

Identificação e análise do gargalo em uma linha de montagem de componentes automotivos utilizando simulação

Heráclito Lopes
Jaguaribe Pontes¹
hjpontes@sc.usp.br

Mamoru Carlos
Yamada¹
mcyamada@sc.usp.br

Breno Barros
Telles do Carmo²
brenotelles@hotmail.com

Arthur José
Vieira Porto¹
ajvporto@sc.usp.br

¹Escola de Engenharia de São Carlos (USP), Engenharia Mecânica – São Carlos, SP, Brasil.

²Universidade Federal do Ceará (UFC), Engenharia de Produção-Mecânica – Fortaleza, CE, Brasil.

RESUMO

O mundo globalizado atual faz com que as organizações tenham um mercado mais amplo para seus bens e serviços, mas também cria a necessidade de melhorias constantes de suas operações gargalos. Este trabalho tem como objetivo identificar e analisar o recurso gargalo de uma linha de montagem de componentes automotivos. O trabalho utiliza a abordagem da simulação por meio do software Arena. Para a identificação do recurso gargalo é desenvolvido o mapeamento do processo produtivo seguido pela modelagem do sistema atual. Para a realização da análise, são propostos dois cenários alternativos em que se observa as respostas do sistema a partir das alterações realizadas. Os indicadores de desempenho utilizados para a análise são: quantidade total de componentes produzidos e tempo de atravessamento do componente na linha de montagem. Os dois modelos propostos obtiveram desempenhos melhores do que o modelo atual da linha de montagem. Os resultados obtidos mostraram que a simulação pode ser utilizada como uma importante ferramenta na eliminação de gargalos em linhas de montagem.

Palavras-Chave: Linha de Montagem. Gargalo. Simulação. Arena.

1. INTRODUÇÃO

O mundo globalizado atual faz com que as organizações tenham um mercado mais amplo para seus bens e serviços, mas também cria a necessidade de melhorias de suas operações. O gerenciamento do recurso restritivo (gargalo) de um sistema produtivo ocupa um papel fundamental no processo de gestão, com o objetivo de aumentar a produtividade, reduzir os custos e atender as necessidades dos consumidores.

O mercado automobilístico é um mercado altamente competitivo. Para sobreviver nesse mercado, as indústrias fornecedoras de componentes para o setor automobilístico têm sido estimuladas a tornar suas linhas de montagens mais eficientes e flexíveis. Para isso, o estudo detalhado da linha de montagem é de grande relevância, de forma que um gargalo pode gerar grandes perdas. Por outro lado, a eliminação do gargalo é fundamental para a sobrevivência da empresa no mercado, pois aumenta a flexibilidade e a capacidade de produção.

A simulação é uma ferramenta bastante utilizada para identificação e análise de gargalos em sistemas produtivos. Segundo Law e McComas (1999), uma das maiores aplicações da simulação é em sistemas produtivos. Dentre os benefícios que a simulação pode trazer destacam-se: análise da quantidade de maquinário e operadores, avaliação de desempenho e avaliação dos procedimentos operacionais. As medidas de desempenho mais utilizadas são quantidade de peças produzidas, tempo de atravessamento das peças e porcentagem de utilização dos funcionários e das máquinas.

O objetivo deste trabalho é, por meio da simulação, identificar o gargalo de uma linha de montagem em uma empresa do setor de componentes automotivos e analisar detalhadamente esse gargalo. Para a realização dessa análise são propostos dois cenários alternativos, indicando quais são as respostas do sistema a partir das alterações realizadas.

A empresa em estudo é uma multinacional de médio porte, localizada no estado de São Paulo, que produz componentes para setor automotivo, como componentes do sistema de transmissão. A empresa conta com um quadro de 250 funcionários trabalhando em 3 turnos e produzindo, em média, 5.200 peças por dia. Essa produção é comercializada para clientes de todo o mundo.

2. SIMULAÇÃO

2.1. DEFINIÇÃO DE SIMULAÇÃO

Simulação computacional ou simulação é o processo de projetar um modelo lógico matemático de um sistema real e fazer experimentos deste sistema no computador (PRITSKER, 1986). Complementam Harrel e Tumay (1997) dizendo que a simulação é uma atividade por meio da qual se pode tirar conclusões sobre o comportamento de um dado sistema pelo estudo do comportamento do seu modelo correspondente no qual as relações de causas e efeitos são as mesmas ou similares do sistema real.

Conforme Shannon (1998), simulação consiste no processo de desenvolver um modelo de um sistema real e realizar experimentos com este modelo com o propósito de entender o comportamento do sistema e/ou as evoluções das várias estratégias para a operação do sistema.

Segundo Freitas Filho (2001), a simulação permite ao analista realizar estudos sobre os correspondentes sistemas para responder questões do tipo “o que aconteceria se”. O principal apelo ao uso desta ferramenta é que tais questões podem ser respondidas sem que os sistemas sob investigação sofram qualquer perturbação, uma vez que os estudos são realizados no computador. A simulação permite que tais estudos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, levando ao desenvolvimento de projetos eficientes antes que qualquer implantação física tenha sido iniciada.

2.2. QUANDO USAR A SIMULAÇÃO

De acordo com Maria (1997), a simulação é utilizada antes de um sistema existente ser alterado ou um sistema novo ser construído para reduzir as possibilidades de se encontrar falhas nas especificações, para eliminar gargalos, para impedir o baixo ou o excesso de utilização dos recursos e para aperfeiçoar o desempenho do sistema.

Bertrand e Fransoo (2002) apontam que, apesar da qualidade científica dos resultados da simulação ser menor que o caso de análise matemática, sua relevância científica é alta. A variedade de modelos científicos na qual a simulação é capaz de trabalhar é maior que a de uma análise matemática. Eles apontam que a simulação é utilizada em casos onde os modelos ou problemas são muitos complexos para uma análise matemática formal.

A simulação possibilita aos tomadores de decisão das empresas que identifiquem algumas questões peculiares ao chão de fábrica como: o *lead-time*, a identificação dos gargalos no fluxo de material com a localização das máquinas que os geram, o tamanho dos estoques amortecedores, a verificação das taxas de utilização dos operários e das máquinas, o espaço físico necessário, o volume de produção, dentre outras (ROHRER e BANKS, 1998).

2.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO

As vantagens da simulação são citadas por Banks *et al.* (1996), Banks (1998), Banks (2000), Kelton *et al.* (1998), Centeno e Carrillo (2001) e Carson II (2004), e são relacionadas abaixo:

- Modelo mais realista com maior liberdade na construção;
- Processo de modelagem evolutivo;
- Uma vez criado, um modelo pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas;
- Os modelos de simulação podem ser quase tão detalhados quanto os sistemas reais, novas políticas e procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, podem ser avaliados sem que o sistema real seja perturbado;
- Perguntas do tipo “e se?” (“what if?”): em diversos casos, em lugar de buscar uma solução, o objetivo resume-se em tornar mais claras as possíveis conseqüências de um conjunto de decisões;
- Aplicação a problemas mal-estruturados;
- Grande flexibilidade: a simulação aplica-se aos mais variados problemas;
- Aquisição de visão sistêmica;
- Exploração de possibilidades.

Os mesmos autores citam também algumas desvantagens da simulação:

- A modelagem e a análise da simulação podem ser dispendiosas em termos de recursos financeiros e de tempo;
- A construção de modelos requer treinamento especial;
- A programação de um modelo de simulação pode se tornar altamente dispendiosa e desgastante se os recursos computacionais não forem apropriados;
- Os resultados da simulação são, muitas vezes, de difícil interpretação;
- Pode ser usada inapropriadamente, por exemplo, quando uma solução analítica é factível.

2.4. FERRAMENTAS DA SIMULAÇÃO

Segundo Shannon (1998), os programas computacionais voltados para simulação podem ser implementados em diferentes ferramentas, que são classificadas em três grandes abordagens, que são: programas codificados em uma linguagem de propósito geral (linguagem de programação); linguagem de simulação; pacote de simulação.

Na linguagem de propósito geral (linguagem de programação) um programa especial é escrito para a simulação de cada sistema a ser estudado. Essa ferramenta de simulação oferece ao programador a máxima flexibilidade em projeto e formulação do modelo matemático do sistema em estudo, tipo e formato de dados de saída gerados e espécies de experiências de simulação executadas com o modelo (NAYLOR *et al.*, 1971).

De acordo com Law e Kelton (2000), linguagens de simulação são pacotes computacionais de natureza genérica, porém com características especiais para determinados tipos de aplicações em simulação. Assim como nas linguagens de programação, as linguagens de simulação também fazem uso de compiladores, mas são usadas especificamente para

aplicações em simulação. Essas linguagens são bibliotecas compostas por macros de linguagens de programação.

Segundo Law e Kelton (2000), pacotes de simulação ou simuladores são pacotes computacionais que favorecem a modelagem de sistemas específicos com pouca programação. As vantagens dos simuladores estão associadas ao tempo reduzido para construção do modelo e a facilidade de utilização com menus gráficos relacionados com o sistema específico. A desvantagem principal é a pouca flexibilidade de modelagem. Um exemplo de pacote de simulação é o Arena®, da *Rockwell Software Corp.*

3. ESTUDO DE CASO

3.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Este trabalho foi realizado numa empresa multinacional do setor de componentes automotivos de médio porte com aproximadamente 250 funcionários e com uma produção de aproximadamente 5.200 peças por dia, que comercializa para clientes de todo o mundo. Os principais produtos da linha de montagem em estudo são os componentes do sistema de transmissão automotiva.

Inicialmente, para a familiarização e descrição detalhada das atividades da linha de montagem, foi utilizada a técnica do mapeamento de processo, ver Figura 1 e Tabela 1. Esta técnica foi utilizada por ser uma ferramenta analítica e de comunicação que possibilita o entendimento e melhoria do processo. A linha de montagem é composta de várias estações de trabalho manuais e automáticas, interligadas por um transportador acumulativo (esteira). O produto é montado sobre um palete e em cada estação de trabalho são colocados componentes. As operações automáticas (postos automáticos) são realizadas com a parada do palete nas estações de trabalhos. As operações manuais são realizadas de duas formas: com o palete parado na estação de trabalho e com o palete em movimento durante o deslocamento de uma operação para outra.

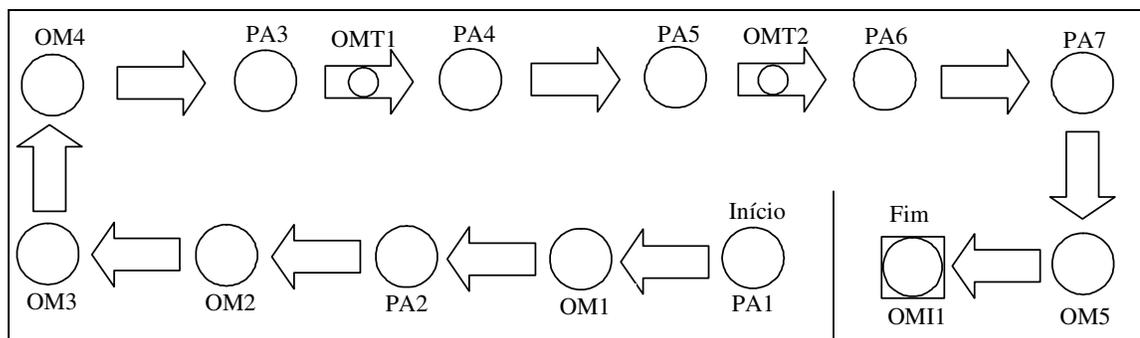


Figura. 1: Mapeamento da linha de montagem

Tabela 1: Resumo das atividades descritas no mapeamento da linha de montagem

Símbolo	Significado	Tota 1
○	Operações	12
⇒	Transportes	10
⇒ ○	Operação com Transporte	2

	Operação com Inspeção	1
---	-----------------------	---

A seguir, tem-se uma descrição detalhada da linha de montagem, de acordo com a Figura 1:

- Posto Automático 1 (PA1): Posiciona rebites no lado esquerdo do palete.
- Operação Manual 1 (OM1): Um operador posiciona o revestimento no lado esquerdo do palete, retira o subconjunto do lado direito e posiciona-o no lado esquerdo sobre os rebites e o revestimento já montado.
- Posto Automático 2 (PA2): Posiciona rebites do lado direito do palete.
- Operações Manuais 2 (OM2), 3 (OM3), 4 (OM4): Em cada operação, um operador monta o componente de acordo com o tipo de produto que estiver em fabricação.
- Posto Automático 3 (PA3): Posiciona revestimento no lado direito do palete.
- Operação Manual com Transporte 1 (OMT1): Um operador monta o componente de acordo com o tipo de produto que estiver em fabricação com o palete em movimento.
- Posto Automático 4 (PA4): Posiciona rebites maciços no lado direito do palete.
- Posto Automático 5 (PA5): Posiciona molas de revestimento no lado direito do palete.
- Operação Manual com Transporte 2 (OMT2): Um operador posiciona disco de torção no lado direito do palete e libera para a prensagem com o palete em movimento.
- Posto Automático 6 (PA6): Prensa simultaneamente o conjunto e o subconjunto montados no palete.
- Posto Automático 7 (PA7): Grava a laser a identificação do produto.
- Operação Manual 5 (OM5): Um operador retira o produto acabado do palete, posiciona o produto na máquina de medição. Faz medições de características funcionais do produto. O operador retira o produto que foi mensurado e disponibiliza o mesmo para a próxima operação.
- Operação Manual com Inspeção 1 (OMI1): Um operador faz exame visual detalhado do produto, identificando erros e direcionando o produto para o retrabalho ou para expedição.

3.2. COLETA DE DADOS E INFORMAÇÕES

Para o desenvolvimento do modelo inicial de simulação foi realizada a coleta de dados na linha de montagem. Foram realizadas visitas à empresa para observação do funcionamento da linha de montagem e para realizar entrevistas com os responsáveis pelo processo produtivo, assim como os responsáveis pela manutenção. As razões para as entrevistas foram compreender melhor os detalhes relacionados à linha de montagem e as possíveis paradas por falhas e manutenção e a duração dessas paradas.

As principais informações e dados coletados que serviram como base para o desenvolvimento do modelo inicial foram: tempos de cada operação (operação manual e posto automático); velocidade do transportador e comprimento de cada segmento do transportador; tempo entre paradas e o tempo de reparo das máquinas.

3.3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO INICIAL

O próximo passo realizado foi o desenvolvimento do modelo da linha de montagem atual, que foi chamado de Modelo Inicial. Na construção do modelo inicial buscou-se codificar o modelo conceitual em um conjunto de instruções lógicas que imitassem comportamento do sistema real. Essas instruções possuem um formato específico, de acordo com a ferramenta computacional utilizada.

O software utilizado para o desenvolvimento do modelo inicial foi o Arena®. O Arena® é uma ferramenta de simulação desenvolvida pela *Rockwell Software Corp* que permite ao usuário criar modelos de simulação animados que representam precisamente um sistema. Módulos de desenvolvimento são disponibilizados para construção do modelo e módulos customizados podem ser criados para necessidades específicas (ALI *et al.*, 2005). Na modelagem foram utilizados diversos módulos, reunidos em grupos (*templates*) do Arena®: *Basic Process (create, dispose, process, decide, assign, record, resource, entity)*; *Advanced Process (failure, hold)*; *Advanced Transfer (access, convey, exit, conveyor, segment)*.

Para o desenvolvimento do modelo inicial foram utilizados os tempos das atividades (operações manuais e automáticas) e as distâncias entre as atividades, ver Tabelas 2 e 3. Para os tempos das operações manuais utilizou-se uma variação de 10% em torno do tempo padrão da operação. Os tempos dos postos automáticos foram considerados determinísticos. Foram reproduzidos também detalhes significantes da linha de montagem como:

- Operação da linha de montagem em 3 turnos de 8 horas cada turno;
- Velocidade do transportador (esteira) de 200 mm/s;
- Parada da linha de montagem de 1200 segundos por turno para a realização de manutenção;
- Parada de 600 segundos por turno nos Postos Automáticos 1 (PA1), 2 (PA2) e 4 (PA4);
- Parada de 300 segundos por turno no Posto Automático 3 (PA3);
- Parada de 60 segundos por turno nos Postos Automáticos 5 (PA5) e 7 (PA7);
- Paradas de 120 segundos por turno no Posto Automático 6 (PA6).

Tabela 2: O tempo das atividades do modelo inicial

Tempos das Atividades	
Atividades	Tempo(s)
PA1	8,7
OM1	5,6 ± 0,56
PA2	8,5
OM2	8,4 ± 0,84
OM3	5,2 ± 0,52
OM4	8,2 ± 0,82
PA3	8,7
OMT1	8,2 ± 0,82
PA4	9,0
PA5	8,0
OMT2	3,1 ± 0,31

Tabela 3: A distância entre as atividades do modelo inicial

Distância entre Atividades	
Atividades	Distância(mm)
PA1 para OM1	780
OM1 para PA2	760
PA2 para OM2	760
OM2 para OM3	1.480
OM3 para OM 4	4.780
OM4 para PA3	2.300
PA3 para OMT1	980
OMT1 para PA4	1.020
PA4 para PA5	1.800
PA5 para OMT2	1.700
OMT2 para PA6	2.280

PA6	3,0
PA7	3,2
OM5	16,0 ± 1,6
OMI1	10,1 ± 1,01

PA6 para PA7	6.300
PA7 para OM5	1.500
OM5 para OMI1	1.320

A partir do desenvolvimento do modelo inicial observou-se que a operação manual 5 (OM5) está com um tempo de operação muito alto tornando-se um gargalo para o sistema como um todo.

3.4. VALIDAÇÃO E VERIFICAÇÃO

Uma das etapas mais importantes da simulação é a verificação e validação. Se o modelo não refletir o sistema real, as saídas do modelo vão influenciar negativamente na qualidade da decisão. A idéia principal da verificação é assegurar que o modelo não contenha erros de implementação das lógicas de funcionamento do sistema, tal como: rotinas de decisão, fluxo de entidades, atribuição de variáveis, etc. A validação tem como objetivo garantir que o modelo inicial está representando com acuracidade o sistema real. Segundo Sargent (1998), existem inúmeras técnicas de validação, como técnicas estatísticas ou procedimentos matemáticos, testes de hipótese, intervalos de confiança, comparação com outros modelos, testes degenerativos, validade do evento, condição extrema, validação por meio de dados históricos, validade interna, validação multi-estágio, gráficos operacionais, testes de duração, entre outros.

A verificação e validação do modelo inicial foi realizada em diversas etapas, envolvendo pessoas familiarizadas com o processo e dados históricos. Ao final do desenvolvimento do modelo, com todos os fatores considerados, obteve-se um modelo com capacidade de produção e tempo de atravessamento do produto muito próximo do sistema real.

3.5. EXPERIMENTAÇÃO

Após a verificação e validação do modelo inicial, realizou-se o desenvolvimento dos modelos propostos. Nessa etapa foram inseridas variações no modelo inicial para observação do comportamento do sistema. É importante ressaltar que nessa etapa não se procura a melhor alternativa, mas sim avaliar possíveis impactos causados por alterações no sistema. Foram desenvolvidos dois cenários com variações diferentes que foram chamados de Modelo Proposto 1 e Modelo Proposto 2.

Para cada modelo simulado (Modelo Inicial, Modelo Proposto 1, Modelo Proposto 2) foram realizadas 30 replicações de 1 dia, com 10 minutos de preparação da linha (*Warm-up*). As variações realizadas nos dois modelos propostos foram as seguintes:

- Modelo Proposto 1: observou-se no modelo inicial, que a operação manual 5 (OM5) está com um tempo de operação muito alto, tornando-se o gargalo para o sistema como um todo. Nesse modelo, propõe-se diminuir o tempo de processamento da operação gargalo OM5 em 15% passando de (16 ± 1,6) segundos para (13,6 ± 1,36) segundos. Para diminuir o tempo de processamento da operação gargalo podem ser realizadas pequenas melhorias como: a aplicação de estudo de tempos e movimentos e padronização da operação.
- Modelo Proposto 2: nesse modelo propõe-se automatizar a operação gargalo OM5 da seguinte forma: em um posto automático, retira-se o produto final do lado esquerdo do palete, realiza-se a medição das características funcionais e grava-se a laser a

identificação do produto. A distância entre as atividades continua a mesma do modelo inicial, mas o tempo da OM5 cai de $(16 \pm 1,6)$ segundos para 11,8 segundos.

3.6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A discussão dos resultados é realizada baseada em dois indicadores de desempenho utilizados como referência na empresa em estudo, que são:

- Tempo de Atravessamento: é o tempo transcorrido desde a entrada do componente na linha de montagem até a conclusão da última operação constante no roteiro de produção. No cálculo deste tempo foram considerados os tempos das operações, dos transportes e das esperas.
- Capacidade de Produção ou Quantidade Produzida: consiste na quantidade de produção por período de tempo. Neste trabalho utilizou-se para análise a produção por dia da linha de montagem.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para os três modelos: Modelo Inicial, Modelo Proposto 1 e Modelo Proposto 2.

Tabela 4: Resultados Obtidos

Modelo	Tempo de Atravessamento (s)	Quantidade Produzida (unidades/dia)
Modelo Inicial	6.677	5.212
Modelo Proposto 1	6.365	6.132
Modelo Proposto 2	4.266	7.068

- Comparação do modelo inicial com o modelo proposto 1: a diminuição do tempo de processamento da operação gargalo em 15% gerou melhorias significantes na quantidade produzida, que aumentou em 17,65%. Já no tempo de atravessamento, a melhoria foi de 4,67% devido ao fato que a operação OM5 teve sua capacidade de produção aumentada, mas ainda continua sendo o gargalo para a linha de montagem.
- Comparação do modelo inicial com o modelo proposto 2: os resultados obtidos mostraram grandes avanços em relação ao modelo inicial nos dois indicadores de desempenho. O tempo de atravessamento reduziu em 36,11% e a quantidade de produzida aumentou em 35,61%.
- Comparação do modelo proposto 1 com o modelo proposto 2: os resultados apresentaram grandes diferenças nos dois indicadores de desempenho utilizado: o tempo de atravessamento foi reduzido em 32,98% e a quantidade produzida foi aumentada em 15,26%. A grande melhoria do modelo proposto 2 está relacionada ao tempo de atravessamento, pois a linha de montagem ficou mais homogênea com relação aos tempos de processamentos.

4. CONCLUSÕES

Os dois modelos propostos obtiveram desempenhos melhores que o modelo atual da linha de montagem. No modelo proposto 1 é realizada somente uma diminuição do tempo de processamento da operação gargalo e essa mudança acarreta ganhos significativos na quantidade produzida. No modelo proposto 2, a linha de montagem passa por uma automatização. O resultado dessa automatização é uma melhoria considerável nos dois indicadores de desempenho utilizados.

Como conclusão, pode-se dizer que o modelo proposto 1 é um primeiro passo a ser tomado para a melhoria da linha de montagem devido ao baixo custo de investimento e a simplicidade da solução. O modelo proposto 2 é o passo seguinte para tornar a linha de montagem mais flexível, com maior capacidade de produção e com menor tempo de atravessamento, obtendo assim um melhor desempenho.

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que a simulação pode ser utilizada como base científica para a tomada de decisões sem interferir no sistema real. O estudo realizado permitiu também que as diversas pessoas envolvidas no projeto de melhoria da linha de montagem discutissem aspectos relevantes do sistema.

5. REFERÊNCIAS

ALI, S.A.; SEIFODDINI, H.; SUN, H. Intelligent modeling and simulation of flexible assembly systems, Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. pp.1350-1358, 2005.

BANKS, J. Introduction to simulation, Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference. pp.09-16, 2000.

BANKS, J. Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice, New York: John Wiley & Sons, 1998.

BANKS, J.; CARLSON, J.S.; NELSON, B.L. Discrete-event system simulation, 2.ed New Jersey: Prentice-Hall, 1996.

BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J.C. Modeling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling, International Journal of Operations & Production Management, v.22, n.2, pp.241-264, 2002.

CARSON II, J.S. Introduction to modeling and simulation, Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference. pp.01-08, 2004.

CENTENO, M.A.; CARRILLO, M. Challenges of introducing simulation as a decision making tool, Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference. pp.17-21, 2001.

FREITAS FILHO, P.J. Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicação em Arena. Florianópolis: Visual Books, 2001.

HARREL, C.; TUMAY, K. Simulation made easy, IIE Solutions, pp.39-41, 1997.

LAW, M.A.; MACCOMAS, M.G. Simulation of manufacturing systems, Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference. pp.56-59, 1999.

LAW, A.M.; KELTON, W.D. Simulation modeling and analysis, 3.ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

KELTON, W.D.; SADOWSKI, R.P.; SADOWSKI, D.A. Simulation with arena, WCB/McGraw-Hill, New York, 1998.

MARIA, A. Introduction to modeling and simulation, Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference. pp.07-13, 1997.

NAYLOR, T. H.; BALINTFY, J.L.; BURDICK, D.S.; CHU, K. Computer simulation techniques. New York: John Wiley & Sons, 1971.

PRITSKER, A.A.B. Introduction to simulation and slam II, New York: John Wiley & Sons, 1986.

ROHRER, M.; BANKS, J. Required Skills of a Simulation Analyst. IEE Solutions, pp.18-30, 1998.

SARGENT, R.G. Verification and validation of simulation models, Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference. pp.121-130, 1998.

SHANNON, R.E. Introduction to the art and science of simulation, Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference. pp.07-14, 1998.