

MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA O BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM DE ELETRÔNICOS

Ricardo de Oliveira Monteiro Russel (SENAI)

ricardo_russel@hotmail.com

Francisco Uchoa Passos (SENAI)

francisco.passos@unifacs.br



Tendo em vista a necessidade da organização em estruturar de modo eficiente a sua manufatura para que se mantenha competitiva, o uso das linhas de montagem exigem estudos voltados para o balanceamento com intuito de melhorar a eficiência da linha de produção. A aplicação da linha de montagem ocorre em diferentes segmentos produtivos, sendo empresas de informática, em especial montadoras de computadores pessoais, grandes demandantes das linhas automatizadas. Este trabalho pretende realizar um levantamento sucinto de diferentes métodos de balanceamento de linhas e propor um modelo de balanceamento de linhas utilizando ferramentas computacionais de modelagem e simulação para auxiliar o processo decisório no que diz respeito ao balanceamento de linhas produtivas. Para isto foi realizado um estudo em uma empresa montadora de computadores através da aplicação da ferramenta computacional de modelagem e simulação Witness, de modo que através das simulações realizadas foi possível incrementar a eficiência da linha produtiva.

Palavras-chaves: Linhas de produção, balanceamento de linhas, modelagem e simulação, montadoras de computadores

1. Introdução

A crescente demanda por produtos variados abriu espaço para o surgimento de novas indústrias, ocasionando a competição entre diferentes empresas com intuito de captar um número maior de clientes. Tal competição gera a necessidade da busca de melhorias por parte das indústrias, que necessitam se estruturar de modo que possam se manter competitivas. A função manufatura em uma indústria, segundo Slack (2002), quando bem estruturada permite que a organização se mantenha forte perante os concorrentes, bem como responsiva aos diferentes mercados. Davis et al., (2007), afirmam que com o aumento da competitividade surge a importância em se traçar estratégias de produção de longo prazo, de modo que haja um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

Tendo em vista a necessidade da organização em estruturar de modo eficiente a sua manufatura para que se mantenha competitiva, o uso das linhas de montagem exigiram estudos voltados para o balanceamento de linhas produtivas com intuito de melhorar a eficiência da linha de produção. A linha de produção eficiente possui postos de trabalho com capacidades próximas, de modo que seja evitada a discrepância entre estes, por excesso de ociosidade e ocupação. Diante deste problema de balanceamento, desde a década de 50, estudiosos realizam pesquisas com intuito de melhorar a eficiência das diferentes características de linhas produtivas, principalmente através do aumento da capacidade de produção (SLACK, 2007; CORRÊA, 2010; ROCHA, 2005).

A aplicação da linha de montagem ocorre em diferentes segmentos produtivos, sendo empresas de informática, em especial montadoras de computadores pessoais, grandes demandantes das linhas automatizadas. Este trabalho pretende realizar um levantamento sucinto de diferentes métodos de balanceamento de linhas e propor um modelo de balanceamento de linhas utilizando ferramentas computacionais para auxiliar o processo decisório no que diz respeito ao balanceamento de linhas produtivas. Vale ressaltar que para a pesquisa em questão, será realizado um estudo de caso em uma grande empresa montadora de computadores pessoais da região Nordeste do Brasil, que por motivo de sigilo será doravante denominada de ACME computadores.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Linhas Produtivas

As linhas produtivas são consideradas como o agrupamento de operações de forma seriada, de modo que o produto percorra os processos através de um fluxo sistemático (BECKER; SCHOLL, 2006; SCHOLL et al., 2010; BOYSEN et al., 2007). Segundo Scholl et al. (2006) as linhas de montagem são sistemas de produção de fluxo orientado, que são típicos da produção industrial de produtos padronizados. De acordo com Oliveira (2011), uma linha de montagem é um fluxo guiado de sistema de produção, onde as unidades são produzidas em operações ordenadas, alocadas em estações e alinhadas de maneira serial. As linhas produtivas normalmente contam com o auxílio de dispositivos, em geral esteiras ou correias, comumente utilizadas pelas organizações que possuem grande volume produtivo, com o objetivo de movimentar os produtos entre os processos, tornando a produção organizada, ágil e confiável. De acordo com Scholl et al. (2006), uma linha de montagem consiste em estações de trabalho dispostas ao longo de uma correia transportadora, ou equipamento similar, na qual as peças são movidas entre as estações que possuem operações realizadas repetidamente e levam um determinado tempo.

O problema mais comum no uso de linhas produtivas diz respeito ao balanceamento das operações que a integram, quando as atividades inerentes a cada posto de trabalho devem ser distribuídas de forma organizada, de modo que não haja sobrecarga de atividades em uma operação nem ociosidade em demasia em outra, sempre respeitando as características sequenciais da produção, ou seja, seguindo a ordem correta de fabricação ou montagem de um produto, obedecendo às precedências dentro do processo. Os problemas de balanceamento de linhas de montagem (ALBP – *assembly lines balancing problem*) são normalmente divididos em dois gêneros: problemas de balanceamento de linhas de montagem simples (SALBP – *simple assembly lines balancing problem*) e o problema de balanceamento de linhas de montagem gerais (GALBP – *general assembly lines balancing problem*).

Em função das mudanças de consumo, quando os clientes buscam produtos personalizados, bem como nos avanços tecnológicos que tornam estes produtos obsoletos com maior velocidade, alterações na oferta de produtos foram realizadas, exigindo desta forma uma maior flexibilidade do setor produtivo (PAIVA et al., 2004; SILVA, 2012). De acordo com Silva (2012), o ambiente produtivo da organização sofre forte influência do mercado externo, ocasião em que as linhas de produção sofrem alterações na sua configuração com o intuito de atender às novas necessidades mercadológicas. Scholl et al. (2010) afirmam que atualmente as linhas de montagem dedicadas a baixo volume e grande variedade vêm ganhando importância. Observa-se que tal importância ocorre em função das mudanças no consumo.

Verifica-se que as linhas produtivas devem ser configuradas de modo a atender as necessidades de processamento do produto ou serviço a que se destinam, permitindo um fluxo claro e ininterrupto do mesmo. A fluidez continuada do produto ou serviço é possível em produtos padronizados, nos quais os mesmos métodos de trabalho são aplicados para um grande volume de produtos. Porém, conforme exposto por Boysen et al. (2006) e Scholl et al. (2010), observam-se tendências em se adotar linhas com volumes menores e variedades maiores de produtos. De acordo com Gerhardt (2007), linhas de produção multi-modelos objetivam a produção de bens customizados, nos mesmos moldes dos produtos padronizados, ou seja, em termos de volume e preço. Diante do exposto as linhas de produção devem ser configuradas de modo que atendam ao ambiente no qual a empresa está inserida.

O modo de configuração da linha reflete diretamente na eficiência da sua produtividade. Tendo em vista a constante busca das organizações em elevarem seus níveis de produção, diversos estudos relacionados a linhas produtivas vêm sendo publicados hodiernamente. Silva (2012), em seu estudo revisou as principais publicações realizadas nos últimos 50 anos referentes a linhas de produção, sendo evidenciado observado que os principais assuntos pesquisados são referentes ao balanceamento de linhas produtivas. Outra questão levantada pelo professor Glauco Silva diz respeito à metodologia utilizada nos estudos, em que se destacam o uso da modelagem e simulação.

2.2. Modelagem e Simulação Computacional

Em função das constantes mudanças das características dos produtos, a composição das linhas de produção sofre modificações, tornando complexo o processo de balanceamento da linha, uma vez que o número de variáveis envolvidas é modificado. A modelagem e simulação computacional apresenta-se como uma ferramenta extremamente útil para a tomada de decisões em cenários industriais complexos, auxiliando o gestor moderno no processo decisório.

De acordo com Banks (1998) a modelagem e simulação de eventos discretos possui a finalidade de representar externamente aspectos de processos reais de modo que estes sejam simulados e analisados sem que haja interferências no processo real. De acordo com Sakurada e Miyake (2003) eventos discretos são caracterizados por serem modificados em intervalos especificados de tempo. Segundo Chwif e Medina (2010), o modelo é uma abstração da realidade, que busca representar o processo real de forma simplificada. Sakurada e Miyake (2003) definem simulação como uma ferramenta de apoio à tomada de decisões, através da representação de sistemas reais.

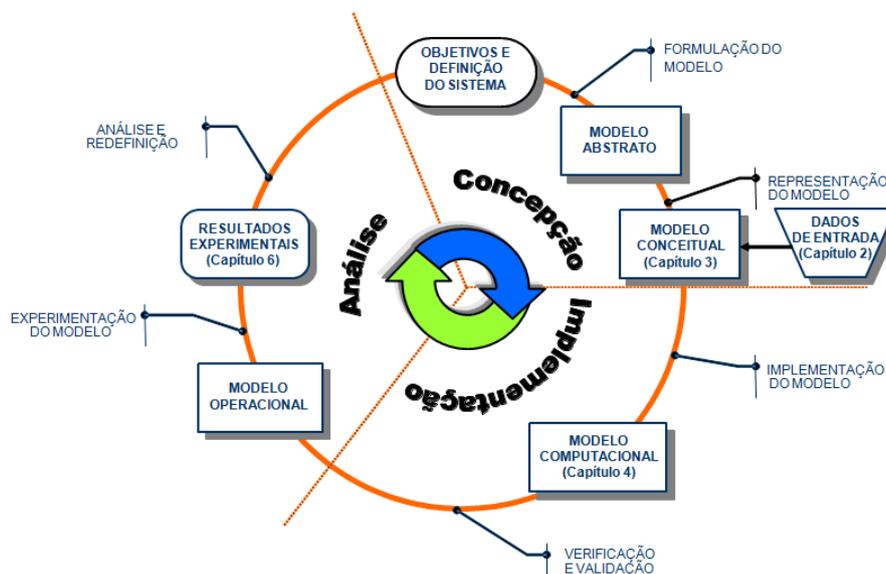
Sistemas reais possuem características complexas, uma vez que envolvem variáveis aleatórias, que na maioria das vezes não podem ser controladas. De acordo com Forrester (1968), um sistema é o envolvimento de diferentes atores que interagem em prol de um objetivo comum. O autor informa ainda que os sistemas industriais são dinâmicos, uma vez que ocorrem mudanças em função do tempo. Esta dinamicidade torna complexa a análise de processos produtivos sem o aporte tecnológico. Segundo Figueiredo et al. (2011), um sistema é a interação de elementos que possuem relação de interdependência no qual o seu desempenho estará relacionado aos esforços conjuntos e não isolados dos elementos.

A modelagem e simulação computacional de eventos discretos são aplicadas em diversos segmentos, tendo uma de suas principais utilizações na manufatura. Diversos autores publicaram trabalhos aplicando a modelagem e simulação computacional em processos fabris. No Brasil Santoro e Moraes (2000) apresentaram a aplicação de softwares de modelagem e simulação computacional para avaliar a nova linha de montagem de motores na Ford do Brasil localizada em Taubaté. Duarte (2003) aplicou a modelagem e simulação computacional em uma célula de manufatura de auto-peças, com o intuito de propor a melhor configuração para a mesma. Já Carvalho (2006) realizou a análise de operações logísticas complexas em

uma planta industrial no pólo petroquímico de Camaçari – BA, identificando as potencialidades e vantagens do uso de softwares de modelagem e simulação. Conforme pode se constatar, a literatura possui uma quantidade vasta de trabalhos que apresentam a aplicação de softwares de modelagem e simulação computacional para melhoria de diferentes processos.

As criações de modelos de simulação incorrem no uso de uma metodologia, de modo que as ações referente a elaboração do modelo computacional sejam direcionadas, evitando deste modo possíveis erros. A metodologia para a elaboração do modelo computacional deste trabalho em questão foi baseada em Chwif e Medina (2010), que dividem a elaboração do modelo computacional em três fases distintas: (a) Concepção do modelo; (b) Implementação do modelo; e (c) Análise dos resultados obtidos com as simulações do modelo. A figura 1 apresenta a interação das etapas para a elaboração do modelo de simulação computacional.

Figura 1 – Metodologia de Simulação

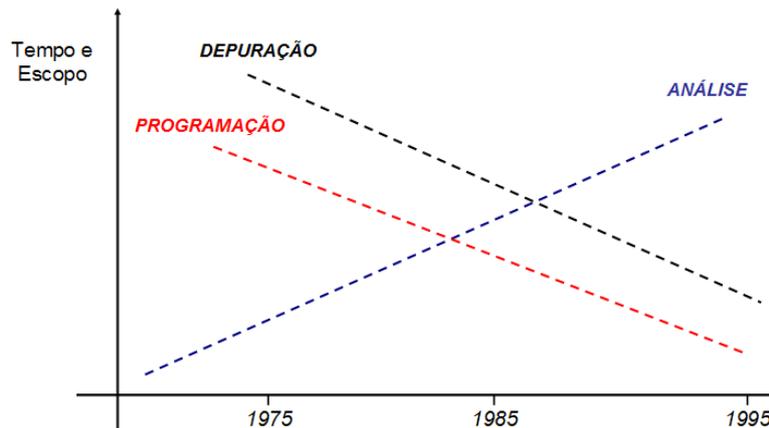


Fonte: Chwif e Medina (2010)

Segundo Chwif e Medina (2010), os modernos softwares de 4ª geração reduzem o tempo de projeto gasto na programação e depuração do modelo, permitindo uma maior disponibilidade para as atividades de análise do processo, trabalho que realmente agrega valor à decisão. A facilidade de utilização possibilita o emprego dessas ferramentas por diferentes tipos de

profissionais, ao contrário do que ocorria há algum tempo, quando apenas programadores experientes se dispunham àquela árdua tarefa. A figura 2 ilustra a evolução dos projetos de modelagem e simulação computacional, em que se confirma a tendência da redução dos esforços com programação/depuração, em favor da maior disponibilidade para análise.

Figura 2: Evolução dos Projetos de Simulação



Fonte: Adaptado de Chwif; Medina (2010).

Segundo Carvalho (2006), processos reais incorrem em modelos que irão exigir cuidados na manipulação de dados, de modo que o modelo computacional deve ser caracterizado em um formato computacional adequado. O autor ainda afirma que a etapa de elaboração do modelo computacional irá exigir que o modelador decida-se por qual meio seu modelo será construído, podendo optar por linguagem de propósito geral (a exemplo do FORTRAN ou C), uma linguagem de simulação (a exemplo do GPSS/H, SIMAN e o SIMSCRIPT), ou até mesmo adotar a utilização de pacotes de simulação, como por exemplo, o Witness (Lanner Group), ProModel (ProModel Corporation), Arena (Rockwell Software), Flexsim (Flexsim Software Products) e AutoMod (Brooks Automation). Este trabalho irá adotar a utilização do pacote de simulação Witness (LANNER GROUP EDUCATIONAL, 2003) para a elaboração do modelo computacional.

De acordo com Banks (1998), a ferramenta computacional de modelagem e simulação Witness da Lanner Group possui flexibilidade para aplicação em diferentes segmentos e conta com características próprias para a manufatura. O software Witness contém diversos elementos aplicados para processos discretos, inclusive voltados para linhas de montagem.

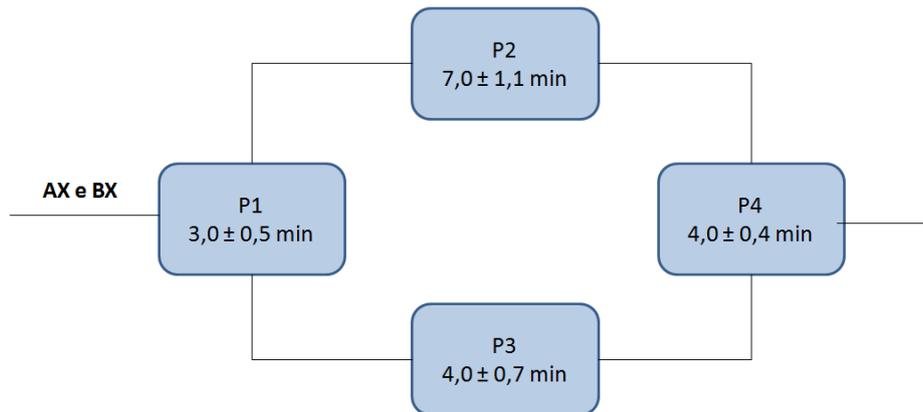
A seguir será apresentada a aplicação do software Witness na linha de montagem de computadores da empresa denominada ACME computadores.

3. Análise dos Resultados

A empresa ACME computadores atua a mais de 10 anos na fabricação de computadores pessoais, notebooks e netbooks. Localizada no Pólo Industrial de Informática de Ilhéus, em função dos incentivos fiscais disponibilizados para as indústrias de informática, eletroeletrônica e telecomunicações, a mesma conta com vantagens financeiras, fiscais e de instalação. Com intuito de facilitar o entendimento das potencialidades oferecidas através da aplicação do balanceamento de linhas associada à utilização de ferramentas computacionais para análise de processos complexos, será apresentado o processo produtivo, que compõe quatro postos de trabalho considerados críticos da linha de montagem da empresa ACME, ao qual serão propostas melhorias através da simulação computacional utilizando software Witness.

Para a construção do modelo computacional será considerado a agregação de valor a dois produtos distintos, notebook AX e o netbook BX. A linha é constituída de 4 (quatro) estágios de trabalho (P1, P2, P3 e P4). Tanto o produto AX quanto o BX são processados individualmente no estágio de trabalho P1, sendo que os itens são inseridos na linha produtiva de forma alternada, ou seja, primeiro um item AX e depois um BX, assim sucessivamente. O tempo de ciclo do estágio de trabalho P1 é em média 3 minutos com desvio padrão de 0,5 minutos, independentemente do produto. Após finalizar o processamento, o estágio de trabalho P1 encaminha a peça AX para o estágio P2 e a peça BX para o estágio P3. O estágio de trabalho P2 leva em média 7 minutos com desvio de 1,1 minutos para processar cada peça AX, e assim que finaliza o processo direciona as peças para o estágio de trabalho P4. Já o estágio de trabalho P3 possui um tempo de ciclo em média de 4 minutos e desvio 0,7 minutos para processar cada peça BX, e quando finaliza o processo também transfere a peça para o estágio de trabalho P4. Por fim, o estágio de trabalho P4 tem um tempo de ciclo em média de 4 minutos e desvio 0,4 e processa individualmente tanto peças AX quanto BX, dando prioridade à peça que chegar primeiro no estágio. (caso haja empate, a peça que entrou primeiro no posto de trabalho P1 terá prioridade).

Figura 3: Processo Produtivo com Tempos Médios



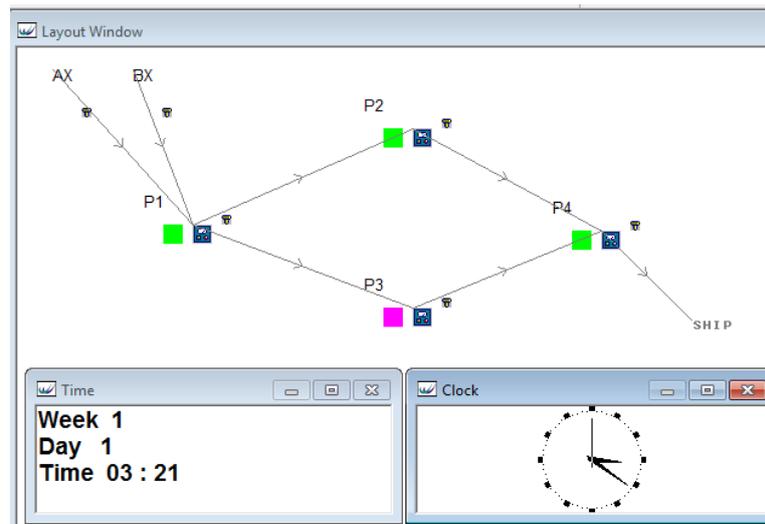
Fonte: Elaborado pelo Autor (2013)

Pode-se observar que o processo apresenta certo grau de complexidade, o que dificulta a análise e, por sua vez, a tomada de decisão. Como é de interesse do gestor conhecer as características o processo produtivo, é comum que algumas questões relativas ao processo sejam levantadas, como por exemplo:

1. Quantas peças AX e quantas peças BX serão produzidas em 1 (um) mês, levando em consideração que a empresa trabalha com jornadas de 8 (oito) horas por dia durante 5 (cinco) dias por semana?
2. Qual o nível de ociosidade, ocupação e bloqueio dos postos de trabalho?
3. Que modificações no processo podem ser realizadas, de modo que se obtenha uma maior capacidade produtiva, sem que o número de estágios de trabalho seja alterado?

Tais questionamentos não permitem que os gestores admitam respostas imediatas, devido à necessidade de uma análise detalhada do processo, o que consome tempo e recursos. Sendo a velocidade na tomada de certas decisões estratégicas, um dos objetivos que este artigo destaca, apresenta-se, aqui, a construção de um modelo computacional em que os questionamentos realizados são respondidos de forma precisa e imediata.

Figura 4: Processo Produtivo Modelado no Software Witness



Fonte: Elaborado pelo Autor (2013)

A figura 4 ilustra o processo produtivo modelado através do software Witness. Na figura 5, é apresentado o relatório gerado pelo software, referente às estatísticas das peças, onde é possível visualizar que 1113 peças do tipo AX e 1112 do tipo BX deram entrada no sistema, no qual houve a produção efetiva de 1111 peças AX e 1110 peças BX. Ainda neste relatório podem-se verificar outras informações, como material em processo (work in process - W.I.P.) e o tempo médio de produção (lead time average - Avg Time).

Figura 5: Relatório Estatístico de Peças Gerado no Software Witness

WITNESS									
Part Statistics Report by On Shift Time									
Name	No. Entered	No. Shipped	No. Scrapped	No. Assembled	No. Rejected	W.I.P.	Avg W.I.P.	Avg Time	
AX	1113	1111	0	0	0	2	2.05	19.47	
BX	1112	1110	0	0	0	2	1.42	13.49	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2013)

Na segunda parte do relatório (figura 6) são disponibilizadas informações referentes aos estágios de trabalho, onde é possível observar ociosidade (idle), ocupação (busy) e bloqueio (blocked) dos estágios de trabalho. Vale ressaltar que estas informações são de grande importância para a análise de processos produtivos e para a tomada de decisão, quando é possível identificar os gargalos produtivos, bem como nortear o processo decisório.

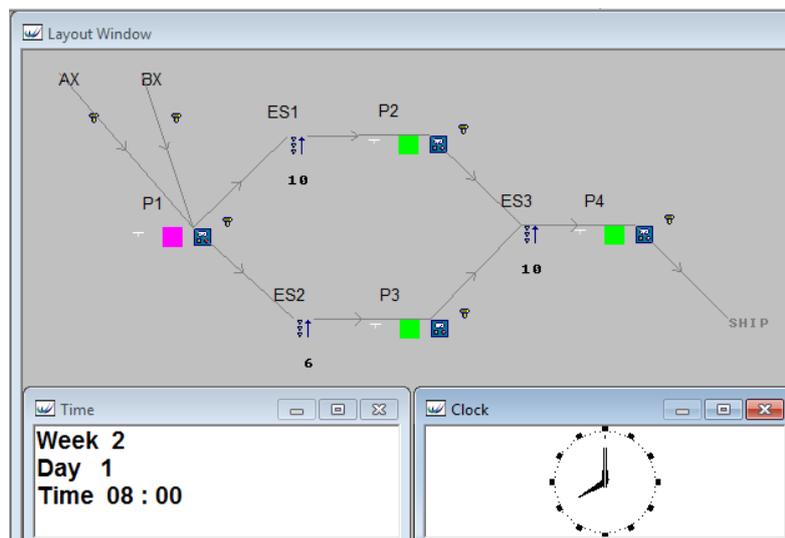
Figura 6: Relatório Estatístico dos Postos de Trabalho Gerado no Software Witness

WITNESS					
Machine Statistics Report by On Shift Time					
Name	% Idle	% Busy	% Filling	% Emptying	% Blocked
P1	0.00	63.19	0.00	0.00	36.81
P2	0.03	73.69	0.00	0.00	26.28
P3	36.85	42.09	0.00	0.00	21.06
P4	15.86	84.14	0.00	0.00	0.00

Fonte: Elaborado pelo Autor (2013)

Os relatórios mostrados nas figuras 5 e 6, respondem aos questionamentos 1 e 2, colocados no início desta seção. Para responder ao terceiro questionamento, expansão da capacidade, é necessário que sejam realizadas simulações voltadas para a ampliação da produção do processo em questão. Para tanto foram inseridos estoques intermediários (W.I.P.). O principal fator motivador para a inserção de estoques intermediários foi o alto índice de bloqueio entre os estágios de trabalho, em que o objetivo é reverter esses bloqueios em produtividade. Inicialmente foram inseridos estoques intermediários com capacidade de 7 peças. Nas figuras 8 e 9 podem-se verificar os resultados desta simulação, refletidos em relatórios gerados pelo software.

Figura 7: Processo Produtivo Modelado com Estoques em Processo no Software Witness



Fonte: Elaborado pelo Autor (2012)

Figura 8: Relatório Estatístico de Peças Gerado no Software Witness com a Inserção de Estoques em Processo

WITNESS								
Part Statistics Report by On Shift Time								
Name	No. Entered	No. Shipped	No. Scrapped	No. Assembled	No. Rejected	W.I.P.	Avg W.I.P.	Avg Time
AX	1334	1317	0	0	0	17	16.90	133.80
BX	1333	1320	0	0	0	13	12.82	101.54

Fonte: Elaborado pelo Autor (2012)

Figura 9: Relatório Estatístico dos Postos de Trabalho com Estoques em Processo Gerado no Software Witness

WITNESS						
Machine Statistics Report by On Shift Time						
Name	% Idle	% Busy	% Filling	% Emptying	% Blocked	%
P1	0.00	75.77	0.00	0.00	24.23	
P2	0.03	87.69	0.00	0.00	12.28	
P3	0.57	50.25	0.00	0.00	49.19	
P4	0.09	99.91	0.00	0.00	0.00	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2012)

O relatório apresentado na figura 8, mostra, através da análise comparativa entre os relatórios gerados, um crescimento de 206 peças na produção de AX e de 210 peças na produção de BX, representando um incremento de produção da ordem de 19%. Tal incremento produtivo se deu pelo fato de parte das taxas de bloqueio ter sido revertida em produção. Nas tabelas 1 e 2 são comparados os desempenhos dos modelos computacionais construídos, respectivamente, antes e depois do emprego de estoques intermediários.

Tabela 1: Comparação da Produção entre Modelos

Peça	Produção (Sem Estoques)	Produção (Com Estoques)	% de Melhoria
AX	1.111 unidades	1.317 unidades	18,54 %
BX	1.110 unidades	1.320 unidades	18,92 %

Fonte: Elaborado pelo Autor (2013)

Tabela 2: Comparação do Desempenho da Ocupação entre Modelos

Posto	% de Ocupação (sem estoques)	% de Ocupação (com estoques)	% de Melhoria
P1	63,19 %	75,77 %	12,58%

P2	73,69 %	87,69 %	14,00%
P3	42,09 %	50,25 %	8,16%
P4	84,14 %	99,91 %	15,77%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2013)

Tabela 3: Comparação do Desempenho do Bloqueio entre Modelos

Posto	% de Bloqueio (sem estoques)	% de Bloqueio (com estoques)	% de Melhoria
P1	36,81 %	24,23 %	-12,58%
P2	26,28 %	12,28 %	-14,00%
P3	21,06 %	49,19 %	28,13%
P4	0,00 %	0,00 %	0,00%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2012)

Verificou-se que a melhoria na produção após a implantação dos estoques em processo, tanto em AX como BX, foi de mais de 18%.

Percebe-se, com o exemplo, a praticidade e rapidez com que processos decisórios, podem ser melhorados, gerando resultados interessantes para as organizações sem impactar no andamento do processo produtivo, pois os cenários são testados em ambientes computacionais o que não interfere no sistema real.

Deve-se destacar que a introdução de estoques intermediários (W.I.P.) implica na montagem prévia de subconjuntos, o que se traduz em custos adicionais, que não foram analisados neste texto. No caso específico do processo em análise da ACME, será necessária à ampliação do comprimento da linha produtiva em 12 metros. No entanto, a depender de fatores como a estratégia de produção, os benefícios resultantes da expansão de capacidade costumam superar, com vantagem, tais custos. Neste caso, o incremento produtivo supera o investimento indicado na aquisição de novos segmentos para a esteira.

4. Considerações Finais

As constantes mudanças que ocorrem no cenário mercadológico refletem diretamente na estratégia da indústria moderna, a qual, para se manter competitiva, deve atuar com rapidez e precisão nas decisões.

O gestor pode contar com ferramentas computacionais que dão suporte à tomada de decisão, tornando o processo rápido e preciso. As modernas ferramentas computacionais não desobrigam o gestor do domínio de conhecimentos do processo. Pelo contrário, o modelo computacional apenas irá apenas apresentar possíveis cenários com base nas informações disponibilizadas pelo gestor, cabendo ao mesmo analisar e optar pela melhor alternativa para o processo.

A contribuição deste trabalho é demonstrar que o balanceamento de linhas de montagem associado à utilização de ferramentas computacionais é vantajosa para o processo de tomada de decisões, quando diferentes cenários podem ser analisados em um ambiente virtual, sem necessariamente interferir no processo produtivo da empresa. Somente após a escolha da melhor configuração da linha produtiva é que o processo será modificado de fato. Esta característica de análise permite que o risco e o custo inerentes aos processos de decisão sejam significativamente minimizados. No estudo realizado foi possível o incremento da produção, no qual o processo foi balanceado através da inserção de estoques intermediários que possibilitaram o desbloqueio dos postos de trabalho críticos.

REFERÊNCIAS

BANKS, J. **Handbook of Simulation**, 849 p, CAON, Mauro, 1.ed., Georgia (EUA), EMP, 1998.

BECKER, C.; SCHOLL, A. **A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing**. European Journal of Operational Research, 2006.

BOYSEN, Nils; FLIEDNER Malte; SCHOLL Armin. **A classification of assembly line balancing problems**. European Journal of Operational Research, 2007.

BRIGHENTI, J. **Simulação e Otimização de uma Linha de Manufatura em Fase de Projeto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá: Itajubá, 2006.

CARVALHO, L. **Análise das potencialidades e vantagens do uso da simulação computacional em operações logísticas complexas, como ferramenta de auxílio à tomada de decisões: estudo de caso em uma organização industrial.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia: Salvador, 2006.

CHWIF, L. & MEDINA, A. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Prática.** 309 p., 3.ed., São Paulo, Bravarte, 2010.

CORRÊA, H. CORRÊA C. **Administração da Produção e Operações.** 2ª edição. Atlas, São Paulo 2010.

DAVIS, M. AQUILANO, N. CHASE, R. **Fundamentos da Administração da Produção.** 3ª edição. Bookman, Porto Alegre 2001.

DUARTE, R. **Simulação Computacional: Análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá: Itajubá, 2003.

FIGUEIREDO, J.; VASCONCELLOS, L.; PEREIRA, S. **O desenvolvimento e a Aplicação de um Modelo Multiagente para o Ensino da Teoria das Restrições.** SIMPOI, 2011.

FORRESTER, J. **Principles of Systems.** Cambridge, 1968.

GERHARDT, M; FOGLIATTO, F; CORTIMIGLIA, M; **Metodologia para o Balanceamento de Linhas de Montagem Multi-Modelos em Ambientes de Customização em Massa.** Gest. Prod., São Carlos, v. 14, n. 2, p. 267-279, maio-ago. 2007.

KILBRIDGE, K.; WEBSTER, L. **A heuristic method of assembly line balancing.** Journal of Industrial Engineering, v. 57, nº 4, 1961.

OLIVEIRA, F. **Programação Inteira Binária por Branch and Bound para rebalanceamento de linhas de montagem em ambiente de mix de modelos de produtos: Um estudo de caso em uma empresa da indústria automobilística.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec: Salvador, 2011.

OLIVEIRA, F; VITTORI, K; RUSSEL, R; TRAVASSOS, X. **Mixed Assembly Line Rebalancing: A Binary Integer Approach Applied to Real World Problems in The Automotive Industry.** International Journal of Automotive Technology, Vol. 13. Springer 2012.

ÖZCAN, U. **Balancing stochastic two-sided assembly lines: A chance-constrained, piecewise-linear, mixed integer program and a simulated annealing algorithm.** European Journal of Operational Research, v. 205, n. 1, p. 81-97, 2010.

PAIVA, E; CARVALHO, J; FENSTERSEIFER, J. **Estratégia de Produção e de Operações: Conceitos, Melhores Práticas e Visão de Futuro.** Porto Alegre: Bookman, 2004.

PINTO, J. **Uso da Simulação de Sistemas Dinâmicos para a Análise de Logística Hospitalar: Gestão Integrada de Estoque e Capacidade.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas: Campinas, 2007.

ROCHA, D. **Balanceamento de linha – Um enfoque simplificado.** material preparado por Duílio Reis da Rocha em 14/04/05. Disponível em:
<http://www.fa7.edu.br/rea7/artigos/volume2/artigos/read3.doc>. Acesso em 23/03/11.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. **Estudo comparativo de softwares de simulação de eventos discretos aplicados na modelagem de um exemplo de loja de serviços.** XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção – Ouro Preto, MG, Brasil, 2003.

SALVESON, M. E. **The assembly line balancing problem.** Journal of Industrial Engineering. v. 6, p. 18-25, 1955.

SANTORO, M.; MORAES, E. **Simulação de uma linha de montagem de motores.** Gestão & Produção, v.7, n.3, p.338-351, dez 2000.

SCHOLL, A.; BECKER, C. **State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing.** European Journal of Operational Research, 2006.

SCHOLL, A.; BOYSEN, N. & FLIEDNER, M. **ABSALOM: Balancing assembly lines with assignment restrictions.** European Journal of Operational Research, 2010.

SCHOLL, A.; BOYSEN, N. & FLIEDNER, M. **The sequence-dependent assembly line balancing problem.** 2006, Springer-Verlag.

SILVA, G.; TUBINO, D. **Linhas de Montagem: Tendências, Lacunas e Perspectivas Futuras de Pesquisa.** SIMPOI, 2012.

SLACK, N.; CHAMBERS, S. & JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** Segunda Edição, ed. Atlas, São Paulo, 2008.

SLACK, N. **Vantagem Competitiva na Manufatura.** Segunda Edição, ed. Atlas, São Paulo, 2002.

TIACCI, L. **Event and object oriented simulation to fast evaluate operational objectives of mixed model assembly lines problems.** Simulation Modelling Practice and Theory, 2012.