



SPOLM2007

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 07 e 08 de novembro de 2007.

MODELAGEM DE UMA CÉLULA DE MANUFATURA COMPLEXA ATRAVÉS DE IDEFO E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

José Arnaldo Barra Montevechi

Universidade Federal de Itajubá

Av. BPS – Nº 1303 – Bairro Pinheirinho – 37500-903 - Itajubá - MG

montevechi@unifei.edu.br

Rafael Florêncio da Silva Costa

Universidade Federal de Itajubá

Av. BPS – Nº 1303 – Bairro Pinheirinho – 37500-903 - Itajubá - MG

rafael.florencio@yahoo.com.br

Fabiano Leal

Universidade Federal de Itajubá

Av. BPS – Nº 1303 – Bairro Pinheirinho – 37500-903 - Itajubá - MG

fleal@unifei.edu.br

Fabiana Dias Batista

Universidade Federal de Itajubá

Av. BPS – Nº 1303 – Bairro Pinheirinho – 37500-903 - Itajubá - MG

fdiasbatista@yahoo.com.br

Rafael de Carvalho Miranda

Universidade Federal de Itajubá

Av. BPS – Nº 1303 – Bairro Pinheirinho – 37500-903 - Itajubá - MG

mirandaprod@yahoo.com.br

Ana Carolina Oliveira Santos

Universidade Federal de Itajubá

Av. BPS – Nº 1303 – Bairro Pinheirinho – 37500-903 - Itajubá - MG

ana_carolyna@yahoo.com.br

Marcos José Santos

Universidade Federal de Itajubá

Av. BPS – Nº 1303 – Bairro Pinheirinho – 37500-903 - Itajubá - MG

magal.santos@yahoo.com.br

Resumo

Logo que foi implantada a filosofia *Lean Manufacturing* em uma planta industrial de uma empresa do setor automotivo, a célula de manufatura estudada tornou-se o coração da

fábrica, ou seja, todos os fluxos dos produtos passam por ela e qualquer parada da produção desta influencia diretamente na entrega diária de produção. Dessa maneira, tornou-se necessário estudar mais detalhadamente o dia-a-dia desta célula para que então fosse possível realizar modificações no método de trabalho dos colaboradores. Para esse estudo foi utilizada a metodologia de simulação de eventos discretos, através do software ProModel 7.0® e a técnica de modelagem de sistemas IDEF0 (*Integration Definition language 0*). O estudo foi iniciado com a escolha do objetivo e a definição do sistema a ser modelado e simulado, em seguida o modelo conceitual foi construído, representado através da técnica IDEF0 e validado por especialistas do processo de produção. Então, os dados de entrada foram modelados e o modelo computacional foi construído e verificado pela animação gráfica e comandos de depuração. Por fim, este modelo foi validado através de teste estatístico não paramétrico realizado com os dados de saída do modelo e os dados históricos da célula em questão. Ressaltam-se como conseqüências deste projeto a construção de um modelo computacional de simulação de eventos discretos, devidamente validado e verificado para uma célula de manufatura, que é complexa por apresentar diversas operações manuais, processos complexos e diversos tipos de falha que se interagem. Assim, foi possível obter um modelo que está apto a receber experimentações futuras, além da confirmação de algumas percepções que os gestores tinham do processo, através dos relatórios gerados pelo modelo.

Palavras chaves: Simulação; Modelagem; IDEF0.

Abstract

As soon as the philosophy Lean manufacturing was implanted in an industrial plant, the manufacturing cell that has been showed in this study became the heart of the plant, a mean, all the products flow go through the cell and any production interruption influences directly in the daily delivery of production. In this way, it is necessary to study in detail the routine of this cell and then it will be possible to make changes. For this study, the methodology of discrete event simulation was used to approach the problem, through ProModel software 7.0® and the technique of modelling of systems IDEF0 (integrated definition language 0). The study was initiated by chosen the objective and the definition of the system to be modelled and to be simulated. After that, the conceptual model was constructed and represented through technique IDEF0 and validated by specialists of the production process. Then, the input data were modeled and the computer model was constructed and verified by the graphical animation and debugging commands. Finally, this model was validated through nonparametric statistical test between model output data and historical output data of this cell. It points out as consequences of this project the construction of a discret event simulation computer model, duly validated and verified for a manufacturing cell, that is complex for presenting diverse manual operations, complex processes and a lot of failures that happens at the same time. Thus, there are a model that will receive future experimentations, beyond the confirmation of some perceptions that the managers have had about the process, through the reports generated for the model.

Keywords: Simulation; Modelling; IDEF0.

1. Introdução

A alta competitividade das modernas indústrias leva às empresas a um contínuo refinamento de seus processos de manufatura. O estudo de tempos e movimentos e programas de melhoria da qualidade são ferramentas úteis no estudo de sistemas de manufatura. Porém, o grande número de estratégias, técnicas e métodos que podem ser

implementados (Just in time, total quality control, Total productive maintenance, single minute exchange of die, etc.) faz com que a análise destes sistemas se torne algo difícil. As razões desta dificuldade estão voltadas à complexidade dos sistemas de manufatura e o alto número de fatores envolvidos. Em muitos casos, os resultados obtidos de análises convencionais deixam uma lacuna na descrição destes sistemas (HERNANDEZ-MATIAS et al., 2006).

A simulação é uma das técnicas mais utilizadas para análise de sistemas complexos na indústria. Principalmente em situações envolvendo operações discretas, que se caracterizam por serem aleatórias e não-lineares. Diferenciando-se de métodos matemáticos e outros, tornando-se assim mais eficiente, O’Kane et al (2000). Mediante um trabalho de verificação e validação de modelos, a simulação proporciona um ambiente à realização de experimentos, respondendo a pergunta “o que aconteceria se”. Devido a sua grande importância nesta pesquisa, a verificação e a validação de modelos serão apresentadas na seção 2.2 deste artigo.

Um grande número de pesquisadores tem mostrado que os métodos da abordagem IDEF podem ser utilizados no suporte à simulação. Leal *et al.* (2007) mostrou que o IDEF0 é uma técnica adequada para a modelagem conceitual, dentro de um estudo de simulação de eventos discretos aplicado na manufatura. Jeong (2000) utilizou o IDEF0 e o IDEF3 no desenvolvimento de uma simulação visando à otimização de um sistema de sequenciamento. Já Perera e Liyanage (2000) utilizaram o IDEF0 e o IDEF1X para auxiliar na coleta de dados de entrada para a simulação de sistemas de manufatura.

Visando futuras melhorias em uma célula de manufatura de uma empresa do setor automotivo, este trabalho se propõe a construir um modelo computacional de simulação de eventos discretos que represente esta célula em análise, devidamente verificado e validado. Destaca-se que seria mais oneroso e impraticável realizar experimentações neste sistema real devido à paralisação da produção além de diversos transtornos decorrentes deste processo, por esses motivos optou-se pela construção de um modelo de simulação que represente o sistema real com certo grau de confiança.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Simulação de eventos discretos

Segundo Ryan e Heavey (2006), muitos sistemas podem ser encarados como um sistema de eventos discretos, como sistemas de manufatura, processos de negócios, cadeias de suprimentos. Estes sistemas são complexos e difíceis, no que tange ao seu entendimento e a sua operacionalização de forma eficiente. Devido a sua grande versatilidade, flexibilidade e poder de análise, a simulação é uma das mais utilizadas técnicas de pesquisa utilizada.

A simulação é o ato de imitar um procedimento real em menor tempo e com menor custo, permitindo um melhor estudo do que vai acontecer e de como consertar erros que gerariam grandes gastos (Harrell et al., 1996; Law e Kelton, 1991). Talvez o maior benefício da utilização da simulação em ambientes manufatureiros seja a possibilidade de obter-se uma visão geral do efeito de uma pequena mudança no sistema (Banks *et al.*, 2005).

No entanto, a Simulação não é uma ferramenta mágica que substitui o trabalho de interpretação humano, mas sim uma ferramenta poderosa capaz de fornecer resultados para

análises mais elaboradas a respeito da dinâmica do sistema, desta maneira permitindo uma interpretação mais profunda e abrangente do sistema estudado, Duarte (2003).

Segundo Chwif e Medina (2006), os sistemas reais geralmente apresentam uma maior complexidade devida, principalmente, a sua natureza dinâmica (que muda seu estado ao longo do tempo) e a sua natureza aleatória (que é regida por variáveis aleatórias). Neste caso, o modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade essas características, procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições de contorno.

De acordo com Harrel e Tumay (1994), o bom modelo deve possuir certas características, como ser válido no sentido de representar satisfatoriamente a realidade e ser mínimo, no sentido de incluir somente elementos que influenciam no problema a ser solucionado.

A literatura apresenta algumas classificações para modelos de simulação. Segundo Chwif (1999), os modelos de simulação que utilizam variáveis aleatórias são denominados Modelos Estocásticos, enquanto que os Modelos Determinísticos trabalham somente com variáveis do tipo não probabilísticas, sendo o resultado da simulação sempre o mesmo, não importando quantas vezes se “rode” o modelo. A grande maioria dos modelos de simulação é constituída por variáveis estocásticas.

Ainda destacando algumas formas de classificação, Chwif e Medina (2006) salientam que a simulação computacional pode ser classificada em três categorias básicas: simulação de Monte Carlo, simulação contínua e simulação de eventos discretos. A simulação de Monte Carlo utiliza-se de geradores de números aleatórios para simular sistemas físicos ou matemáticos, nos quais não se considera o tempo explicitamente como uma variável. Essa simulação é particularmente útil para a solução de problemas matemáticos complexos que surgem no cálculo integral, por exemplo.

Chung (2004) também destaca modelo Terminal e o Não-Terminal, onde o critério de classificação está nas condições de início e existência de eventos de término natural.

2.2 Verificação e Validação

Segundo Law (2003), verificação de modelos trata-se de determinar se o modelo conceitual de simulação foi corretamente traduzido em um programa computacional, isto é, depurando o programa de simulação computacional. Embora verificação seja simples no conceito, depurar programas de simulação em larga escala é uma tarefa difícil e árdua devido ao potencialmente grande número de caminhos do programa.

Kleijnen (1995) destaca a participação da animação no processo de verificação. Segundo ele, uma vez que os usuários do modelo estejam familiarizados com o sistema real, alguns erros podem ser observados através da simulação. Kleijnen afirma que neste caso a animação estaria contribuindo também na validação.

A validação é um processo importante do estudo de simulação. Validar o modelo significa determinar se o modelo representa o sistema, para os objetivos do estudo em questão. Não existe validade absoluta, mesmo porque isso custaria muito tempo e dinheiro (Law, 2006). Segundo Oliveira (2003), a questão fundamental para a validação é avaliar o quanto o modelo se aproxima do sistema real. Validar o modelo significa assegurar que o

modelo serve para os propósitos para os quais foi criado, e que dentro deste domínio definido para iniciar a modelagem as respostas do sistema real e do modelo são semelhantes, respeitando, obviamente, um intervalo de aceitação para as variáveis analisadas.

Segundo Sargent (2004) toda a equipe envolvida na simulação do processo necessita saber se os dados que estão sendo gerados no modelo são corretos e podem ser utilizados na elaboração dos experimentos. Desta maneira, testes e avaliações são conduzidas até uma considerável evidência que comprovam sua validade (SARGENT, 1982, 1984). Se um teste determina que um modelo não tem precisão suficiente em nenhuma das condições experimentadas, o modelo então é considerado inválido.

2.3 IDEF0

Ilustrando o uso das técnicas IDEF na modelagem de processos, Hernandez-Matias et al. (2006) afirmam que a flexibilidade do método reside na capacidade de permitir uma análise de sistemas complexos, onde há a necessidade do estudo de múltiplos níveis de detalhe. Segundo os autores, analisando as diferentes abordagens IDEF, conclui-se que o IDEF0 (*Integration Definition language 0*) é a versão mais amplamente utilizada em análise na manufatura.

Segundo Leal et al. (2007), a representação gráfica do IDEF0 constitui-se de caixas interligadas por setas. Uma caixa disponibiliza a descrição do que acontece em uma função. As setas não representam o fluxo ou seqüência como uma modelagem convencional de fluxo de processo, mas sim carregando dados ou objetos relacionados a funções a serem desempenhadas. Cada lado da caixa do IDEF0 em que as setas tocam tem um significado padrão. Setas que entram no lado esquerdo da caixa são as entradas (inputs). Representam dados ou objetos que são transformados ou consumidos através de uma função, para se gerar saídas (outputs) pela função. Setas que entram na caixa pelo lado de cima são os controles, que especificam as condições requeridas para a função produzir saídas corretas. Setas que deixam a caixa pelo lado direito são as saídas (outputs), que podem ser dados ou objetos produzidos pela função. Já as setas conectadas pelo lado de baixo da caixa representam mecanismos, correspondendo aos meios que suportam a execução da função.

Porém, ainda segundo Hernandez-Matias et al. (2006), não há um único método de modelagem conceitual que pode modelar completamente um sistema complexo de manufatura. Como resultado das limitações destas técnicas, diferentes métodos integrados de modelagem têm sido desenvolvidos.

3. Metodologia e Aplicação

A metodologia adotada pelo estudo foi adaptada do trabalho de Montevechi et al. (2007). Adaptado porque nesse estudo foram utilizadas apenas as duas primeiras fases iniciais que são: concepção e implementação. A fase de análise que consiste em definição do modelo experimental, execução de experimentos, análise estatística e conclusões será abordada em estudos futuros. Sendo assim, o fluxograma da metodologia utilizada para desenvolver este trabalho é mostrado na Figura 1.

3.1 Concepção

Passo 1.1: Objetivos e definições do sistema

O sistema real a ser modelado e simulado é uma célula de manufatura de uma empresa do setor de autopeças que realiza o acabamento do produto. A célula em questão tem fundamental importância para a produção, pois após a introdução do Lean Manufacturing e do fluxo contínuo, esta se tornou o coração da fábrica, ou seja, qualquer parada da produção influencia diretamente na entrega diária de produção.

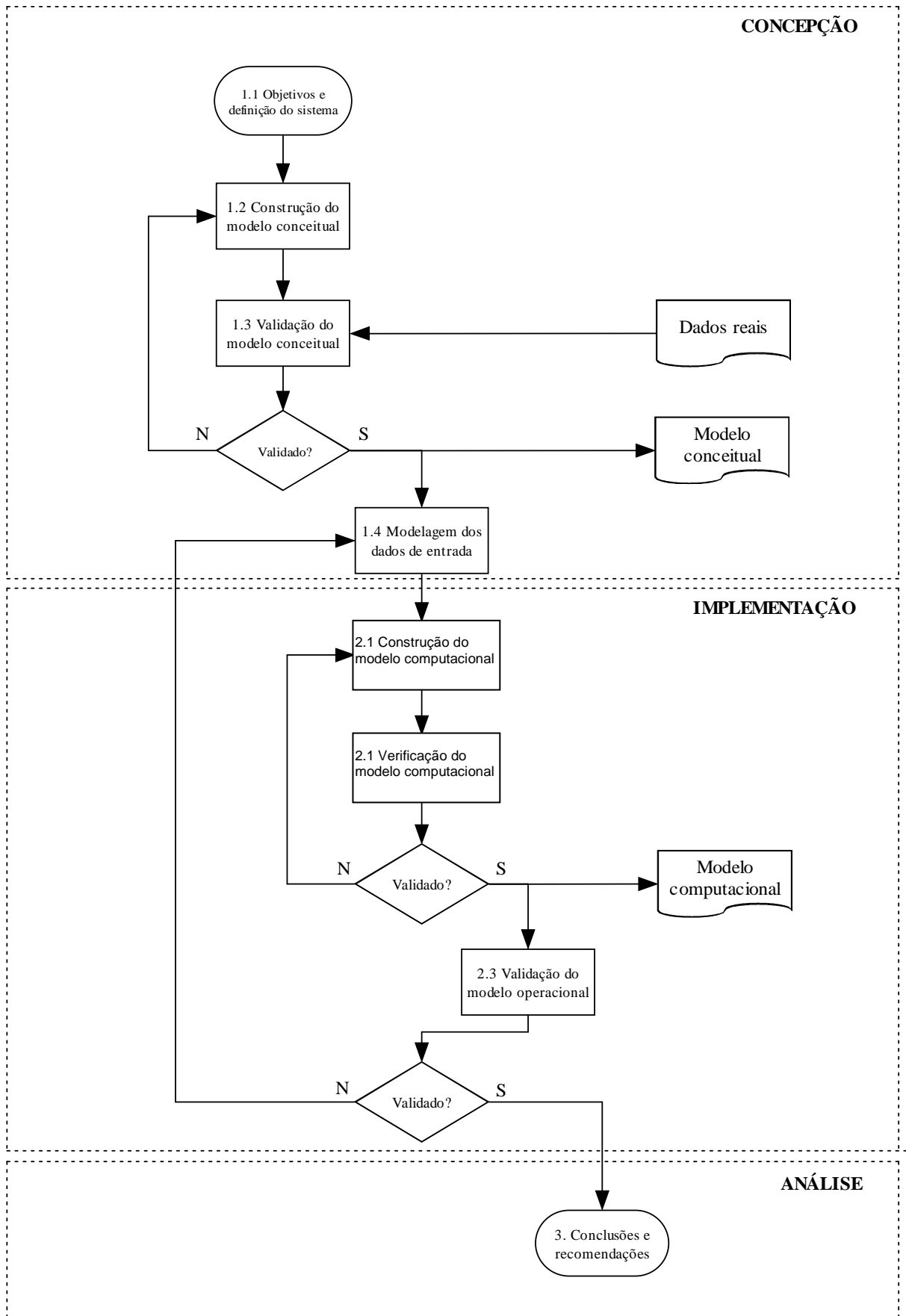


FIGURA 1 – Fluxograma da metodologia da pesquisa.

O objetivo principal desse estudo é construir um modelo de simulação verificado e validado, que represente a célula complexa em análise. Devido à complexidade dos processos e dependência de atividades manuais presentes na célula, optou-se por

desenvolver nesse trabalho as fases de concepção e implementação do estudo de simulação. O estudo será complementado com a realização de diversas experimentações e análise dos resultados em estudos futuros.

Passo 1.2: Construção do modelo conceitual

Esta célula (que é formada por 2 células idênticas) atende a diferentes tipos de produtos e possui uma taxa de entrega diária média de 40.000 peças à célula subsequente. No entanto, para fins de pesquisa, foram escolhidas apenas duas famílias de produtos que especificam o fluxo que o mesmo terá dentro dessa célula: os produtos simples e os produtos superacabados.

O processo tem início em um estoque intermediário, a partir daí se o produto for simples segue para célula 1 e se for super-acabado segue para a célula 2. Em seguida, os processos são similares: passam por uma máquina Y, em seguida são inspecionados e passam pelo tanque 2. Então, seguem para a máquina X, são inspecionados e levados ao tanque 1 e então saem do sistema. O modelo conceitual mostrado na Figura 2, construído através do IDEF0 representa melhor este processo, com suas regras e recursos.

Passo 1.3: Validação do modelo conceitual

O modelo conceitual foi construído e submetido à avaliação dos especialistas do processo. Após análise, eles concluíram que o modelo conceitual construído representa bem o sistema real. Portanto o modelo está validado e pode assim ser implementado em uma linguagem de simulação, neste caso utilizou-se o software ProModel 7.0®.

Passo 1.4: Modelagem dos dados de entrada

A partir da construção do modelo conceitual, verificou-se que a atividade de inspeção visual dos produtos recém saídos do acabamento é a mais crítica, pois depende totalmente da intervenção do colaborador, podendo apresentar variabilidade elevada no tempo de sua execução. Houve, então, a necessidade de se coletar dados *in loco*. Foram coletados os tempos para a inspeção visual de produtos acabados nas duas células, em dois turnos diferentes, 35 dados para cada célula e em cada turno. A empresa trabalha em três turnos, porém o acesso ao terceiro turno não foi possível por regras da empresa.

Sendo assim, as amostras referentes aos dois turnos foram submetidas a um teste para verificar a igualdade das variâncias, que revelou que as duas populações têm variâncias iguais e em seguida a uma análise *2 Sample t*, onde foi constatado um *P-Value* de 0,103. Como o *P-Value* é maior que 0,05 (nesse caso é estabelecido um nível de confiança de 95%), se aceita que as médias entre as populações são iguais, ou estatisticamente, aceita-se a hipótese nula. Os resultados podem ser vistos nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

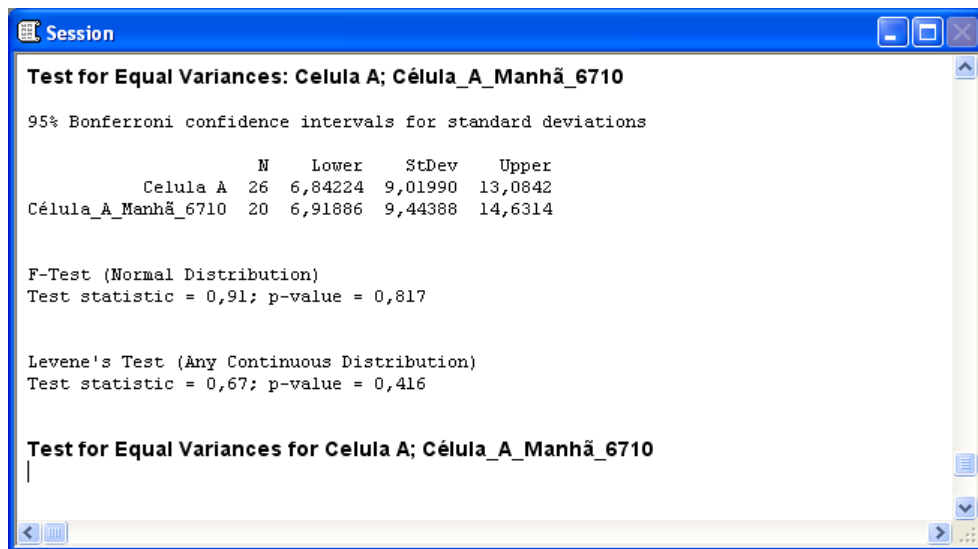


FIGURA 3 – Teste para verificar variâncias iguais, Minitab 14®.

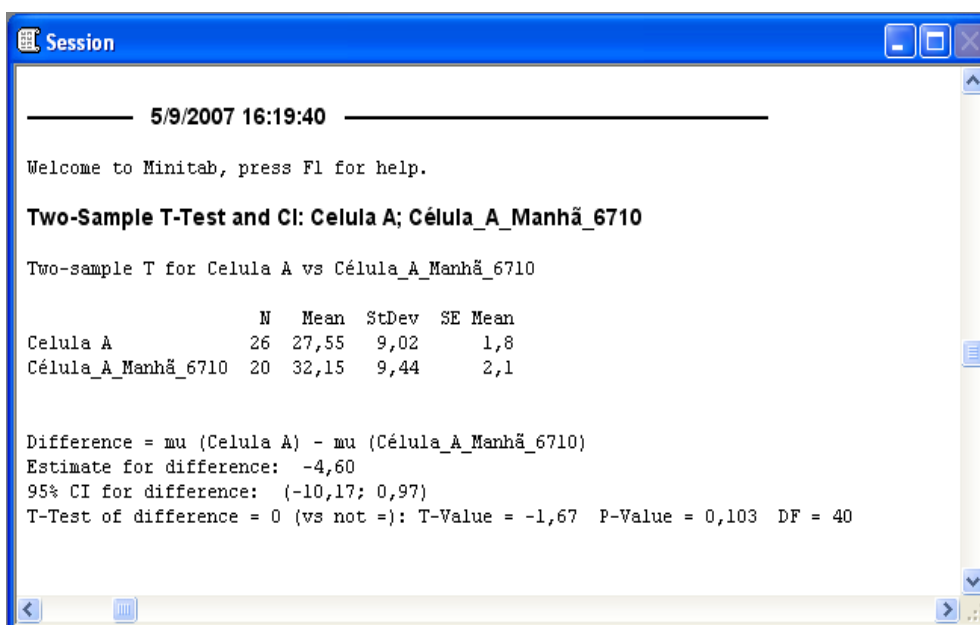


FIGURA 4 – Teste para verificar a igualdade de médias, Minitab 14®.

Dessa forma, foi considerado que todos os turnos apresentavam a mesma distribuição de tempo na execução da atividade em evidência. Partindo-se dessa premissa, os dados foram agrupados numa única amostra e submetidos ao StatFit®, um pacote estatístico que acompanha o ProModel 7.0®. No StatFit®, foi utilizado o recurso chamado *autofit*, que analisa qual a melhor distribuição estatística representa um conjunto de dados. Então foi obtido que a Distribuição Beta com valor mínimo de 8 s, valor máximo de 53 s; coeficiente angular inferior de 1,01 e coeficiente angular superior de 1,84, é a melhor distribuição que representa a amostra, conforme mostrado na Figura 5.

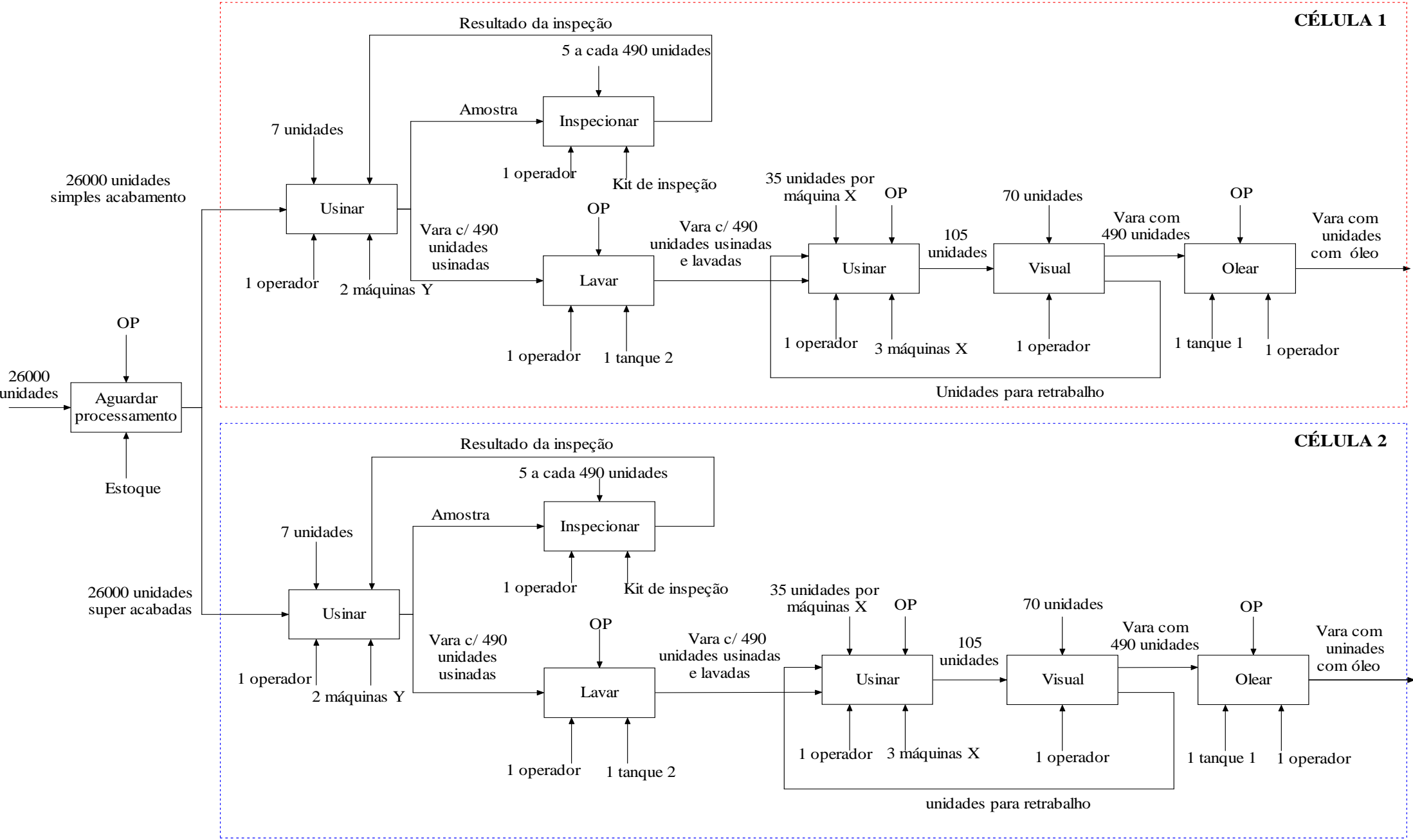


FIGURA 2 – Modelo conceitual em IDEF0.

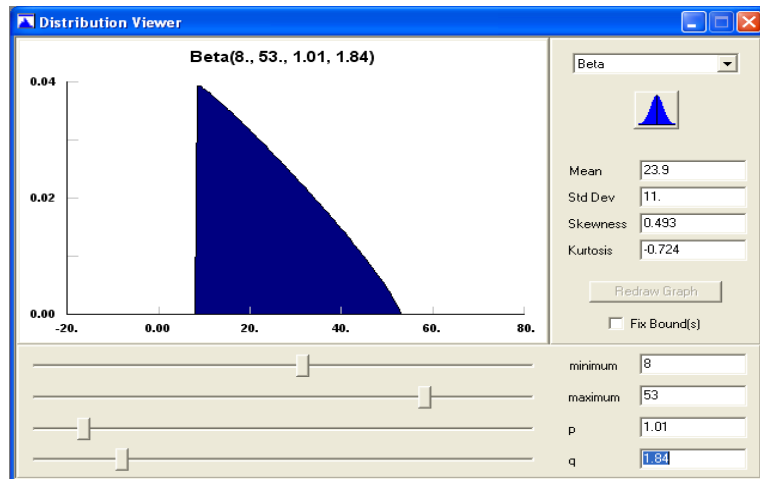


FIGURA 5 – Teste para verificar a melhor distribuição, StatFit®.

3.2 Implementação:

Passo 2.1: Construção do modelo computacional

O software ProModel 7.0® foi escolhido para a construção do modelo computacional por apresentar uma amigável interface gráfica, por possuir comandos de depuração, permitir o uso de contadores e variáveis, que são fatores que ajudam na verificação do modelo computacional, além da experiência dos pesquisadores com este pacote de simulação.

O modelo computacional foi construído a partir do IDEF0 utilizado no modelo conceitual, ressalta-se que este método foi essencial para o sucesso da construção do modelo computacional. Para se chegar ao modelo final, mostrado na Figura 6, é resultante da construção de 24 modelos.

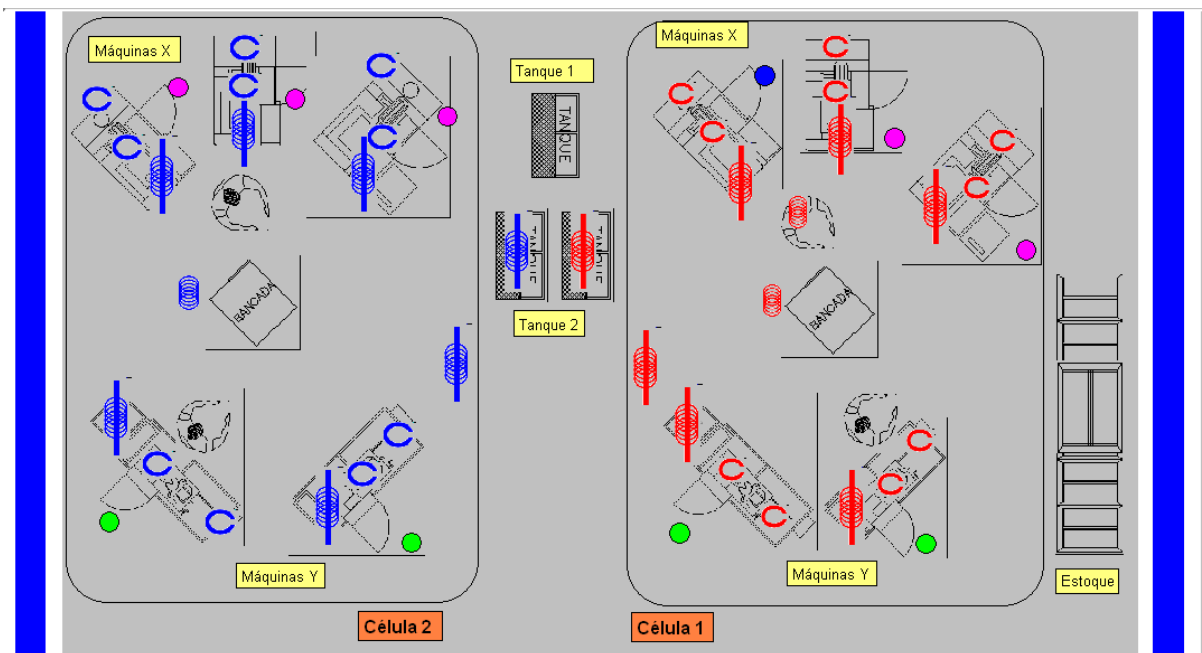


FIGURA 6 – Tela do modelo final, ProModel 7.0®.

Passo 2.2: Verificação do modelo computacional

A verificação de um modelo é definida ao assegurar-se que o programa computacional e sua implementação estão corretos. Para se chegar ao modelo final devidamente verificado fez-se uso de contadores, variáveis globais e sinalizadores, além da animação gráfica. Inúmeras corridas foram realizadas e os erros apresentados durante essas corridas foram localizados e corrigidos. A Figura 7 mostra o módulo de processos do software para o modelo final a fim de ilustrar a complexidade da célula em estudo, que é dada também pelas diferentes quantidades em que o produto é agrupado ao longo de todo o processamento.

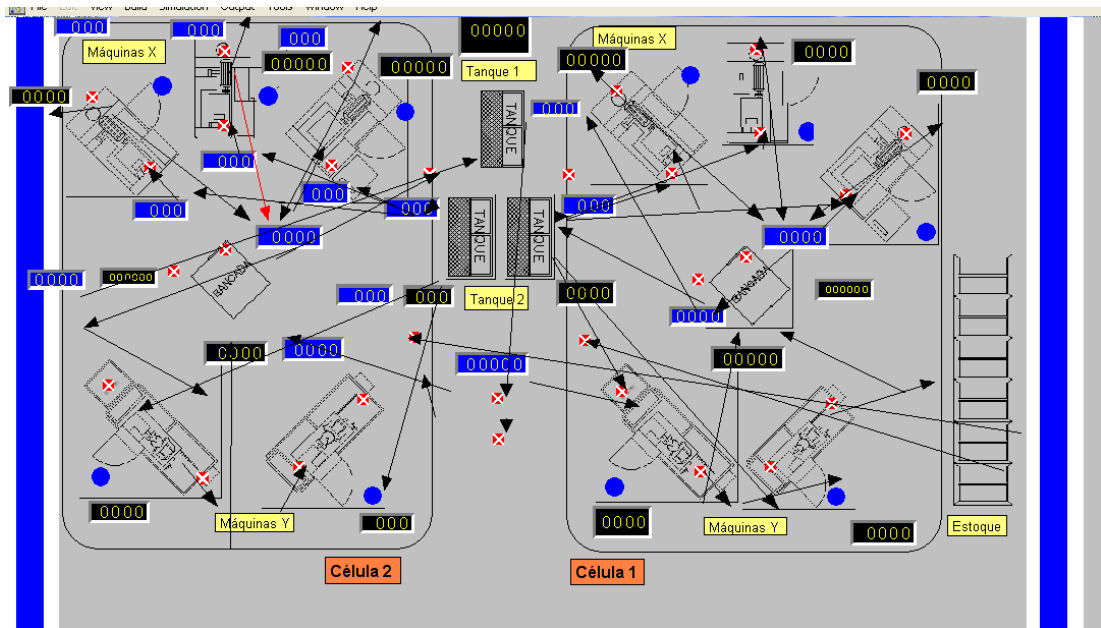


FIGURA 7 – Tela do módulo de processos para o modelo final, ProModel 7.0®.

Passo 2.3: Validação operacional do modelo computacional

Optou-se por uma única variável de saída do modelo computacional, ou seja, total de unidades produzidas na célula por dia. Passa-se então para a etapa de validação operacional do modelo computacional propriamente dita. Entretanto, como as saídas do modelo são variáveis discretas, foi necessário realizar uma transformação de estabilização da variância conforme apresentado por Bisgaard e Fuller (1994).

Após a transformação de estabilização da variância, foram realizados testes de estatísticas descritivas, eliminados os outliers e teste de aderência para distribuição Normal, a fim de se poder afirmar que a distribuição Normal é estatisticamente adequada para representar os dados (total de unidades produzidas por dia no real e no modelo). Após o teste verificou-se que os dados não podem ser ajustados por uma distribuição Normal. Sendo assim, o próximo passo é a realização do teste de hipóteses, que neste caso será não paramétrico, o teste de Mann-Whitney, conforme mostrado na Figura 8.

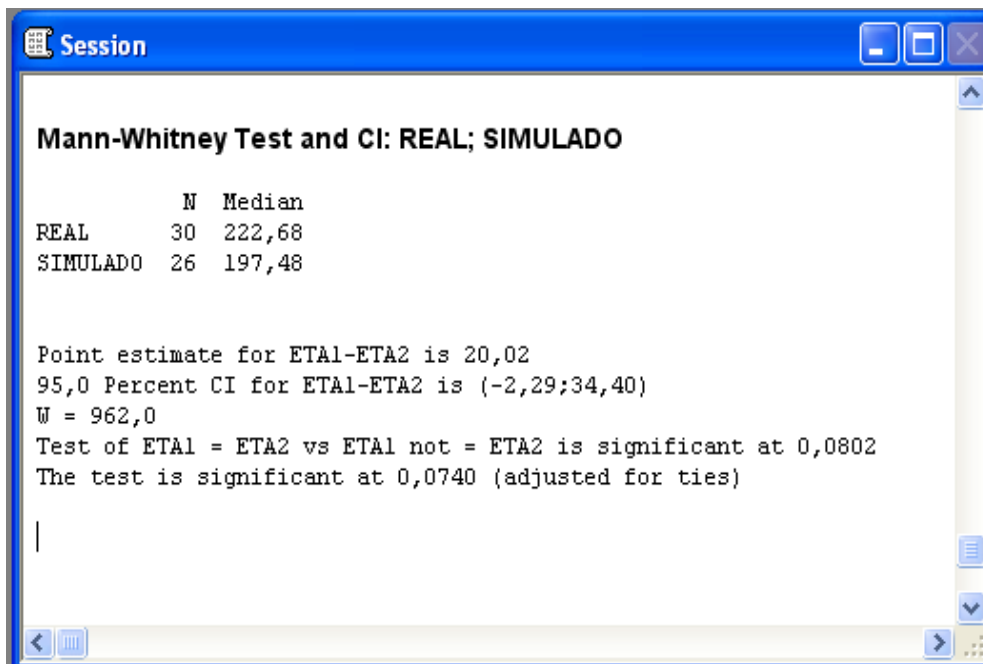


FIGURA 8 – Teste de hipóteses Mann-Whitney, Minitab 14®.

Como a estatística de teste de Mann-Whitney (0,0740) é maior que o nível de significância adotada (0,05) o modelo está validado estatisticamente para a variável de saída: total de unidades produzidas por dia na célula de acabamento. Além da validação estatística foi realizada a validação face a face por especialistas.

Os próximos passos para este estudo, como já foi dito anteriormente, consistem na construção e simulação de diversos cenários onde o objetivo é verificar e quantificar os possíveis métodos de trabalho na célula (divisão das atividades entre os colaboradores dentro da célula em questão).

4. Conclusão

A simulação de eventos discretos demonstrou ser uma valiosa ferramenta para auxiliar os gestores no processo de tomada de decisão, uma vez que uma célula complexa de manufatura foi modelada e validada, pode agora responder rapidamente as necessidades de aprimoramentos nesse sistema real, tais como: o que acontece se forem mudados os métodos de trabalho para os operadores desta célula? Ou o que acontece se o layout for mudado de maneira a serem criadas interfaces entre esta e a célula subsequente? Ou ainda qual a influência da ocorrência de múltiplas falhas combinadas no total de unidades produzidas? Estes questionamentos poderão ser respondidos em trabalhos futuros, porém fundamentados por este modelo apresentado por este trabalho. Destaca-se também o fato de se ter utilizado a técnica de modelagem IDEFO para representar o modelo conceitual, fato este que facilitou a implementação do modelo conceitual em um software de simulação, uma vez que oferece um maior detalhamento do processo, bem como um número maior de informações para o modelador do sistema computacional. Enfim, a realização de tratamento estatístico para modelar dados de entrada e para realizar a validação operacional com os dados de saída do modelo oferece aos gestores e a equipe de desenvolvimento maior credibilidade ao modelo e ao próprio suporte à tomada de decisão.

Referências

- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. Discrete event system simulation. 4 rd Ed. Prentice Hall. 2005.
- BISGAARD, S.; FULLER, H. Analysis of Factorial Experiments with defects or efectives as the response. Center for Quality and Productivity Improvement, University of Wisconsin, Report n. 119, 1994.
- CHUNG, C. A. Simulation modeling handbook, a practical approach. Industrial and manufacturing engineering series. 2004.
- CHWIF, L. Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal. Tese submetida à Escola Politécnica da Universidade de são Paulo, São Paulo, 1999.
- CHWIF, L.; MEDINA, A.C. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações. São Paulo, Ed. Dos Autores, 2006.
- DUARTE, R. N. 2003. Simulação Computacional: Análise de uma Célula de Manufatura em Lotes do Setor de Autopeças. Inst. de Engenharia de Produção e Gestão, Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, Dissertação de mestrado, 168p.
- HARREL, C.; TUMAY, K. Simulation Made Easy, Engineering & Management press, 1994.
- HARREL, C. R.; BATEMAN, R. E.; GOGG, T. J.; MOTT, J. R. A. System Improvement Using Simulation. Orem, Utah: PROMODEL Corporation. 1996.
- HERNANDEZ-MATIAS, J.C.; VIZAN, A.; PEREZ-GARCIA, J. & RIOS, J. An integrated modelling framework to support manufacturing system diagnosis for continuous improvement. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, artigo aceito em 2006 para publicação, aguarda impressão.
- JEONG, K.Y. Conceptual frame for development of optimized simulation based scheduling systems. Expert Systems with Applications, v.18, n.4, p. 299–306, 2000.
- KLEIJNEN, J. P. C. Verification and validation of simulations models. European Journal of Operational Research, v.82, n.1, 1995.
- LAW, A.M.; KELTON, W.D. Simulation Modelling and Analisys, 2nd Edition, McGraw Hill, New York, 1991.
- LAW, A. M. 2003. How to conduct a successful sumulation study. Proceedings of the Winter Simulation Conference.
- LAW, A. M. 2006. How to build valid and credible simulation models. In Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, 2006.
- LEAL, F.; OLIVEIRA, M. L. M.; ALMEIDA, D. A. de; MONTEVECHI, J. A. B.; MARINS, F. A. S.; MAHLE, A. J. de M. Elaboração de modelos conceituais em simulação

computacional através de adaptações na técnica de IDEF0: uma aplicação prática. ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007.

MONTEVECHI, J.A.B; PINHO, A.F.; LEAL, F.; MARINS, F.A.S. Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, 2007.

OLIVEIRA, F. A. de. 2003. A Gestão Baseada em Atividades (ABM) aplicada em ambientes celulares: uma abordagem metodológica. Inst. de Engenharia de Produção e Gestão, Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, Dissertação de mestrado, 140p.

O'KANE, J.F.; SPENCELEY, J.R.; TAYLOR, R. Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems. Journal of Materials Processing Technology 107 412±424, 2000.

PERERA, T. & LIYANAGE, K. Methodology for rapid identification and collection of input data in the simulation of the manufacturing systems. Simulation Practice and Theory, n.7, p.645–56, 2000.

RYAN, J. & HEAVEY, C. Process modeling for simulation. Computers in Industry, n.57, p. 437–450, 2006.

SARGENT, R. G. Simulation model validation. Chapter 19 in Simulation and Model-Based Methodologies: An Integrative View, ed. T. I. Oren, B. P. Zeigler, and M. S. Elzas, 537-555. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag. 1984.

SARGENT, R. G. Validation and verification of simulation models Proc. 2004 Winter Simulation Conf., G. Ingalls, M. D. Rossetti, J. S. Smith, and B. A. Peters, Syracuse, NY 13244, U.S.A. 2004.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. Chapter IX in Progress in Modelling and Simulation, ed. F. E. Cellier, 159-169. London: Academic Press. 1982.