DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS EM UMA CÉLULA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE UMA EMPRESA DE ALTA TECNOLOGIA

Mona Liza Moura de Oliveira
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Caixa postal 50, CEP:37500-903, Itajubá, MG
monaoli@yahoo.com.br

Rafael de Carvalho Miranda
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Caixa postal 50, CEP:37500-903, Itajubá, MG
mirandaprod@yahoo.com.br

José Arnaldo Barra Montevechi
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Caixa postal 50, CEP:37500-903, Itajubá, MG
montevechi@unifei.edu.br

Fabiano Leal
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Caixa postal 50, CEP:37500-903, Itajubá, MG
fleal@unifei.edu.br

RESUMO

Simulação a eventos discretos é uma das mais adequadas ferramentas para modelagem e análise de melhorias em sistemas reais. Este trabalho visa desenvolver um projeto de simulação computacional em uma célula de controle de qualidade de uma empresa brasileira de alta tecnologia. Pretende-se verificar o comportamento do sistema com a introdução da automação em uma das etapas de testes realizados na célula. Quatro cenários foram elaborados: um com a introdução da automação e manutenção de três colaboradores, outro com a automação e redução de um operador, outro com a automação e um operador e por fim, a fim de apresentar uma proposta de melhoria imediata, construiu-se um cenário sem automação e com dois operadores. Todos estes cenários foram construídos para que os tomadores de decisão da empresa pudessem escolher o que melhor atendesse as necessidades da mesma.

PALAVRAS-CHAVE. Simulação a eventos discretos. IDEF-SIM. Automação. Simulação

ABSTRACT

Discrete event simulation is one of the most suitable tools for modeling and improvement analysis in real systems. This work aims to develop a project of computational simulation in a quality control cell of a Brazilian tech company. This project intends to investigate the behavior of the system with the introduction of automation into one of the test stages in the cell. Four scenarios were developed: one with the introduction of automation and maintenance of three employees, one with the automation and reduction of an operator, another with automation and an operator and, finally, to present a proposal for immediate improvement, was built a scenario without automation and two operators. All these scenarios were constructed so that decision makers could choose the scenario that best meets the needs of the enterprise.

KEYWORDS. Discrete event simulation. IDEF-SIM. Automation.

1. Introdução

A fim de se manterem competitivas, reduzir custos, aumentar a qualidade e agilidade de seus processos e ainda reduzir riscos de erros humanos, diversas empresas tem buscado a opção de automatizar suas atividades. Entretanto, esta opção deve ser analisada não só no que diz respeito a custos, mas também ao impacto da introdução desta automação no sistema real, como por exemplo, se será possível atender a demanda e qual a nova taxa utilização dos operadores. Todas estas análises podem ser feitas com o uso da simulação computacional.

De acordo com Chwif e Medina (2007), os sistemas reais geralmente apresentam uma maior complexidade devido a sua natureza dinâmica e aleatória. Modelos de simulação conseguem 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. O modelo de simulação é utilizado, particularmente, como uma ferramenta para se obter respostas a sentenças do tipo: "o que ocorre se...".

Autores como O'Kane, Spenceley, e Taylor (2000) afirmam que a simulação tem se tornado uma das técnicas mais populares para se analisar problemas complexos em ambientes da manufatura. Segundo Chen e Kelton (1999), o uso da simulação vem auxiliar diretamente a execução de experimentos custosos ou mesmo impossíveis de serem realizados na prática.

Dentro deste contexto das vantagens oferecidas pelo uso da simulação para análises de processos, o objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto de simulação a eventos discretos, a fim de analisar o impacto da introdução da automação em uma célula de controle de qualidade em uma empresa de alta tecnologia.

O trabalho se encontra dividido em cinco sessões. A primeira traz uma revisão teórica a cerca da simulação a eventos discretos. Em seguida é apresentada a metodologia a ser desenvolvida nesse trabalho, seguida de sua aplicação. Por fim, os resultados obtidos são discutidos e as referências bibliográficas apresentadas.

2. Simulação a eventos discretos

No passado, a simulação era considerada uma técnica de último recurso, que deveria ser utilizada quando "todas as técnicas possíveis falhassem". Porém, com o passar do tempo a simulação vem se tornando uma das técnicas mais utilizadas, como podem comprovar as pesquisas de campo (LAW e KELTON, 2000).

Banks *et al.* (2005) afirmam que a modelagem por simulação a eventos discretos tem se tornado uma das técnicas de análise de sistemas complexos de manufatura mais populares e de melhor custo benefício.

Simulação é a imitação de um sistema real, modelado computacionalmente para avaliar e melhorar o desempenho deste (HARREL, GHOSH e BOWDEN, 2000). Já para Montevechi *et al.* (2007) simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado, onde seu comportamento pode ser estudado sob diversas condições, sem riscos físicos e/ou altos custos envolvidos.

De acordo com Chwif e Medina (2007) a simulação a eventos discretos é utilizada para modelar sistemas que mudam o seu estado em momentos discretos no tempo, a partir da ocorrência de eventos. Segundo Sakurada e Miyake (2009) a simulação é uma técnica utilizada tanto para projeto e avaliação de novos sistemas, como para reconfiguração física ou mudanças no controle e/ou regras de operação de sistemas existentes.

Algumas etapas para a simulação de sistemas são propostas por alguns autores. Chwif (1999) propõe em seu trabalho um ciclo envolvendo a concepção, implementação e análise, como mostra a Figura 1.

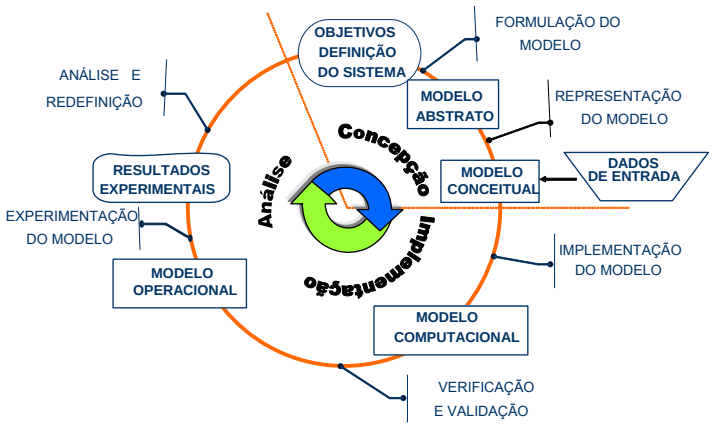

Figura 1: Seqüência de passos para a simulação
Fonte: Chwif (1999)

Na Concepção, a equipe do projeto de simulação define os objetivos e o escopo do estudo. Em seguida, o modelo conceitual é construído com o objetivo de representar o sistema existente, facilitando a construção do modelo computacional de simulação (COSTA *et al.*, 2009).

Já na etapa de implementação, o modelo conceitual é convertido em modelo computacional, através da programação em um simulador. Um ponto importante em um estudo de simulação é a escolha correta do software (CHWIF e MEDINA, 2007). Este modelo computacional deve ser verificado e validado para assim estar apto para próxima fase, a etapa de análise.

Segundo Paiva *et al.* (2009) na terceira fase, análise dos resultados, o modelo computacional está pronto para a realização de experimentos, dando origem ao modelo experimental ou modelo operacional. Nesta etapa 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 geradas. Caso necessário, o modelo pode ser modificado, e este ciclo reiniciado.

3. Metodologia

Existem na literatura diversas estruturas que ilustram as etapas de um estudo de modelagem e simulação como, por exemplo, Banks (1998), Chwif e Medina (2007), Law (2006) e Sánchez (2007). O trabalho aqui desenvolvido seguirá a metodologia utilizada no trabalho de Montevechi *et al.* (2007). Esta se encontra divida em três etapas, a saber: concepção, implementação e análise.

A primeira etapa a ser trabalhada consiste na definição dos objetivos do estudo, construção e validação do modelo conceitual e modelagem dos dados de entrada. A fase de implementação se iniciará com a construção, verificação e validação do modelo computacional. Por fim, a fase de análise trabalhará com o modelo experimental, execução de experimentos, análise estatística e conclusões.

Cada etapa supracitada será detalhada na próxima sessão. Para melhor compreensão, a figura 1 abaixo apresenta passo a passo a metodologia utilizada, sendo esta adaptada do trabalho de Montevechi *et al.* (2007).

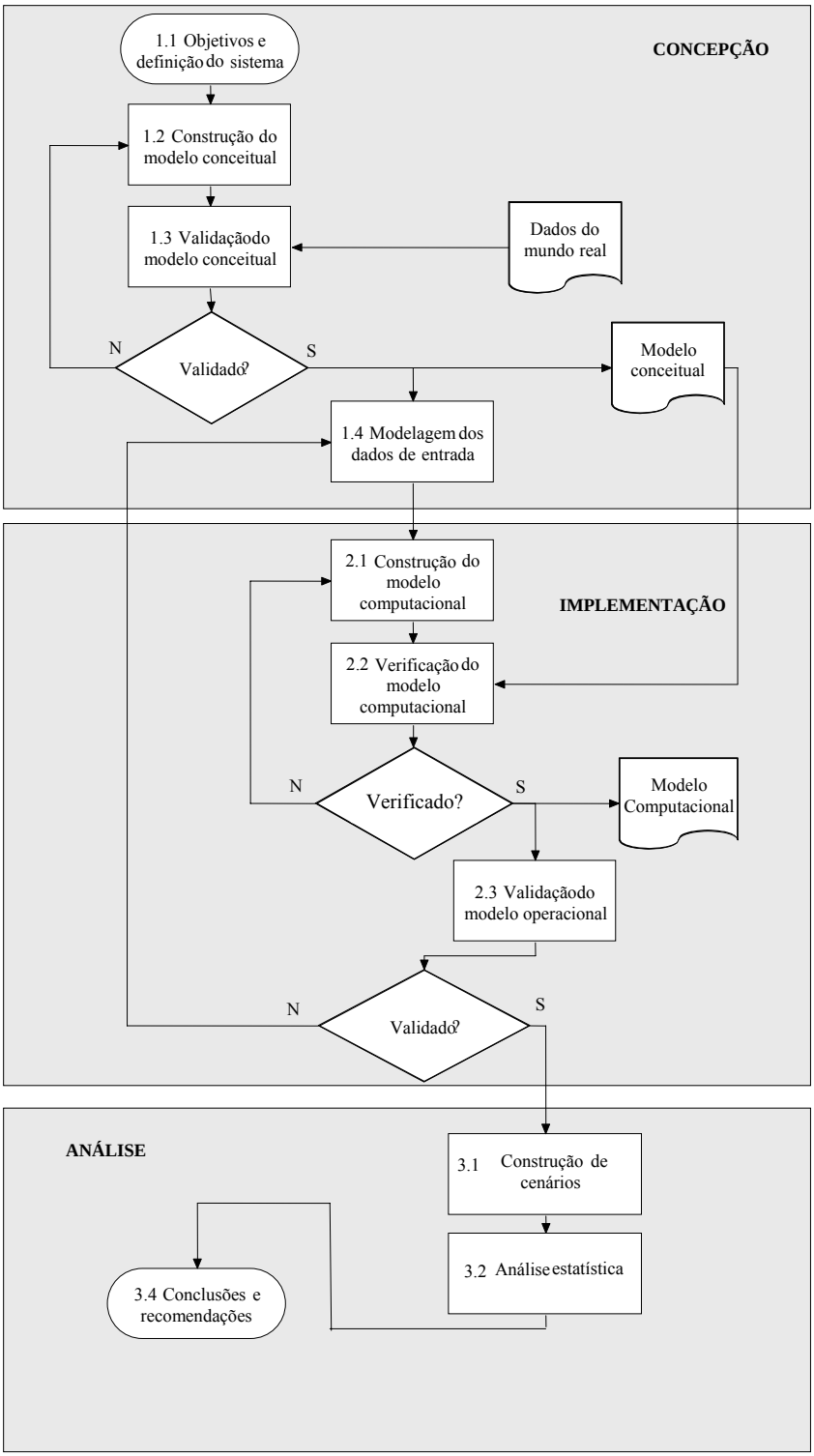

Figura 2: Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho
Fonte: Montevechi *et al.* (2007) adaptada.

4. Aplicação da metodologia

4.1. Concepção

Passo 1.1: Objetivos e definições do sistema

A célula de controle de qualidade (CQ), da empresa escolhida para estudo, é responsável por realizar diferentes testes em diversos produtos antes da expedição dos mesmos aos clientes finais. Esta célula recebe em torno de 75% dos produtos das seis linhas de produção existentes. Tomadores de decisão da empresa acreditam que esta célula possa estar sobrecarregada com o recebimento deste grande número de produtos e uma solução encontrada pela própria empresa foi automatizar uma das atividades realizadas no CQ.

Esta solução visa não só eliminar o risco do erro humano nesta atividade, mas também permitir que o tempo dedicado a esta operação pelos operadores possa ser realocado para outras atividades na célula.

O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver um projeto de simulação computacional a eventos discretos na célula de controle de qualidade (CQ) da empresa, para verificar o impacto da introdução da automação no número de peças testadas e na utilização dos operadores.

Passo 1.2: Construção do modelo conceitual

A etapa de construção de um modelo conceitual é umas das etapas mais importantes em um projeto de simulação, embora muitos autores pulem esta etapa (CHWIF e MEDINA, 2007). O mapeamento do processo consiste na construção de um modelo que apresenta a relação entre atividades, pessoas, dados e objetos necessários para a produção de um *output* específico (BIAZZO, 2002).

De acordo Ryan e Heavey (2006) existem diversas técnicas de mapeamento de processos, entretanto poucas delas oferecem suporte necessário à construção de um modelo computacional. Portanto, para mapear o sistema a ser mapeado, utilizou-se a técnica IDEF-SIM, criada por Leal, Almeida e Montevechi (2008), uma vez que esta foi desenvolvida com o foco específico em projetos de simulação. O modelo conceitual criado está representado na figura 3 a seguir.

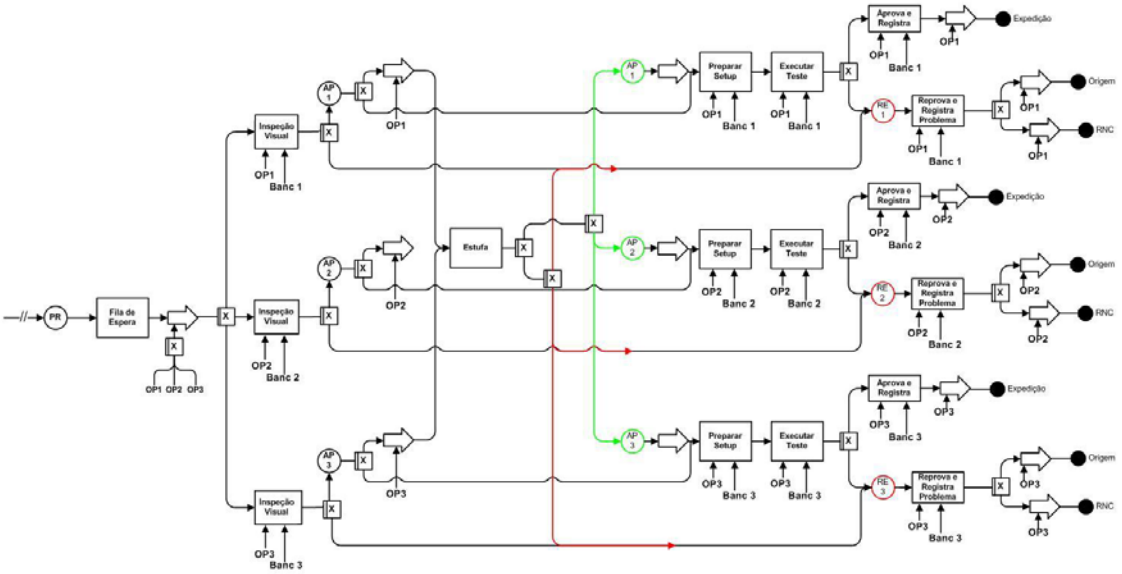

Figura 3: Modelo conceitual em IDEF-SIM da célula de Controle de Qualidade

Passo 1.3: Validação do modelo conceitual

Segundo Sargent (2008) a validação do modelo conceitual é definida como a determinação de que as teorias e os pressupostos subjacentes ao modelo conceitual estão corretos e que a representação do modelo é "razoável" para seus objetivos.

Na validação do modelo conceitual utilizou-se da técnica de validação face a face. Técnica segundo a qual os especialistas do sistema compreendem o modelo como correto (SARGENT, 2008). Para tanto, o modelo conceitual desenvolvido através da técnica IDEF-SIM foi apresentado a especialistas da linha em questão e diretores interessados no desenvolvimento do projeto. Com o modelo conceitual validado, partiu-se para último passo dentro da concepção, a modelagem dos dados de entrada.

Passo 1.4: Modelagem dos dados de entrada

Esta etapa é composta por três passos: coleta de dados, tratamento de dados e inferência.

Na coleta de dados realizou-se a cronometragem dos tempos das atividades que representaram a população de interesse no estudo estatístico. Esses dados foram tratados e no momento da inferência foi possível traçar as curvas de distribuição de probabilidade de cada atividade para cada um dos 17 produtos inspecionados no CQ.

Para realização dos estudos estatísticos utilizou-se o software Minitab®. Inicialmente realizou-se o teste de normalidade (Anderson-Darling) para todas as amostras. Para 66% destas o valor de P-Value foi superior a 0,05, portanto estas distribuições foram consideradas normais.

As demais distribuições foram submetidas ao teste de identificação de distribuição, no qual se encontrou a distribuição lognormal como melhor resultado.

4.2 – Implementação

Passo 2.1: Construção do modelo computacional

Para construção do modelo computacional foi utilizado o simulador *Promodel*®. Tal escolha se deve a experiência que os autores possuem com o software e por este apresentar características de animação que auxiliam no processo de verificação e validação do modelo computacional.

Foram construídos sete modelos, em ordem crescente de complexidade, até se conseguir o modelo final para ser submetido ao processo de validação estatística. A variável escolhida para a validação estatística foi o total de peças testadas por mês. Este modelo de simulação foi executado por quatro semanas, com doze réplicas. A figura 4 mostra a tela do modelo final.

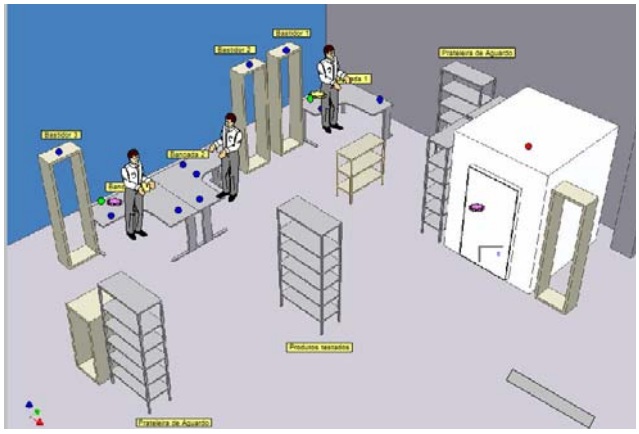

Figura 4: Tela do Promodel® para o modelo de simulação do sistema real

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 (SARGENT, 2008).

Para o presente modelo fez-se uso de contadores, variáveis e sinalizadores, além da animação gráfica para verificar incoerências no modelo. Alguns erros foram encontrados e devidamente corrigidos. A figura 5 destaca alguns postos sinalizados, variáveis e contadores utilizados para verificação.

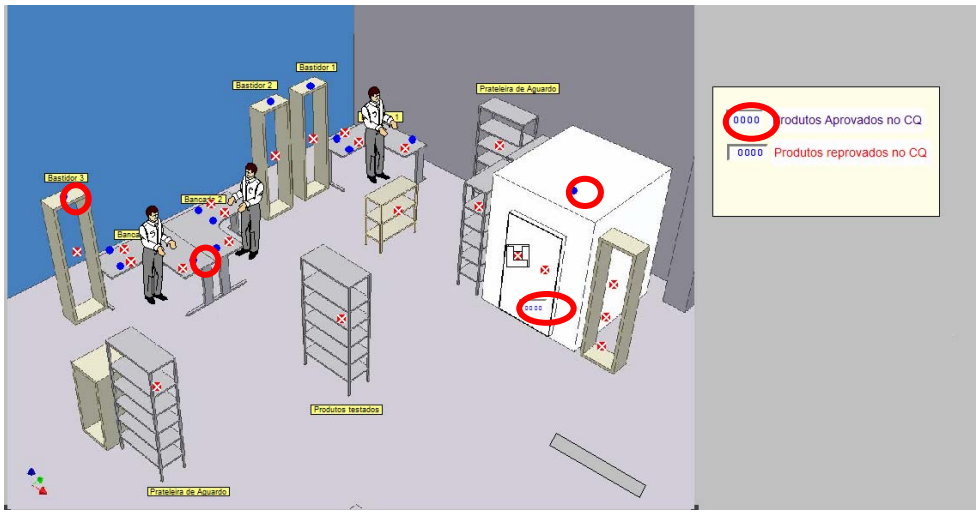

Figura 5: Sinalizadores e contadores utilizados para verificação

Passo 2.3: Validação do modelo operacional

Segundo Sargent (2008) a validação operacional é definida como a determinação de que o comportamento do modelo simulado detém precisão suficiente para representar o modelo real para a aplicabilidade a qual se destina.

Assim, se o modelo não é uma aproximação bastante próxima do sistema real, todas as conclusões derivadas deste estarão susceptíveis a erros e poderão resultar em decisões incorretas. Sendo assim a validação deve e pode ser feito para todos os modelos, independentemente do sistema modelado (LAW, 2006).

A literatura apresenta varias técnicas de validação, Sargent (2008) destaca as seguintes técnicas: Animação, Comparação com Outros Modelos, Testes Degenerativos, Teste de Condição Extrema, Validade de Face, Validação com Dados Históricos, Métodos Históricos, Validade Interna, Validação Multiestágio, Análise de Sensibilidade, Teste de Turing. Para este modelo utilizou-se da técnica de validação estatística.

Uma vez que a variável escolhida para estudo "número de peças testadas mensalmente" se trata de uma variável discreta, existe a necessidade de se transformar os dados antes da análise estatística, para se estabilizar a variância. (BISGAARD & FULLER, 1994). Segundo os mesmos autores, esta estabilização é conseguida, para os dados em questão, através da raiz quadrada dos dados.

Os resultados obtidos no modelo computacional foram comparados com os dados reais obtidos na empresa, esta comparação foi feita para um horizonte de doze meses. Para tal, utilizou-se do software MINITAB® e da realização de testes de hipóteses.

De posse dos dados transformados segundo orientação de Bisgaard & Fuller (1994), foi realizado o teste de normalidade para os dados reais e simulados (Figuras 6 e 7).

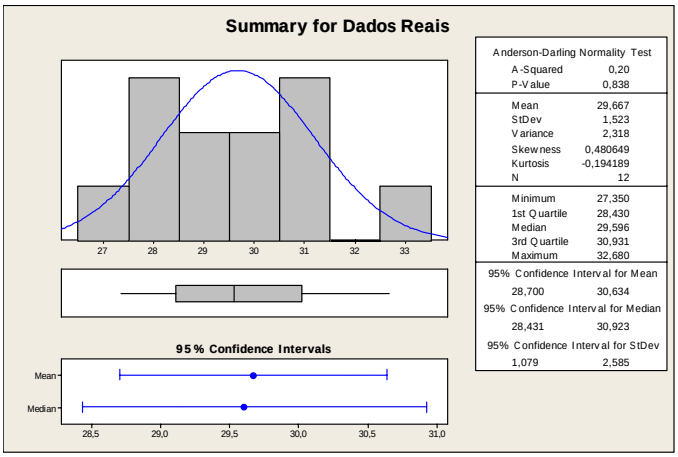

Figura 6: Teste de Normalidade para Dados Reais

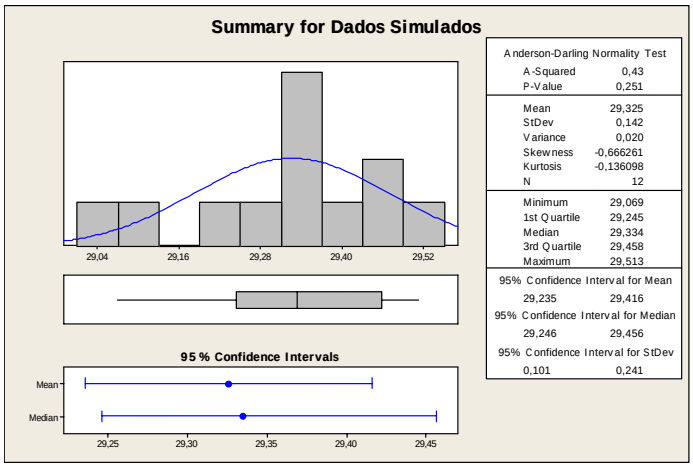

Figura 7: Teste de Normalidade para Dados Simulados

Como os resultados obtidos para os dados simulados e reais se aproximaram de uma distribuição normal (*P-Values* iguais a 0,838 e 0,252 respectivamente) lançou-se mão do Teste f.

Como o *P-Value* do Teste f foi inferior a 0,05 descartou-se a hipótese de que as variâncias são iguais.

Desta forma realizou-se o Teste t desconsiderando a opção de variâncias iguais. Realizado o teste verificou-se que a estatística do Teste t (*P-Value* = 0,455) foi maior que o nível de significância adotado ($\alpha = 0,05$), desta forma tem-se o modelo validado estatisticamente para a variável de saída "número de produtos testados mensalmente".

Uma vez validado o modelo computacional, este se encontra apto a receber experimentações.

4.3 Análise

Passo 3.1: Construção de cenários

Uma vez validado o modelo computacional, foi possível construir cenários para avaliar o impacto da automação em uma das atividades realizadas pelos operadores na célula de controle de qualidade.

As atividades dos três operadores do CQ consistem basicamente em fazer uma inspeção visual nos produtos, realizar testes nos chamados bastidores e por fim registrar a aprovação ou

reprovação dos produtos testados. Com a automação, a etapa de realização de testes no bastidor não necessitará da supervisão dos operadores, deixando-os assim livres para realizarem outras tarefas. Considerando este novo funcionamento do CQ, o primeiro cenário foi construído.

Entretanto, ao avaliar certa ociosidade dos operadores com a presença da automação em uma das etapas de teste da célula, novas propostas de cenários surgiram. Construíram-se mais dois cenários, o cenário 2 com apenas dois operadores para realizar todas as atividades da célula de controle de qualidade e o cenário 3, com apenas um operador trabalhando nesta célula.

Construiu-se ainda um último cenário, o cenário 4, onde considera-se o sistema atual sem a presença de automação, entretanto com dois operadores apenas. Pensou-se nesta proposta para que a empresa tenha outra opção de melhoria no CQ, caso a implementação da automação demore a acontecer.

Passo 3.2: Análise estatística dos cenários

Todos os cenários desenvolvidos foram analisados e seus resultados foram comparados estatisticamente em relação à produção real, através de um teste de hipótese. Realizou-se esta comparação para verificar se a média de produtos testados mensalmente, resultante dos cenários, apresentaria mudança significativa quando comparada aos dados reais. O mesmo procedimento utilizado na validação do modelo computacional foi aqui utilizado.

Cenário	Nº de operadores	Automação	P*value*	Análise
Cenário 1	3	presença	0,474	Não apresenta diferença significativa no número de produtos testados
Cenário 2	2	presença	0,423	Não apresenta diferença significativa no número de produtos testados
Cenário 3	1	presença	0,494	Não apresenta diferença significativa no número de produtos testados
Cenário 4	2	ausência	0,514	Não apresenta diferença significativa no número de produtos testados

Tabela 1 – Avaliação estatistica dos cenários

Analisou-se ainda a porcentagem de utilização de cada operador dentro de cada cenário simulado. Estas informações podem ser visualizadas na figura 8 a seguir:

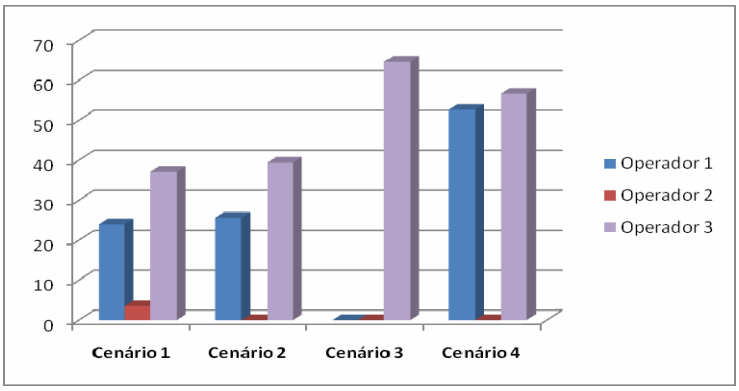

Figura 8: Porcentagem de utilização dos operadores por cenário

Passo 3.2.1 Análise de Resultados

Através da análise estatística dos cenários pode-se verificar que não há uma alteração significativa na quantidade de produtos testados em todos eles. Ou seja, independente do cenário escolhido este atenderá a demanda atual de inspeção de produtos. A presença da automação na célula, mesmo apresentando vantagens como eliminação de erros humanos no teste de bastidor, não apresenta aumento significativo no número de produtos testados mensalmente.

Com relação à utilização dos operadores, pode-se observar no cenário 1, que com a introdução da automação no sistema atual há um grande índice de ociosidade já no cenário 2,

onde se tem a divisão do trabalho entre dois operadores, ainda existe um pequeno grau de utilização dos mesmos. O cenário 3, onde considerou-se que somente um operador realizaria o trabalho, o grau de utilização aumenta, entretanto o mesmo pode ficar sobrecarregado. No último cenário, analisou-se como o sistema reagiria com a redução de um operador, porém sem a presença da automação. O grau de ociosidade para este cenário foi reduzido, representando uma melhoria imediata para a empresa.

5. Conclusão

O objetivo inicial foi alcançado, uma vez que o projeto de simulação computacional desenvolvido possibilitou analisar a reação do sistema com a introdução da automação na célula de controle de qualidade.

Foram criados três cenários com a presença de automação na célula. No primeiro cenário pôde-se perceber um aumento no nível de ociosidade dos operadores, sendo assim, optou-se por reduzir operadores nos demais cenários. Mesmo com esta redução o atendimento da demanda atual não foi prejudicado. Vale lembrar que apesar do cenário 3, com apenas um operador, atender a demanda, este pode não ser aconselhável, uma vez que a mesma pode aumentar e sobrecarregar o operador.

Um quarto cenário foi criado, sendo este sem a presença de automação. Verificou-se neste cenário que dois operadores atendem a demanda da linha, permitindo a realocação do outro operador, a critério dos gestores da empresa, sem comprometimento da capacidade de inspeção. Este cenário foi criado como uma alternativa de melhoria caso a automação demore a acontecer.

Cabe ressaltar que todas as propostas de cenários foram apresentadas aos gestores da empresa para que estes pudessem escolher a que melhor atende as necessidades da mesma.

A utilização da técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM permitiu, além da maior facilidade de compreensão do sistema estudado, uma maior facilidade na etapa de construção do modelo computacional, por ser uma técnica focada em projetos de simulação.

Por fim, destaca-se a necessidade de um estudo futuro relacionando os ganhos obtidos com a automação e seus custos de implantação. Fato este que não inviabiliza o estudo atual, visto que os cenários propostos já elucidaram as reações do sistema sob a implementação da automação, proporcionando dados importantes para a tomada de decisão dos gestores da empresa.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a FAPEMIG, CAPES e a Padtec S/A pelo apoio oferecido a esta pesquisa.

Referências

Banks, J. *Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*, *Ed. John Wiley & Sons, Inc.*, 1998.

Banks, J., Carson, J.S., Nelson, B.L. E Nicol, D.M., *Discrete-event system simulation,* 2ª Edição, New Jersey: Prentice Hall, 2005.

Biazzo, S. (2002), Process mapping techniques and organizational analysis - Lessons from Sociotechinical System Theory, *Business Process Management Journal*, 8, 1, 42-52.

Bisgaard, S. e Fuller, H., Analysis of Factorial Experiments with defects or defectives as the response, Report n. 119, *Center for Quality and Productivity Improvement University of Wisconsin.* 1994.

Costa, R. F. da S., Oliveira, M. L. M. de, Montevechi, J. A. B., Pinho, A. F. de e Leal, F. (2009), Simulação a eventos discretos como uma ferramenta para avaliação econômica de cenários em uma célula de manufatura. *In: XLI SBPO* 2009, Porto Seguro.

Chen, E. J. e Kelton, W.D. (1999), Simulation Based Estimation of Quantiles, *In: Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference,* Phoenix, AZ, USA.

Chwif, L. Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal, 151 f. *Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo*, São Paulo, 1999.

Chwif, L. e Medina, A.C., *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 2ª Edição. São Paulo, Editora dos Autores, 2007.

Harrell, C., Ghosh, B. K. e Bowden, R., *Simulation Using Promodel*. 3. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.

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

Law, A.M. (2006), How to build valid and credible simulation models, *In: Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, Monterey, CA, USA.

Leal, F., Almeida, D. A. e Montevechi, J. A. B. (2008), Uma proposta de técnica de modelagem conceitual para a simulação através de elementos do IDEF, *In: XL SBPO*, João Pessoa.

Montevechi, J. A. B., Pinho, A. F. de, Leal, F. e Marins, F. A. S. (2007), Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry, *In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, Washington,* DC, USA.

O'kane, J. F., Spenceley, J. R. e Taylor, R. (2000), Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems. *Journal of Materials Processing Technology*, 107, 412-424.

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

Ryan, J. e Heavey, C. (2006), Process modeling for simulation. *Computers in Industry*, 57, 437–450.

Sakurada, N. e Miyake, D. I. (2009), Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. *Gestão da Produção*, São Carlos, 16, 1, 25-43.

Sánchez, P.J. (2007), Fundamentals of simulation modeling. *In: Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, Washington, USA.

Sargent, R.G. (2008), Validation and verification of simulation models. *In: Proceedings of the 2008 Winter Simulations Conference,* Miami, FL, USA.