2ª. Ed. São Paulo: Editora dos Autores, 2010.
- Garza-Reyes, J. A.; Eldridge, S.; Barber, K. D.; Soriano-Meier, H.** Overall equipment effectiveness (OEE) and process capability (PC) measures: a relationship analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.27, n.1, p. 48-62, 2010.
- Harrel, C. R.; Ghosh, B. K.; Bowden, R.** *Simulation Using Promodel*. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
- Law, A.M.; McComas, M.G.** Simulation of manufacturing systems. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* Piscataway, NJ, USA, 1998.
- Law, A.M.** Simulation model's level of detail determines effectiveness. *Industrial engineering*. v. 23, p. 16-18, 1991.

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

Leal, F.; Almeida, D. A. de; Montevechi, J. A. B. Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF. In: Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, *Anais...* João Pessoa, PB, 2008.

Montevechi, J. A. B.; Leal, F.; Pinho, A. F.; Costa, R. F. S.; Oliveira, M. L. M.; Silva, A. L. F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* Baltimore, MD, USA, 2010.

Morabito Neto, R.; Pureza, V. Modelagem e Simulação. In: Cauchick Miguel, P. A. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012, p. 170-196.

O’Kane, J. F.; Spenceley, J. R.; Taylor, R. Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems. *Journal of Materials Processing Technology*, 107, p. 412-424, 2000.

Paiva, C. N.; Montevechi, J. A. B.; Costa, R. F. S.; Leal, F. e Jesus, J. T. Consideração de tolerâncias no tempo do trabalho humano em um modelo de simulação computacional. In: XLI SBPO, *Anais...* Porto Seguro, BA, Brasil, 2009.

Robinson, S. Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements. *Journal of the Operational Research Society*. v. 59, p. 278-290. 2008.

Sargent, R. G. Verification and validation of simulation models. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* Austin, TX, USA, 2009.

Sargent, R.G. Verification and validation of simulation models. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* Baltimore, MD, USA, 2010.

Shannon, R. E. Introduction to the art and science of simulation. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* Washington, DC, USA, 1998.

Siebers, P. O. Worker Performance Modeling in Manufacturing Systems Simulation, in: Rennard, J. P. (ed). *Handbook of Research on Nature. Inspired Computing for Economy and Management*. Pennsylvania: Idea Group Publishing, 2006.