

Simulação computacional em uma indústria de bolas

Anderson Lino de Paula Martins (Universidade Federal de Itajubá)
linoanderson93@gmail.com

Bruno de Castro Faria (Universidade Federal de Itajubá)
brunocasfa@gmail.com

Alexandre Ferreira de Pinho (Universidade Federal de Itajubá)
pinho@unifei.edu.br

José Arnaldo Barra Montevechi (Universidade Federal de Itajubá)
montevechi@unifei.edu.br



A produção de bolas é um processo que envolve alguns subprocessos, desde o enchimento da câmara, preparação do tapete, até a montagem final. A simulação computacional é uma ferramenta capaz de gerar diversos cenários, a fim de facilitar a gerência no auxílio a tomada de decisão. Nesse contexto, o trabalho objetivou o uso dessa ferramenta para tentar aumentar o desempenho da empresa localizada na região do Campo das Vertentes, em Minas Gerais; onde o aumento da produção total dos três tipos de bolas (futsal, vôlei adulto e vôlei infantil) foram estudados a fim de maximizar a capacidade produtiva da fábrica. Para a metodologia de estudo foram aplicados tipos de simulação que envolvem a modelagem conceitual (concepção), modelagem computacional (implementação) e análise, utilizando o software FlexSim®. Foram propostas algumas melhorias em dois cenários possíveis para a empresa, o resultado obtido foi o aumento da produção para o dobro da original, além da alteração do layout da fábrica, uma vez que a empresa apresentava uma distribuição física menos funcional.

Palavras-chave: Simulação à Eventos Discretos, Produção de Bolas, Modelagem Computacional, Modelagem conceitual.

1. Introdução

A simulação computacional imita um processo real por meio de modelo computacional, objetivando responder a perguntas “o que ocorreria se...”. Assim, ela busca importar as informações do mundo real e incorporar no modelo computacional, sem a necessidade de acrescentar itens no modelo físico.

Os autores Pecek e Kovacic (2011) afirmam que a simulação pode ser usada na análise de um sistema a fim de garantir a qualidade e eficiência de um processo estocástico complexo, permitindo operar em diferentes ambientes. Montevechi et al. (2007) discorrem que essa ferramenta é uma importação da realidade, na qual é possível controlar possíveis cenários com diferentes comportamentos, sem que seja preciso correr riscos ou gerar custos desnecessários.

Sumari et al. (2013) comentam que a simulação envolve o uso de lógica, matemática e também os aspectos estruturais do sistema. Os mesmos autores também destacam que há três principais métodos de simulação: simulação dinâmica do sistema, simulação de eventos discretos (SED) e simulação baseada em agentes (SBA). Este trabalho focará apenas na SED, pois esse será o método utilizado na pesquisa.

Nesse contexto, o trabalho busca simular, utilizando a simulação à eventos discretos, um sistema de produção de bolas de futsal, vôlei adulto e vôlei infantil de uma fábrica produtora de bolas localizada no Campo das Vertentes de Minas Gerais. Esse trabalho tem como objetivo aumentar a produção total desses três tipos de bolas, baseando-se no auxílio que a ferramenta de simulação possui na tomada de decisões em um processo produtivo.

2. Referencial Teórico

2.1. Simulação Computacional

Segundo Chwif e Medina (2015) os modelos de simulação conseguem capturar com mais fidelidade as diversas operações que ocorrem em um sistema real, por meio de um sistema computacional. Os mesmos autores ainda reiteram que esse sistema computacional pode ser submetido a diversas condições de contorno.

Os gestores em um ambiente organizacional enfrentam diversos desafios relacionados à tomada de decisão, uma vez que eles buscam a melhor forma de operar o sistema. A simulação pode servir como um facilitador para os gestores, pois pode simular cenários, auxiliando na identificação de falhas e possíveis melhorias (MORABITO e PUREZA, 2010).

Os autores Chwif e Medina (2015) dizem que é muito complicado definir o que é a simulação computacional, assim eles afirmam o que não é a simulação:

- Uma bola de cristal: a simulação não pode prever o futuro;
- Um modelo matemático: não há uma expressão analítica fechada capaz de determinar os resultados do comportamento do sistema;
- Uma ferramenta estritamente de otimização: é uma ferramenta de análise de cenários;
- Substituta do pensamento inteligente: é incapaz de substituir o pensamento humano;
- Uma técnica de último recurso: utilizada apenas quando todas as outras técnicas não funcionarem;
- Uma panaceia que irá resolver todos os problemas.

Pecek e Kovacic (2011) afirmam que a simulação computacional apresenta diversos benefícios, tanto tangíveis, como intangíveis, como por exemplo, redução da quantidade de tempo necessária para os cálculos manuais, diminuição no tempo para analisar o desempenho e melhoria na qualidade, entre outros.

Banks et al. (2005) listam algumas outras vantagens, como: auxílio na tomada de decisão, possibilidade de acelerar e desacelerar o tempo, facilita o entendimento de porquês, explora possibilidades a partir da criação de cenários diferentes, diagnostica problemas, identifica restrições e gargalos, desenvolve conhecimento, permitindo que sejam analisados cenários diferentes, prepara para uma mudança, que pode ser desde alteração na função desempenhada por alguns funcionários até a alteração no *layout* e auxilia no treinamento da equipe.

A SED (simulação à eventos discretos) é um tipo de simulação que modela o sistema ao longo do tempo, sendo que os eventos ocorrem na forma de sequência de processos, medidos por eventos anteriores ou técnicas de cronometragem (BEHDANI, 2012). Baines et al. (2004) afirmam que essa técnica está relacionada à modelagem de um sistema que varia de acordo com o tempo, e essas mudanças estão diretamente ligadas com o início e o fim dos eventos dentro do sistema.

Os autores Chwif et al. (2013) comentam que há várias áreas de aplicação possíveis para a SED, como sistemas de serviço público, sistemas de saúde, sistemas de manufatura, *call centers*, logísticas, entre outras.

Na construção de um modelo computacional, Montevechi et al. (2007) retratam que uma das etapas envolvidas nesse processo é a criação do modelo conceitual. Assim, os autores Leal et al. (2008) propõem a utilização da técnica IDEF-SIM nessa etapa da modelagem.














2.2. IDEF-SIM

A técnica chamada de IDEF é composta por diferentes versões, entretanto as versões mais utilizadas em estudos envolvendo SED's são as versões IDEF-0 e IDEF-3, já que ambas possuem elementos essenciais para que o modelador possa transcrever um sistema produtivo para um modelo conceitual embasado na teoria IDEF-SIM (AGUILAR-SAVÉN, 2004). Pode-se notar na Figura 1 os elementos, simbologia e a técnica de origem utilizados em projetos de simulação.

Dentre os termos presentes na Figura 1, Leal et al. (2008) os definem como:

- Funções: processos nos quais a entidade sofrerá alguma modificação;
- Fluxo da entidade: deslocamento da entidade no sistema;
- Controle: diferentes regras utilizadas em funções;
- Regras: regras que juntam dois caminhos distintos no sistema;
- Movimentação: direção do deslocamento da entidade;
- Informação explicativa: usada para inserir observações no modelo;
- Fluxo de entrada: representa a entrada de entidades no sistema;
- Ponto final: final do caminho de um sistema;
- Conexão: utilizada para dividir o modelo em diferentes partes quando a sequência não cabe na mesma linha.

Figura 1. Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM

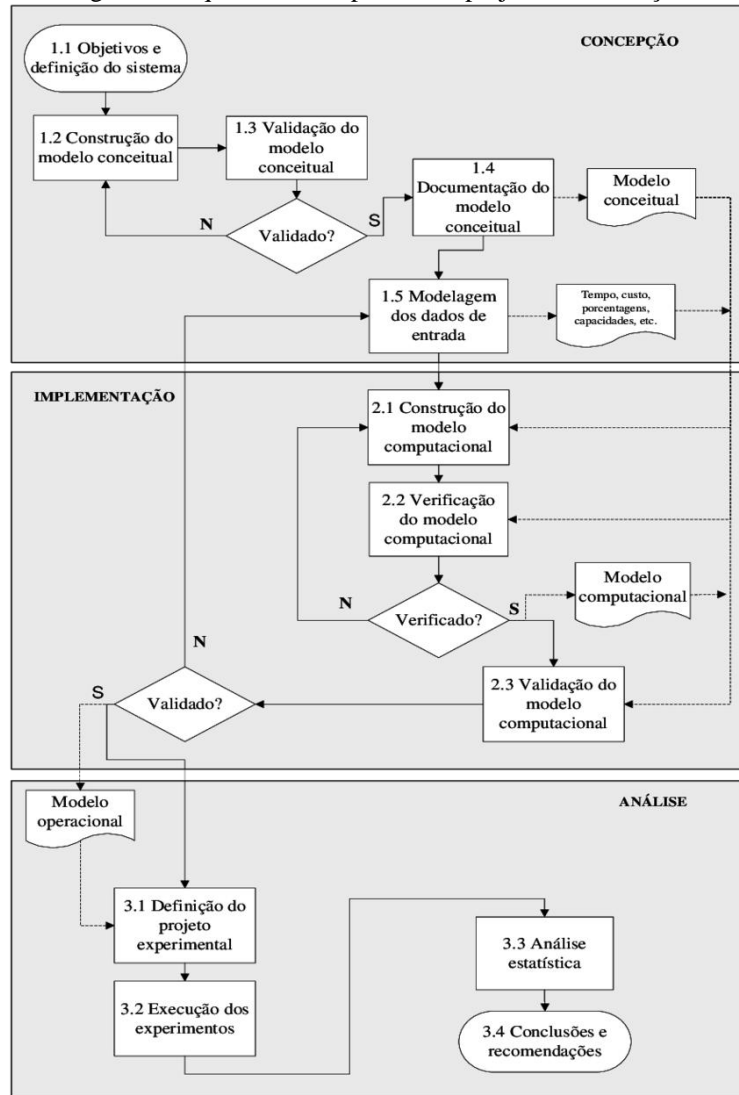
Elementos	Simbologia	Técnica de origem
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)
Funções		IDEF0
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3
Recursos		IDEF0
Controles		IDEF0
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 &	Regra E
	 X	Regra OU
	 O	Regra E/OU
Movimentação		Fluxograma
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3
Fluxo de entrada no sistema modelado		
Ponto final do sistema		
Conexão com outra figura		

Fonte: Leal et al. 2008.

3. Método de Pesquisa

O método de pesquisa utilizado baseia-se no proposto por Montevechi et al. (2007), no qual o objetivo é prever as mudanças do sistema real através das alterações realizadas nos modelos computacionais e avaliar o comportamento destas de acordo com os dados apresentados ao final das simulações. Na Figura 2 pode-se analisar o fluxograma da metodologia adotada.

Figura 2. Sequência de etapas de um projeto de simulação.



Fonte: adaptado de Montevechi et al. (2007).

De acordo com Montevechi et al. (2007), na etapa de concepção do projeto, o analista de simulação deve entender os processos que compõem o sistema que será analisado e representar o mesmo por intermédio de uma metodologia gráfica tornando o modelo em um modelo conceitual. Feito isso, na etapa de implementação, deve-se criar um modelo computacional com o auxílio de um *software* de simulação, a fim de efetivar o que foi proposto no modelo conceitual para avaliar o funcionamento do sistema, validar o mesmo e verificar se este é uma representação fiel da realidade. Por fim, na terceira e última etapa, cabe ao analista de simulação avaliar o modelo computacional e utilizar este experimento para aplicar melhorias nos processos que estão sob estudo, bem como documentar os dados exportados e gerar conclusões e recomendações para sistema.

Durante todo o presente trabalho, para as simulações realizadas, foram utilizadas técnicas estatísticas para análise dos dados coletados, feita a modelagem conceitual de acordo com uma metodologia auxiliar, o IDEF-SIM, que foi válido para transmitir informações sobre todo o sistema à gerência da empresa.

4. Estudo de Caso

4.1. A Empresa

A Indústria de Bolas Titã foi fundada em 1983, na cidade de São João del-Rei, Minas Gerais e está a 34 anos no mercado, produzindo diferentes tipos de bolas, desde bolas de futsal vulcanizadas a bolas de vôlei adulto e infantil em EVA.

Os fabricantes contam com diferentes técnicas inovadoras para a produção, como por exemplo, a produção de bolas vulcanizadas em estufa seca através de forros de fios multi entrelaçados, além da fabricação em couro sintético, e apesar de alguns processos serem feitos com auxílio de maquinário, muitos deles são manufaturados, o que a empresa considera uma característica positiva, já que eles atendem muitos pedidos de produtos personalizados.

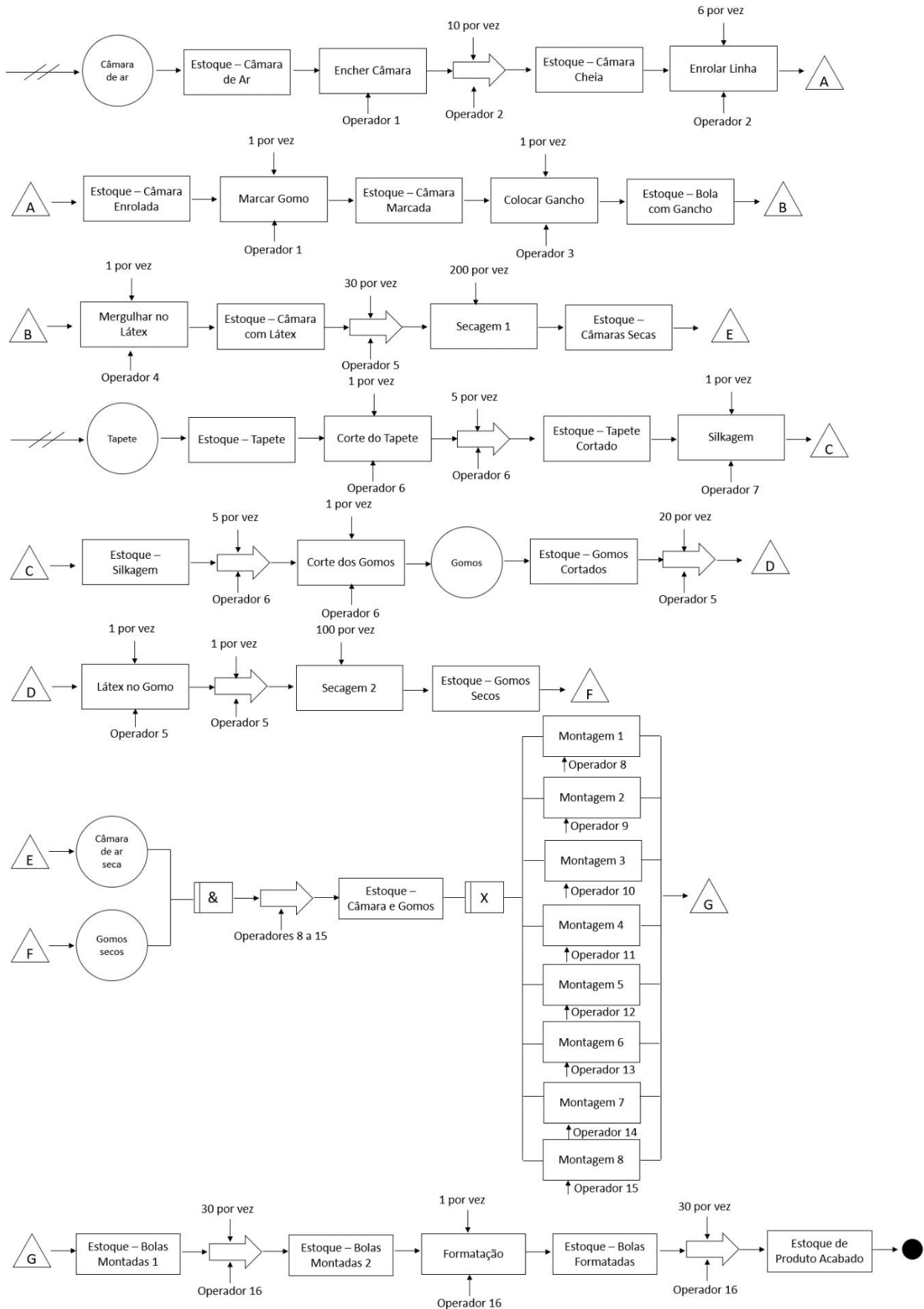
A empresa atende pedidos de diversas regiões e em vários setores, como: supermercados, papelarias, lojas de materiais esportivos, etc.; além de participar frequentemente de licitações de pedidos de grandes quantidades de produtos.

Deve-se ressaltar que a coleta de dados deste trabalho foi autorizada pelo proprietário da Indústria de Bolas Titã e os resultados serão apresentados a ele, a fim de propor melhorias com base nas conclusões obtidas através das simulações realizadas.

4.2. Modelagem Conceitual

A técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM tem como objetivo representar sistemas que foram/serão simulados. Logo, para o problema proposto, foi desenvolvido o seguinte modelo para representar a conjuntura e disposição da fabricação das bolas na Indústria de Bolas Titã, Figura 3, levando em consideração a metodologia e revisão bibliográfica feita sobre esta técnica no presente trabalho.

Figura 3. Modelagem Conceitual.



Fonte: Autor.

Para a construção deste modelo, foram levadas em consideração todas as características fundamentais dos processos de fabricação das bolas de Futsal, Vôlei Adulto e Vôlei Infantil, pois o processo produtivo dos três tipos de bolas são os mesmos, diferenciando apenas o tempo gasto em cada atividade.

A validação do modelo conceitual do sistema em observação se dá pela análise crítica e visual do modelador durante todo o projeto, portanto pode ser considerado um modelo que transmite adequadamente as informações do trabalho em questão.

4.3. Cronoanálise

Utilizando a ferramenta “*ExpertFit*” do *software* FlexSim® foram identificadas as distribuições estatísticas que representam os tempos de cada processo produtivo do modelo. A Tabela 1 apresenta as distribuições encontradas para os processos que são idênticos para os três tipos de bola.

Tabela 1. Distribuições estatísticas para os processos iguais.

Processo	Distribuição Estatística
<i>Encher Câmara</i>	loglogistic(2,601; 5,758; 4,059)
<i>Enrolar Linha</i>	erlang(4,335; 61,647; 8,0)
<i>Marcar Gomo</i>	beta(25,414; 119,950; 1,390; 6,980)
<i>Colocar Gancho</i>	weibull(8,428; 10,672; 2,144)
<i>Mergulhar Látex</i>	beta(0,125; 110,853; 11,964; 14,721)
<i>Secagem 1</i>	60*(triangular(70, 90, 75))
<i>Corte Tapete</i>	beta(15,089; 227,652; 1,466; 7,509)
<i>Silkagem</i>	2*(loglogistic(0,0; 8,590; 5,768))
<i>Secagem 2</i>	60*(triangular(5, 8, 10))
<i>Formatação</i>	randomwalk(6,192; 0,006; 0,024)

Fonte: Autor.

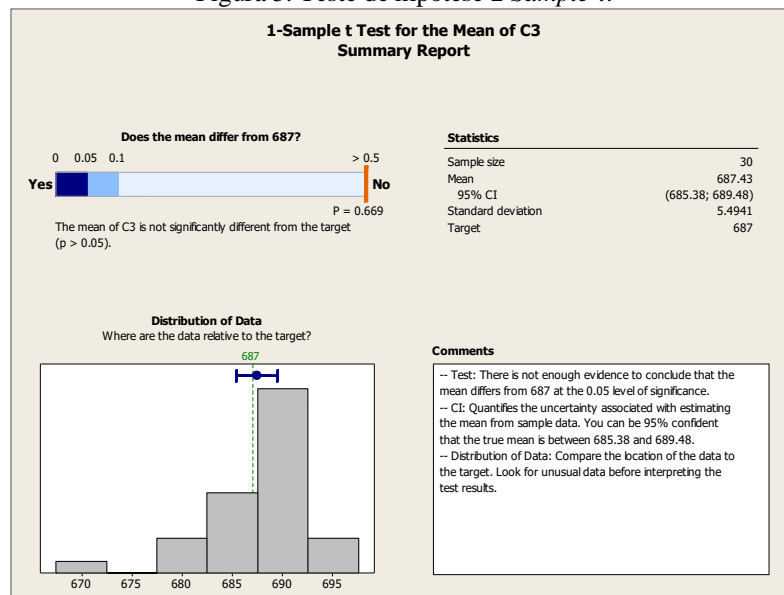
Já na Tabela 2 são apresentadas as distribuições estatísticas para processos que possuem tempos diferentes que dependem do tipo da bola que está em produção.

A produção da fábrica envolve três tipos de bolas diferentes: Futsal, Vôlei Adulto e Vôlei Infantil. A porcentagem aproximada de fabricação de cada tipo informada pela empresa é respectivamente 50%, 30% e 20%.

Para as simulações deste e dos demais cenários foi considerado cenário de uma semana. O *warm-up* definido para os casos foi de um dia, para que o sistema pudesse apresentar dados condizentes com a produção, que no caso, já estava em andamento. Além disso, o horário de funcionamento diário foi definido de acordo com o horário comercial, segunda a sexta, das 08:00 às 18:00, com intervalos de 30 minutos no turno da manhã e da tarde, para descanso e uma pausa de 1 hora (de 12:00 às 13:00) para almoço.

A validação do modelo computacional foi realizada com auxílio do *software* Minitab®. Foram gerados 30 cenários de replicações da simulação deste modelo, por conseguinte estes dados foram compilados considerando a média da produção total da fábrica. Foi utilizado o teste t de hipóteses para duas amostras (2 *Sample-t*) e os resultados podem ser observados na Figura 5.

Figura 5. Teste de hipótese 2 *Sample-t*.

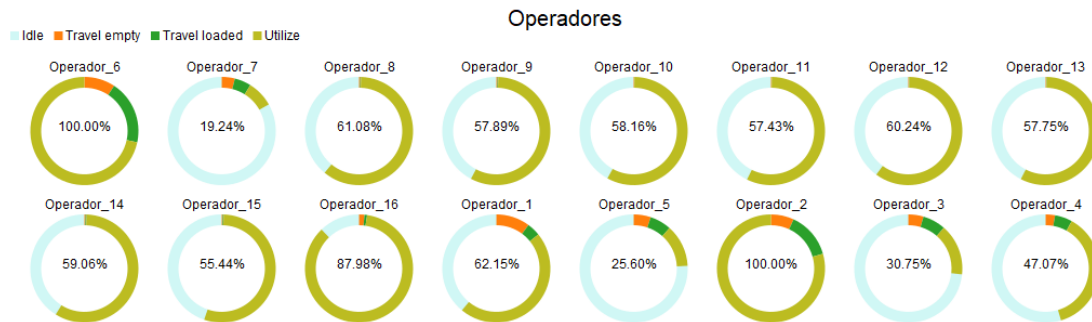


Fonte: Autor.

Como a produção semanal do sistema real é aproximadamente 687 bolas (35000 bolas como média de produção anual, dividido por 255, que são aproximadamente a quantidade de dias úteis do ano) e a produção média encontrada no sistema simulado no FlexSim® foi de 687,43 bolas, o modelo pode ser considerado validado, uma vez que o P-Value do teste de hipóteses foi maior que 0,05.

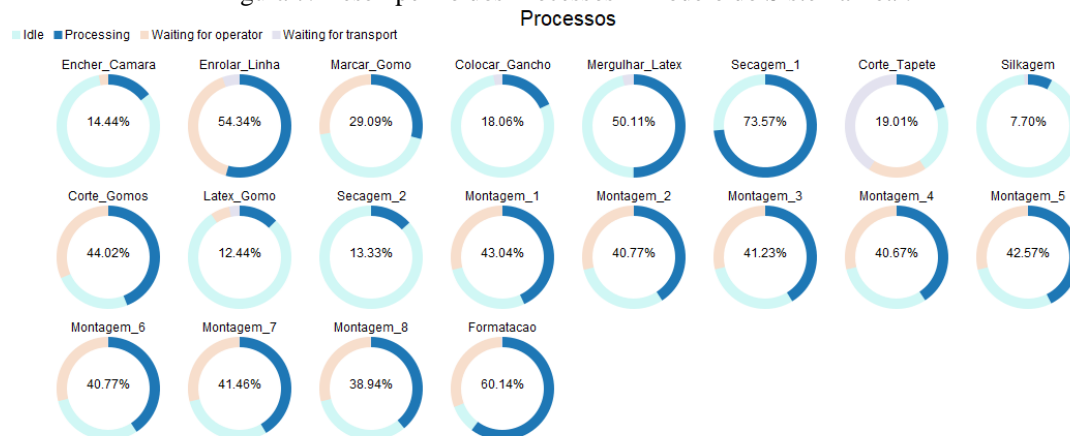
A Figura 6 e a Figura 7 mostram o desempenho dos processos e dos operadores envolvidos na produção das bolas no modelo validado. Nota-se que diversos processos não estavam sendo aproveitados como deveriam, bem como alguns operadores estavam subutilizados. Portanto, foi gerado um primeiro cenário em busca de melhorias.

Figura 6. Desempenho dos Operadores – Modelo do Sistema Real.



Fonte: Autor.

Figura 7. Desempenho dos Processos – Modelo do Sistema Real.



Fonte: Autor.

4.4.2. Cenário 1

Para este cenário foram realizadas as seguintes alterações:

- 1 – Adição de um funcionário no processo “Corte de Gomos”, uma vez que o operador responsável por este processo (operador 6) também era responsável por outros e estava sobrecarregado;
- 2 – Conserto de uma máquina estragada que existe na fábrica e realiza o processo “Enrolar Linha”, uma vez que este processo é demorado e estava gerando estoques excessivos;

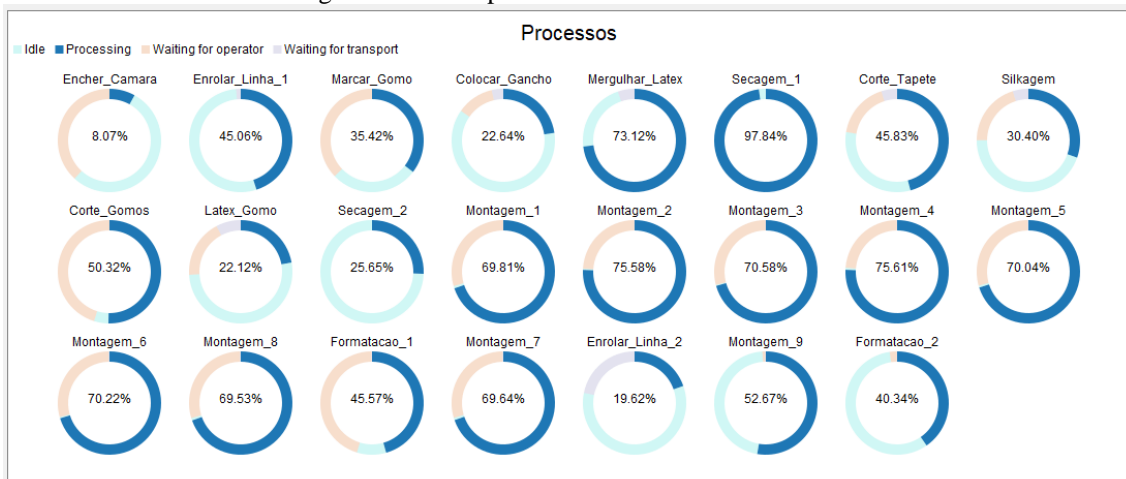
Os resultados encontrados para este cenário foram satisfatórios. A média de produção da fábrica passou de 687 bolas para 1321 bolas, ou seja, praticamente o dobro da produção da fábrica no sistema real. Os desempenhos dos operadores e dos processos podem ser observados através das Figuras 9 e 10.

Figura 9. Desempenho dos Operadores – Cenário 1.



Fonte: Autor.

Figura 10. Desempenho dos Processos – Cenário 1.



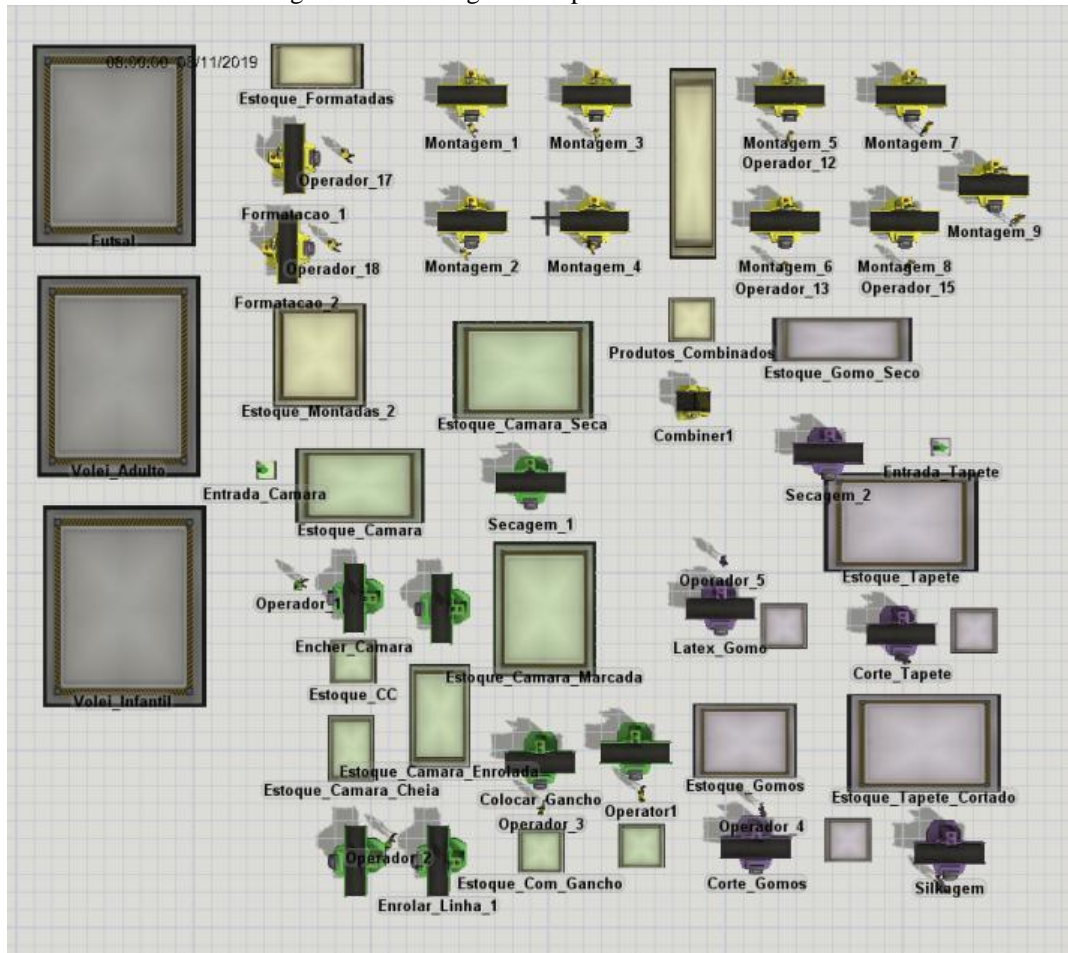
Fonte: Autor.

Visto que o layout da fábrica era pouco funcional, foi proposto um segundo cenário em busca de melhorias.

4.4.3. Cenário 2

Para este cenário foram aproximados os processos que envolvem a produção da câmara, bem como os processos que envolvem a produção dos gomos, e por fim, os processos que envolvem a montagem e finalização do produto. O modelo computacional pode ser observado pela Figura 11.

Figura 11. Modelagem Computacional – Cenário 2.



Fonte: Autor.

Os resultados de produção para este cenário apresentaram uma média de 1330 bolas. Pode-se concluir que, como não foram consideradas as distâncias do chão de fábrica, bem como as distâncias reais percorridas pelos funcionários durante o expediente, os resultados não apresentaram melhorias significativas, entretanto é nítido que a alteração do layout atual da fábrica pode resultar em uma produção mais eficiente.

4.5. Análise de Resultados

Avaliando a Tabela 3, pode-se notar um grande avanço na produção do cenário real para o cenário um, é possível perceber que os valores de produção dobraram. Visto que as mudanças propostas envolvem apenas a contratação de três funcionários e o conserto de uma máquina do processo “Enrolar Linha”, é sugerido que a empresa realize investimentos nestas questões a fim de proporcionar uma produção mais eficiente.

Tabela 3. Análise dos Resultados

	Média da Produção Total	Desvio Padrão
Cenário Real	687,3	20,97
Cenário 1	1321	23,48
Cenário 2	1330,1	23,95

Fonte: Autor.

5. Conclusão

As teorias de simulação aplicadas neste trabalho foram essenciais para a percepção do poder da SED como ferramenta analítica de um sistema produtivo, no qual a mesma possibilitou a modelagem e alteração de características fundamentais de uma fábrica sem a necessidade de realizar quaisquer alterações no sistema real.

Além disso, foram apresentados ganhos relevantes para a empresa, pois com as alterações propostas, a produção pode vir a ser o dobro da atual. É perceptível também, que as alterações propostas nos cenários gerados, servem de auxílio na tomada de decisão para a Indústrias Titã.

Para um trabalho futuro envolvendo dados dessa pesquisa, sugere-se considerar valores reais de espaço físico, bem como, definir as distâncias que os operadores percorrem no chão de fábrica, assim é possível obter melhores resultados com a alteração de *layout*.

Agradecimentos

Os autores desse trabalho agradecem à FAPEMIG, à CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro no decorrer dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGUILAR-SAVÉN, R.S (2004), Business process modelling: review and framework, International Journal of Production Economics, 90, 129–149.

BAINES, T. S.; MASON, S.; SIEBERS, P. O.; LADBROOK, J. Humans: the missing link in manufacturing simulation? Simulation Modelling Practice and Theory, 12: 515–526, 2004.

BANKS, J.; CARSON, J.S.; NELSON, B.L.; NICOL, D.M. Discrete-event system simulation. 2 ed., New Jersey: Prentice Hall, 2005.

BEHDANI, B. Evaluation of paradigms for modeling supply chains as complex socio-technical systems. In: Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC), p. 1-15, 2012.

CHWIF, L.; BANKS, J.; FILHO, J. P.; SANTINI, B. A framework for specifying a discrete-event simulation conceptual model, *Journal of Simulation*, 7(1), 50-60, 2013.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. São Paulo: Ed. dos Autores, 2015.

LEAL, F; ALMEIDA, D.A.; MONTEVECHI, J.A.B. *Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação Através de Elementos do IDEF*. XLSBPO, João Pessoa – PB, 2008.

MONTEVECHI, J. A. B., PINHO, A. F. DE, LEAL, F, MARINS, F. A. S. Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Washington, DC, USA, 2007.

MORABITO R.; PUREZA, V. *Modelagem e simulação*. In: Paulo A. C. Miguel. (Org.). *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*, 1 ed., Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2010.

PECEK, B., KOVACIC, A. Business process management: use of simulation in the public sector. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 24(1): 95-106, 2011.

SUMARI, S.; IBRAHIM, R.; ZAKARIA, N. H.; ABHAMID, A. H. Comparing three simulation model using taxonomy: System dynamic simulation, discrete event simulation and agent based simulation. *International Journal of Management Excellence*, v. 1, n. 3, p. 54-59, 2013.