

Análise da capacidade de produção de uma empresa de manufatura por meio da utilização da Simulação a eventos discretos

Paulo Rotela Junior (UNIFEI / FEPI) paulo.rotela@gmail.com
Rafael de Carvalho Miranda (UNIFEI / FEPI) mirandaprod@yahoo.com.br
Aneirson Francisco da Silva (UNESP / FEPI) aneirson@gmail.com.br

Resumo:

A simulação a eventos discretos vem sendo utilizada de forma crescente para auxílio à tomada de decisão nas mais variadas áreas do conhecimento. Esse artigo faz uma aplicação real de um projeto de simulação de um ambiente de manufatura ainda não implantado. Com auxílio da simulação, pode-se avaliar o que será necessário para que a empresa atinja a capacidade produtiva esperada e verificar o impacto de alterações em sua linha. 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, Manufatura, Modelagem

Production capacity analysis of a manufacturing company using the discrete events simulation

Abstract

Discrete events simulation has been used increasingly to aid decision making in different knowledge areas. This article is a real application of a simulation project in a not yet deployed manufacturing environment. Through the use of simulation, researchers can respond what is needed for the company to achieve expected production capacity and verify the changes impact in their production line. The study was conducted using the methodology modeling and simulation. the results obtained allow us to provide important data for the company, which served to support decision making.

Key-words: Discrete events simulation, Manufacturing, Modeling

1. Introdução

Segundo Sandanayake, Oduoza e Proverbs (2008) e Miranda *et al.* (2010), a modelagem e análise de manufaturas para melhoria de desempenho têm se tornado cada vez mais importante durante as últimas décadas, e seus benefícios têm gerado impacto nos mais diferentes sistemas.

Law e McComas (1998) afirmam que a modelagem de sistemas de manufatura através da 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).

Ainda segundo Sandanayake, Oduoza e Proverbs (2008), a simulação em conjunto com ferramentas de modelagem ajudam a visualizar, analisar e otimizar processos de produção

complexos, através de animações dentro de um razoável período de tempo e investimento. Nesta era de globalização e concorrência acirrada entre as empresas, há uma necessidade constante de se implementar novas estratégias de fabricação para melhorar o desempenho do negócio.

Law e Kelton (2000) acreditam que uma das principais vantagens do uso da simulação é prover aos tomadores de decisão uma visão ampla de todo o sistema. Law (2007) acredita que a simulação é uma forma alternativa de experimentação real, evitando custos, devido à interrupção das atividades.

Este trabalho tem como objetivo simular um processo de manufatura que ainda não foi implantado, representando um processo do tipo funcional. Com isso pretende-se levantar informações para auxiliar na tomada de decisões, antes mesmo da implantação definitiva do processo. Para isto será utilizada a simulação a eventos discretos.

O presente trabalho está organizado em seis seções. A primeira foi a introdução aqui apresentada. A segunda apresenta uma fundamentação teórica sobre a simulação a eventos discretos. A terceira apresenta o método de pesquisa utilizado no desenvolvimento do trabalho. A quarta seção apresenta o desenvolvimento do método, no qual serão apresentados modelos conceituais e computacionais. A quinta seção apresenta os resultados obtidos. E, por fim, a sexta seção traz as considerações finais deste trabalho.

2. Fundamentação teórica

2.1 Simulação a eventos discretos

Inúmeras são as definições de simulação encontradas na literatura. Esta sessão parte das definições apresentadas por diversos autores na área de 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).

Harrel, Glosch e Bowden (2004) definem a simulação como sendo a imitação de um sistema dinâmico usando um modelo computacional para avaliar e melhorar o desempenho deste sistema.

No passado, a simulação era considerada uma técnica de último recurso, usada somente quando todas as outras técnicas disponíveis falhassem (LAW e KELTON, 2000). Porém, com o passar do tempo e o avanço da computação, ela vem se tornando uma das técnicas mais utilizadas para apoio à tomada de decisões.

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. Nesse sentido, Ryan e Heavey (2006) apontam a simulação como uma das técnicas de pesquisa mais utilizada devido, principalmente, à sua versatilidade, flexibilidade e poder de análise.

Leal, Almeida e Montevechi (2008) mostram que a simulação é uma representação de um procedimento em um tempo menor do que levaria no cenário real e com menor custo, favorecendo a previsão do comportamento do sistema para que se possam tomar as melhores ações ou devidas ações corretivas, visando à redução de custos.

Banks *et al.* (2005) apresentam diversas razões para a utilização da simulação em ambientes de manufatura, como são apresentadas abaixo:

- Os custos com equipamentos e instalações são muito altos para que
-

experimentações reais sejam realizadas;

- Os custos com computadores têm diminuído, o que facilita o uso da simulação;
- O aumento da produtividade e qualidade nas indústrias é resultado direto da automação dos processos. E como os sistemas se tornam mais complexos a cada dia, estes podem ser analisados com auxílio da simulação.
- Os modelos de simulação podem ser montados rapidamente com auxílios de softwares de simulação;
- A possibilidade de se ter uma representação visual prévia é bem aceita por gestores, como por exemplo, em um ambiente que ainda não foi implementado, como o estudo em questão.

Chwif e Medina (2006) notam que a lista de perguntas a serem respondidas pode ser infinita, e, portanto, um modelo de simulação é ideal por ser capaz de analisar diversos aspectos do sistema, reforçando as vantagens citadas por Banks *et al.* (2005). Em alguns casos pode ser possível realizar experimentos no sistema real, porém em muitos casos é simplesmente muito difícil, caro, ou impossível realizar estudos físicos no próprio sistema.

Banks *et al.* (2005) citam várias situações onde a simulação é indicada, como apresentadas a seguir:

- Sistema real que ainda não existe, como o caso deste trabalho, onde, por exemplo, é possível escolher o melhor fluxo de produção;
- Conduzir experimentos com o sistema real pode ser dispendioso, no caso do layout de uma fábrica, pode ser muito caro parar a produção para testar possibilidades de layout;
- Realizar experimentos diretamente em um sistema real pode não ser viável, como em um aeroporto ou hospital;
- É muito difícil ou até mesmo impossível, realizar experimentações em situações nas quais não se tem controle sobre as variáveis, como aumento do número de clientes.

Mesmo com tamanhas vantagens, autores como Law e Kelton (2000) destacam algumas desvantagens de seu uso:

- Os modelos de simulação, geralmente, são caros e consomem tempo para serem desenvolvidos, pois requerem de seu modelador treinamento especial e conhecimentos em linguagem de programação;
- Os resultados podem ser difíceis de serem interpretados pelos tomadores de decisões;
- O modelo precisa ter validade, e caso não represente o sistema real, as informações que forem provenientes deste não possuirão utilidade;
- Cada rodada de um modelo de simulação produz somente estimativas da verdadeira característica do modelo para um limitado conjunto de parâmetros de entrada. Assim, serão necessárias várias rodadas independentes para cada conjunto de parâmetros a serem estudados.

Deve-se tomar muito cuidado na construção dos modelos, já que um modelo mal elaborado e com muitas simplificações pode não representar bem o sistema, assim como um modelo muito detalhado. A qualidade dos resultados da simulação está diretamente relacionada com a

qualidade dos dados de entrada, portanto a coleta de dados deve ser realizada com muito critério.

A modelagem sempre se inicia a partir do sistema que se deseja simular. Harrel, Ghosh e Bowden (2004) constatam que um sistema é composto de entidades que são processadas (clientes, produtos e documentos), atividades que são desempenhadas (atendimento de clientes, cortes de peças), recursos que são utilizados (colaboradores e máquinas) para realizar as atividades e controles (sequências de roteamento, programação de produção e instruções) que determinam como, quando e onde as atividades são desempenhadas.

Banks *et al.* (2005), Hillier e Lieberman (2010) apresentam algumas categorias importantes de aplicações da simulação. Entre as categorias, destacam-se: o projeto e operações em manufatura, gerenciamento de projetos e construção civil, logística, *supply chain* e redes de distribuição, administração do sistema de estoques, modelagem de transporte e tráfego, análise de riscos, aplicações médicas, aplicações militares e aplicações nas mais diversas áreas de serviços, tais como: serviços governamentais, bancos, hotelaria, restaurantes, instituições educacionais, entre outros.

3. Método de pesquisa

O método de pesquisa utilizado neste trabalho é a Modelagem e Simulação, que segundo Chung (2004) é o processo de criar e experimentar um sistema físico através de um modelo matemático computadorizado.

Para representar o fluxograma de um projeto de simulação, utilizou-se a proposta de Montevechi *et al.* (2010), na qual um projeto de simulação envolve três etapas, como apresentado na Figura 1.

Para Costa (2010), na visão proposta por Montevechi *et al.* (2010), os autores elaboraram um fluxograma, com base na estrutura proposta por Chwif e Medina (2010), para representar a lógica de um projeto de simulação.

O projeto inicia-se com a etapa de concepção, que segundo Robinson (2008) é a fase em que os pesquisadores delimitam o sistema, definem objetivos, escopo e nível de detalhamento. Nesta etapa é construída uma abstração da realidade, o modelo conceitual, sujeito a validação, evitando que se acarretem erros nas etapas posteriores.

Para Chwif e Medina (2010), na fase de concepção os analistas devem compreender bem o sistema que desejam simular, como definir com clareza quais os objetivos deverão ser alcançados com o estudo.

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, seguindo para a etapa de implementação.

Na etapa de implementação, segundo Sargent *et al.* (2010), é construído um modelo computacional com auxílio de um software de simulação, sujeito a verificação e validação, quando comparado ao sistema real, sendo então validado quando apresenta exatidão necessária para cumprir as metas do modelo.

Por fim, a etapa de análise, onde os resultados obtidos são analisados e utilizados como apoio nas tomadas de decisão. Nesta etapa, segundo Paiva *et al.* (2009), os modelos podem ser modificados e os ciclos reiniciados sempre que necessário.

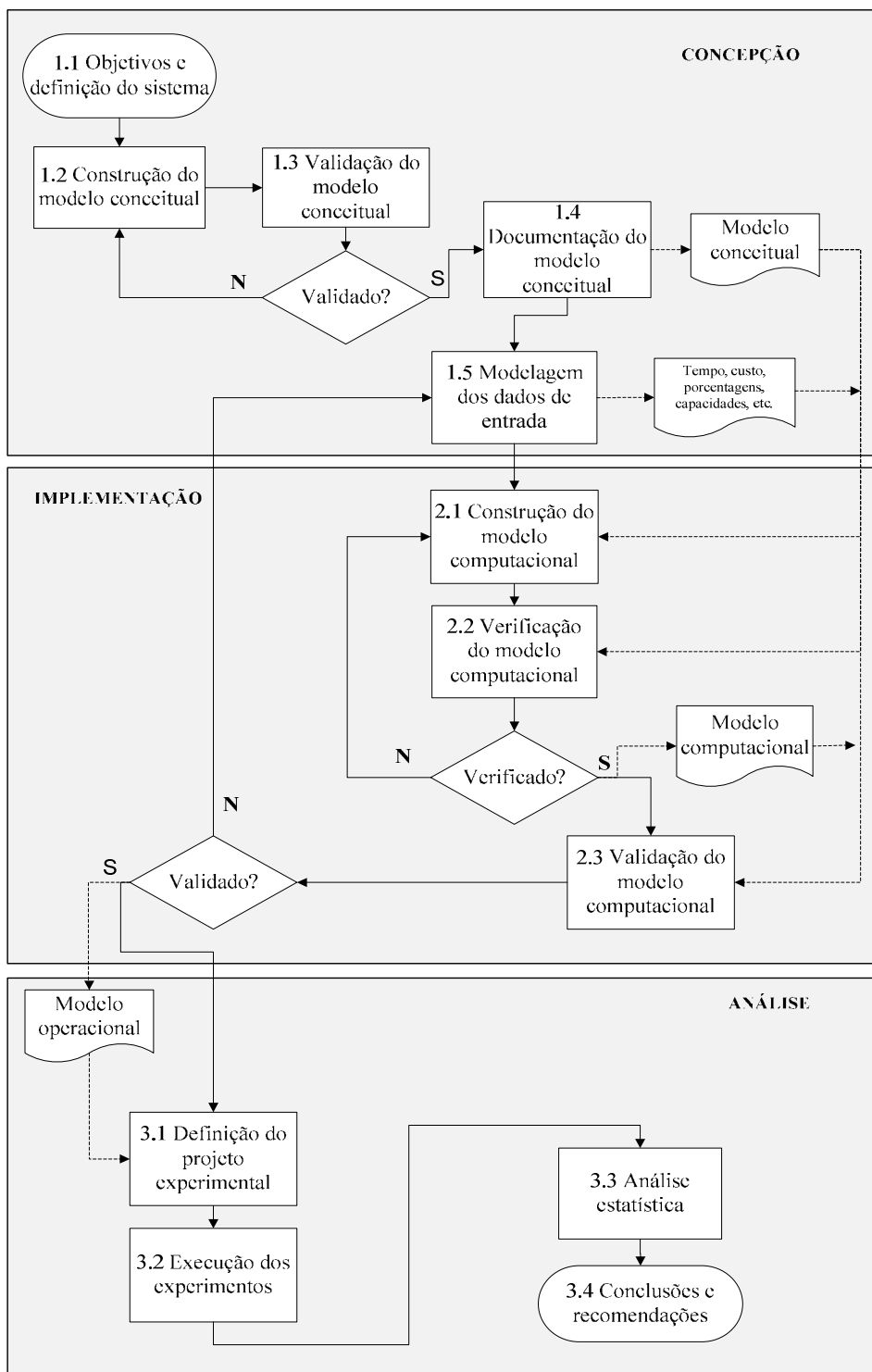


Figura 1 – Etapas de um projeto de simulação. Fonte: Montevechi *et al.* (2010).

4. Desenvolvimento da metodologia

O objeto de estudo deste trabalho é uma empresa do mercado de identificação eletrônica, fabricante de equipamentos eletroeletrônicos para o segmento de sistemas de rastreamentos embarcados ou não, que está instalando sua fábrica na cidade de Itajubá, sul de Minas Gerais.

Os nomes dos processos e detalhes da empresa foram omitidos por questões de confidencialidade.

Inicialmente vale ressaltar que o modelador e o usuário tem que estar plenamente conscientes dos objetivos a que se propõe o estudo de simulação, bem como um conhecimento completo do sistema a ser estudado, já que a formulação do problema auxiliará o modelador a não perder o foco do objetivo do trabalho.

Para isso, Robinson (2008) sugere compreender a situação a ser modelada, determinar os objetivos do projeto e planejar o modelo conceitual, onde são identificados: entradas e saídas do modelo, seu conteúdo, nível de detalhamento, identificando pressupostos, simplificações e limites.

Para esta pesquisa, o maior interesse da empresa era verificar se era possível cumprir as metas propostas, com os recursos e tempos estimados. Durante reuniões e entrevistas foram levantados todos os recursos que serão disponibilizados, como pessoas, maquinário e setores envolvidos. Também foram levantados aspectos sobre controle de qualidade, manutenções e jornada de trabalho.

O mapeamento do processo foi realizado utilizando a técnica IDEF-Sim para a concepção do modelo conceitual, técnica esta que foi desenvolvida por Leal, Almeida e Montevechi (2008), na qual cada etapa do processo será representada, com objetivo de se obter uma visão geral do sistema. O IDEF-Sim ainda permite a transmissão do conhecimento do analista para o modelo conceitual, facilitando a etapa de simulação, como mostra a Figura 2, onde é exibido parte do mapeamento utilizado nesta pesquisa.

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, ALMEIDA e MONTEVECHI, 2008).

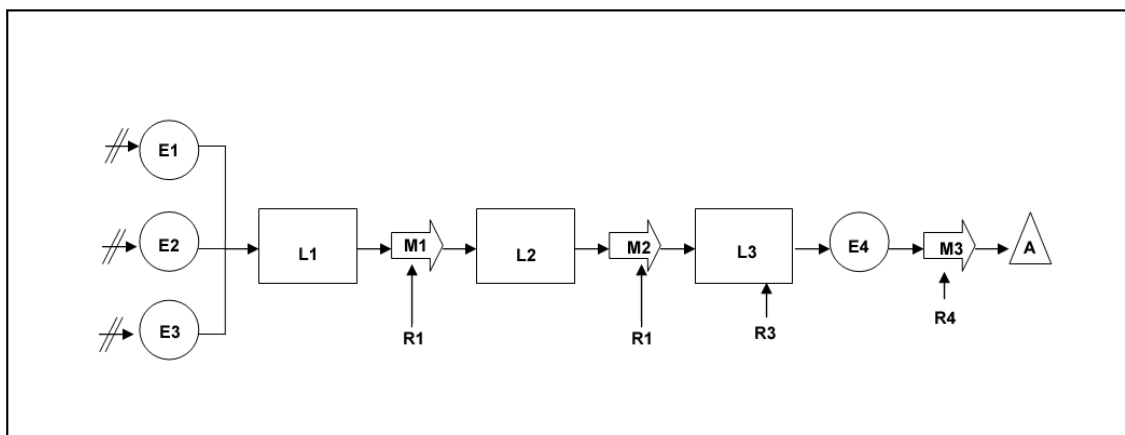


Figura 2 – Parte do modelo conceitual utilizando a técnica IDEF-Sim.

Para Sargent (2009), a validação do modelo conceitual deve determinar se as teorias e hipóteses subjacentes ao modelo conceitual estão corretas, e se a representação da estrutura do modelo e suas relações são razoáveis para a finalidade prevista.

Ao final da modelagem conceitual, ocorreram reuniões com especialistas e membros da empresa, nas quais o modelo foi explicado com intuito de confirmar que ele representa de maneira fidedigna o processo desenvolvido pela empresa.

Como o processo ainda não está implantado, os tempos esperados em cada etapa do processo foram levantados junto a especialistas, tempos que eles acreditam não comprometer o processo, além de já terem sido levantados em pesquisas e outros estudos.

Com base na experiência dos especialistas, foram definidos os tempos de operação e de deslocamentos na forma de distribuição de probabilidade normal.

Foram respeitados turnos de sete horas e vinte minutos durante cinco dias por semana, sendo considerado que cada colaborador tem direito a uma hora diária para refeição e 15 minutos livre durante o turno. Após a definição do modelo conceitual, 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.

Sua construção teve início com um modelo simplificado, e foi sendo alterado conforme necessidades, de forma a representar a realidade da linha de produção em questão. A Figura 3 apresenta uma tela do modelo de simulação desenvolvido.

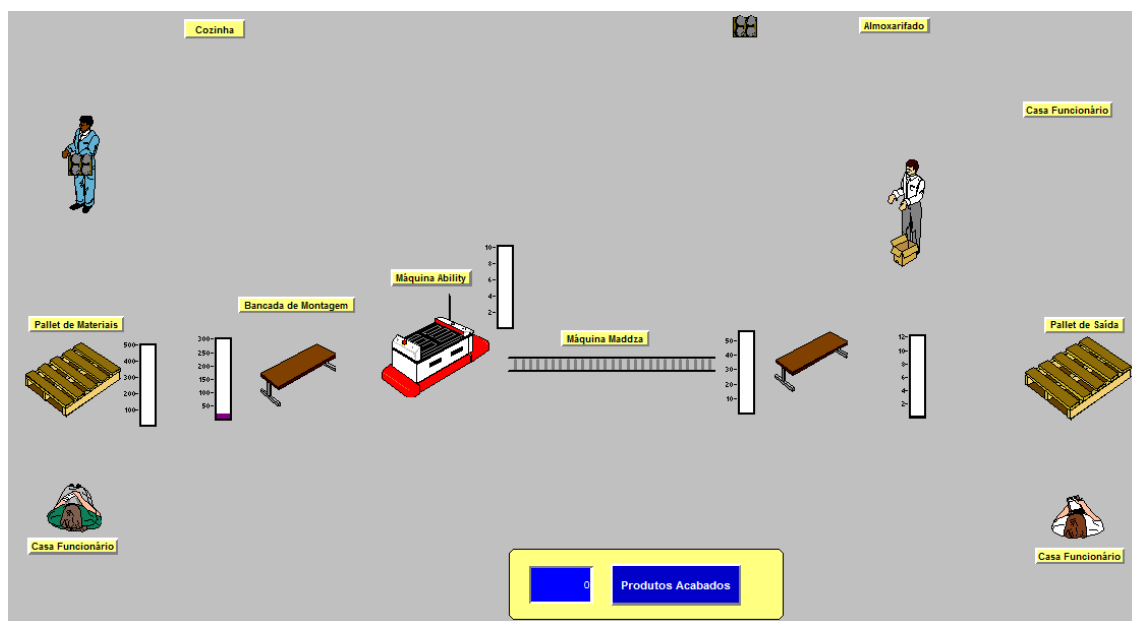


Figura 3 – Tela do modelo computacional.

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.

Segundo Montevechi *et al.* (2010), após a construção do modelo computacional e verificação, o modelo estará em condições de ser submetido à validação. A validação é uma avaliação de quanto o modelo construído é semelhante ao sistema real que se pretendeu simular, ou seja, avaliar se este modelo atende ou não as finalidades para as quais foi construído. Os autores ainda citam que a validação pode se dar através de várias técnicas, uma delas é o modelo ser desenvolvido junto ao usuário. Através da animação, pessoas que conhecem o sistema puderam interagir com o modelador, permitindo tanto o aumento da validade quanto a percepção desta validade por parte dos tomadores de decisão.

Para a análise, faz-se necessário definir algumas variáveis que irão registrar a quantidade de

produtos em determinadas etapas. No modelo foram utilizadas três variáveis. A variável “Produtos acabados” irá registrar os produtos finalizados, porém que ainda não foram embalados. Já a variável “Produtos embalados” irá registrar a quantidade de produtos finalizados e já embalados em lotes, pronto para serem despachados. E por fim a variável “Produtos rejeitados”, que atende a uma probabilidade estimada pelos especialistas em 98% de eficiência no processo, ou seja, com refugo de apenas 2%, que será descartado.

Os especialistas imaginam que uma das máquinas poderá ser o gargalo em caso de aumento da produção, o que já é planejado para os próximos meses. Com isso foram definidas duas macros: “Número de Colaboradores” e “Número de Máquinas”, em cada uma das etapas do processo. Como o sistema ainda não está em funcionamento, não existe dados concretos sobre a influência desses fatores sobre o processo.

Serão desconsiderados os tempos de deslocamento dos estoques externos de matéria prima, também serão desconsiderados os tempos de deslocamento entre o almoxarifado e o *pallet* de entrada, já que o abastecimento será puxado conforme a necessidade, e os especialistas não consideraram este tempo no processo desta indústria.

Após a validação, alterações nas variáveis ou parâmetros do modelo poderão gerar discussões para projetos de melhoria e auxílio na tomada de decisões.

5. Análise dos resultados

Como dito anteriormente, o trabalho se propõe a desenvolver um projeto de simulação, que se destina a auxiliar o processo de tomada de decisões na implantação de uma linha de manufatura. Através do uso da simulação a eventos discretos, pôde-se observar que seria possível cumprir a meta de produção prevista inicialmente, quando considerado o número de turnos e jornadas de trabalho estimadas.

Uma das principais observações foi quanto ao número de colaboradores. Segundo estimativa dos especialistas, durante todo o processo seria necessária à utilização de dez pessoas trabalhando exclusivamente com a montagem, como mostra a Figura 4.

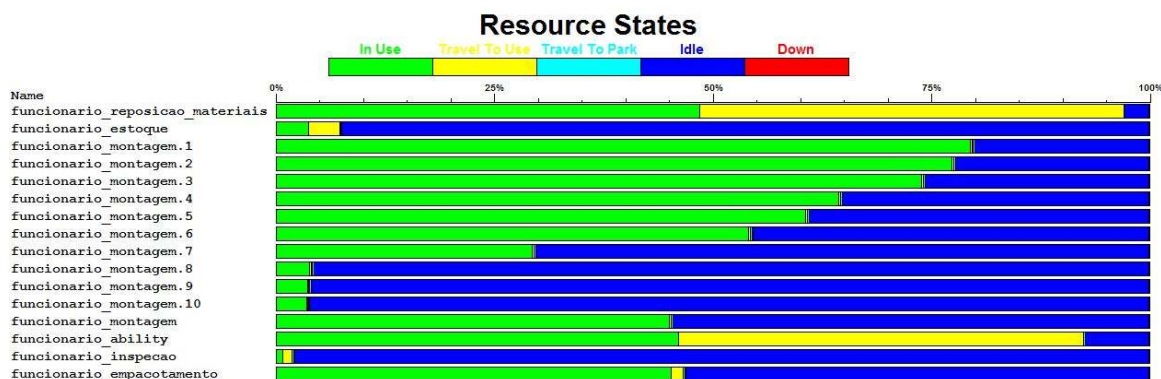


Figura 4 – Utilização dos recursos no cenário inicial previsto pela empresa.

Através da análise da utilização de recursos humanos apresentados pela Figura 4, pôde-se observar que na linha de produção, com a demanda prevista, há um número maior do que o necessário de colaboradores dedicados exclusivamente à montagem.

Dessa forma, a simulação permitiu a realização de testes que inicialmente seriam difíceis de efetuar diretamente na linha produtiva. Então, foram feitas alterações no cenário inicial. Propôs-se considerar um número menor de colaboradores dedicados exclusivamente a

montagem.

A empresa possui intuito de aumentar sua produção apenas em seu segundo ano de funcionamento. Então, alguns cenários foram estudados, e acredita-se que com seis colaboradores seria possível cumprir a meta inicial de produção da empresa, como mostra a Figura 5.

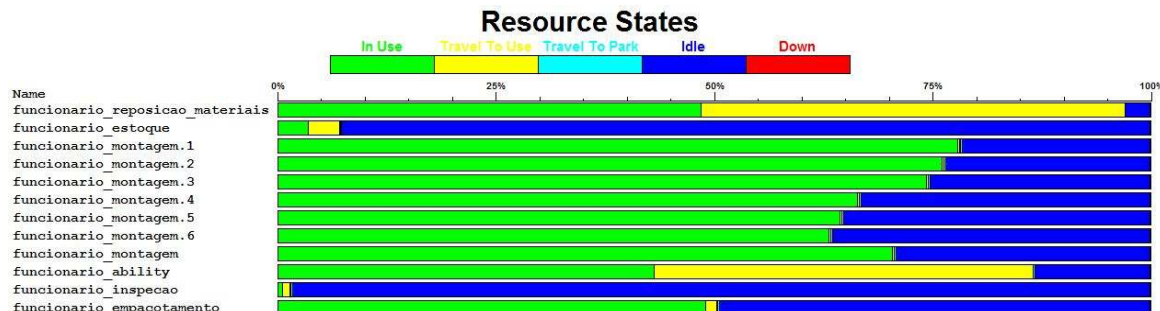


Figura 5 – Nova proposta de utilização dos recursos.

Também fica evidente a pouca utilização dos colaboradores dedicados à reposição de estoques de produção e inspeção. Então, a empresa pode analisar novas formas de aproveitar seus colaboradores.

Posteriormente, com o modelo disponibilizado, poderão ser feitos ajustes nos tempos de movimentação com auxílio da cronoanálise ou ainda estudos de *layout*. O modelo também servirá para desenvolver soluções alternativas para atingir novas metas de produção.

6. Considerações finais

Este trabalho buscou simular uma linha de manufatura, procurando analisar situações antes mesmo da implantação real da linha produtiva.

A simulação, mesmo em ambientes ainda não implementados, possibilita a realização de experimentos e análise do planejamento feito por especialistas do processo, mesmo na ausência de dados concretos ou um histórico de dados.

Sem o uso da simulação, as perguntas levantadas pela empresa dificilmente seriam respondidas sem a experimentação real na linha de produção, permitindo assim, reduções de custos em possíveis paradas da linha produtiva. Dessa forma, a simulação se mostra como uma ferramenta útil e versátil para a resolução de uma grande quantidade de problemas, possibilitando a criação de cenários alternativos, sem a necessidade de investimentos e alterações reais.

Ainda com auxílio da simulação é possível verificar se existem atuações incorretas, possibilitando alterações em projetos, visando atender a demanda planejada.

Como a empresa ainda não deu início as suas atividades, alguns dados do processo produtivo foram estimados pelos especialistas, dessa forma, para trabalhos futuros, recomenda-se realizar o levantamentos dos tempos de processos e deslocamento em cada uma das etapas, utilizar a simulação para determinar capacidade de máquinas, inclusão dos tempos de manutenção e alterações em recursos.

Referências

COSTA, R. F. S. *Abordagem sistemática para avaliação econômica de cenários para modelos de simulação discreta em manufatura*. 139 f Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, MG, 2010.

- CHUNG, C. A.** *Simulation Modeling Handbook: a practical approach*. Washington, D.C: CRC Press, 2004.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C.** *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. 2. ed. São Paulo: Editora dos Autores, 2010.
- HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R.** *Simulation Using Promodel*. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J.** *Intoduction to Operations Research*. 9th. Ed. New York: McGraw-Hill, 2010.
- LAW, A. M.** *Simulation modeling and analysis*, 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2007.
- LAW, A. M.; KELTON, D. W.** *Simulation modeling and analysis*. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
- LAW, A. M.; MCCOMAS, M. G.** Simulation of manufacturing systems. In: Winter Simulation Conference, *Proceedings...* Piscataway, NJ, USA, 1998.
- 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.
- MIRANDA, R. C.; COUTINHO, B. F.; RIBEIRO, J. R.; MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F.** Avaliação da operação de *setup* em uma célula de manufatura de uma indústria de autopeças através da simulação a eventos discretos. *Revista Gestão Industrial*, v.6, n.3, p.01-21, 2010.
- MONTEVECHI, J. A. B.; COSTA, R. F. S.; LEAL, F. PINHO, A.F.** *Economic Evaluation of Scenarios for Manufacturing Systems Using Discrete Event Simulation Based Experiments*. Brazilian Journal of Operations & Production Management. v. 7, p. 77-103. 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.
- 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.
- RYAN, J.; HEAVEY, C.** Process modeling for simulation. *Computers in Industry*, v.57, n.5, p.437-450, 2006.
- SANDANAYAKE, Y, ODUOZA, C, PROVERBS, D.** A systematic modeling and simulation approach for JIT performance optimization, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, v. 24, UK, 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.
- 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.
-