

## Uso de simulação computacional para avaliação de cenários produtivos em empresa de acessórios para motociclistas

Rafael Alvise Alberti (Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC) [alberti\\_rafael@yahoo.com.br](mailto:alberti_rafael@yahoo.com.br)  
Jander Pinto (Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC) [jpjanderjp@yahoo.com.br](mailto:jpjanderjp@yahoo.com.br)  
Guilherme Tonini Botassoli (Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC) [guiBOTASS@live.com](mailto:guiBOTASS@live.com)  
João Carlos Furtado (Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC) [jcarlosf@unisc.br](mailto:jcarlosf@unisc.br)  
Ricardo Kist Furst (Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC) [ricardo@ffurst.com](mailto:ricardo@ffurst.com)

### Resumo:

Identificar a melhor condição de programação para a produção aliado ao aumento da produtividade é assunto de interesse das organizações. O aumento da complexidade dos sistemas produtivos em busca de ganhos em eficiência e redução de custos motivou a utilização de modelos de simulação como ferramentas auxiliares na tomada de decisão operacional. Neste contexto, foi realizada a simulação de um ambiente produtivo em empresa de acessórios para motociclistas, com dados obtidos de cronometragem in loco e posteriormente análise estatística. Toda construção da modelagem seguiu o método proposto por Banks et al. (2005) e a partir da simulação foram gerados cenários e estes comparados com o desempenho efetivamente observado em campo, evidenciando os ganhos de a gestão utilizar ferramentas de simulação. Foi identificando o valor gerado pela antecipação da informação e pela resolução de problemas futuros, de maneira pró-ativa, aumentando assim o potencial de geração de valor da empresa.

**Palavras chave:** Simulação, cenários, processos, informação, desempenho.

## Use of computational simulation for evaluation of productive scenarios in company of accessories for motorcyclists

### Abstract:

Identifying the best condition of programming for production together with increased of the productivity is subject of interest of the organizations. The increased of the complexity of the production systems seeking gains in efficiency and reduction of costs motivated the use of simulation models as auxiliary tools in the operational decision-making. In this context, it was performed the simulation of a production environment in the company of accessories for motorcyclists, with data obtained of timing in loco and later statistical analysis. The whole construction of the modeling followed the method proposed by Banks et al. (2005) and from the simulations were generated scenarios and theses compared with the performances actually observed in the field, evidencing the gains of the management use the simulation tools. It was identified the value generate for the advance of the information and for the solving future problems, of proactively, increasing thereby increasing the potential for value creation of the company.

**Keywords:** Simulation, scenarios, processes, information, performance.

### 1. Introdução

Identificar a melhor condição de programação para a produção, aliado ao aumento da produtividade, é tema de interesse da Gestão Industrial e das organizações. Não

necessariamente são necessárias enormes mudanças, investimentos em inovações ou no modo de operar, mas sim, a utilização de ferramentas informativas diretamente voltadas ao processo produtivo que possibilitem a identificação de oportunidades e benefícios impactantes para a empresa e/ou segmento industrial.

Para acompanhar o desenvolvimento do mercado, as indústrias utilizam ferramentas de gestão de produção que envolve: planejamento e controle da produção, qualidade, projetos, ergonomia, logística, entre outros. Hlupic e Paul (1996), já destacavam o aumento da complexidade dos sistemas produtivos em busca de ganhos de eficiência e redução de custos. Nesse esforço, os modelos de simulação são fundamentais como ferramentas auxiliares na tomada de decisão operacional de tais sistemas complexos. Por isso, tecnologias modernas de informação em tempo real sobre a administração e manufatura de processos vêm tornando-se populares à medida que proporcionam incrementos na otimização da eficiência de sistemas de controle (BAKHTAZE, 2004).

Respostas rápidas são exigidas dos setores produtivos, evidenciando a crescente competitividade devido às necessidades dos consumidores. Logo, o planejamento se torna fundamental para tomadas de decisões rápidas e nestes casos são utilizados métodos de simulação e otimização, para que as decisões a serem tomadas possam ser as mais assertivas possíveis e com os menores custos possíveis.

Desse modo, o uso da simulação ganha destaque, pois permite a análise de problemas de forma virtual, ou seja, sem interferir no real processo fazendo com que soluções sejam encontradas de forma mais econômica e rápida quando comparadas com situações onde o processo real é alterado.

Outra vantagem é a possibilidade de descobrir com antecedência qual o resultado ideal e se este é possível de ser realizado, com a vantagem de não necessitar produzir uma única peça para saber o resultado estimado antecipadamente, abrindo caminho para uma grande gama de aplicações destas técnicas em ambientes industriais (CASSEL e VACCARO, 2007).

Costa (2005) indica que para se chegar a uma decisão é fundamental seguir o seguinte processo: primeiro a sistematização de informação, ou seja, dos dados, que correspondem a fatos isolados que formam a base de informação. Em seguida o processamento dessa informação gerando assim um melhor direcionamento na escolha certa.

Com o uso da simulação pode-se obter uma visualização com detalhes de funcionamento e ainda de obter testes de diferentes cenários indicando opções de decisões que contemplem menores custos/maiores ganhos (MORABITO e PUREZA, 2010).

Diante das ponderações expostas, este trabalho tem por objetivo apresentar a simulação computacional como ferramenta auxiliar à assimilação e aprendizagem dos conceitos de programação de produção (SILVA et al, 2007). Portanto, o uso da simulação se enquadra nesse contexto, o que motiva a realização de estudos nesta área.

## **2. Fundamentação**

A simulação computacional de sistemas produtivos é uma poderosa ferramenta para o planejamento, processo e controle de sistemas produtivos complexos. Capaz de emular através de relações lógicas o funcionamento de sistemas reais a fim de observar comportamentos sob diferentes cenários, assim podendo envolver situações determinísticas ou estocásticas (ASPENTECH, 2001<sup>a</sup>; COSTA, 2002; SILVA, 2006; UM, HYEONJAE, LEE, 2009; MORABITO e PUREZA, 2010; PARAGON, 2011).

Segundo Chung (2004), a simulação tem por propósitos: (1) adquirir conhecimento operacional do sistema; (2) desenvolver políticas de operação e de pesquisa para melhorar o

desempenho do sistema; (3) testar novos conceitos e/ou sistemas, antes de sua implementação e (4) obter mais informações sem causar distúrbio no atual sistema em funcionamento.

Segundo Costa (2011) a utilização da simulação tem por objetivos: (1) Construção de um modelo de simulação do processo implementado, que incorpore os conceitos e métodos utilizados; (2) Realização de ensaios de simulação em função de diferentes cenários; (3) Identificação e proposta de alterações que conduzam a uma maior eficiência e maior precisão de funcionamento do sistema de produção.

Já, os modelos de simulação são representações simplificadas das diversas interações entre as partes deste sistema, é uma abstração da realidade, que se aproxima do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre mais simples que o sistema real, sendo inclusive, utilizada para responder perguntas do tipo “o que ocorre se ...” (CHWIF; MEDINA, 2010). Desta forma, a simulação e a modelagem devem ser consideradas técnicas integradas, sendo necessário o desenvolvimento de um modelo para posteriormente simulá-lo (ÖREN, 2010).

Portanto, a utilização da simulação em ambientes manufatureiros traz a possibilidade de obter uma visão geral (macro) do efeito de uma pequena mudança (micro) no sistema, com benefícios como: aumento de produtividade, redução do tempo que as peças ficam no sistema, redução dos estoques em processo, aumento das taxas de utilização de equipamentos e funcionários, aumento de entregas no tempo certo dos produtos aos clientes, redução das necessidades de capital e garantias de que o projeto do sistema proposto vai operar conforme o esperado (BANKS et al, 2005; DIEHL et al, 2009).

Contudo algumas considerações acerca do uso de simulação devem ser ressaltadas. (a) Se o problema for estático, ou seja, se os estados do sistema não se alteram com o tempo, a simulação de eventos discretos não tem qualquer utilidade prática; (b) Se o problema for determinístico, isto é, se não apresenta nenhum comportamento aleatório, a simulação pode ser utilizada, porém será subutilizada; (c) Se o problema for complexo, dinâmico e apresentar aleatoriedade, a melhor escolha é a simulação (CHWIF E MEDINA, 2010).

### 3. Material e métodos

No estudo de um problema de modelagem, a definição apropriada dos aspectos relevantes a serem considerados é um ponto muito importante. Assim, é necessário discutir qual deve ser o modelo utilizado, levando-se em consideração a complexidade desejada e sua aproximação com o modelo real (PASQUINI JÚNIOR & COSTA NETO (1996).

Primeiramente foi escolhido o programa no qual seria realizada a simulação do presente estudo e para isto, foi utilizado o software *Rockwell Software ARENA®* em versão *Student*, a partir de um hardware Core-i5 2.5Ghz com 4Gb RAM. O funcionamento conceitual de um modelo ARENA acontece da seguinte maneira: o usuário descreve, durante a construção do modelo, todos os elementos estáticos, como recursos e outros, e também as regras de comportamento a serem seguidas. Ao se iniciar a simulação, os elementos dinâmicos (entidades) entram no modelo, interagem com os elementos estáticos e circulam conforme as regras que foram modeladas (FIORONI, 2007).

O ARENA é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém inúmeros recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados. A plataforma de simulação Arena possui as seguintes ferramentas (PRADO, 2010).

- a) Analisador de dados de entrada (Input Analyser);
- b) Analisador de resultados (Output Analyser);
- c) Analisador de processos (Process Analyser).

E sobre o desenvolvimento da simulação em questão, optou-se pela utilização de um método de modelagem e simulação que possibilitasse um planejamento e uma consistência nos resultados.

### 3.1 Sistemática Proposta

O presente trabalho propôs a sistemática baseado nas etapas de desenvolvimento e implementação de um modelo de simulação computacional propostas por Banks et al. (2005) e apresentada na Figura 1.

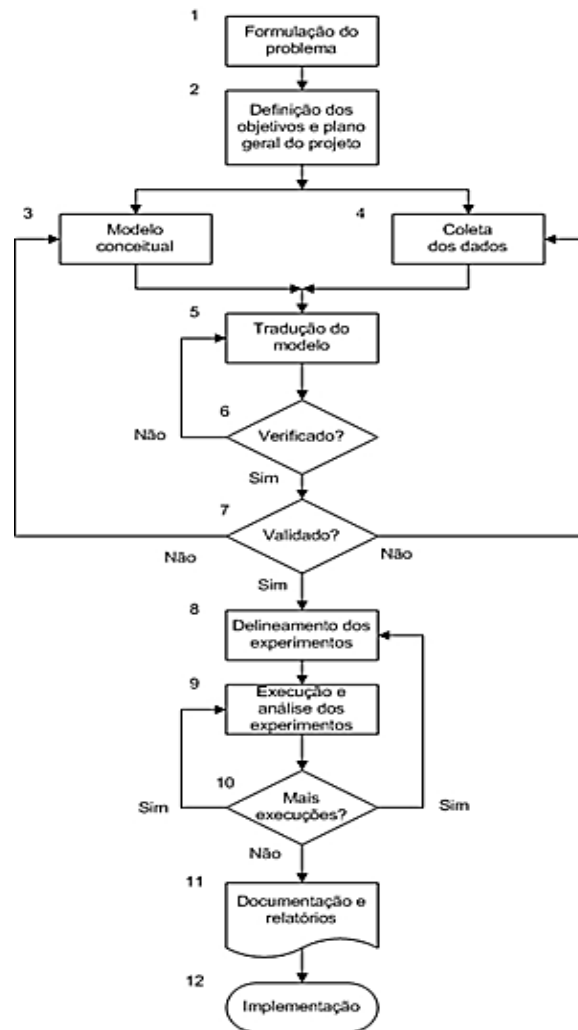


Figura 1 - Sistemática proposta para modelagem e simulação. Fonte: Banks et al. (2005).

Esta sistemática foi escolhida, pois contempla todas as etapas necessárias para uma boa estruturação da modelagem de um processo de manufatura a partir da simulação computacional, e será o norte para a continuidade do estudo, tendo suas etapas explanadas a seguir.

### 3.2 Formulação do Problema

A formulação do problema envolve a expressão clara do problema a ser estudado. Esta etapa é de fundamental importância para o sucesso do projeto, pois garante que o problema correto seja estudado e as soluções propostas sejam adequadas, tendo o objetivo de auxiliar na delimitação do modelo de simulação (FILHO, 2006).

O presente estudo foi realizado em uma empresa de polímeros do Rio Grande do Sul, que oferece aos seus clientes, um mix de produtos acessórios para motociclistas. A principal

matéria-prima utilizada na confecção é o PVC (Policloreto de Vinila), podendo ainda ser agregado alguns aviamentos como zíper, botão, ilhós, presilhas plásticas ou outros, de acordo com a necessidade do cliente.

Na empresa há problemas com gargalos produtivos, gastos desnecessários, perdas de matéria prima entre outros. Dessa maneira a simulação poderá corroborar e tornar mais eficiente o processo e reduzir estes problemas sem enormes investimentos e inovações? Buscando responder esse problema de pesquisa, focou-se no produto Conjunto Street, de processo produtivo celular, subdividido em dois grupos, um para a jaqueta e outro para a calça, possuindo uma sequência de processos a serem executados. Logo, selecionaram-se apenas as etapas de operação de produção (corte, solda, prensa e costura).

### 3.3 Definição dos objetivos e plano geral de trabalho

Segundo a sistemática proposta, os objetivos indicam as questões a serem respondidas pela simulação, logo, é nesta etapa que se deve avaliar se a simulação é a metodologia adequada para o problema proposto e os objetivos desejados. Para alcançar os objetivos um plano de trabalho deve ser definido, conter os sistemas alternativos a serem considerados e um método para avaliar a efetividade destas alternativas (indicadores de desempenho), o número de pessoas envolvidas, o custo do estudo, o número de dias necessários para completar cada fase do trabalho junto com os resultados esperados ao fim de cada estágio (BANKS ET AL, 2005).

Law e Kelton (2000) incluem a definição do escopo do modelo nessa etapa e de acordo com Harrel et al. (2000), o escopo do trabalho é importante para guiar o estudo bem como fornecer uma especificação do trabalho a ser feito. Segundo estes, o escopo do modelo, o nível de detalhamento, a responsabilidade pela coleta de dados, os experimentos e a forma dos resultados devem ser incluídas no plano de estudo para garantir que o orçamento e o cronograma sejam realísticos.

O presente trabalho tem por objetivo construir um modelo de simulação do processo implementado para confecção do produto Street e identificar gargalos, visando permitir propostas de melhorias e aumento da produtividade através da simulação, que atua como ferramenta de apoio ao dimensionamento da capacidade produtiva da empresa.

### 3.4 Modelo conceitual

O modelo conceitual é o resultado dos dados coletados; a formulação de como opera um sistema em particular; a abstração do sistema real incorporando simplificações e suposições que permitam a sua modelagem. Não é necessário que o modelo reproduza todos os componentes físicos do sistema, mas talvez somente aqueles significativos, dependendo da confiabilidade exigida e do uso a que se destina o modelo (BANKS et al., 2005; GUMIER e JUNIOR, 2007).

Diversos autores (SHANNON, 1998; HARREL et al., 2000; BANKS et al., 2005), consideram a construção do modelo conceitual do sistema mais arte que ciência. De acordo com Banks et al. (2005), a arte de modelagem é aprimorada pela habilidade de abstrair as características essenciais do problema, selecionar e modificar hipóteses básicas que caracterizam o sistema e, então, enriquecer e elaborar o modelo até uma aproximação útil dos resultados. Este modelo pode tomar a forma de um documento descritivo, um diagrama de fluxo ou mesmo um esboço, conforme figura 4 (HARREL et al, 2000).



Figura 4 - Modelo conceitual

Formulado a partir das observações diretas do sistema, com o intuito de caracterizar a dinâmica de suas operações e organização dos recursos, teve sua limitação pelos tempos de operação, ou seja, apenas os tempos de atividade operacional foram estudados.

### 3.5 Coleta de Dados

A coleta de dados é uma das etapas mais demoradas no projeto de modelagem, etapa na qual há uma interação constante entre a criação do modelo conceitual e a conjunto de dados de entrada necessários, quando a complexidade do modelo muda, os elementos de dados requeridos podem mudar também (HARREL et al., 2000; BANKS et al., 2005).

No planejamento da coleta de dados, para a construção do modelo computacional conclui-se que seria necessário determinar as variáveis dos tempos de operação nos setores de: (a) Corte do material, podendo ser este: PVC napa, sarja, nylon ou tecido, (b) Setor de Costura, (c) Setor de Solda e (d) Setor de Prensa. Estes tempos de operação são compostos pelo tempo de processamento, tempo de movimentação e tempo de espera. Nesta etapa os dados necessários para a construção do modelo computacional foram coletados no chão de fábrica.

Neste contexto Vicent (2008) rechaça que a etapa da coleta de dados é um dos aspectos mais difíceis, pois é preciso conseguir dados de entrada com qualidade suficiente, quantidade e variedade para obter uma análise razoável e confiável. Durante a etapa de coleta e análise dos dados foram obtidas informações a respeito da composição dos locais, onde se realizou um acompanhamento do processo foco do estudo, também se obtiveram informações da quantidade de funcionários atualmente disponíveis (recursos), das atividades e respectivas durações, da sequência de operações das peças e a programação típica da célula. No Quadro 1 estão representadas estas informações.

<b>Locais</b>	19 máquinas e 1 mesa para corte
<b>Recursos</b>	22 funcionários
<b>Atividades</b>	22 atividades
<b>Controles</b>	Sequência de operações das peças - Programação

Quadro 1- Resumo dos elementos do sistema. Fonte: Elaborado pelo autor

O tamanho da amostra obedeceu ao comentado por Chwif e Medina (2007) e foi de 100 a 150 observações. Na sequência, os dados coletados foram analisados com a ferramenta Arena Input Analyzer, assim permitindo uma análise dos dados e a visualização da melhor distribuição estatística aplicada a eles (PRADO, 2010). Este tratamento realizado pelo software consiste em utilizar técnicas para identificar as possíveis falhas nos valores amostrados e aumentar o conhecimento a cerca do fenômeno, tendo como resultado um modelo probabilístico que representará o fenômeno aleatório em estudo e este será incorporado ao modelo de simulação (PINHO et al., 2009). As figuras 2 e 3 apresentam os gráficos geradores das expressões que regem as etapas de costura do elástico na calça e costura do zíper na jaqueta.

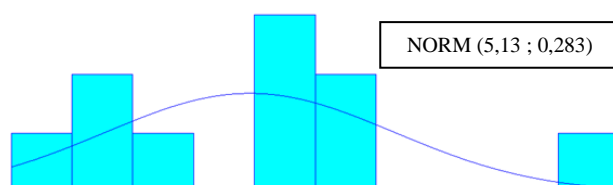


Figura 2 - Distribuição da etapa de costura do elástico na calça. Fonte: Elaborado pelo autor.

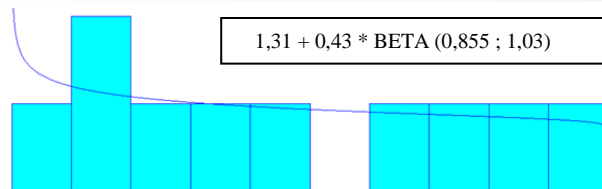


Figura 3 - Distribuição da etapa de costura do zíper na jaqueta. Fonte: Elaborado pelo autor.

As representações dos dados por meio de distribuições de probabilidades se fazem necessárias para conferir aleatoriedade ao sistema computacional e fazer com que o mesmo reproduza com precisão o sistema real.

Além disso, outros três aspectos devem ser levados em consideração: (1) a simulação não fornece resultados precisos quando os dados de entrada no modelo são inadequados; (2) a simulação não fornece respostas fáceis para problemas complexos; e (3) a simulação, por si só, não resolve os problemas (CHUNG, 2004). Elementos como o grau de refinamento do modelo à realidade e a acuracidade dos dados utilizados para a alimentação dos modelos passam a ter importância maior, pois dados imprecisos gerarão modelos incapazes de suportar adequadamente as decisões em questão, com consequente perda de credibilidade (CASSEL e VACCARO, 2007).

### 3.6 Tradução do modelo

Esta etapa consiste na tradução do modelo conceitual para a linguagem do simulador utilizado, ou seja, o desenvolvimento do modelo de simulação do sistema propriamente dito. Nesta etapa, o ideal é iniciar com um modelo simples e aumentar gradualmente a sua complexidade sem, contudo, exceder os requisitos necessários para alcançar os propósitos do modelo (HARREL et al., 2000; BANKS et al., 2005; PRADO, 2009).

O fluxograma do processo conjunto Street modelado na ferramenta de simulação é apresentado na Figura 5, onde para cada máquina (processo) há um operador para a execução. O operador é responsável pelo controle da operação, pela colocação e retirada de peças, dando início ao ciclo devido, interrompendo-o caso necessário e pela inspeção das peças.

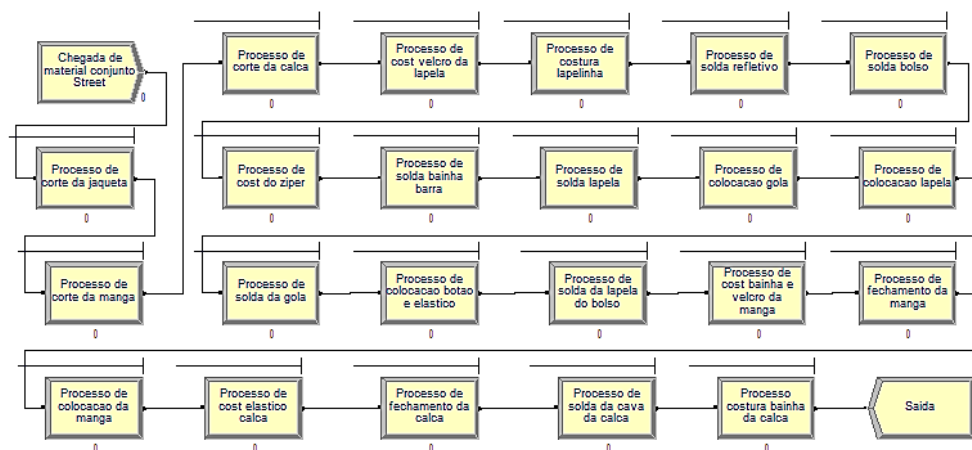


Figura 5 - Fluxograma do processo. Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.7 Verificação e validação

A validação tem por objetivo proceder à comparação de valores de variáveis geradas pelo modelo com os obtidos do sistema real (RYAN, 2006). As etapas de verificação e validação complementam a garantia da confiabilidade nos resultados do modelo de simulação computacional. Enquanto a etapa de validação refere-se à correta representação do sistema

pelo modelo de simulação, a etapa de verificação se refere à implementação correta do programa ou modelo de simulação. O quadro 2 representa os dados adquiridos junto a empresa de produção mínima e máxima, e os valores adquiridos via simulação.

	Mínimo	Máximo	MEDIA
Real	170	220	195
Simulado	190	194	192

Quadro 2 - Validação do sistema

Através da análise dos resultados verifica-se que no modelo real a produção está suscetível aos mais diversos fatores e por isso apresenta uma amplitude de produção muito elevada, enquanto que no modelo por simulação, mesmo utilizando critérios de falhas e os dados provindos de medição (cronometragem) real, a amplitude dos resultados é minimizada. Porém pode-se validar o modelo simulado pois os resultados correspondem aos reais.

Um modelo validado significa que os resultados obtidos pelo modelo são próximos aos observados no sistema real, e está comparação com o sistema real, é o método mais confiável e preferível para validar o modelo de simulação (JAIN, 1991).

Uma característica neste processo é que por meio da ferramenta de simulação pode-se confirmar que algumas operações possuem discrepâncias e os problemas reais são representados também no modelo computacional. No caso do estudo em questão a observação realizada pela ferramenta identificou que o gargalo do sistema, está na capacidade de produção do setor de costura, mais precisamente nas etapas de processo de costura do elástico na calça e costura do zíper na jaqueta, informação esta, já conhecida e percebida durante a coleta de dados.

### 3.8 Delineamento dos experimentos

A simulação a partir do modelo pode gerar cenários que, quando comparados com o desempenho efetivamente observado em campo, evidenciam a importância da gestão acurada com a presença de potenciais ganhos financeiros expressivos, a partir da redução de tempos, perdas e custos. (GAMEIRO et al, 2008)

Portanto, nesta etapa de delineamento são definidas as alternativas que serão simuladas, a extensão do período de inicialização, a extensão do período simulado e o número de replicações para cada experimento (BANKS et al., 2005).

Para a escolha do período de simulação, Robinson (2004) comenta a opção por um longo período de simulação, para que seja eliminada a influência do período transiente inicial e para que se obtenha uma quantidade de dados de saída suficientes para a obtenção de resultados acurados.

Delineamento dos Cenários		
Cenário	Resultados	Média
Real	-	195
Cenário 1	melhora de 5%	205
Cenário 2	melhora de 10%	215
Cenário 3	melhora de 15%	224

Quadro 3 - Delineamento dos experimentos

Os cenários (Quadro 3) estudados são alternativas para 5%, 10% e 15% de melhoria na produção final, adotando *warm-up* de 20 minutos e 10 replicações com 480 minutos de execução.



### 3.9 Execução e análise dos experimentos

Depois de realizado o delineamento dos experimentos, pode-se executá-los obedecendo aos parâmetros preestabelecidos (extensão do período de inicialização, extensão do período de simulação, etc.). Com isso, os resultados obtidos podem ser usados para estimar as medidas de desempenho para o sistema que está sendo analisado (BANKS et al., 2005).

Delineamento dos Cenários				
Cenário	Objetivo	Ações	Média Alcançada	Média Pretendida
Real	-	-	-	195
Cenário 1	+5%	Redução dos tempos em 5% nos processos (08 - 11 - 19)	204	<b>205</b>
Cenário 2	+10%	Redução dos tempos em 10% nos processos (08 - 11 - 19)	213	<b>215</b>
Cenário 3	+15%	Redução dos tempos em 15% nos processos (08 - 11 - 19)	<b>225</b>	224

Quadro 4 - Análise dos experimentos

A partir do Quadro 4, fica evidente que apenas com a melhoria dos processos críticos (Processos 8: costura do zíper; Processo 11: colocação da gola; Processo 19: costura do elástico da calça), os quais apresentaram as maiores filas no processo – sinônimo de gargalo – é possível a obtenção de melhorias de até 15% na produção do produto Street na empresa.

Deste modo, para atingir resultados (de simulação) com uma precisão desejada em determinado valor, necessita-se replicar o modelo várias vezes, gerando uma amostra piloto de tamanho  $n$  e com precisão  $h$ . Utilizando-se a expressão a seguir, onde  $h^*$  é a precisão desejada, pode-se estimar o número de replicações necessárias  $n^*$ . Modelo matemático que foi adotado para a pesquisa/simulação (Chwif e Medina, 2007).

$$n^* = \left\lceil n \left( \frac{h}{h^*} \right)^2 \right\rceil$$

Assim, a amostra piloto com apenas  $n=10$  replicações e uma confiança de 95%, resultou numa variabilidade do resultado  $h=\pm 0,58$  produtos, portanto não foram necessárias mais replicações já que a variabilidade não foi significativa (menor que 1 produto).

### 3.10 Mais execuções

Após a análise dos resultados das simulações já executadas, Banks et al (2005) sugere que é possível executar mais replicações ou, então, realizar novos experimentos. Tendo essa premissa e sendo os cenários simulados apenas trabalhados na redução do tempo dos processos críticos, foi elaborado um cenário 4, conforme quadro 5.

Delineamento dos Cenários				
Cenário	Objetivo	Ações	Média Alcançada	Média Pretendida
Real	-	-	-	195
Cenário 1	+5%	Redução dos tempos em 5% nos processos (08 - 11 - 19)	204	<b>205</b>
Cenário 2	+10%	Redução dos tempos em 10% nos processos (08 - 11 - 19)	213	<b>215</b>
Cenário 3	+15%	Redução dos tempos em 15% nos processos (08 - 11 - 19)	<b>225</b>	224
Cenário 4	NE	2 operadores no processo 19	<b>376</b>	>250

Quadro 5 - Delineamento do Cenário 4. (Legenda: NE – Não especificado)

Apesar dos processos 8, 11 e 19 apresentarem filas, foi considerado para o cenário 4 apenas o acréscimo de um operador na atividade 19, que apresentava um tempo médio em fila na ordem de 54,6 minutos, enquanto as demais apresentavam em torno de 20 minutos. A adoção deste colaborador resultou numa performance 92% superior à real ou seja, um ganho de produção na ordem de 181 produtos.

### 3.11 Documentação e relatórios

Segundo a sistemática proposta, há dois tipos de documentação: programa e progresso. A documentação do programa auxilia a compreensão de como o programa funciona, gera confiança nele e facilita alterações futuras além de identificar os parâmetros de entrada do modelo e os indicadores de desempenho permitindo que os usuários modifiquem esses parâmetros num esforço de compreender seus relacionamentos. Os relatórios de projeto mostram a cronologia do trabalho realizado e as decisões tomadas podendo ser de grande valor na manutenção do curso do projeto.

Já da análise dos cenários do modelo de simulação, dois resultados podem surgir: o resultado é considerado robusto e gera uma solução a ser implementada; ou o resultado não é considerado robusto e necessita de adaptação, que deve acontecer através da flexibilidade das regras sobre os modelos gerados, a fim de refletir de forma mais adequada às características do sistema (CASSEL e VACCARO, 2007).

Assim, a empresa poderá receber um *feedback* das alternativas possíveis e plausíveis em uma documentação de acordo para o melhor entendimento dos gestores.

### 3.12 Implementação/Otimização

Tipicamente, aplicações de Simulação permitem responder a questões do tipo “*what if*” (e se...), levando em consideração elementos da complexidade dos sistemas produtivos, tais como a variabilidade da ocorrência de eventos e complexidades associadas a decisões próprias de sistemas dinâmicos. Aplicações de otimização são tradicionalmente focadas em responder a questões do tipo “*how to*” (como ou o quê), visando maximizar a resposta de um vetor de indicadores de interesse (AZADIVAR, 1999; BOWDEN & HALL, 1998).

Um dos objetivos da otimização por simulação é identificar o valor gerado pela antecipação da informação, pois uma vez identificado um provável problema futuro pode-se agir de maneira pró-ativa para resolvê-lo, ou seja, antes da implementação propriamente dita no/do processo estudado, assim garantindo o atendimento ao plano de produção de uma maneira mais efetiva e aumentando o potencial de geração de valor da empresa. (CASSEL e VACCARO, 2007).

Para Musselman (1998), o projeto de simulação precisa conduzir para alguma ação concreta a ser realizada pelo cliente. Ou seja, o cliente avaliará o projeto de simulação pelo resultado obtido pela ação indicada, se o resultado da ação for positivo o projeto é considerado um sucesso.

Todos os cenários simulados foram possibilidades de otimização do sistema de produção, para os quais foram estipuladas metas realistas e foi obtido um bom retorno através da simulação. Porém, os melhores resultados se deram na adoção de novos colaboradores (cenário 4) o que leva a crer que um possível remanejamento dos já existentes, durante suas jornadas de trabalho pode ser a mudança de maior retorno para a empresa, uma vez que existem diversos processos onde as taxas de ocupação não superaram 20%.

Portanto, os resultados (documentação) obtidos com a simulação/otimização do processo foram repassadas para a empresa que ficou a cargo de analisar as capacidades de alteração e a viabilidade dos resultados frente aos dispêndios necessários.

#### 4. Resultados e discussões

Após a análise estatística dos resultados da simulação, é possível reduzir o tempo de produção do conjunto Street, com a alteração dos tempos das operações que representam gargalos. Uma proposta seria a realocação de funcionários do setor de costura, onde não se apresentaram gargalos, para montar uma célula de apoio para as etapas críticas, assim reduzindo filas do cenário atual e sem necessidade de contratar novos funcionários especificamente para estas funções, o que diretamente é um ganho para a empresa, uma vez que essa alteração não implicaria no valor total de mão-de-obra envolvida e ainda proporcionaria uma produtividade maior de todo o processo produtivo estudado.

Assim, a utilização de ferramentas computacionais, como os modelos de simulação são recursos que, se bem aplicados apoiam os gestores no dimensionamento correto de suas instalações e no controle da programação de produção, além de apresentar vantagens na concepção de cenários futuros, orientando e auxiliando na escolha pelas melhores decisões estratégicas.

Este estudo deixa em aberto a possibilidade de novas análises junto a empresa, com a realização de novos cenários produtivos englobando os demais produtos produzidos e os demais setores da empresa como um todo.

#### Referências

- AZADIVAR, F.** *Simulation Optimization Methodologies*. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, p.93-100, 1999.
- BAKHTADZE; N.N.** *Virtual analyzers: Identification approach*. Automation and Remote Control, v. 65, n 11, p. 1691-1709, 2004.
- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L. & NICOL, D. M.** *Discrete event system simulation*. 4rd Ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BOWDEN, R. & HALL, J.** *Simulation Optimization Research and Development*. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, p.1693-1698, 1998.
- CASSEL, G. L.; VACCARO, G. L. R.** *Aplicação de Simulação Otimização para Definição do Mix Ótimo de Produção de uma Indústria Metal-Mecânica*. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia – ENEGEG, Foz do Iguaçu, 2007.
- CHUNG, C.A.** *Simulation modeling handbook: a practical approach*. Industrial and Manufacturing Engineering Series. Washington: CRC Press, 2004.
- CHWIF, L. MEDINA, A. C.** *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e prática*. 3. ed. São Paulo: Leonardo Chwif. 2010.
- CHWIF, L. MEDINA, A. C.** *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e prática*. 2. ed. São Paulo, SP: Ed. dos Autores, 2007.
- COSTA, H. G.** *Apostila Estrutura de Suporte à Decisão*, Niterói RJ, 2005.
- COSTA, F. M.** *Construção de modelo de simulação de sistema puxado de produção para melhorias de eficiência*. Tese de Mestrado. Universidade do Minho, Escola de Engenharia. Guimarães, 2011.
- DIEHL, F.C.; LUSA, L.P.; SECCHI A.R.; MUNIZ, L.A.R.; LONGHI, L.G.S.** *Simulação Operacional de uma Torre de Destilação Atmosférica via Aspen Plus e Avaliação de Modelos de Analisadores Virtuais*. Revista Controle & Automação, v.20, n.3/Julho, Agosto e Setembro, 2009.
- FERNANDES, J.; RANGEL, J. J. A.** *Modelo de simulação para análise do beneficiamento de blocos de granito – um estudo de caso*. Artigo publicado pela IJIE – Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, 2011.
- FILHO, R. G. A.** *Planejamentos fatoriais fracionados para análise de sensibilidade de modelos de simulação de eventos discretos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, MG, 2006.

- FIORONI, M. M.** *Simulação em ciclo fechado de malhas ferroviárias e suas aplicações no brasil: avaliação de alternativas para o direcionamento de composições.* Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- GAMEIRO, A. H.; FILHO, J. V. C.; ROCCO, C. D.; RANGEL, R.** *Modelagem e gestão das perdas no suprimento de tomates para processamento industrial.* Gest. Prod., São Carlos, v. 15, n. 1, p. 101-115, jan.-abr. 2008.
- GUMIER, C. C.; JUNIOR, E. L.** *Aplicação de Modelo de Simulação-Otimização na Gestão de Perda de Água em Sistemas de Abastecimento.* Eng. sanit. ambient. v.12, n.1- jan/mar, p. 32-41, 2007.
- HARRELL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R.** *Simulation using Promodel*, 3rd ed. Boston: McGraw-Hill. 603 p. ISBN 0-07-234144-0, 2000.
- HLUPIC, V.; PAUL, R.J.** *Methodological approach manufacturing simulation selection.* Computer Integrated Manufacturing Systems, v. 9, n. 1, p. 49-55, 1996.
- JAIN, R.** *The Art of computer system performance analysis: techniques for experimental design simulation and modeling.* New York: John Wiley & Sons, 1991.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D.** *Simulation modeling and analysis.* 3rd ed. New York: McGraw-Hill. 760 p. ISBN 0-07-059292-6, 2000.
- MORABITO, R.; PUREZA, V.** *Modelagem e simulação.* In: CAUCHICK MIGUEL, P.A.C. et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elsevier, p.165-192, 2010.
- ÖREN, T.I.** *Simulation and reality: The big picture.* International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, v.1, p.1-25, 2010.
- PARAGON.** Simulação. Disponível em < [http://www.paragon.com.br/padrao.aspx?Produtos\\_content\\_lst\\_2307\\_\\_.aspx](http://www.paragon.com.br/padrao.aspx?Produtos_content_lst_2307__.aspx) >. Acesso em: 05 jun., 10:20h. 2011.
- PASQUINI JÚNIOR, J.; COSTA NETO, A.** *Determinação das características de handling de veículos automotivos.* In: Encontro de Usuários do Programa Adams, 15., 1996, São Paulo. Anais... São Paulo: USP, p.13-17, 1996.
- PINHO, A. F.; LEAL, F; MONTEVECHI, J. A. B.; COSTA, R. F. S.** *Utilização de Lego® para o ensino dos conceitos sobre simulação computacional a eventos discretos.* In: Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, BA. 2009.
- PRADO, D. S.** *Teoria das filas e da simulação.* 4. ed. Nova Lima, MG: INDG-Tecnologia e serviços, p. 127, 2009.
- PRADO, D. S.** *Usando o arena em simulação.* 4. Ed. Belo Horizonte: INDG-Tecnologia e serviços, 2010.
- ROBINSON, S.** *Simulation: the practice of model development and use.* England: John Wiley & Sons, 2004.
- SILVA, L. M. F.; PINTO, M. G. & SUBRAMANIAN, A.** *Utilizando o software Arena como ferramenta de apoio ao ensino em engenharia de produção.* In.: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXVII ENEGEP, 2007, Foz do Iguaçu-PR. Anais... Foz do Iguaçu, 2007.
- SILVA, A. K.** *Método para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos aplicados à análise de sistemas logísticos.* 212p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2006.
- UM, I.; HYEONJAE, C.; LEE, H.** *The simulation design and analysis of a Flexible Manufacturing System with Automated Guided Vehicle System.* Journal of Manufacturing Systems, v.28, p. 115-122, 2009.
- VICENT, S.** Input data analysis. In: BANKS, J. *Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice.* 1.ed. John Wiley-Interscience, Inc., cap.3, 864p. 1998.