Análise de uma unidade de processamento de roupas de um hospital através da simulação a eventos discretos

Rafael de Carvalho Miranda

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI
mirandaprod@yahoo.com.br

José Arnaldo Barra Montevechi

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI
montevechi@unifei.edu.br

Karin Mendes Penteado

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI
mendeskarin@yahoo.com.br

Máira Silva Aguiar

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI
aguiarmaira@hotmail.com

Alexandre Ferreira de Pinho

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI
pinho@unifei.edu.br

RESUMO

Com o passar do tempo a simulação a eventos discretos tem sido utilizada de forma crescente para auxílio à tomada de decisões. Esta já é apontada como uma das técnicas de pesquisa mais utilizadas, devido principalmente à sua versatilidade, flexibilidade e poder de análise. No setor de serviços, embora sua aplicação ainda não seja tão difusa quanto nos ambientes de manufatura, isso não tem sido diferente. Este artigo tem como objetivo desenvolver um projeto de simulação em uma unidade de processamento de roupas de um hospital do interior de São Paulo, como ferramenta de apoio a tomada de decisão gerencial. A simulação permitiu apresentar à direção do hospital a capacidade da unidade de processamentos de roupas, bem como apontar pontos críticos e gargalos do processo. Os resultados alcançados contribuíram para identificar oportunidades de melhoria no sistema, bem como contribuir para com a literatura para uma maior discussão sobre o assunto.

Palavras-chave: Simulação a eventos discretos, Serviços hospitalares, Unidade de processamento de roupas.

ABSTRACT

Discrete-event simulation has become a commonplace tool for aiding in decision-making. It is one of the most commonly used research techniques due to its versatility, flexibility and power of analysis. Although not as dramatic as the growth seen in the manufacturing industries, the service industry simulations have expanded as well. This article aims to develop a simulation project in a hospital laundry unit in a hospital in the state of São Paulo. The project will be used as a tool for managerial decision making. The simulation made it possible for the hospital directory to evaluate the laundry unit's capacity, as well as point out process bottlenecks. The results attained enabled the researchers to identify opportunities for system improvement, as well as making a contribution to literature about the discussion.

Keywords: Discrete events simulation, Hospital services, Processing unit clothing.

1 Introdução

A crescente demanda por qualidade no atendimento médico, associada ao aumento dos custos hospitalares e a estagnação do setor, tem forçado as unidades hospitalares a aumentarem sua produtividade. Neste contexto, visando à melhorado desempenho das entidades hospitalares, várias técnicas de engenharia de produção têm sido utilizadas, dentre elas a simulação a eventos discretos (CASTILHO, 2004).

Para Cargnin (2008), a lavanderia hospitalar é o setor responsável pelo processamento e distribuição de roupas em perfeitas condições de higiene e limpeza, objetivando o conforto e a segurança de seu usuário. Assim, é necessário que esse serviço seja gerenciado corretamente visando à maximização da qualidade, minimização de custos e a utilização racional dos recursos disponíveis.

De acordo com Guimarães e Linden (2002), a lavanderia tem uma importante função no desempenho e na administração hospitalar, mas que por diversas vezes é subestimada pela direção. Ainda segundo os autores, as atividades executadas em um hospital são dependentes do correto desempenho das lavanderias hospitalares. Atrasos neste setor podem comprometer a eficiência e o cumprimento das atividades programadas.

Segundo Harrel *et al.* (2004), projetar um novo sistema ou fazer melhorias em um sistema existente requer mais que simplesmente identificar os elementos e os objetivos de desempenho do sistema. Isto requer uma compreensão de como os elementos do sistema afetam um ao outro e o desempenho global dos objetivos. E de acordo com os autores, isso pode vir a ser alcançado com a simulação.

Autores como Banks *et al.* (2005) e O'kane *et al.* (2000) afirmam que a simulação tem se tornado uma das técnicas mais populares para se analisar sistemas complexos. No entanto, segundo Joaquim e Vieira (2009), o uso da simulação na área hospitalar ainda é pequeno, mostrando ser um campo promissor para a realização de pesquisas.

Dessa forma, este artigo busca desenvolver um projeto de simulação a eventos discretos na unidade de processamento de roupas (lavanderia) de um hospital do interior do estado de São Paulo. Este projeto visa identificar os gargalos do sistema, sua capacidade de processamento e o grau de utilização de seus equipamentos e funcionários. Por fim, este trabalho propõe melhorias visando incrementar a produtividade do sistema modelado. Nesse sentido esse trabalho se propõe a contribuir, não só com uma aplicação da simulação a eventos discretos em um ambiente hospitalar, mas contribuir com a literatura em uma área de pesquisa

ainda pouco explorada, além de proporcionar uma maior discussão sobre o tema aqui explorado.

De forma a atender aos objetivos, este trabalho encontra-se organizado em seis seções. A primeira, já apresentada, introduziu o trabalho que será aqui desenvolvido. A segunda seção apresenta a fundamentação teórica sobre simulação a eventos discretos e sua aplicação na área de saúde. A terceira seção apresenta o método de pesquisa utilizado no desenvolvimento do trabalho. A quarta seção apresenta o objeto de estudo. A quinta seção traz a aplicação do método e os resultados obtidos. E por fim, na sexta seção são apresentadas as conclusões do trabalho.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Simulação a Eventos Discretos

Para Harrel *et al.* (2004) e Law e Kelton (2000), a simulação é a imitação de um sistema real modelado em um computador para posterior realização de experimentos, para avaliação e melhoria de seu desempenho. Para os autores, a simulação está preocupada com a modelagem de um sistema através de uma representação na qual as variáveis mudam de estado instantaneamente em pontos distintos no tempo, a partir da ocorrência de eventos.

Devido à complexidade dos sistemas reais, a simulação consegue capturar com mais fidelidade as características dinâmicas e aleatórias desses sistemas, procurando repetir em um modelo computacional o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições de contorno. Uma grande vantagem dos modelos de simulação comparados com os modelos determinísticos é a sua capacidade para modelar eventos aleatórios, baseados em distribuições padrões e não padrões, para prever as interações complexas entre esses eventos (CHWIF; MEDINA, 2010).

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

Banks *et al.* (2005) destacam algumas vantagens da simulação: ela possibilita testar todos os aspectos de uma proposta de mudança com menor gasto de recursos; podem-se analisar fenômenos variando a velocidade do tempo de simulação; com a simulação é possível avaliar os efeitos das variáveis e suas interações sobre o sistema; o estudo de simulação promove o entendimento sobre como o sistema realmente funciona; a simulação pode ser utilizada para especificar necessidades para

um projeto de sistema, respondendo as questões “o que aconteceria se”; entre outras vantagens.

Apesar das inúmeras vantagens em sua utilização, a simulação apresenta algumas desvantagens (BANKS *et al.* 2005; LAW; KELTON, 2000): os modelos de simulação são, em geral, caros e consomem tempo para serem desenvolvidos; se um modelo não for a representação adequada de um sistema, sua real utilidade será mínima; a construção de modelos requer treinamento especial; a modelagem e a análise podem tomar muito tempo, entre outras desvantagens.

Segundo Law e Kelton (2000), no passado a simulação era considerada uma técnica de último recurso, usada apenas quando todas as técnicas disponíveis falhassem. Com o passar do tempo, no entanto, a simulação vem se tornando uma das técnicas mais utilizadas. Ryan e Heavey (2006) apontam a simulação como uma das técnicas de pesquisa mais utilizadas devido à sua versatilidade, flexibilidade e poder de análise.

Atualmente, com a evolução dos estudos na área, a simulação a eventos discretos vem sendo utilizada cada vez mais e os benefícios com ela obtidos têm gerado impactos nos mais diferentes sistemas (manufatura, serviços, hospitais, militar e logística).

2.2 Simulação na Área de Saúde

Embora muitos hospitais sejam instituições sem fins lucrativos, assim como as empresas de manufatura, eles precisam buscar a melhoria da qualidade de seus serviços e processos de forma a oferecer atendimento de qualidade a seus usuários (JOAQUIM; VIEIRA, 2009). Nesse sentido a busca por ferramentas que propiciem alcançar tais melhorias tem sido constante, com destaque para ferramentas de engenharia de produção como a simulação (CASTILHO, 2004).

Fetter e Thompson (1965) destacam a utilização da simulação voltada à área de saúde desde o início da década de 60, quando pesquisas na área hospitalar nos EUA buscaram prever as consequências de alterações nos processos hospitalares, no *layout* e na política de programação de cirurgias.

Para Gonçalves *et al.* (2005), os sistemas na área de saúde envolvem grande complexidade e dinamicidade, com diversos processos interagindo entre si e sob influência de eventos de natureza aleatória. Esse cenário faz com que a simulação seja uma ferramenta bastante indicada para trabalhar com tais sistemas.

Borba (1998) destaca que a simulação em sistemas de saúde traz benefícios tanto para pacientes (diminuição do tempo de espera, melhoria no atendimento)

e profissionais da saúde (balanceamento da carga de trabalho) como benefícios financeiros para instituições hospitalares. Sanches *et al.* (2000) afirmam que a simulação pode auxiliar em pelo menos quatro áreas em um sistema hospitalar: previsão de demanda (volume de pacientes a serem atendidos), análise de desempenho, dimensionamento de recursos (*layout*, número de salas, equipamentos) e dimensionamento de pessoal.

Ainda segundo Miller *et al.* (2003) como as unidades de saúde trabalham, na maioria das vezes, com uma quantidade limitada de recursos, tanto de pessoal como de equipamentos e materiais, o tempo de espera e o tempo que o paciente permanece no sistema são elevados. Nesse sentido a simulação pode auxiliar a melhorar a utilização de seus recursos minimizando tais tempos.

Nas últimas décadas a simulação tem provado ser uma poderosa ferramenta de análise e melhoria para uma grande variedade de problemas na área de saúde (GONÇALVES *et al.*, 2005). Isso pode ser comprovado em trabalhos disponíveis na literatura (BARRETT *et al.*, 2008; BLASAK *et al.*, 2003; CARO *et al.*, 2006; DENTON *et al.*, 2006; FERREIRA *et al.*, 2008; GUGLIELMINO, 2009; JOAQUIM; VIEIRA, 2009; OSIDACH; FU, 2003; TROY; ROSENBERG, 2009; WU; HWANG, 2009).

3 Metodologia de Pesquisa

O trabalho aqui desenvolvido segue o método de pesquisa Modelagem e Simulação. Este método consiste no processo de criar e experimentar um sistema físico através de um modelo computadorizado (CHUNG, 2004). Banks *et al.* (2005) conceitua sistema como um conjunto de objetos que estão agrupados em alguma interação regular ou em interdependência com o objetivo de satisfazer algum propósito.

Para Bertrand e Fransoo (2002), este método deve ser usado quando se deseja prever o efeito de mudanças no sistema ou avaliar seu desempenho ou comportamento, sendo utilizado na resolução de problemas reais. Na Modelagem e Simulação o pesquisador manipula as variáveis de entrada e seus níveis, mas não o faz na realidade, utilizando para isso um modelo de pesquisa (MARTINS, 2010).

A literatura sobre o método de pesquisa aqui utilizado apresenta diversas estruturas para conduzir um estudo de simulação (BANKS, 1998; BANKS *et al.*, 2005; CHWIF; MEDINA, 2010; LAW, 2009; MONTEVECHI *et al.*, 2007; SARGENT, 2009). Neste trabalho, adotou-se o fluxograma da Figura 1, proposto por Montevechi *et al.* (2010), para representar a lógica de um projeto de simulação. Este método divide-se em três etapas: concepção, implementação e análise. Sendo cada uma

das etapas compostas por um determinado número de atividades.

Para Paiva *et al.* (2009), na fase de concepção o analista de simulação deve entender claramente o sistema a ser simulado e os seus objetivos, através da discussão do problema com especialistas. Nesta etapa, o modelo que está na mente do analista (modelo abstrato) deve

ser representado de acordo com alguma técnica de mapeamento de processo, a fim de torná-lo um modelo conceitual. Esse modelo deve passar pela validação, de modo a garantir que erros não ocorram nas etapas posteriores. Por fim, os dados que servirão de entrada para o modelo devem ser coletados.

Figura 1 - Fases de um projeto de simulação

Fonte: Montevechi *et al.* (2010)

Na fase de implementação, o modelo conceitual é convertido em um modelo computacional por meio da utilização de alguma linguagem de simulação ou de um simulador comercial. O modelo computacional desenvolvido deve ser comparado ao modelo conceitual, de modo a avaliar se seu funcionamento atende ao que foi estabelecido na etapa de concepção. Alguns resultados devem ser gerados para a validação do modelo, observando se o modelo é uma representação precisa do sistema real (PAIVA *et al.*, 2009).

Ainda segundo os autores, na terceira fase, análise, 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 feitas. Caso necessário, o modelo pode ser modificado, e este ciclo reiniciado.

4 Objeto de Estudo

O objeto de estudo deste trabalho é a Unidade de Processamento de Roupas (UPR) de um hospital do interior do estado de São Paulo. Esse serviço é responsável pelo fornecimento e pela manutenção de roupas utilizadas por pacientes, médicos, enfermeiras e por todos os setores que atendem os pacientes.

Essa unidade desenvolve serviços de lavanderia e rouparia de toda a roupa utilizada no hospital, sendo de grande importância para auxiliar na redução das infecções hospitalares. As atividades desenvolvidas pela unidade são: separação das roupas, pesagem, pré-lavagem (quando necessária), lavagem, centrifugação, secagem, calandragem, dobragem e distribuição das roupas em condições de uso e higienizadas para todas as unidades do serviço de saúde.

4.1 Descrição do Processo

A unidade de processamento de roupas é dividida em duas áreas: área suja (contaminada) e área limpa (não contaminada), conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Layout da unidade de processamento de roupa

Fonte: Elaborado pelos autores

Para processar as roupas, a unidade possui as seguintes máquinas e equipamentos:

- *Hampers* de recolhimento: realizam a coleta das roupas e seu transporte até a área de recebimento de roupa suja;
- Balança: a balança é utilizada para pesar as roupas a serem processadas, uma vez que as máquinas da UPR possuem limites de capacidade;
- Máquina de lavar: possui uma máquina de lavar com capacidade de 30 kg;
- Centrífuga: possui uma centrífuga com capacidade de 15 kg;
- Secadora: possui uma secadora com capacidade de 30 kg;
- Calandra: possui uma calandra que é utilizada para passar parte das roupas processadas;
- *Hampers* de armazenagem e transporte: depois de dobradas, as roupas são armazenadas nos *hampers*, os quais também são utilizados para fazer o transporte para os setores.

Os processos na unidade são divididos de acordo com a área, devido ao grau de contaminação das roupas. Na área suja ou contaminada, são feitos os processos de recebimento da roupa, separação, pesagem, pré-lavagem e lavagem. Na área limpa ou não contaminada, são feitos os processos de centrifuga, secagem, calandragem, dobragem, armazenamento e transporte.

As roupas são recepcionadas na área contaminada. Depois de recebidas, estas são separadas de acordo com o grau de sujeira e contaminação. Se as roupas estiverem com restos de materiais (sangue, material cirúrgico, entre outros) seguem para a pré-lavagem. Nessa etapa do processo ocorre a limpeza manual. Depois de pré-lavadas, as roupas são enviadas para a máquina de lavar.

Se não existirem restos de materiais, a roupa suja segue para pesagem, onde são separadas em lotes de 30 kg (capacidade da máquina). A máquina é automática e seus tempos de processamento são de 40 minutos para lavagem leve e de 90 minutos para lavagem pesada. Depois de lavadas as roupas são enviadas para a área limpa da unidade e são depositadas em baldes. Antes de serem enviadas para a centrífuga, elas são separadas em porções menores, devido à capacidade de 15 kg da centrífuga. Esta máquina é automática, com tempo de processamento de 10 minutos para roupa leve e 15 minutos para roupa pesada. Depois de centrifugadas as roupas são enviadas para a secadora.

O processo de secagem é feito por uma máquina com capacidade de 30 kg. O processo dura 25 minutos para roupa leve e 45 minutos para roupa pesada. Depois de

secas, as roupas são retiradas e enviadas para a calandra (quando necessário) ou diretamente para a dobragem. A calandra é utilizada para passar alguns tipos de roupa, como lençóis e colchas. No entanto, a maioria das roupas não são passadas e são enviadas diretamente da secadora para a dobragem. A dobragem é feita de forma manual pelo funcionário da área não contaminada.

Tanto a roupa da calandra, quanto a roupa da dobragem, são enviadas para carrinhos, onde são armazenadas e depois transportadas para os respectivos setores.

4.2 Organização do Trabalho

A UPR conta com dois funcionários, sendo um para a área contaminada e um para a área não contaminada. O trabalho é feito em um único turno de 7 horas e 20 minutos de jornada de trabalho. O funcionário da área contaminada trabalha das 7:00 às 17:00 horas, com 1 hora de intervalo para almoço e dois intervalos de 20 minutos para lanche. Já o funcionário da área não contaminada trabalha das 8:00 às 18:00 horas, com 1 hora de intervalo para almoço e 2 intervalos de 20 minutos para lanche. A unidade conta ainda com um técnico para manutenção das máquinas e equipamentos, o qual faz a manutenção preventiva dos equipamentos fora do horário de funcionamento do mesmo.

5 Desenvolvimento da Metodologia

Para a definição do sistema e determinação dos objetivos do trabalho, várias visitas foram feitas ao hospital para entender suas reais dificuldades. Durante estas visitas ficou constatado que a instituição não possuía informações sobre a UPR nem dados históricos de sua capacidade produtiva.

Informações referentes a gargalos e capacidade de produção da unidade eram completamente desconhecidas pela direção do hospital. Um terceiro problema foi identificado, a unidade hospitalar está ampliando suas instalações, com a construção de um novo pronto atendimento, ampliação de seu ambulatório e de seu centro cirúrgico. Com essas novas instalações, o volume de roupa a ser processada aumentará, e a unidade não sabe se realiza aquisições de novas máquinas (lavadora, centrífuga ou secadora) ou se contrata mais funcionários.

A etapa de construção do modelo conceitual e coleta dos dados foram feitas em parceria com os administradores do hospital e com os funcionários diretamente ligados a UPR. Durante esse processo, foram cronometrados os tempos das atividades envolvidas no processamento das roupas, bem como as medições de *layout*.

O modelo conceitual foi construído com as informações obtidas junto aos envolvidos diretamente no processo.

Após sua construção e validação, o modelo computacional passou a ser desenvolvido utilizando-se o *software Promodel®*. Após finalizado, o modelo computacional foi apresentado aos especialistas, bem com os resultados preliminares foram armazenados para fins de validação. Esta etapa foi realizada através das técnicas: face a face e validação estatística.

Por fim, testes com cenários foram realizados, visando analisar as configurações potenciais do sistema que atendessem aos objetivos do trabalho. Cada uma das etapas da metodologia é detalhada nas seções a seguir.

5.1 Concepção

5.1.1 Objetivos e Definição do Sistema

Após discussões com a direção do hospital definiu-se como objetivo do trabalho utilizar a simulação para identificar os gargalos do sistema, com a finalidade de propor melhorias a unidade de processamento de roupas e testar tais melhorias via simulação. Outro ponto de interesse do trabalho foi determinar a capacidade de produção da unidade e o nível de utilização das máquinas e operadores, uma vez que tais fatos eram desconhecidos pela direção.

5.1.2 Construção e Validação do Modelo Conceitual

Delimitado o sistema a ser simulado e definido o objetivo do trabalho partiu-se então para a construção do modelo conceitual. Segundo Law (1991), a etapa de criação do modelo conceitual é o aspecto mais importante de um estudo de simulação. Chwif e Medina (2010) dedicam uma atenção especial a este modelo, uma vez que, segundo eles, muitos trabalhos de simulação não demonstram esta etapa.

Neste trabalho, o modelo conceitual será o ponto de partida, fornecendo informações ao modelo computacional. A representação do modelo conceitual se dará na forma de um mapeamento de processo, realizado através de uma técnica selecionada. De acordo com Leal (2003) e Pinho *et al.* (2006), estas técnicas devem ser selecionadas de acordo com as características do processo e os objetivos do projeto. Para este trabalho foi utilizada a técnica de fluxograma. A Figura 3 representa o modelo conceitual desenvolvido.

Figura 3 – Modelo conceitual

Fonte: Elaborado pelos autores

Ao final da elaboração do modelo conceitual, este foi apresentado aos funcionários da unidade de processamento de roupas e aos administradores do hospital, para que os mesmos verificassem a veracidade e validade das informações contidas no modelo. Desta forma o mesmo foi validado através da técnica de validação face a face. Técnica segundo a qual os especialistas no sistema compreendem o modelo como correto (SARGENT, 2009). Com o modelo conceitual validado passou-se para a etapa seguinte.

5.1.3 Modelagem dos Dados de Entrada

Depois de concluído e validado o modelo conceitual passou-se para a etapa de modelagem dos dados de entrada. Esta etapa é composta por três passos: coleta dos dados, tratamento dos dados e inferência.

As três máquinas presentes na unidade de processamento de roupas apresentam tempos de operação determinísticos, visto que as três são pré-programadas em função do tipo de roupa (leve ou pesada) que vai ser processada por estas.

Conforme mostrado no modelo conceitual, as atividades da unidade são realizadas por dois funcionários, portanto existe uma variabilidade associada ao trabalho humano intrínseca a esses processos.

Com relação ao tempo de operação dos funcionários foram registradas tomadas de tempo para cada atividade executada por estes. Com o auxílio do *software Mini-tab*® estes tempos foram tratados estatisticamente e foi possível determinar suas respectivas curvas de distribuições. A Tabela 1 mostra o tempo de processamento das máquinas e dos funcionários.

Tabela 1 - Tempos de processamentos das máquinas e funcionários

Operação	Tempo de Processamento
Separação	Lognormal (16; 2,39)
Pesagem	Lognormal (5,36; 0,95)
Pré-Lavagem	Lognormal (11,50; 3,59)
Lavadora	Normal (2,07; 0,32) Lote pesado - 90 minutos Lote leve - 40 minutos
Centrífuga	Lognormal (2,47; 0,18) Lote pesado - 15 minutos Lote leve - 10 minutos
Secadora	Normal (2,07; 0,67) Lote pesado - 45 minutos Lote leve - 25 minutos
Calandragem	Normal (44,42; 11,89)
Dobragem	Normal (28,94; 0,84)

Fonte: Elaborado pelos autores

5.2 Implementação

5.2.1 Construção do Modelo Computacional

Após a definição do modelo conceitual e dos tempos de processamentos envolvidos em cada operação, foi definido o *software* a ser utilizado para a construção do modelo computacional. O simulador escolhido foi o *ProModel*®, um dos simuladores mais utilizados para modelagem de sistemas. (DOLOI; JAAFARI, 2002)

A construção do modelo computacional iniciou-se com um modelo simples que depois foi sendo incrementado. A partir do fluxograma gerado e trabalhando com as definições de locais (postos físicos do sistema onde

se realizam os processos) e entidades (itens a serem processados pelo sistema, podendo ser: matéria-prima, produtos, *pallets*, pessoas ou documentos) a Tabela 2 foi desenvolvida.

A presença de *buffers* entre alguns processos ocorre devido à capacidade das máquinas serem diferentes. Por exemplo, entre a lavadora e a centrífuga foi criado o *buffer* centrífuga, pois a capacidade da lavadora é de 30 kg e a da centrífuga é de 15 kg. Por este motivo, existe roupa que fica “parada” esperando para ser processada.

A entidade chega como “roupa” no recebimento, na separação ela é dividida e combinada para alcançar a capacidade da lavadora em “lote leve” e “lote pesado”.

Tabela 2 - Representação esquemática dos locais e entidades a serem utilizadas na simulação

Locais	Entidades	
Processo	Entrada	Saída
Recebimento de roupa suja	roupa	roupa
Separação	roupa	lote leve
		lote pesado
Pesagem	lote pesado	lote pesado
	lote leve	lote leve
Pré-Lavagem	lote pesado	lote pesado
Lavadora	lote pesado	dois lotes p pesado
	lote leve	dois lotes p leve
Buffer Centrífuga	lote p pesado	lote p pesado
	lote p leve	lote p leve
Centrífuga	lote p pesado	lote p pesado
	lote p leve	lote p leve
Buffer Secadora	dois lotes p pesado	lote pesado
	dois lotes p leve	lote leve
Secadora	lote pesado	roupa limpa
	lote leve	roupa limpa
Buffer Dobragem	roupa limpa	roupa limpa
Calandra	roupa limpa	roupa limpa
Dobragem	roupa limpa	roupa limpa
Armazenagem e Transporte	roupa limpa	roupa limpa

Fonte: Elaborado pelos autores

Na lavadora depois que as roupas foram lavadas estes lotes são divididos em dois lotes para atingir a capacidade da centrífuga e são transformados em “dois lotes p leve” ou “dois lotes p pesado”. No *buffer* da secadora estes lotes são novamente combinados, “dois lotes p leve” dão origem a um “lote leve” e “dois lotes p pesado” dão origem a um “lote pesado” para atender a necessidade da secadora.

Nove variáveis foram definidas neste modelo. A variável “peso contaminada” registra a quantidade em quilogramas de roupas contaminadas que chegam ao processo. Por sua vez a variável “peso não contaminada”

mostra a quantidade de roupas não contaminadas que chegaram para serem lavadas. As variáveis “pré-lavagens”, “lavagem pesada”, “lavagem leve”, “secagens”, “calandragens” e “dobragens” exibem quantas vezes os recursos foram utilizados durante o dia. E a variável “roupas lavadas” representa a quantidade de roupas em quilogramas que foi lavada durante o turno de trabalho.

Também foram definidas quatro macros para o modelo, sendo que três delas se referem ao deslocamento dos dois funcionários no processo. A Figura 4 apresenta uma tela do modelo computacional construído.

Figura 4 – Tela do modelo computacional
 Fonte: Elaborado pelos autores

5.2.2 Verificação do Modelo Computacional

Até se conseguir um modelo computacional verificado, cinco versões para o modelo foram construídas. Inicialmente, foi construído um modelo com a inserção apenas dos tempos determinísticos e com os principais locais, entidades e com a definição dos processos. Em seguida, os operadores foram acrescentados. E só então, a lógica do processo foi programada com os tempos estocásticos.

Em cada um destes modelos foram utilizados recursos do simulador de forma a auxiliar na verificação do modelo. Foram utilizados: contadores nos locais para verificação de sua capacidade e utilização, sinalizadores de estado nos locais (indicando se um local está em operação, fora do turno, ocioso, bloqueado ou esperando por recursos), e o uso da animação gráfica, a qual permitiu acompanhar o desenrolar da simulação, passo a passo. Tais recursos do simulador permitiram a identificação de falhas e correções das mesmas.

Dessa forma, o modelo computacional foi verificado em cada versão construída e pode ser submetido ao processo de validação.

5.2.3 Validação do Modelo Computacional

Segundo Sargent (2009), a validação do modelo computacional é definida como a determinação de que o comportamento do modelo simulado detém precisão suficiente para representar o modelo real para a aplicabilidade a qual se destina. Desta forma 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 pode e deve ser feita para todos os modelos, independentemente do sistema modelado (LAW, 2006).

A validação do modelo computacional foi realizada de duas formas, através das técnicas face a face e validação estatística por comparação com dados históricos. Inicialmente o modelo computacional foi executado na presença dos gestores do hospital e dos funcionários da UPR, que o consideraram como correto. Com isso considerou-se o modelo validado segundo a técnica face a face. Terminada esta etapa passou-se para a validação estatística.

Para tal utilizou-se como parâmetro para a validação a quantidade de roupas lavadas por dia (em kg) na unidade de processamento de roupas. Nesse momento ocorreu um problema, uma vez que o hospital não possuía dados históricos do total de roupas processadas. Dessa forma foi necessário contabilizar o total de roupas processadas por um período liberado pela direção do hospital. Assim por um período de duas semanas (10 dias) os dados referentes ao total de roupas processadas foram contabilizados e utilizados para validação. Assim, com auxílio do *software Minitab*®, realizou-se o teste de normalidade dos dados reais e dos dados simulados baseado no teste de normalidade de *Ryan-Joiner*. Obteve-se em ambos os testes *p-values* maiores que 0,1. Como o resultado encontrado foi superior ao nível de significância adotado no teste ($\alpha = 0,05$), pode-se estatisticamente aproximar os dados reais e simulados por distribuições normais. Desta forma pode-se realizar o teste das variâncias (*F-Test* e o *Levene's-Test*), apresentado na Figura 5. Em ambos os teste foi utilizado o mesmo nível de significância do teste de normalidade ($\alpha = 0,05$).

Figura 5 – Tela software Minitab para F-Test e Levene's-Test

Fonte: Elaborado pelos autores

Os valores dos *p-values* foram de 0,387 e 0,675 para o *F-Test* e o *Levene's-Test*, respectivamente, garantindo que os dados reais e os dados simulados apresentam variâncias iguais. Posteriormente foi realizado o *T-Test*, para verificar se as médias dos dados reais e simulados

podem ser consideradas estatisticamente iguais, levando-se em consideração um histórico referente a 10 dias e 10 replicações do modelo de simulação, obtendo-se assim, a Figura 6.

Figura 6 – Validação estatística realizada através do T-Test

Fonte: Elaborado pelos autores

Como o valor do *p-value* do teste realizado (0,724) é superior ao nível de significância adotado ($\alpha = 0,05$), aceita-se a hipótese nula, ou seja, a média do sistema simulado é igual à média do sistema real. Dessa forma aceita-se o modelo validado estatisticamente.

5.3 Análise

Uma vez validado o modelo computacional pode-se passar, segundo o método de pesquisa, para etapa de análise. Nessa etapa o modelo computacional, agora denominado operacional, passa a trabalhar para o

modelador com o intuito de responder aos objetivos do projeto de simulação. Esta etapa compreende a definição do projeto experimental, realização dos experimentos, análise dos dados e por fim, as conclusões do projeto de simulação (MONTEVECHI *et al.*, 2010).

Inicialmente foram executadas 10 replicações do modelo atual sem nenhum tipo de alteração, ou seja, o modelo verificado e validado foi replicado por 10 dias e os dados referentes a estas replicações foram armazenados para análise. As dez replicações realizadas foram calculadas segundo Chwif e Medina (2010) e garantiram uma precisão de 10 kg de roupas lavadas,

valor este considerado como aceitável pela direção do hospital. Isto foi feito para se poder identificar o gargalo da unidade de processamento de roupas, sua capacidade de produção, utilização de máquinas e operadores. Tal análise foi facilitada por diversos recursos gráficos do *software* de simulação utilizado.

Após realizada as replicações no modelo de simulação pode-se gerar os gráficos referentes ao grau de utilização dos locais (máquinas e equipamentos) e recursos (funcionários) presentes no modelo desenvolvido (Figuras 7 e 8), bem como obteve-se o total de roupas processadas no período.

Figura 7 - Capacidade dos locais no sistema atual

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 8 - Utilização dos recursos no sistema atual

Fonte: Elaborado pelos autores

Pela análise dos gráficos verificou-se que a lavadora é o local com maior utilização no sistema, permanecendo em operação por volta de 83% do tempo útil do dia de trabalho, nos demais 27% do tempo ela permanece ociosa, aguardando a chegada do primeiro lote de roupa para processamento. Antes da lavadora dois locais aparecem parcialmente bloqueados, ou seja, elas

não podem enviar roupas para a lavadora, pois esta se encontra em operação. Estes locais são a pesagem e a pré-lavagem, que ficam bloqueadas respectivamente em 41,8% e 14,4% do tempo. Após a operação realizada pela lavadora pode-se verificar uma grande ociosidade no tempo dos demais locais, a grande maioria com uma utilização inferior a 40%.

Desta forma pode-se concluir que a lavadora é o gargalo deste sistema, ela permanece em operação pela maior parte do tempo simulado, antes dela existem locais bloqueados e após ela os locais permanecem com um alto grau de ociosidade.

Esta análise pode ser corroborada por Goldratt (1990), segundo o autor o gargalo pode ser identificado pela existência de filas de espera ou pela ocorrência de tempos de processamento longos. No caso do sistema em análise, verifica-se que antes da lavadora encontram-se estoques intermediários aguardando para serem processados e a lavadora possui o maior tempo de processamento dentre todos os locais.

Para Goldratt e Fox (1997), o gargalo deve ter sua administração destacada, pois dessa forma é possível incrementar o desempenho do sistema. Assim, as propostas de novos cenários, visando o incremento de produtividade, devem passar obrigatoriamente pela exploração da principal restrição, ou seja, a lavadora. Dessa forma, o primeiro cenário para uma ampliação da unidade passaria por sua duplicação. Esse novo cenário foi testado com a realização de dez replicações. Os gráficos referentes ao grau de utilização dos locais e recursos desse cenário podem ser visualizados nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Capacidade dos locais com a duplicação da lavadora

Fonte: Elaborado pelos autores

Apesar de duplicada, a lavadora continua sendo o gargalo do sistema. Neste novo cenário as lavadoras permanecem em funcionamento em 65,05%, porém o tempo em que a pesagem e a pré-lavagem ficam bloqueadas se reduz para 18,4% e 4,1%, respectivamente. Nesse cenário ocorre um significativo aumento na utilização

dos recursos, para o funcionário 1 (área contaminada) ocorre um aumento próximo de 10% na taxa de sua utilização em comparação ao sistema atual, enquanto que para o funcionário 2 (área não contaminada) esse aumento é de cerca de 20%.

Figura 10 - Utilização dos recursos com a duplicação da lavadora

Fonte: Elaborado pelos autores

Por fim, um último cenário foi testado. Neste cenário foi mantida a duplicação da lavadora e testou-se a duplicação dos funcionários. Esse cenário foi vislumbrado diante da elevada utilização dos operadores visualizados no cenário testado anteriormente (Figura 10). Nesse

cenário as lavadoras tiveram sua utilização aumentada, passando de 65,05% para 80% de utilização em média. Os bloqueios permaneceram, sendo o bloqueio na pesagem aumentado (Figura 11).

Figura 11 - Capacidade dos locais com a duplicação da lavadora e duplicação dos funcionários

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 12 - Utilização dos recursos com a duplicação da lavadora e duplicação dos funcionários

Fonte: Elaborado pelos autores

Com relação à utilização dos recursos, com a duplicação dos funcionários houve uma redução em sua utilização. Em média os operadores da área contaminada ficam em operação em 50% do tempo e os da área não contaminada em 55%. Ao contrário do cenário anterior onde o funcionário da área contaminada possuía uma utilização da ordem de 88% e o da área não contaminada de 78%.

Terminada a análise da utilização das máquinas e equipamentos e dos recursos (funcionários) e da determinação do gargalo, passou-se a determinação de sua capacidade de produção. Para tal, todos os resultados referentes à produção diária das 10 replicações realizadas para cada cenário foram agrupados na Tabela 3.

Os dados coletados foram analisados com auxílio do *software Minitab®*. A normalidade do conjunto de dados de cada cenário foi testada segundo o teste de normalidade de *Ryan-Joiner* e *Anderson-Darling*, obtendo em ambos os testes *p-values* acima de 0,05, assegurando dessa forma, que os dados analisados podem ser aproximados por distribuições normais. Com auxílio

do *software* também pode-se obter a média e o desvio padrão das amostras, bem como foi possível determinar o intervalo de confiança para a média, adotando-se um nível de confiança de 95% (Tabela 3).

A variação da quantidade de roupas processadas pela unidade para cada cenário pode ser visualizadas na Figura 13. Nesta figura pode-se visualizar também o intervalo de confiança para a média de cada cenário simulado.

Por fim dois testes de hipóteses foram realizados. O primeiro verificou se as variâncias dos conjuntos de dados eram iguais, o que pode ser realizado por meio do *F-Test* para igualdade de variâncias. Por meio desse teste verificou que todas as amostras dos três cenários possuem a mesma variância, visto que a estatística do *F-Test* foi superior a 0,05. O segundo teste verificou se as médias dos valores das amostras foram realmente diferentes com a proposição dos novos cenários. Com a realização da ANOVA (*Analysis of variance*) pode-se afirmar estaticamente que as médias dos cenários testados são diferentes.

Tabela 3 - Volume de produção diário por cenário: Elaborado pelos auto

Replicações	Cenário Atual	Cenário 2	Cenário 3
1	75,3	113,1	145,7
2	73,1	106,0	138,4
3	92,7	119,2	116,9
4	92,1	99,6	149,9
5	110,1	97,4	97,3
6n	86,4	89,8	141,7
7	67,9	99,2	155,4
8	85,4	99,6	107,0
9	88,6	122,4	125,1
10	63,8	101,0	139,1
Média	83,6 kg	104,7 kg	131,7 kg
Desvio padrão	13,8 kg	10,3 kg	19,3 kg
IC (95%)	73,7 – 93,4 kg	97,3 – 112,4 kg	117,9 – 145,4 kg

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com isso foi possível determinar a capacidade de processamento de roupas da unidade situada em um intervalo de confiança de 95% entre 73,7 e 93,4 kg/dia

e determinar que com a adoção dos cenários propostos há incremento na capacidade de processamento.

Figura 13 - Variação da quantidade de roupas processadas por cenário

Fonte: Elaborado pelos autores

6 Conclusão

Este trabalho utilizou a simulação a eventos discretos como ferramenta de auxílio à tomada de decisão em uma Unidade de Processamento de Roupas de um hospital do interior do estado de São Paulo. Buscou-se ainda ao longo do trabalho contribuir com a literatura, uma vez que trabalhos de simulação aplicados em setores hospitalares são pouco difundidos e pouco discutidos.

Com a realização do projeto de simulação foi possível identificar seu ponto crítico (gargalo), constituído nesse trabalho pela lavadora, e em função dessa restrição apresentar cenários alternativos, visando seu incremento de produtividade. Com auxílio da simulação foi possível ainda definir a utilização de todas as máquinas e equipamentos da unidade, além de medir o grau de utilização de seus funcionários. Outro resultado importante consistiu em apresentar ao hospital o mapeamento conceitual das atividades desenvolvidas na UPR.

Devido ao fato da lavadora ser o gargalo da unidade, os cenários mais recomendados para incrementar sua produtividade deveriam atacar tal restrição. Dessa forma dois cenários foram propostos. O primeiro com a duplicação da lavadora e um segundo cenário com a duplicação da lavadora e do quadro de funcionários.

Ambos os cenários propostos incrementaram a capacidade de processamento de roupas da UPR. Como a gestão da unidade hospitalar desconhece seu futuro aumento de capacidade, vislumbrou-se para um estudo futuro a análise de capacidade da unidade visando o aumento do número de atendimentos do hospital, verificando-se aí se esta unidade possuirá ou não capacidade para atender sua futura demanda.

Outro importante resultado alcançado com o projeto de simulação foi a determinação da capacidade de processamento da unidade, visto que tal informação era totalmente desconhecida pela direção do hospital. Com o estudo foi possível estabelecer dentro de um intervalo de confiança o volume de roupas que pode ser processada por dia, bem como definiu-se as capacidades para cada cenário proposto.

Hoje a capacidade de processamento de roupas da unidade fica em torno de 83,6 kg por dia. Com a inserção de mais uma lavadora esse valor pode ser incrementado em média para 104,7 kg. E no caso em que foram testadas a duplicação da lavadora e a duplicação do número de funcionários esse valor passa para 131,7 kg em média.

Além das vantagens já apresentadas, o projeto de simulação deu a direção do hospital uma importante ferramenta de apoio à tomada de decisão, à medida que qualquer cenário, diferente dos já apresentados, pode

vir a ser testado facilmente sem qualquer tipo de gasto, implementação real ou sem que seus resultados sejam comprovados por meio da simulação.

Cabe ressaltar que o trabalho aqui desenvolvido não analisou a viabilidade econômica envolvida na compra de mais uma lavadora ou a contratação de mais dois funcionários, dessa forma um trabalho futuro poderia vir a explorar tal lacuna. Além da análise econômica, outros cenários também poderiam ser testados em trabalhos futuros.

Por fim, pode-se afirmar que a união de ferramentas de engenharia de produção, dentre elas a simulação a eventos discretos em ambientes hospitalares, só tem a contribuir para a uma melhor gestão e qualidade dos serviços por eles oferecidos, numa cadeia de benefícios que pode se estender dos usuários até os gestores do sistema.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao CNPq e ao Programa de Pró-Engenharia da CAPES por todo suporte ao longo dessa pesquisa.

7 Referências

- BAINES, T. S.; MASON, S.; SIEBERS, P. O.; LAD-BROOK, J. Humans: the missing link in manufacturing simulation? *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 12, n. 7-8, p. 515–526, 2004.
- BANKS, J. *Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. *Discrete-event Simulation*. 4 ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, 2005.
- BARRETT, J.; MONDICK, J.; NARAYAN, M.; VIJAYAKUMAR, K.; VIJAYAKUMAR, S. Integration of modeling and simulation into hospital-based decision support systems guiding pediatric pharmacotherapy. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, v. 6, n. 8, p. 1-12, 2008.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modelling and Simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.

- BLASAK, R. E.; ARMEL, W. S.; STARKS, D. W.; HAYDUK, M. C. The use of simulation to evaluate hospital operations between the emergency department and a medical telemetry unit. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...* New Orleans, LA, USA, 2003.
- BORBA, G. S. Desenvolvimento de uma abordagem para inserção da simulação no setor hospitalar de Porto Alegre, 1998. 195f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1998.
- CARGNIN, M. T. Análise do processo de lavagem e desinfecção de roupas hospitalares: o caso da lavanderia do HUSM, 2008. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.
- CARO, J. J.; HUYBRECHTS, K. F.; XENAKIS, J. G.; O'BRIEN, J. A.; RAJAGOPALAN, K.; LEE, K. Budgetary impact of treating acute bipolar mania in hospitalized patients with quetiapine: an economic analysis of clinical trials. *Current Medical Research and Opinion*, v. 22, n. 11, p. 2233-2242, 2006.
- CASTILHO, M. R. O uso da simulação computacional como ferramenta de auxílio à tomada de decisão: aplicação em empresa de papelão ondulado. 2004. 85f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.
- 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.
- DENTON, B. T.; RAHMAN, A. S.; NELSON, H.; BAILEY, A. C. Simulation of a multiple operating room surgical suite. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...* Monterey, CA, USA, 2006.
- DOLOI, H.; JAAFARI, A. Conceptual simulation model for strategic decision evaluation in project management. *Logistics Information Management*, v. 15, n. 2, p. 88-104, 2002.
- FERREIRA, R. B.; COELLI, F. C.; PEREIRA, W. C.; ALMEIDA, R. M. Optimizing patient flow in a large hospital surgical centre by means of discrete-event computer simulation models. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, v. 14, p. 1031-1037, 2008.
- FETTER, R. B.; THOMPSON, J. D. The Simulation of Hospital Systems. *Operations Research*, v. 13, n. 5, p. 689-711, 1965.
- GOLDRATT, E. M. *What is this thing called Theory of Constraints and how should it be implemented?* Massachusetts: North River Press, 1990.
- GOLDRATT, E.; FOX, J. *A meta: um processo de aprimoramento contínuo*. São Paulo: Educador, 1997.
- GONÇALVES, A. A.; ROCHA, S. A. S.; OLIVEIRA, M. J. F.; LEITÃO, A. R. Modelo de simulação aplicado na gestão de serviços de saúde. In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, *Anais...* Porto Alegre, RS, Brasil, 2005.
- GUGLIELMINO, M. G.; CELANO, G.; COSTA, A.; FICHERA, S. Modelling a radiology department service using a VDL integrated approach, *Journal of Health Organization and Management*, v. 23, n. 4, p. 376-395, 2009.
- GUIMARÃES, L. B. M.; LINDEN, J. C. S. Intervenção ergonômica em serviço de processamento de roupa de um hospital sob enfoque participativo. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, *Anais...* Curitiba, PR, Brasil, 2002.
- HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. *Simulation Using Promodel*. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
- JOAQUIM, E. D.; VIEIRA, G. E. Modelagem e análise de um novo centro cirúrgico para um hospital em crescimento: uma abordagem baseada em simulação. *Produção*, v. 19, n. 2, p. 274-291, 2009.
- LAW, A. M. Simulation model's level of detail determines effectiveness. *Industrial Engineering*, v. 23, n. 10, p. 16-18, 1991.
- LAW, A.M.; KELTON, D.W. *Simulation modeling and analysis*. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
- LAW, A. M. How to build valid and credible simulation models. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...* Monterey, CA, USA, 2006.
- LAW, A. M. How to build valid and credible simulation models. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...* Austin, TX, USA, 2009.
- LEAL, F. Um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através de mapeamento do processo e simulação computacional. 224f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2003.
- MARTINS, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.). *Metodologia de pesquisa*

em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. Cap. 3, p. 45-61.

MILLER, M. J.; FERRIN, D. M.; SZYMANSKI, J. M. Simulating Six Sigma improvement ideas for a hospital emergency department. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...* New Orleans, LA, USA, 2003.

MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, A. L. F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...* Baltimore, MD, USA, 2010.

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. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...* Washington, DC, USA, 2007.

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

OSIDACH, V. Z.; FU, M. C. Computer simulation of a mobile examination center. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...* New Orleans, LA, USA, 2003.

PAIVA, C. N.; MONTEVECHI, J. A. B.; COSTA, R. F. S.; LEAL, F.; 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.

PINHO, A. F. de; LEAL, F.; ALMEIDA, D. A. de. A Integração entre o Mapeamento de Processo e o Mapeamento de Falhas: dois casos de aplicação no setor elétrico. In: XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, *Anais...* Fortaleza, CE, Brasil, 2006.

RYAN, J.; HEAVEY, C. Process modeling for simulation. *Computers in Industry*, v. 57, n. 5, p. 437-450, 2006.

SANCHES, S. M.; FERRIN, D. M.; OGAZON, T.; SEPÚLVEDA, J. A. Emerging issues in healthcare simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...* Orlando, FL, USA, 2000.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, *Proceedings...* Austin, TX, USA, 2009.

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.

TROY, P. M.; ROSENBERG, L. Using simulation to determine the need for ICU beds for surgery patients. *Surgery*, v. 146, n. 4, p. 608-620, 2009.

WU, C. H.; HWANG, K. P. Using a discrete-event simulation to balance ambulance availability and demand in static deployment systems. *Academic Emergency Medicine*, v. 16, n. 12, p. 1359-1366, 2009.

**Recebido em 26/07/2011.
Aceito em 21/05/2012**