

Aplicação da modelagem e simulação computacional como ferramenta para implementação da Produção Enxuta em uma indústria de fornos industriais

Beatriz Soares Ferreira
beatriz29sf@gmail.com
José Antonio de Queiroz
ja.queiroz@unifei.edu.br
Carlos Henrique dos Santos
chenrique.santos@unifei.edu.br
Afonso Teberga Campos
afonso.teberga@gmail.com
Mona Liza Moura de Oliveira
monaoli@yahoo.com.br

Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, UNIFEI, Itajubá - MG

RESUMO

A simulação oferece ganhos significativos à projeção de cenários e, no presente trabalho, é utilizada como uma ferramenta de auxílio à implementação de conceitos da Produção Enxuta em uma empresa de fornos industriais. O objetivo do trabalho é integrar a Simulação a Eventos Discretos (SED) e os Conceitos Enxutos, utilizando-se o *software* ProModel, para melhoria da produtividade de uma das linhas de produção da empresa. Ao final do trabalho, constatou-se um aumento na capacidade da linha superior a 60%, a presença de um fluxo contínuo e a redução do *lead time* do produto da ordem de 30%. A empresa apresentou um tempo de entrega menor para o produto, o que implica em vantagem competitiva com relação aos concorrentes de mercado.

Palavras Chaves: Produção Enxuta; Simulação Computacional; Aumento de Produtividade.

Tópicos: SIM - Simulação

ABSTRACT

The simulation offers significant gains to projection of scenarios and, in the present work, is used as a tool for helping the implementation of Lean Production concepts in an industrial furnace company. The objective of this work is to integrate Discrete Events Simulation (DES) and Lean Concepts, using ProModel software, to improve the productivity of one of the company's production lines. At the end of the work, there was an increase in the line capacity, the presence of a continuous flow and the reduction of the product lead time. The company presented a shorter delivery time for the product, which implies a competitive advantage over the market competitors.

Keywords: Lean Production; Computational Simulation; Productivity increase.

Topics paper: SIM – Simulation

1. INTRODUÇÃO

O objeto de estudo do presente trabalho é uma das linhas de produção de uma empresa que é líder do segmento de equipamentos para o preparo de alimentos no Brasil e fabrica, dentre outros produtos, fornos industriais. Busca-se, por parte das empresas, a melhoria contínua de processos por meio de métodos, técnicas e filosofias de manufatura e gerenciamento, tais como: eventos *kaizens*, utilização do trabalho padronizado, busca por redução de custos, minimização dos retrabalhos e defeitos, dentre outros. Tais ferramentas e princípios visam atingir o desempenho exigido pelo mercado no que diz respeito a custos, qualidade e flexibilidade.

O foco da Produção Enxuta é a busca pela eliminação de todas e quaisquer perdas e desperdícios, que causam prejuízo e diminuição dos lucros da organização [Shingo 1996]. Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho é propor melhorias alinhadas aos princípios e conceitos enxutos, utilizando a SED como ferramenta de análise, de forma a se avaliar as melhorias propostas e os resultados esperados advindos destas melhorias, antes mesmo de se implementá-las no cenário real.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Produção Enxuta

Segundo o [Lean Institute Brasil 2017], o *Lean*, ou em português Conceitos Enxutos, é uma filosofia de gestão baseada na redução de desperdícios: “Trata-se de um corpo de conhecimento cuja essência é a capacidade de eliminar desperdícios continuamente e resolver problemas de maneira sistemática”. Segundo [Ohno 1997], o foco dos Conceitos Enxutos é eliminar os desperdícios e agregar valor aos clientes ou usuários. Neste contexto, entende-se por desperdício toda e qualquer atividade que não agrega valor aos clientes ou usuários, mas que causa elevação dos custos de produção e/ou comercialização. Já valor, é definido como a capacidade de oferecer um produto ou serviço no momento certo e a um preço adequado, conforme definido pelo cliente.

Para que seja possível eliminar o desperdício, é necessário classificar as atividades em três categorias dentro de uma organização que, segundo [Hines e Taylor 2000], são:

Atividades que agregam valor: são atividades que, para o consumidor final, agregam valor ao produto ou serviço, ou seja, atividades pelas quais o cliente está disposto a pagar;

Atividades desnecessárias que não agregam valor: são atividades que, aos olhos do consumidor final, não agregam valor ao produto ou serviço e que são totalmente desnecessárias em qualquer circunstância. Este tipo de atividade é considerado desperdício puro e deve ser eliminado a curto e médio prazos;

Atividades necessárias que não agregam valor: são atividades que, para o cliente, não agregam valor ao produto ou serviço, mas que são necessárias por limitações técnicas e/ou econômicas. Tratam-se de desperdícios difíceis de serem eliminados em curto prazo e necessitam de um tratamento a longo prazo.

Neste contexto, os desperdícios identificados em um processo devem ser eliminados visando à produção enxuta e [Womack, Jones e Roos 1992] classificam tais desperdícios em sete tipos principais:

1) Superprodução: dentre as sete perdas, a superprodução é a mais danosa pois pode disparar e/ou esconder as demais, além de ser a mais difícil de ser eliminada. Refere-se àquela produção excessiva ou realizada antecipadamente à demanda;

2) Espera: caracteriza-se por longos períodos de ociosidade de pessoas, processos e informações, resultando em *lead times* longos. A sincronização do fluxo de trabalho e o balanceamento das linhas de produção são fatores que contribuem para a eliminação deste tipo de desperdício;

3) Transporte: consiste no deslocamento inadequado de materiais que geram dispêndio desnecessário de capital, tempo e energia. Sendo assim, trata-se de uma atividade que não agrega valor, a qual deve ser eliminada ou minimizada;

4) Processamento: são processos desnecessários, inapropriados ou ineficientes e que muitas vezes podem ser simplificados. Qualquer elemento que adicione custo e não agrega valor ao produto é candidato à investigação e eliminação;

5) Estoque: é o armazenamento excessivo de matéria-prima ou produtos e que resulta em custos elevados aliados a um baixo desempenho do serviço prestado ao cliente. A redução dos desperdícios relacionados ao estoque deve ser feita através da eliminação das causas geradoras destes;

6) Movimentação: perdas por movimentação estão relacionadas aos movimentos desnecessários realizados pelos operadores na execução de uma operação. Geralmente ocorrem com a falta de organização no ambiente de trabalho, por problemas ergométricos ou por métodos de trabalho inadequados e geram baixa performance, além de perdas frequentes de itens.

7) Defeitos: são erros relacionados às informações e/ou aos produtos e que geram problemas de qualidade. Tal desperdício está associado ao desperdício de materiais, mão-de-obra e equipamentos, além de demandar a movimentação e armazenamento de materiais defeituosos.

O processo de implementação dos Conceitos Enxutos carece de entendimento por parte dos envolvidos, sobre o funcionamento e importância do fluxo de valor do produto ou serviço. Além do conceito de eliminação de desperdícios, outro aspecto importante é a implementação do fluxo de valor enxuto, a fim de agregar valor ao produto/serviço. Esta concepção pode ser alcançada através da implementação de algumas práticas propostas por [Rother e Shook 1999]: produzir de acordo com *takt time*; desenvolver fluxos contínuos; utilizar supermercados para controlar a produção; definir o processo puxador; nivelar o *mix* e o volume de produção e, por fim, desenvolver a habilidade de produzir toda peça todo dia, depois todo turno, toda hora de forma a se prever oscilações na demanda e ainda aumentar o nível de serviço ao cliente.

2.2. Simulação a Eventos Discretos (SED)

A simulação pode ser caracterizada como sendo a imitação de um processo ou sistema do mundo real ao longo do tempo, segundo [Banks et al. 2010]. Tal ferramenta envolve a criação de uma história artificial e a observação desta história para se fazer inferências sobre as características de um processo o qual se está analisando. De fato, a SED vem sendo muito utilizada nos últimos anos para a solução de problemas e para o auxílio à tomada de decisão [Sargent 2013].

[Banks et al. 2010] destacam algumas vantagens da utilização simulação como a possibilidade de se testar novos projetos de equipamentos, testar *layouts* e sistemas de transportes sem consumo de recursos ou aquisições, fornecer uma maior compreensão sobre interações entre variáveis e a importância de seus efeitos no sistema, analisar gargalos, auxiliar no entendimento de como o sistema opera como um todo, realizar experimentos, dentre outras. Ainda, a simulação apresenta a vantagem de permitir que os experimentos sejam testados anteriormente à implementação, verificando de forma antecipada os seus resultados [Sharda e Bury 2010].

No entanto, são ressaltadas também algumas dificuldades desta ferramenta por alguns autores. [Banks et al. 2010] salientam para a necessidade de treinamento especial para a construção de modelos na simulação e também que os resultados podem ser de difícil interpretação. Além disso, os autores salientam que há casos em que a simulação não é a ferramenta adequada, seja devido ao fato de que o problema pode ser resolvido por senso comum, quando a experimentação é mais viável, dentre outros motivos.

2.3. Integração entre Produção Enxuta e SED

De acordo com [Robinson 2012], a Sed e os Conceitos Enxutos são metodologias que se complementam e possuem motivação semelhante, ou seja, a melhoria de processos e melhoria de prestação de serviços. Segundo [Oliveira 2008], a aplicação dos conceitos Enxutos torna as empresas mais organizadas e competitivas e, neste âmbito, o uso da simulação permite uma visualização mais clara das mudanças e seus respectivos resultados, sem que se altere o sistema real.

[Shannon 1998] afirma que o uso da simulação possibilita testar novos projetos sem comprometer recursos, além de permitir identificar gargalos no fluxo de informações, materiais ou produtos. Para [Abdulmalek e Rajgopal 2007], a vantagem principal da aplicação da simulação, com relação aos Conceitos Enxutos, é permitir a visualização e avaliação antecipada e detalhada dos resultados esperados para as propostas de melhorias. Por outro lado, os Conceitos Enxutos oferecem à simulação um direcionamento para as ações de melhoria, fazendo com que estas passem a ser escolhidas de acordo com o objetivo de eliminação e redução de desperdícios.

3. METODOLOGIA

O presente estudo utilizará o método de Modelagem e Simulação e, para a estruturação da aplicação, optou-se pelo método de condução de projetos de simulação proposto por [Montevecchi et al. 2007], o qual é esquematizado pela figura 1. A primeira fase do método, intitulada **Concepção**, é responsável por definir os objetivos da simulação, o nível de detalhamento e é onde são coletados os dados de entrada, como tempo, custos, dentre outros, de forma a se alimentar o modelo. A segunda fase é a **Implementação**, onde o modelo conceitual é convertido em computacional através de um ambiente simulador, que neste caso trata-se de um *software*. O modelo computacional é então comparado ao modelo conceitual desenvolvido anteriormente de forma a se verificar e validar o modelo computacional por meio de resultados gerados, observando se o modelo é uma representação precisa da realidade. Por fim, a terceira fase da metodologia é a **Análise**, responsável por conduzir a análise e avaliação dos resultados. Nesta última fase são realizados os experimentos por meio de “rodadas” do modelo e os resultados obtidos são documentados e analisados.

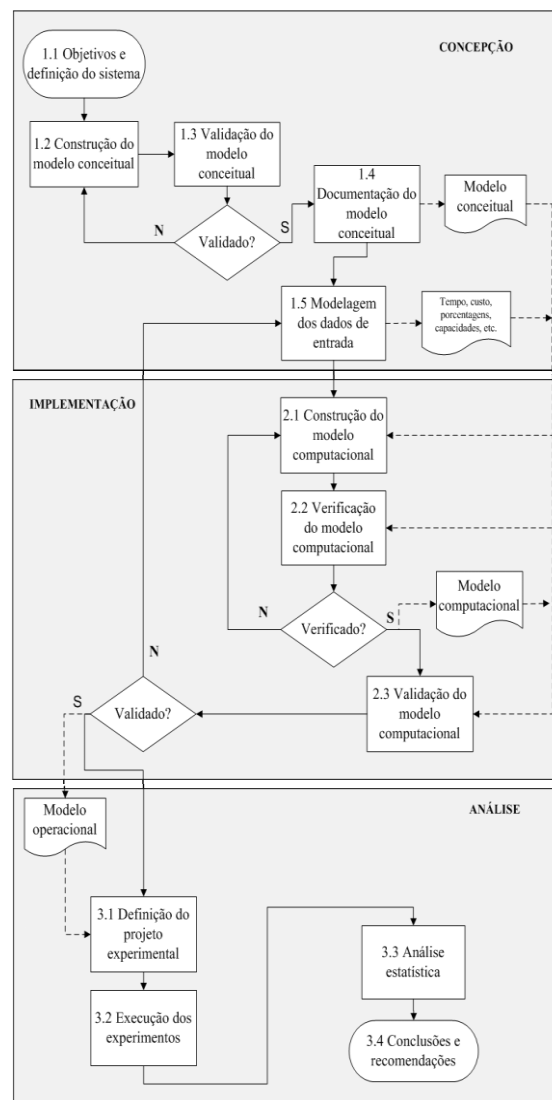


Figura 1 – Metodologia de Simulação a Eventos Discretos.
Fonte: Adaptado de [Montevecchi et al. 2007]

4. APLICAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Concepção

4.1.1. Objetivos e definição do sistema

O presente trabalho foi realizado em uma empresa do setor de máquinas e equipamentos localizada no sul de Minas Gerais e que é líder no segmento de equipamentos para o preparo de alimentos no Brasil. Mais precisamente, o objeto de estudo do trabalho é a linha de produção de um dos fornos industriais, aqui chamado “HPE”, voltado à panificação e contemplado pela família de fornos de Convecção. A linha de produção alvo da análise é denominada aqui no trabalho como Linha HG.

Objetiva-se implementar os conceitos da Produção Enxuta para a Linha HG, por meio do auxílio SED, de forma a se analisar a capacidade atual da linha. Tal análise tem como objetivo avaliar se, em um cenário de produção enxuta, a capacidade da linha é suficiente para o atendimento de uma demanda maior, tendo como pressuposto a existência de uma demanda ainda não atendida no cenário atual.

A linha HG é originalmente configurada em um *layout* celular e a montagem do forno dividida em inicial e final, onde dois operadores exercem tais atividades e há o revezamento entre os mesmos. O primeiro funcionário é responsável pela montagem inicial, enquanto o segundo

funcionário faz a montagem final de um forno pré-preparado no dia anterior. Outro ponto a ser ressaltado é de que não existe uma ordem de atividades a ser seguida, de forma que o operador é quem dita o ritmo de produção. Os fornos chegam até à linha de produção em lotes unitários e com tempo de chegada variável durante o dia e, por meio de dados da empresa, a média de produção para a linha HG varia de 2 a 3 fornos/dia.

4.1.2. Construção do modelo conceitual

A partir dos dados coletados na linha de produção, foi possível elaborar o modelo conceitual do objeto de estudo utilizando a técnica IDEF-SIM proposta por [Leal, Almeida e Montevechi 2008]. Tal técnica de modelagem de processos busca aproximar a linguagem do mapa conceitual daquela utilizada em *softwares* de simulação, com o objetivo de tornar a programação mais simples. O modelo conceitual da Linha HG representado pelo IDEF-SIM é apresentado na Figura 2:

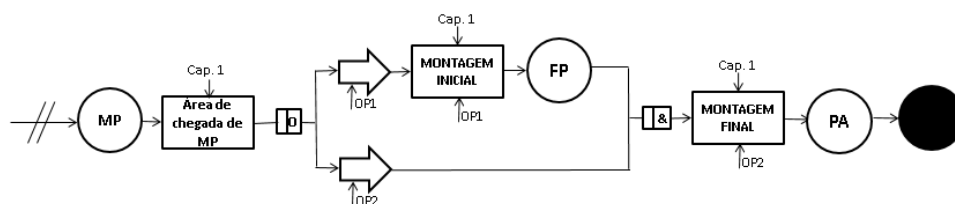


Figura 2 – IDEF-SIM Linha HG

É possível visualizar a chegada de matéria-prima (MP) em um único local, porém esta matéria-prima pode ser usada tanto na montagem inicial, quanto na montagem final do forno. O operador 1 dá início à produção da montagem inicial e movimenta a matéria-prima necessária para tal operação. Ao finalizar, entrega o forno em processo (FP) para o operador 2 e este movimenta a matéria-prima que utilizará durante sua operação, gerando dessa forma o produto acabado (PA).

4.1.3. Validação do modelo conceitual

A validação do modelo conceitual se deu por meio da “validação face-a-face”, onde o gestor industrial acompanhou o desenvolvimento do IDEF-SIM e de todos os ajustes necessários para se chegar ao resultado final.

4.1.4. Documentação do modelo conceitual

O modelo conceitual foi registrado e disponibilizado na empresa como documento oficial da Linha HG. Dessa forma, há a possibilidade de consulta por parte da própria linha, além de servir para futuras replicações em outras linhas.

4.1.5. Modelagem dos dados de entrada

Para a modelagem computacional da Linha HG foram utilizados dados de tempos das atividades de montagem do forno fornecidos pela própria empresa, não estando no escopo do trabalho analisar e validar tais tempos. Dessa forma, a SED é utilizada como ferramenta de auxílio à implementação dos conceitos da Produção Enxuta e, neste caso, os dados de entrada para a modelagem são tempos determinísticos, fato este que se deve à algumas limitações do processo.

4.2. Implementação

4.2.1. Construção do modelo computacional

Para a construção do modelo computacional, o *software* escolhido foi o *ProModel*® e os dados de entrada para o modelo foram alinhados ao *layout* da linha HG, ao IDEF-SIM projetado e aos tempos disponibilizados pela empresa.

A primeira etapa do processo se dá através da programação unitária do corte do forno, sendo esta realizada pelo PCP. Em seguida, as peças cortadas são abastecidas em um carrinho e passam pelos processos de dobra, solda e abastecimento de itens comprados. Após estas etapas, o carrinho é encaminhado à linha de produção que está preparada para estocar até 3 carrinhos em paralelo, porém, cada etapa de produção da linha possui capacidade unitária.

São programadas 3 chegadas por dia do carrinho com matéria-prima, preferencialmente no início da manhã, podendo haver exceções. Este carrinho contém a maioria dos itens necessários para a montagem do forno, ficando fora apenas os itens pequenos que servem de *kanbans* na própria linha. Para o modelo computacional, este carrinho é representado por uma entidade matéria-prima (MP) e, como locais, foram designados o estoque, montagem inicial e montagem final do forno. Além disso, foi programada uma área de descanso no modelo que se refere ao local para o intervalo do café e almoço. O primeiro funcionário inicia a montagem do forno no posto inicial utilizando parte da matéria-prima do carrinho em estoque e ao término desta operação, tem-se um forno em processo, o qual será direcionado à montagem final. O operador 2 realiza então a montagem final do forno e com isto, tem-se o produto acabado, o qual é encaminhado ao setor de teste e, posteriormente, ao de embalagem. A Figura 3 contempla o modelo computacional que atende ao estado atual da linha HG.

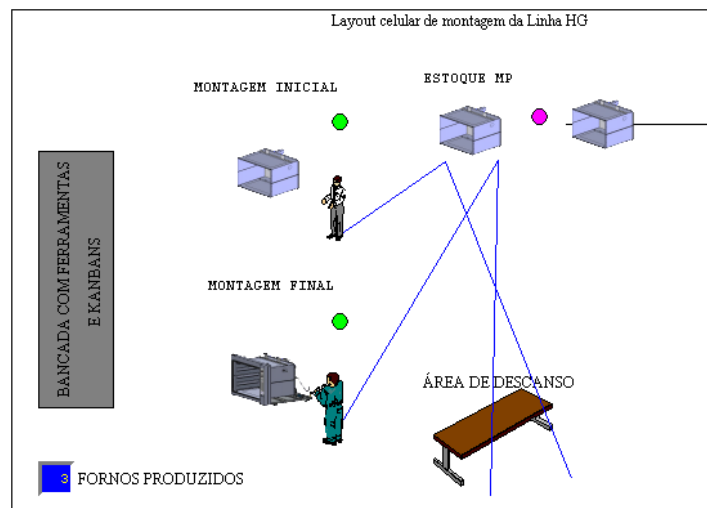


Figura 3 – Modelo computacional da Linha HG.

4.2.2. Verificação do modelo computacional

Na etapa de verificação foram confrontados os resultados reais da produção com os resultados obtidos pela simulação. Observou-se também se o fluxo ocorrido na linha representava o mesmo fluxo do modelo simulado.

4.2.3. Validação do modelo computacional

Para a validação do modelo foi realizada uma análise para comparar o quanto o modelo simulado se aproximava do modelo real a fim de se assegurar que o modelo projetado serve para o propósito com o qual foi criado. Esta análise se deu com o gestor da linha, por meio de acompanhamento direto do fluxo, recursos e prioridades da linha e com isso, comparou-se quantitativamente as variáveis de saída do modelo simulado com o sistema real. O sistema real apresentava um *lead time* médio de 340 minutos por forno (produção diária média de 2 a 3 fornos), enquanto que o simulado apresentou um *lead time* médio de 326 minutos. Por fim, comparou-se a projeção de produção do modelo com o histórico de produção real e, dessa forma, os resultados se mostraram satisfatórios.

4.3. Análise

A partir dos resultados obtidos, foi possível realizar as análises e implementações descritas nos tópicos seguintes.

4.3.1. Definição do projeto experimental

Foi possível sugerir pontos de melhorias baseados nos conceitos de produção enxuta, buscando-se dessa forma a melhoria contínua da linha de produção e o aumento da capacidade produtiva. O conceito pensado para a linha HG foi de se estabelecer fluxos contínuos, em formato de linha de montagem em esteira, porém, antes foi necessário reduzir o tempo de processamento no forno para que a mudança fosse efetiva.

Assim, foi realizada uma análise detalhada das operações do forno, juntamente com a equipe, e as mudanças propostas foram validadas. A partir desta análise, estabeleceu-se o conceito de “submontagem” e, dessa forma, as atividades de montagem na esteira podem ocorrer em paralelo à preparação das submontagens. Dividiu-se também as atividades dos postos de trabalho levando-se em consideração o tempo destas, o tipo de atividade, as ferramentas necessárias e os itens *kanbans* utilizados.

4.3.2. Execução dos experimentos

Projetou-se o modelo conceitual do estado futuro para a Linha HG levando-se em conta as novas divisões de tarefas. Tal modelo é apresentado nas figuras 4 e 5 a seguir:

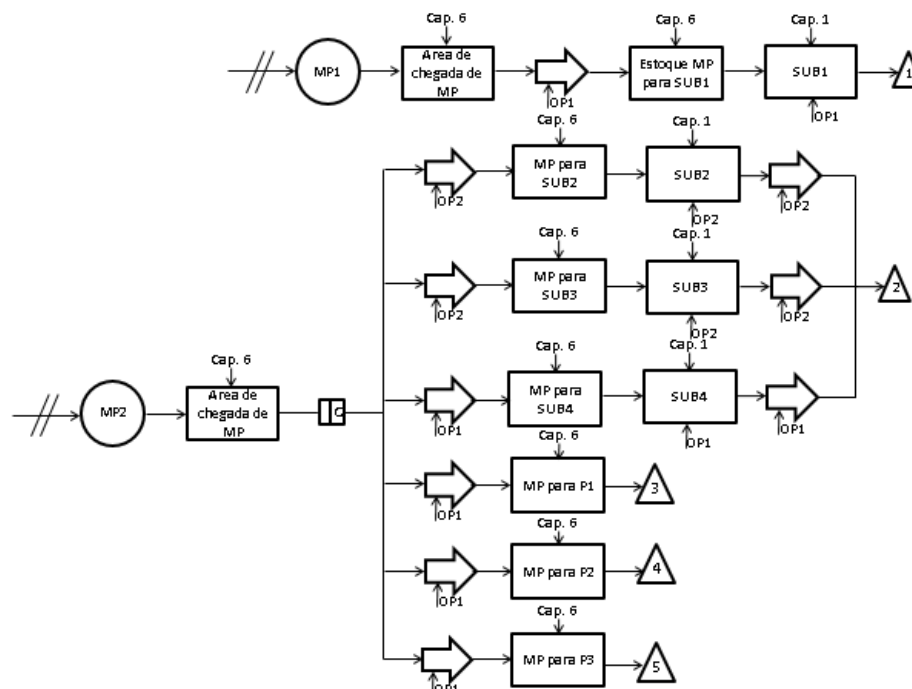


Figura 4 – Parte 1 do IDEF-SIM proposto Linha HG.

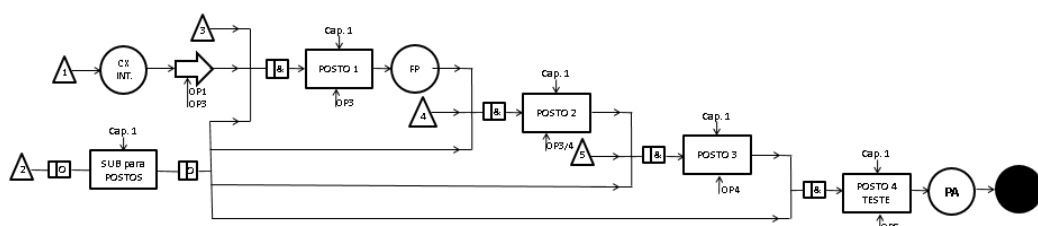


Figura 5 – Parte 2 do IDEF-SIM proposto Linha HG.

O modelo proposto conta com cinco pessoas ocupando os oito postos de trabalho no novo *layout* da linha. O primeiro funcionário atua na submontagem 1, realizando a preparação da “Caixa Interna” e *kits* da submontagem 4. O segundo funcionário prepara as peças que devem ser entregues à esteira, atuando assim nas submontagens 2 e 3. Na esteira, tem-se o terceiro funcionário atuando no Posto 1 e parcialmente no Posto 2. Já o quarto funcionário atua parcialmente no Posto 2 e no Posto 3. O último funcionário atua exclusivamente no Posto 4, este denominado Posto de teste do equipamento.

A figura 6 ilustra o *layout* proposto para a linha, que se encontra dividido em quatro postos formando a linha de montagem do forno, além de quatro postos de submontagem, estes responsáveis pela preparação das peças e entrega de *kits* à esteira.

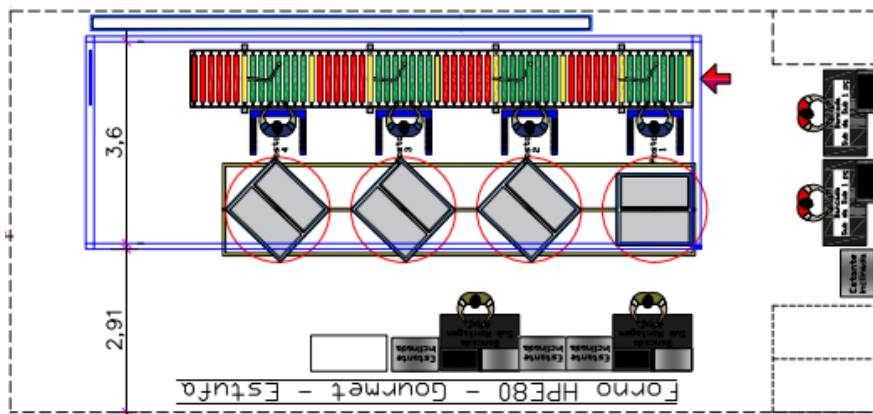


Figura 6 – Linha HG.
Fonte: Arquivos da empresa

O modelo inicia com a chegada das matérias-primas denominadas “caixa interna” e “submontagem”, que são a base para a produção do forno. Assim, para a caixa interna foi definida a chegada de 6 unidades e, dessa forma, há o alinhamento à real capacidade do carrinho de abastecimento da linha. Já para as áreas de submontagens, projetou-se um cenário de chegadas infinitas já que as entidades precisam estar sempre disponíveis.

Seguindo o modelo, as entidades chegam nos locais onde serão manufaturadas, que neste caso serão os postos de submontagem. Os quatro postos de submontagem são compartilhados por dois operadores e estes se dividem para atender as atividades de acordo com o tempo padrão estabelecido para cada operação. As submontagens obedecem uma prioridade que é estabelecida pelas atividades desenvolvidas na linha de montagem.

O *takt time* da linha HG é baseado na meta de produção de 5 fornos ao dia, considerando os quatro postos de trabalho da esteira e os três operadores atuando na montagem. No Gráfico 1, são apresentados os postos de trabalho localizados na linha e seus respectivos tempos de duração das atividades.

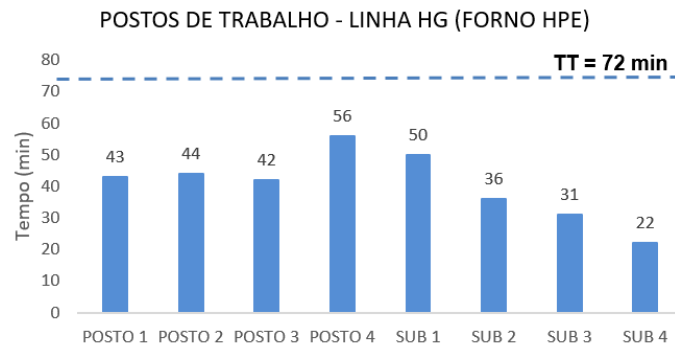


Gráfico 1 – Tempo de ciclo dos Postos de Trabalho Linha HG

No momento em que o forno entra na esteira, os *kits* que serão agregados a ele já estão prontos e aguardando a utilização no estoque de submontagens, com capacidade unitária para cada *kit*. Na Figura 7, é possível visualizar o modelo computacional da linha no novo conceito de produção contínua:

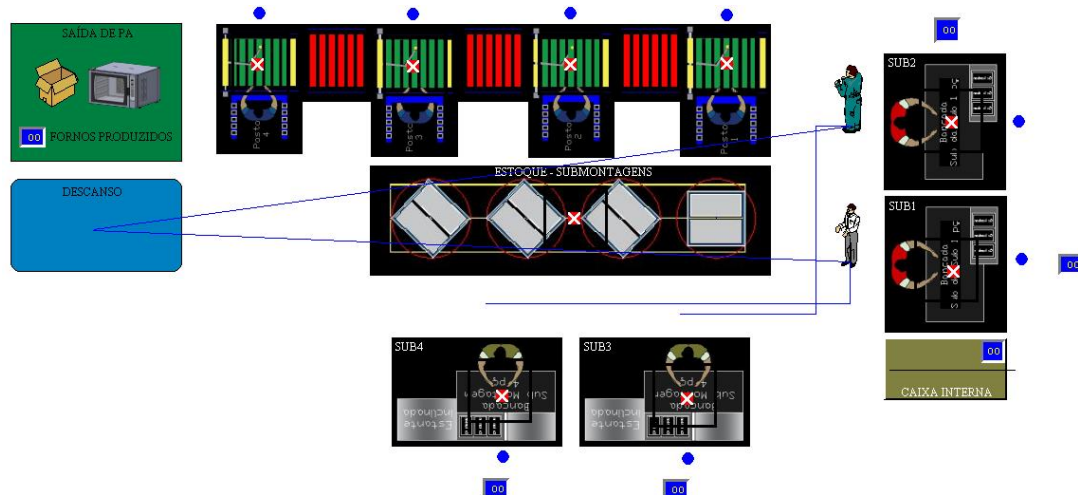


Figura 7 – Modelo computacional implementado na Linha HG

4.3.3. Análise dos resultados

Ao fim do experimento simulado obteve-se a produção de 5 fornos ao dia, considerando o funcionamento em ciclo da linha, ou seja, desconsiderando o tempo de aquecimento (tempo que o modelo precisa para entrar em ciclo). Enquanto a simulação do estado anterior apresentou um *lead time* médio de 326 minutos, o modelo futuro apresentou um *lead time* médio de 223 minutos. Já as submontagens tiveram ciclos médios de 140 minutos onde, na Linha HG, a submontagem trabalha um ciclo à frente da esteira.

Ao final do experimento obteve-se um aumento da capacidade produtiva da linha em torno de 60%. Na figura 8 é possível perceber o uso dos Postos de trabalho e, neste caso, a menor utilização dos postos 3 e 4 se justifica devido ao tempo para a linha entrar em ciclo.

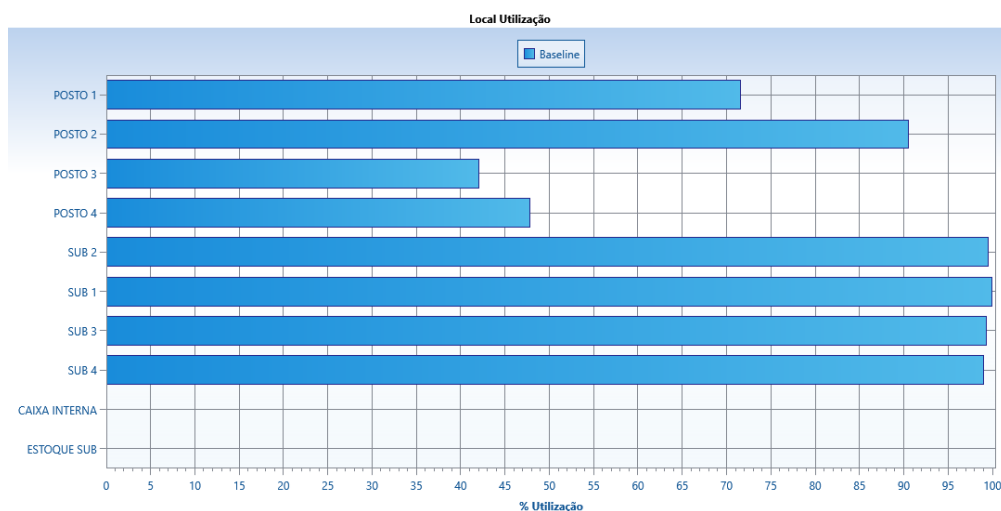


Figura 8 – Utilização dos postos de trabalho.

4.3.4. Conclusões e recomendações

Os resultados da simulação permitiram observar que, estabelecendo um sistema de fluxo contínuo na linha de produção e identificando possíveis atividades que possam ser realizadas em

paralelo, o fator capacidade produtividade apresenta muitos ganhos. Ainda, torna-se possível a percepção de erros mais rapidamente, bem como um fator considerável na empresa em questão que é a falta de peças, fato este que provoca a parada do forno na linha.

Com a identificação e minimização dos desperdícios identificados na fase de análise das atividades, tornou-se possível a implementação de pequenas melhorias, fato que contribuiu para a satisfação dos operadores e melhor agregação de valor ao produto. Com tais modificações, a linha apresentou um *lead time* menor aliado à uma maior capacidade de entrega, ou seja, maior velocidade de resposta à demanda, o que dá à empresa maior flexibilidade e vantagem financeira em relação a seus concorrentes.

5. CONCLUSÕES

A Simulação e os Conceitos Enxutos contemplam princípios e ferramentas que se complementam e almejam objetivos semelhantes, como a melhoria de processos e da eficiência produtiva. Deste modo, o trabalho se mostrou satisfatório, uma vez que cumpriu o objetivo de analisar a capacidade da linha, simular uma proposta de *layout* baseada em conceitos de Produção Enxuta, bem como analisar os resultados após a Simulação. Também, foi possível implementar o fluxo contínuo na montagem em esteira e aplicar o conceito de submontagem. A linha HG apresentou um aumento em sua capacidade produtiva superior a 60% e uma redução do *lead time* do produto da ordem de 30%. Tal fato se deve ao aumento de mão-de-obra e à melhoria de eficiência obtida pela separação entre montagem em linha e *kits* paralelos a este processo.

A Simulação alinhada aos pensamentos e princípios enxutos contribuiu para bons resultados gerados pelo trabalho, permitindo prever impactos antes mesmo de se considerar a implementação das propostas no sistema real. Ainda, o novo modelo de *layout* pensado contribuiu com a melhor organização da linha, estabelecendo o ritmo de trabalho a ser seguido pelos operadores e possibilitando identificar a falta de materiais, quando ela ocorre.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG, a CAPES, ao CNPq e à empresa objeto de estudo pelo apoio e suporte ao longo da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulmalek, F. A.; Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: a process sector case study. *International Journal of Production Economics*, v.107, n.1, p. 223-236.
- Banks, J.; Carson, J. S.; Nelson, B. L.; Nicol, D. M. (2010). Discrete-event system simulation. 5^a ed. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Hines, P.; Taylor, D. (2000). Going lean - A guide to implementation. Lean Enterprise Research Centre, Cardiff, UK.
- Leal, F.; Almeida, D. A.; Montevechi, J. A. B. (2008). Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de Elementos do IDEF. In Anais do *XL SBPO*, p. 2503-2514, João Pessoa. SOBRAPO.
- Lean Institute Brasil - O que é o *Lean*? (2018). Web page. <http://lean.org.br/>. Acessado em 28 ago. 2018.
- Montevechi, J. A. B.; Pinho, A. F. De; Leal, F.; Marins, F. A. S. (2007). Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry, In Anais do *Winter Simulation Conference*, p. 1601-1609, Washington, D.C.
- Ohno, T. (1997). O Sistema Toyota de Produção – além da produção em larga escala. Artes Médicas, Porto Alegre.
- Oliveira, C. S. (2008). Aplicação de técnicas de simulação em projetos de manufatura enxuta. *Estudos Tecnológicos*, v. 4, p. 204-217.
- Robinson, S. (2012). SimLean: Utilising simulation in the implementation of lean in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 219, p. 188–197.
- Rother, M.; Shook, J. (1999). Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda. The Lean Enterprise Institute, Brookline, MA.
- Sargent, R. G. (2013). Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, v.7, n.1, p.12-24.
- Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation. In Anais do *Winter Simulation Conference*, p. 7-14, Texas.
- Sharda, B.; Bury, S. J. (2010). Best practices for effective application of discrete event simulation in the process industries. In Anais do *Winter Simulation Conference*, p. 2315-2324, Phoenix.
- Shingo, S. (1996). O Sistema Toyota de Produção: Do Ponto de vista da engenharia de produção. 2. ed., Artes Médicas, Porto Alegre.
- Womack, J. P; Jones, D. T.; Roos, D. (1992). A máquina que mudou o mundo. 5.ed., Campus, Rio de Janeiro.