ABORDAGEM SISTEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE CENÁRIOS PARA MODELOS DE SIMULAÇÃO DISCRETA EM MANUFATURA

Rafael Florêncio da Silva Costa
Universidade Federal de Itajubá
Avenida BPS, 1303, Pinheirinho – Itajubá, MG, 37500903, Brasil
rafael.florencio@yahoo.com.br

José Arnaldo Barra Montevechi
Universidade Federal de Itajubá
Avenida BPS, 1303, Pinheirinho – Itajubá, MG, 37500903, Brasil
montevechi@unifei.edu.br

Alexandre Ferreira de Pinho
Universidade Federal de Itajubá
Avenida BPS, 1303, Pinheirinho – Itajubá, MG, 37500903, Brasil
pinho@unifei.edu.br

RESUMO

Decisões no setor de manufatura têm sido tomadas com base em resultados de experimentações em modelos de simulação a eventos discretos que imitam o funcionamento dos sistemas reais ou em fase de projeto. Entretanto, a gerência ainda necessita analisar os benefícios esperados para justificar a necessidade de investimento de capital, através de uma análise de viabilidade econômica. Sendo assim, este artigo propõe uma abordagem sistemática para avaliação econômica de cenários para modelos de simulação em manufatura. A partir de uma análise da literatura a respeito do uso combinado de simulação, planejamento de experimentos, custeio baseado em atividades e valor presente líquido, identificou-se a oportunidade de integrar estas quatro técnicas para auxiliar na tomada de decisões. Esta abordagem sistemática mostra a contribuição de cada técnica individualmente, além de mostrar como estas técnicas se comunicam e se complementam. Contudo, a aplicação da abordagem sistemática proposta faz parte de uma etapa futura.

PALAVRAS-CHAVE. Simulação a eventos discretos. Planejamento de experimentos. Custeio baseado em atividades. SIM-Simulação.

ABSTRACT

Decisions in the manufacturing sector have been made based on experimental results from discrete-event simulation models that mimic the real or under design systems. However, managers need to analyze the expected benefits in order to justify the necessity of capital investment. This might be done through an economic feasibility analysis. This way, this paper proposes a systematic approach in order to evaluate scenarios for simulation models economically in manufacturing. From a current literature analysis involving the combined used of simulation with design of experiments, activity-based costing and net present value, the opportunity of using these four techniques to aid the decision makers was identified. This systematic approach shows the contribution of each technique individually, besides that it shows how these techniques communicate with and supplement each other. Nevertheless, the application of this systematic approach constitutes a future step.

KEYWORDS. Discrete-event simulation. Design of experiments. Activity-based costing. SIM-Simulation.

1. Introdução

A simulação computacional a eventos discretos tem sido empregada de forma crescente para auxiliar a tomada de decisões (BANKS *et al.*, 2005; GARZA-REYES *et al.*, 2010; SARGENT, 2009). Spedding e Sun (1999) afirmam que os resultados de estudos de simulação a eventos discretos envolvendo somente o aumento do total produzido ou a redução do tempo de produção não são suficientes para auxiliar os gestores na tomada de decisão. Os mesmos autores sugerem a incorporação do sistema de custeio baseado em atividades e da análise de cenários por valor presente líquido em modelos de simulação, como uma vantagem competitiva.

Para Cabrera-Rios, Mount-Campbell e Irani (2002) existe a necessidade da criação de modelos que enfatizam aspectos econômicos em células de manufatura. Os mesmos autores argumentam que a lucratividade é a principal meta para a maioria das empresas de manufatura no mundo, contudo, esta medida de desempenho nem sempre é explicitamente levada em consideração em modelos de simulação. Tatsiopoulos, Panayiotou e Ponis (2002) acrescentam que a gerência necessita de uma análise suficiente dos benefícios esperados para justificar a necessidade de investimento de capital.

Podem ser encontrados trabalhos recentes na literatura que não consideraram aspectos econômicos e propuseram modificações no sistema real, porém registraram em suas conclusões a necessidade de levar em consideração a viabilidade econômica. Como no trabalho de Ekren *et al.* (2010), no qual, os autores utilizaram a simulação e o planejamento de experimentos para identificar fatores (número de elevadores, veículos,...) que poderiam afetar nos indicadores de desempenho de um armazém que leva, estoca e busca produtos de forma automatizada. Os autores apenas verificaram quais fatores são significantes para melhorar o sistema, sem envolver nenhuma análise econômica ou de custos. No entanto, eles registraram nas conclusões a necessidade de levar em consideração a viabilidade econômica de se realizar estas mudanças.

Por outro lado, Nazzal *et al.* (2006) justificam o uso de modelos de simulação a eventos discretos para realizar a análise econômica. No trabalho destes autores, modelos de simulação, planejamento fatorial fracionado e valor presente líquido foram combinados para avaliar a viabilidade da compra de novos equipamentos em uma indústria de microeletrônica. Os autores afirmam que decisões de investimento de capital geralmente são tomadas com base em modelos estáticos e determinísticos, utilizando modelos em planilhas eletrônicas ou modelos de otimização, os quais podem considerar apenas estimativas de modelos analíticos que simplificam muito as operações de manufatura.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é propor uma abordagem sistemática para avaliar economicamente cenários em modelos de simulação discreta em manufatura. Esta abordagem sistemática consiste em uma integração entre modelos de simulação a eventos discretos, custeio baseado em atividades (*Activity Based Costing – ABC*), planejamento de experimentos (*Design of Experiments – DOE*) e valor presente líquido (VPL). Para auxiliar no atendimento do objetivo deste artigo, no decorrer do trabalho serão dadas respostas para as seguintes perguntas:

1. O que a literatura tem publicado a respeito de modelos de simulação que consideram o custeio ABC, ou que utilizaram o VPL, ou que utilizaram o DOE ou uma combinação destes? E de que modo os autores estão integrando estas técnicas?
2. Como integrar o custeio baseado em atividades, modelos de simulação a eventos discretos e planejamento de experimentos para calcular o valor presente líquido de cenários em manufatura?

Cabe ressaltar que esta pesquisa é parte de uma dissertação de mestrado em andamento. Por esse motivo, este artigo visa esclarecer qual a contribuição de cada técnica (DOE, ABC e VPL) e em qual etapa dentro de um projeto de simulação cada uma delas está inserida, através da proposta de uma abordagem sistemática. A próxima etapa da dissertação é a aplicação desta abordagem sistemática para a avaliação econômica de cenários para um modelo de simulação de uma célula do objeto de estudo.

2. Método de pesquisa

Cabe ressaltar que a simulação a eventos discretos é o foco desta pesquisa. Por este motivo o método de pesquisa adotado segue uma sequência de passos de um projeto de modelagem e simulação. Sendo as outras três técnicas (ABC, DOE e VPL) usadas como complemento à simulação e inseridas nesta sequência de passos.

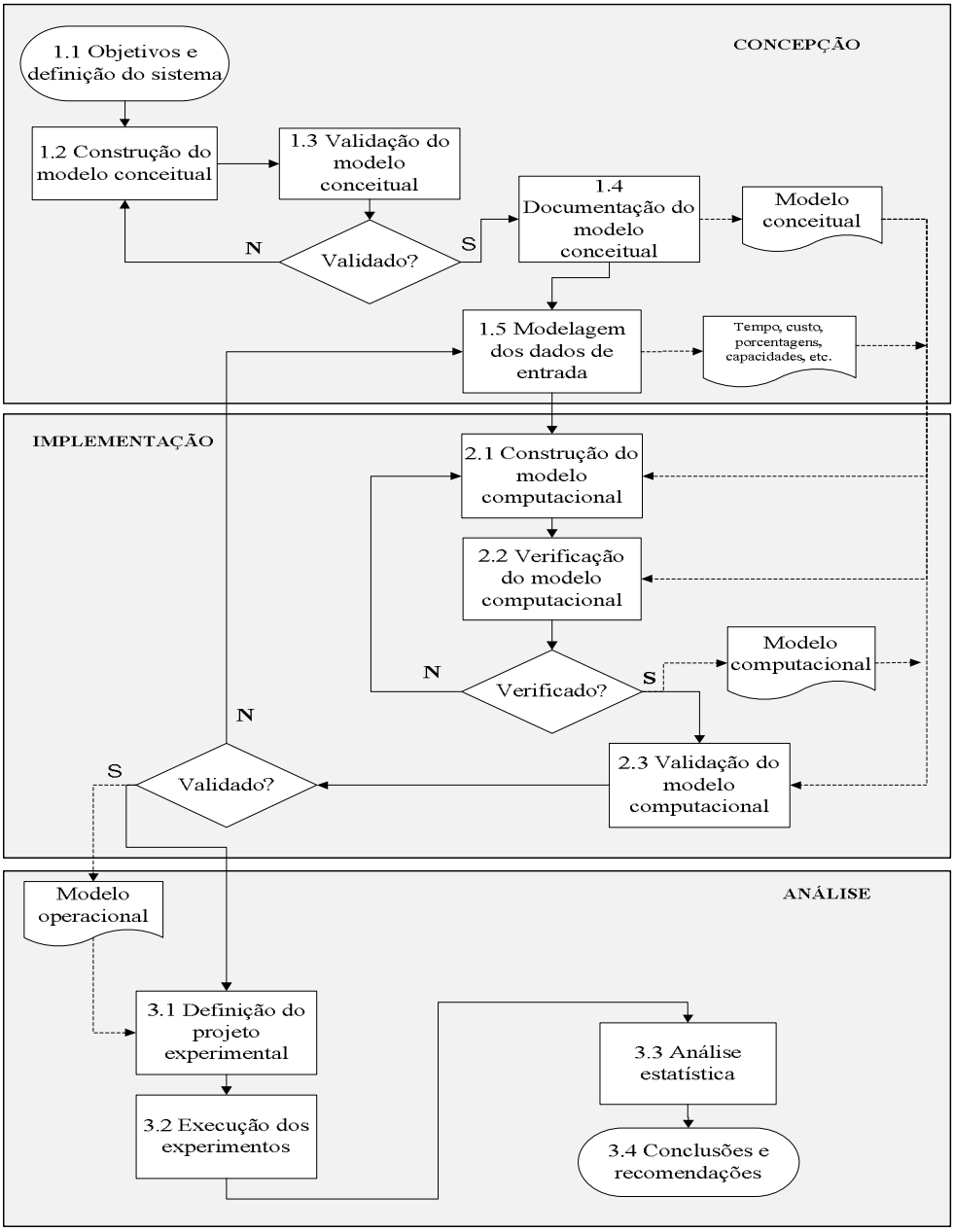

Figura 1 – Sequência de passos de um projeto de simulação. Fonte: Adaptado de Montevechi *et al.* (2007)

Como característica do método de pesquisa modelagem e simulação, de acordo com Martins (2010), o pesquisador manipula as variáveis e os seus níveis, mas não na realidade. Isto é feito em um modelo de pesquisa, que é uma abstração da realidade. De acordo com Garza-Reyes *et al.* (2010), o sistema modelado pode ser examinado sob condições controladas e selecionadas, as quais são claramente impraticáveis na maioria dos sistemas reais, e sem o risco para a

viabilidade do sistema real que tais experimentos poderiam causar.

Montevechi *et al.* (2007) apresentam um fluxograma com uma sequência de passos para se realizar um projeto de modelagem e simulação (Figura 1). De acordo com a figura 1, um projeto envolvendo modelagem e simulação começa com a fase de concepção. Nesta fase os analistas de simulação e os especialistas do processo definem claramente o sistema a ser simulado, os objetivos do projeto, o escopo do estudo e também o nível de detalhamento necessário para o modelo. Em seguida, o modelo conceitual pode ser construído com o objetivo de representar a essência do sistema existente, facilitando a construção do modelo computacional de simulação. Este modelo conceitual deve passar por um processo de validação, ou seja, consiste em aceitar ou não o modelo como uma boa representação do sistema real.

Uma vez que o modelo conceitual foi construído e validado, as variáveis de entrada e as variáveis de saída são definidas. Então, os dados de entrada são coletados e ajustados a uma distribuição de probabilidade que alimenta o modelo computacional.

Na fase de implementação, o modelo conceitual é convertido em modelo computacional, através da programação em uma linguagem de simulação ou um software de simulação. Em seguida, o modelo computacional deve passar por dois procedimentos fundamentais em um estudo de simulação: a verificação e a validação operacional. A verificação está relacionada ao modelo computacional, ou seja, consiste em se comprovar que o modelo conceitual foi corretamente traduzido em um modelo computacional. Por sua vez, a validação operacional atribuída ao modelo computacional, que consiste em se utilizar técnicas estatísticas, como testes de hipóteses, para comparar os dados reais e simulados.

Por último, mas não menos importante, a fase de análise. Uma vez que o modelo foi verificado e validado, ele está apto a receber experimentos, dentro dos limites de validação.

3. Análise da literatura

A fim de responder a primeira questão desta pesquisa, nesta seção foram analisadas as pesquisas anteriores relacionadas à simulação a eventos discretos combinada ao DOE, ou ao ABC, ou ao VPL, ou mesmo combinada a mais de uma destas técnicas. Cabe ressaltar que os artigos analisados são de periódicos internacionais. Esta análise se mostra como um fator fundamental para o alinhamento dos objetivos definidos na seção 1, na medida em que permite compreender o que já existe em relação ao tema e quais contribuições ainda podem ser feitas.

Uma busca em três importantes bases de dados de publicações científicas da área de engenharia (*Elsevier*, *Emerald* e *Informs*), foi realizada com o objetivo de encontrar artigos que apresentam o uso combinado da simulação a eventos discretos ao DOE, ou ao ABC, ou ao VPL, ou combinada a mais de uma destas técnicas. Esta busca foi realizada durante o mês de Abril de 2010.

Dessa forma, a busca pelos trabalhos foi feita através das expressões "*simulation*", "*net present value*", "*activity based costing*" e "*design of experiments*", definidas como palavras-chave ou palavras contidas nos títulos ou resumos dos artigos. O uso da expressão "*simulation*" ao invés de "*discrete event simulation*" é justificado pela segunda expressão ser bastante restritiva, por exemplo, muitos autores usam modelos de simulação a eventos discretos, porém, indicam como palavra-chave a expressão "*simulation*". Por outro lado, a expressão "*simulation*" é utilizada em artigos envolvendo diversos tipos de simulação, como por exemplo, a simulação de Monte Carlo ou a simulação numérica.

Por este motivo foi necessário analisar cada artigo encontrado e para a seleção dos artigos relevantes a esta pesquisa, foram adotados os seguintes critérios:

- Período de publicação: data igual ou superior a 1999 até data igual a Abril de 2010;
- Utilização de modelos de simulação a eventos discretos (eliminando os artigos que utilizaram simulação de Monte Carlo, simulação numérica,...);
- Combinação da simulação com DOE, ou com ABC, ou com VPL ou a mais de uma destas técnicas (excluídos os artigos que utilizaram só a simulação).

Assim, foram identificados trinta e cinco artigos abordando o uso combinado da

simulação ao DOE, ABC ou VPL. A análise desses trinta e cinco artigos foi feita através da classificação dos trabalhos quanto à data de publicação, área de aplicação e técnicas combinadas. A figura 1 apresenta a classificação das pesquisas anteriores quanto ao período de publicação.

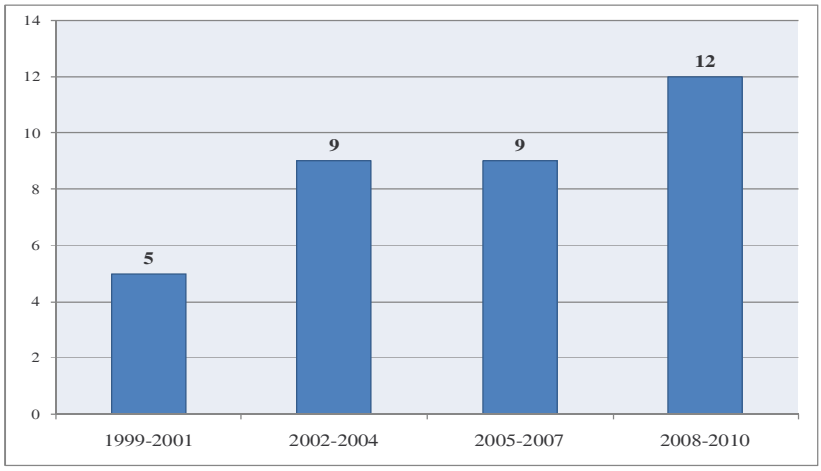

Figura 1 – Número de publicações a cada três anos relacionadas ao tema desta pesquisa

Observa-se que o número de publicações de interesse desta pesquisa vem crescendo nos últimos anos. Esta constatação vai de encontro ao que foi exposto na seção 1, no que diz respeito ao fato de que a simulação tem sido utilizada de forma crescente para auxiliar a tomada de decisões (BANKS *et al.*, 2005; SARGENT, 2009).

Consequentemente, o aumento do interesse pela simulação também aumenta a necessidade por investigações científicas que possibilitem usar esta técnica integrada a outras técnicas com fins complementares, como é o caso do DOE, ou ABC ou VPL. Sendo assim, estas observações colocam a integração destas técnicas como uma linha de pesquisa atual e de relevância científica.

A análise das pesquisas anteriores também mostrou que a simulação tem sido combinada com DOE, ou ABC ou VPL não só na área de manufatura, mas também no setor de serviços (*call centers*, hospitais, estacionamentos, bancos, etc.) e de logística (gestão da cadeia de suprimentos, armazenagem, portos, etc.). Identificou-se que 69% desses artigos são aplicações no setor de manufatura. Este fato confirma o interesse do setor de manufatura por trabalhos que combinem a simulação ao DOE, ABC ou VPL. E o objetivo deste artigo está inserido no contexto de manufatura.

A Tabela 1 traz a referência de cada um dos trinta e cinco artigos e também quais técnicas (ABC, DOE e VPL) foram utilizadas junto com modelos de simulação a eventos discretos em cada um deles.

Pela observação da Tabela 1, nota-se que em 66% dos artigos, a simulação foi combinada com DOE. Em 37% dos artigos a simulação foi combinada ao ABC e 9% utiliza o VPL combinado à simulação a eventos discretos. Observa-se também que a simulação combinada ao DOE e ao ABC está presente em apenas dois artigos. Foram encontrados também apenas dois artigos que combinam a simulação ao DOE e VPL. Por fim, nenhum dos trinta e cinco artigos integra a simulação com ABC e VPL ou mesmo as quatro técnicas. Esta é uma importante informação, que justifica o interesse desta pesquisa de contribuir com a integração dessas técnicas complementares.

Referência	Técnicas combinadas à simulação a eventos discretos		
	ABC	DOE	VPL
Spedding e Sun (1999)	*		
Rasmussen, Savory e Williams (1999)	*		
Greasley (2001)	*		
Spedding e Chan (2001)	*		
Dabbas *et al.* (2001)		*	
Tatsiopoulos, Panayiotou e Ponis (2002)	*		
Lea e Fredendall (2002)	*		
Dessouky e Bayer (2002)		*	
Tsai (2002)		*	
Fu (2002)		*	
Cabrera-Rios, Mount-Campbell e Irani (2002)		*	*
Chan e Spedding (2003)	*	*	
Ozbayraka, Akgun e Turker (2004)	*		
Cil (2004)	*		
Yang, Kuo e Chou (2005)		*	
Kleijnen *et al.* (2005)		*	
Meade, Kumar e Houshyar (2006)	*	*	
Todinov (2006)			*
Sanchez, S., Moeeni, Sanchez, P. (2006)		*	
Nazzal, Mollaghasemi e Anderson (2006)		*	*
Wan, Ankenman e Nelson (2006)		*	
Liston *et al.* (2007)	*		
Abdulmalek e Rajgopal (2007)		*	
Meade, Kumar e Kensinger (2008)	*		
Kostakis *et al.* (2008)	*		
Sandanayake, Oduoza e Proverbs (2008)		*	
Ekren e Ornek (2008)		*	
Gharbi, Pellerin e Sadr (2008)		*	
Longo e Mirabelli (2008)		*	
Mattila, Virtanen e Raivio (2008)		*	
Ankenman, Nelson e Staum (2010)		*	
Longo (2010)		*	
Mahfouz, Hassan e Arisha (2010)		*	
Ekren *et al.* (2010)		*	
Garza-Reyes *et al.* (2010)		*	
Porcentagem	**37%**	**66%**	**9%**

Tabela 1 – Classificação das pesquisas anteriores quanto à combinação das técnicas com a simulação

A título de ilustração, a figura 3 mostra uma metodologia para auxiliar a tomada de decisão de investimento de capital na expansão da capacidade produtiva de uma linha de manufatura do setor de microeletrônica. Esta metodologia foi proposta por Nazzal, Mollaghasemi e Anderson (2006). Esses autores utilizaram modelos de simulação a eventos discretos, DOE e VPL de forma combinada para realizar a avaliação econômica. Entretanto, esses autores não utilizaram o custeio ABC no modelo de simulação para fornecer os custos para o fluxo de caixa, e os autores também não apresentaram qualquer menção sobre a consideração dos custos no fluxo de caixa.

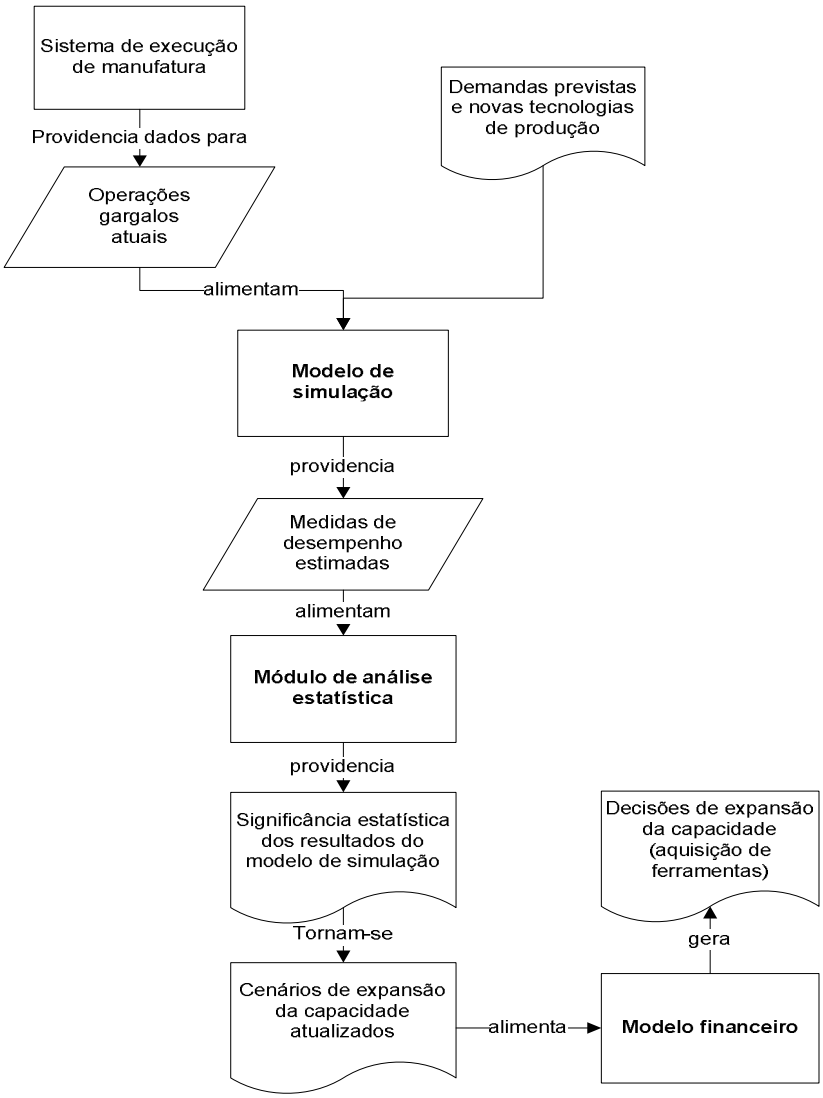

Figura 3 – Metodologia para apoio a decisão. Fonte: Nazzal, Mollaghasemi e Anderson (2006)

Outro trabalho que integra modelos de simulação, DOE e VPL em uma metodologia para auxiliar na tomada de decisões em manufatura é Cabrera-Rios, Mount-Campbell e Irani (2002). Neste trabalho, os autores desenvolveram uma metodologia composta por quatro fases: modelagem, experimentação, análise e avaliação. Entretanto, os autores não mencionam como os custos dos produtos foram calculados para compor a avaliação econômica.

Existem também trabalhos que integram modelos de simulação, DOE e ABC. Meade,

Kumar e Houshyar (2006) desenvolveram um modelo de simulação, no simulador Promodel®, para representar uma célula de manufatura sob implementação do sistema *Lean* de produção. Na fase de experimentação, foi empregado um planejamento fatorial geral para identificar a influência no lucro liquido da empresa, de três níveis de políticas de estoques, cinco níveis de sistemas de contabilidade de custos (dentre eles o sistema ABC) e três níveis de volume de vendas. Chan e Spedding (2003) também desenvolveram uma metodologia com base em simulação, ABC e DOE para melhorar sistemas de manufatura.

4. Abordagem sistemática proposta

A partir da análise da literatura discutida na seção 3, este artigo propõe uma abordagem sistemática que integra as quatro técnicas complementares (simulação, ABC, DOE e VPL) para avaliação econômica de cenários em manufatura, de modo a responder a segunda questão de pesquisa. A figura 4 apresenta uma visão geral desta proposta.

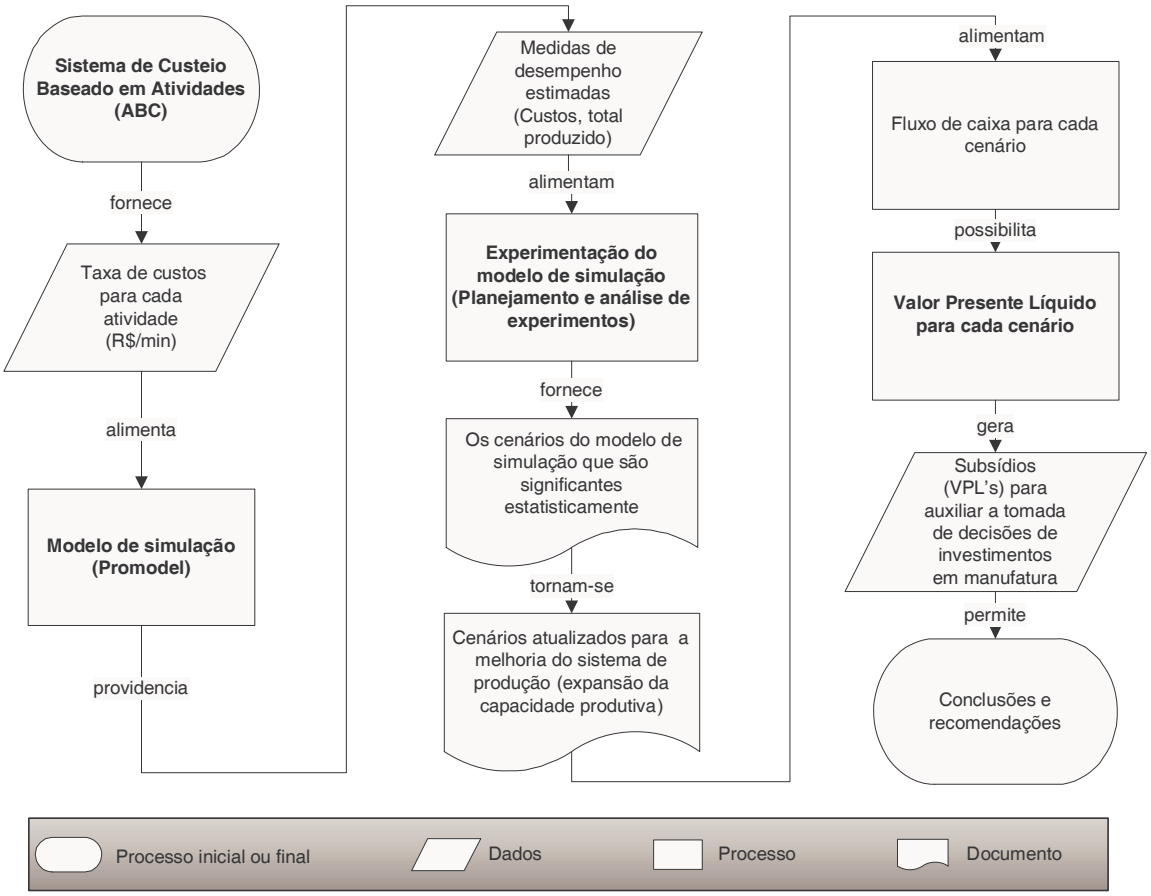

Figura 4 – Visão sistêmica da integração das técnicas

Como mostrado na seção 3, essas técnicas já têm sido utilizadas de forma combinada para melhorar sistemas de manufatura. Entretanto, com base nos critérios estabelecidos na seção 3, não foi encontrado na literatura científica nenhum trabalho que integre estas ferramentas da mesma forma como mostrado na figura 4. Cabe ressaltar que a figura 4 mostra esta integração de modo geral, com a finalidade de ilustrar como cada técnica complementa a outra e contribui para a meta final que é a avaliação econômica de cenários em manufatura. Os passos detalhados para cada técnica podem ser encontrados na literatura existente.

Como mostra a figura 4, o sistema de custeio ABC fornece dados de custos que alimentam o modelo de simulação. No caso do simulador Promodel®, estes dados são taxas de custos por unidade de tempo, para cada atividade, recurso ou entidade. Esta informação de custos

pode ser integrada ao fluxograma apresentado na figura 1 na etapa 1.5, que corresponde à modelagem dos dados de entrada para o modelo de simulação.

Os benefícios da incorporação do ABC em modelos de simulação têm sido divulgados pela literatura científica. De acordo com Spedding e Sun (1999), o método ABC envolve a quebra do sistema em atividades individuais e o custo da quantidade de tempo e recursos gastos em cada atividade na manufatura de um produto.

Ozbayrak, Akgun e Turker (2004) afirmam que enquanto a simulação modela a natureza estocástica inerente a sistemas de manufatura, portanto considerando a natureza dinâmica e variável, o ABC providencia mais que um sistema de custeio de produto, ele melhora a visibilidade dos custos e mostra como os custos são passados para os produtos através das atividades.

Adicionalmente, Kostaskis *et al.* (2008) afirmam que a simulação a eventos discretos gera valores para os direcionadores de custos e o sistema simulado produz uma série de estimativas para o custo, enquanto as condições do sistema variam, permitindo a construção de intervalos de confiança para os custos.

Segundo Ozbayrak, Akgun e Turker (2004), a meta do ABC é gerenciar as atividades que contribuem para o custo total do sistema, uma vez que o custo de um produto é a soma dos custos das atividades que são executadas na manufatura de um produto. Portanto, após a identificação das atividades do processo, é necessário calcular quanto dos recursos cada atividade consome. Detalhes sobre como elaborar um sistema de custeio ABC podem ser encontrados em Martins, E. (2003).

Por sua vez, o modelo de simulação imita o funcionamento de um sistema real em um ambiente controlado, que é o simulador, considerando a evolução do sistema ao longo do tempo, a aleatoriedade e a interdependência. Possibilitando-se assim, a execução de diversos cenários para o sistema real através de um modelo virtual, sem interromper o funcionamento do sistema real ou realizar investimentos (BANKS *et al.*, 2005; HARREL, GOSH e BOWDEN, 2004; LAW, 2009).

Deste modo, valores para as medidas de desempenho de interesse (Custos, lead time, total produzido em um período) podem ser estimados a partir de um modelo de simulação, e estes dados alimentam a etapa de experimentação, como mostrado na figura 4. Montevechi *et al.* (2007) apresentam um fluxograma com a sequência de etapas de um projeto de simulação.

Uma vez que o modelo de simulação foi validado, cenários para o sistema real podem ser executados a partir deste modelo simulado. Uma alternativa à experimentação por tentativa e erro ou arbitrária, é utilizar o DOE para planejar os experimentos (ou cenários) e analisar estatisticamente a significância destes. Esta experimentação através do DOE pode ser integrada ao fluxograma apresentado na figura 1 na etapa 3.1, que corresponde à definição do projeto experimental para o modelo de simulação.

Kelton (1999) afirma que o projeto de experimentos simulados oferece grande ajuda, reduzindo tempo e esforço providenciando maneiras eficientes para estimar os efeitos de mudanças de entradas do modelo sobre as saídas. Adicionalmente, Sanchez, Moeeni e Sanchez (2006) afirmam que um experimento bem planejado permite aos analistas examinar muitas configurações futuras para o sistema simultaneamente.

De acordo com Montgomery (2005), um experimento pode ser definido como um teste ou uma série de testes em que mudanças propositais são feitas nas variáveis de entrada de um processo ou sistema com o objetivo de observar e identificar a forma como as respostas desse sistema são afetadas em função das mudanças provocadas nas variáveis de entrada.

Por fim, DOE de acordo o mesmo autor, é então definido como o processo de planejamento dos experimentos para que dados apropriados sejam coletados e depois analisados por métodos estatísticos, resultando em conclusões válidas e objetivas.

De acordo com a figura 4, a informação de quais cenários são significantes estatisticamente em relação a uma medida de desempenho escolhida torna-se uma fonte confiável de oportunidades de melhorias para o sistema real, em se tratando de expansão da capacidade produtiva ou redução custos. E estes cenários relevantes alimentam a construção do fluxo de

caixa para cada cenário. Em outras palavras, quando existirem muitos cenários possíveis para o sistema real, o DOE pode ser utilizado para selecionar apenas os significantes para a construção do fluxo de caixa, evitando a construção do fluxo de caixa para todas as possibilidades, economizando tempo (COSTA *et al.*, 2009).

Já a construção de fluxos de caixa para cada cenário, possibilita o cálculo do valor presente líquido. Detalhes no cálculo do VPL podem ser encontrados em Ross, Westerfield e Jaffe (2002). O cálculo do VPL gera subsídios para auxiliar a tomada de decisões de investimentos em sistemas de manufatura. Esta experimentação através do DOE pode ser integrada ao fluxograma apresentado na figura 1 na etapa 3.4, que corresponde às recomendações aos tomadores de decisão, após análise.

De acordo com Todinov (2006), um critério fundamentado cientificamente para avaliar cenários de produção que competem entre si é o VPL do fluxo das receitas e despesas estimadas para cada cenário. Esse mesmo autor justifica o uso do VPL junto com a simulação a eventos discretos afirmando que somente o VPL com base em um fluxo de caixa de valores esperados não considera muitas variações inerentes aos sistemas de manufatura, por esse motivo o VPL pode ser calculado a partir de um modelo de simulação que considera essas variações de um grande número de componentes do sistema.

Enfim, após o uso combinado destas técnicas é possível fazer recomendações e concluir sobre a viabilidade econômica para cada cenário, a partir dos VPL's calculados.

5. Conclusões

Por meio da análise de literatura realizada, foi possível identificar o que já existe em relação ao tema e quais contribuições ainda podem ser feitas. Deste modo, foi observado que o número de publicações de interesse desta pesquisa vem crescendo nos últimos anos. Esta observação coloca a integração destas técnicas como uma linha de pesquisa atual e de relevância científica. Esta análise também confirmou o interesse do setor de manufatura por trabalhos que integrem a simulação ao DOE, ABC ou VPL, uma vez que 69% dos 35 artigos encontrados são aplicações no setor de manufatura.

Nenhum dos 35 artigos integra a simulação com ABC e VPL ou mesmo as quatro técnicas (simulação, DOE, ABC e VPL). Esta é uma importante informação, que justifica o interesse desta pesquisa de contribuir com a integração dessas técnicas complementares.

Portanto, este trabalho mostra como estas técnicas complementares podem ser utilizadas de modo integrado, através de uma abordagem sistemática, com a finalidade de avaliar economicamente cenários para modelos de simulação em manufatura. Esta integração contribui com o esclarecimento do papel de cada técnica e em qual momento de um projeto de simulação estas técnicas podem ser utilizadas.

Como mencionado anteriormente, esta pesquisa é parte de uma dissertação de mestrado em andamento. O próximo passo é a aplicação do método de modelagem e simulação integrado às técnicas ABC, DOE e VPL em um objeto de estudo. Este objeto é uma célula de manufatura da Padtec, uma empresa Brasileira de alta tecnologia em telecomunicações ópticas.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à empresa Padtec S/A, ao CNPq e à FAPEMIG pelo apoio a esta pesquisa.

Referências

Abdulmalek, F. A. e Rajgopal, J. (2007), Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study, *International Journal of Production Economics,* 107, 223-236.

Ankenman, B.; Nelson, B. L. e Staum, J. (2010) Stochastic Kriging for Simulation Metamodeling, *Operations Research*, 58, 371–382.

Banks, J.; Carson, J. S.; Nelson, B. L. e Nicol, D. M, *Discrete event system simulation*. 4.ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2005.

Cabrera-Rios, M.; Mount-Campbell, C. A. e Irani, S. A. (2002), An approach to the design of a manufacturing cell under economic considerations, *International Journal of Production Economics,* 78, 223–237.
Chan, K. K. e Spedding, T. A. (2003), An integrated multidimensional process improvement methodology for manufacturing systems, *Computers & Industrial Engineering,* 44, 673–693.
Cil, I. (2004), Internet-based CDSS for modern manufacturing processes selection and justification, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20, 177–190.
Costa, R. F. S.; Montevechi, J. A. B.; Pinho, A. F. de; Leal, F.; Jesus, J. T. de. (2009), Avaliação econômica do aumento da capacidade produtiva de uma célula de manufatura por simulação a eventos discretos. *In: XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.
Dabbas, R. M.; Chen, H.; Fowler, J. W. e Shunk, D. (2001), A combined dispatching criteria approach to scheduling semicondutor manufacturing systems, *Computers & Industrial Engineering*, 39, 307-324.
Dessouky, Y. M. e Bayer, A. (2002), A simulation and design of experiments modeling approach to minimize building maintenance costs, *Computers & Industrial Engineering*, 43, 423-436.
Ekren, B. Y. e Ornek, A. M. (2008), A simulation based experimental design to analyze factors affecting production flow time, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 1, 278–293.
Ekren, B. Y.; Heragu, S. S.; Krishnmurthty, A. e Malmborg, C. J. (2010), Simulation based experimental design to identify factors affecting performance of AVS/RS. *Computers & Industrial Engineering*, 58, 175–185.
Fu, M. C. (2002), Optimization for Simulation: Theory vs. Practic, *Journal on Computing*, 3, 192–215.
Garza-Reyes, J. A.; Eldridge, S.; Barber, K. D. e Soriano-Meier, H. (2010), Overall equipment effectiveness (OEE) and process capability (PC) measures: a relationship analysis, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27, 48-62.
Gharbi, A.; Pellerin, R. e Sadr, J. (2008), Production rate control for stochastic remanufacturing systems, *International Journal of Production Economics,* 112, 37–47.
Greasley, A., (2001), Costing police custody operations. *Policing: An International Journal of Police Strategies and Management*, 24, 216-227.
Harrel, C.; Ghosh, B. K. e Bowden, R. O., *Simulation Using Promodel*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
Kelton, W. D. (1999), Designing simulation experiments. *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, Piscataway, NJ, 59-65.
Kleijnen, J. P. C.; Sanchez, S. M.; Lucas, T. W. e Cioppa, T. M., (2005), State-of-the-Art Review: A User's Guide to the Brave New World of Designing Simulation Experiments, *Journal on Computing*, 17, 263–289.
Kostakis, H.; Sarigiannidis, C.; Boutsinas, B.; Varvakis, K. e Tampakas, V. (2008), Integrating activity-based costing with simulation and data mining, *International Journal of Accounting and Information Management*, 1, 25-35.
Lea, B. e Fredendall, L. D. (2002), The impact of management accounting, product structure, product mix algorithm, and planning horizon on manufacturing performance, *International Journal of Production Economics*, 79, 279–299.
Liston, P.; Byrne, J.; Byrne, P.J. e Heavey, C. (2007), Contract costing in outsourcing enterprises: Exploring the benefits of discrete-event simulation, *International Journal of Production Economics*, 110, 97-114.
Longo, F. e Mirabelli, G. (2008), An advanced supply chain management tool based on modeling and simulation, *Computers & Industrial Engineering*, 54, 570–588.
Longo, F. (2010), Design and integration of the containers inspection activities in the container terminal operations, *International Journal of Production Economics*, article in press.
Mahfouz, A.; Hassan, S. A. e Arisha, A. (2010), Practical simulation application: Evaluation of process control parameters in Twisted-Pair Cables manufacturing system, *Simulation Modelling Practice and Theory*, article in press.

Martins, E. *Contabilidade de Custos*. São Paulo: Atlas, 2003.
Martins, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL, Paulo A. C. (Org). Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. cap 3, 45-61.
Mattila,V.; Virtanen, K. e Raivio, T. (2008), Improving Maintenance Decision Making in the Finnish Air Force Through Simulation, *Interfaces*, 3, 187–201.
Meade, D. J.; Kumar, S. e Kensinger, K. R. (2008), Investigating impact of the order activity costing method on product cost Calculations, *Journal of Manufacturing Systems*, 27, 176-189.
Meade, D. J.; Kumar, S. e Houshyar, A. (2006), Financial analysis of a theoretical lean manufacturing implementation using hybrid simulation modeling, *Journal of Manufacturing Systems*, 25, 137-152.
Montevechi, J. A. B.; Pinho, A. F. de; Leal, F.; Marins, F. A. S. (2007), Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. Proceedings of the 2007 WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1601-1609.
Montgomery, D.C. *Design and Analysis of Experiments*. 6. ed. John Wiley & Sons, 2005.
Nazzal, D.; Mollaghasemi, M. e Anderson, D. (2006), A simulation-based evaluation of the cost of cycle time reduction in Agere Systems wafer fabrication facility - a case study, *International Journal of Production Economics*, 100, 300-313.
Ozbayrak, M.; Akgun, M. e Turker, A. K. (2004), Activity-based cost estimation in a push/pull advanced manufacturing system, *International Journal of Production Economics*, 87, 49-65.
Rasmussen, R. R.; Savory, P. A. e Williams, R. E. (1999), Integrating simulation with activity-based management to evaluate manufacturing cell part sequencing, *Computers & Industrial Engineering*, 37, 757-768.
Ross, S. A.; Westerfield, R. W.; Jaffe, J. F. *Administração Financeira*. São Paulo: Atlas, 2002.
Sanchez, S. M.; Moeeni, F.; Sanchez, P. J. (2006), So many factors, so little time…. Simulation experiments in the frequency domain, *International Journal of Production Economics*, 103, 149-165.
Sandanayake, Y. G.; Oduoza, C. F. e Proverbs, D. G. (2008)**,** A systematic modelling and simulation approach for jit performance optimisation, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24, 735-743.
Spedding,T. A. e Chan, K. K. (2001), System level improvement using discrete event simulation, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 1, 84-103.
Spedding, T. A. e Sun, G. Q. (1999), Application of discrete event simulation to the activity based costing of manufacturing systems*, International Journal of Production Economics*, 58, 289-301.
Tatsiopoulos, I. P.; Panayiotou, N. A. e Ponis, S. T. (2002), A modelling and evaluation methodology for E-Commerce enabled BPR, *Computers in Industry*, 49, 107–121.
Tsai, C. (2002), Evaluation and optimisation of integrated manufacturing system operations using Taguch's experiment design in computer simulation, *Computers & Industrial Engineering*, 4 , 591–604.
Todinov, M. T. (2006), Reliability value analysis of complex production systems based on the losses from failures, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 6, 696-718.
Yang, T., Kuo, Y. e Chou, P. (2005), Solving a multiresponse simulation problem using a dual-response system and scatter search method, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 13, 356–369.
Wan, H.; Ankenman, B. E. e Nelson, B. L. (2006), Controlled Sequential Bifurcation: A New Factor-Screening Method for Discrete-Event Simulation, *Operations Research*, 4, 743–755.