

UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS NO DIMENSIONAMENTO DE UM LAYOUT CELULAR

Thiago Buselato Maurício

Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Engenharia de Produção e Gestão
Av. BPS, 1303, CEP 37.500-903, Itajubá - MG
tbuzze@yahoo.com.br

Fabiano Leal

Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Engenharia de Produção e Gestão
Av. BPS, 1303, CEP 37.500-903, Itajubá - MG
fleal@unifei.edu.br

Fabício Lombardi

Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Engenharia de Produção e Gestão
Av. BPS, 1303, CEP 37.500-903, Itajubá - MG
fabricio.lombardi@hotmail.com

RESUMO

O presente artigo apresenta um projeto de simulação a eventos discretos realizado em uma empresa do setor automotivo de MG. Nela existia uma grande perda em decorrência do índice de refugo elevado de uma família de produto. Acreditava-se que um dos motivos era a organização funcional do layout, pois os funcionários não ficavam especializados em um tipo de produto. Portanto, se o layout fosse alterado para o celular, a sinergia dos funcionários e a especialização em um determinado produto seria maior. Devido à complexidade no dimensionamento da célula, principalmente pela variação no tamanho do lote de produção e na demanda do cliente, foi utilizada a simulação, possibilitando introduzir essas variações no modelo computacional, tornando os resultados do estudo mais preciso. Por fim, com a criação da célula a empresa aumentou em 15% a produtividade desse produto, reduzindo 7 dias do seu lead time e 15% do seu refugo.

PALAVRAS CHAVE. *Simulação a Eventos Discretos, Layout e Celular.*

ABSTRACT

This paper presents a discrete event simulation project held in an automotive company from MG. The company had a huge loss due to the high rate of scrap from a product's family. It was thought that one reason for scrap was the functional layout organization, because employees were not specialized with this product. Therefore, if the layout were changed to cellular, the staff's synergy and expertise in a particular product would be higher. Due to the complexity to determine the cellular layout, mainly because there were variances in lot size and demand, simulation was used, allowing inserting those variances in computational model, making the study's results more accurate. Finally, with the creation of cellular layout the company increased productivity in 15%, reducing its lead-time in 7 days and its scrap in 15%.

Keywords: *Discrete Event Simulation, Layout e Cellular.*

1. Introdução

A simulação computacional permite estudar as dinâmicas de um processo e seus efeitos. Infinitos cenários podem ser criados e suas respostas analisadas para auxiliar na tomada de decisão e, portanto, fornecer informações mais precisas e fiéis de como o sistema reagiria com tal modificação. A vantagem dessa operação é que a simulação visa repetir o mesmo comportamento que o processo real teria nas mesmas condições. O modelo de simulação computacional é utilizado, particularmente, como uma ferramenta para obter-se respostas a sentenças do tipo: “o que ocorre se...” (CHWIF e MEDINA, 2010).

Outro ponto importante a ser estudado na melhoria de um processo produtivo é o seu layout. De acordo com Malhotra, Krajewski e Ritzman (2009) existem quatro tipos básicos de layout: por processo, por produto, híbrido e de posição fixa. Segundo Chambers, Johnston e Slack (2010) mudanças no layout podem afetar os custos e a eficiência da operação.

Portanto, nada mais natural que utilizar a simulação para testar diferentes layouts, e escolher aquele que traga melhores benefícios para a empresa. Chtoutou, Jerbi e Maalej (2010) alegam que uma vez que o modelo de simulação desenvolvido seja validado (representando o sistema real), ele pode ser usado pelos tomadores de decisão para prever qualquer tipo de combinação dentro do escopo da pesquisa inicialmente definido. Ou seja, o modelo de simulação pode servir como ferramenta para escolher o layout mais apropriado para o objeto de estudo.

No entanto, para Ghotboddini, Rabbani e Raihmian (2011) o layout celular reduz o custo de produção e aumenta a flexibilidade do sistema para lotes pequenos como os atuais. Os maiores benefícios desse tipo de layout estão a simplificação e redução do custo de manutenção de estoque, quantidade de peças em processamento, tempo de setup, lead time.

Por isso, o objetivo desse trabalho é projetar um layout celular através do método de simulação a eventos discretos e analisar os resultados decorrentes deste layout no fluxo produtivo.

A empresa estudada atua no setor automotivo, e está instalada no interior sul do estado de Minas Gerais. Ela faz parte de uma multinacional de origem alemã com aproximadamente 100 plantas em 4 continentes, 8 centros de pesquisa e desenvolvimento e cerca de 47 mil colaboradores. Somente a planta estudada produz cerca de 351,5 milhões de peças/ano, empregando algo em torno de 3.000 colaboradores.

Este trabalho está estruturado em 5 partes. A primeira parte já apresentada trouxe a introdução desse trabalho. A segunda apresenta a revisão de literatura dividida em simulação a eventos discretos e layout, e a terceira parte aborda a metodologia utilizada para a elaboração do trabalho. Na quarta parte é abordado o objeto de estudo dividido em considerações iniciais e concepção. Na quinta e última parte é apresentada a conclusão do trabalho.

2. Revisão de Literatura

2.1 Simulação a Eventos Discretos

Segundo Banks (1998), a simulação envolve a geração de uma história artificial de um sistema e a observação desta história artificial, para a elaboração de inferências a respeito das características operacionais do sistema real que será representado.

A simulação permite avaliar e analisar sistemas reais a partir da construção de modelos computacionais por meio dos quais podem responder a perguntas do tipo “o que ocorre se”, tornando-se assim uma poderosa ferramenta de apoio a tomada de decisão (CHWIF e MEDINA, 2010).

Para Banks *et al.* (2005), a modelagem e simulação era utilizada cada vez mais como ferramenta para auxílio à tomada de decisões. Sua principal característica, que desperta o interesse pela técnica, é trabalhar com sistemas complexos e permitir analisar seu comportamento dinâmico. Anteriormente a seu desenvolvimento as análises feitas nestes sistemas eram estáticas.

Nesse sentido, Sandanayake, Oduzo e Proverbs (2008) destacam que a modelagem e simulação aliada à análise de sistemas de produção, visando à melhoria de desempenho, tornaram-se cada vez mais importantes durante as últimas décadas. Em conjunto com os avanços da computação, ferramentas de modelagem e simulação auxiliam analistas a visualizar, analisar e

otimizar processos de produção complexos, dentro de um período de tempo e investimentos razoáveis.

Para Montevechi *et al.* (2007), a simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado, no qual seu comportamento pode ser estudado sob diversas condições, sem riscos físicos e/ou altos custos envolvidos. Essas diversas condições que podem ser estudadas visam analisar o aumento de produtividade e qualidade, aquisição de novas máquinas, mudança de *layout*, alteração nos parâmetros de um processo de fabricação, dentre outras vantagens.

Ryan e Heavey (2006) apontam a simulação como uma das técnicas de pesquisa mais utilizadas devido, principalmente, à sua versatilidade, flexibilidade e poder de análise. Dessa forma, Hillier e Lieberman (2010) apontam que a simulação a eventos discretos é uma técnica poderosa, podendo ser utilizada para investigar qualquer sistema estocástico.

Ainda segundo estes autores, devido à enorme diversidade de aplicações, torna-se difícil enumerar todas as áreas nas quais a simulação vem sendo utilizada. A partir da análise dos anais da *Winter Simulation Conference* (WSC), maior conferência sobre o tema, Banks *et al.* (2005) e Hillier e Lieberman (2010) apresentam algumas categorias particularmente importantes de aplicações da simulação: projeto e operações em manufatura, gerenciamento de projetos e construção civil, logística, *supply chain* e redes de distribuição, administração do sistema de estoques, modelagem de transporte e tráfego, análise de riscos, aplicações médicas, aplicações militares e aplicações nas mais diversas áreas de serviços, tais como: serviços governamentais, bancos, hotelaria, restaurantes, instituições educacionais, entre outros.

Banks *et al.* (2005) destacam ainda a possibilidade de utilização da simulação como ferramenta para se definir *layouts* em ambientes fabris, como a proposta deste trabalho.

2.2 Layout

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2010) mudanças no *layout* podem afetar os custos e a eficiência da operação. Portanto, nada mais natural que utilizar a simulação para testar diferentes *layouts*, e escolher aquele que traga melhores benefícios para a empresa. Chtoutou, Jerbi e Maalej (2010) alegam que uma vez o modelo de simulação desenvolvido e validado (representando o sistema real), ele pode ser usado pelos tomadores de decisão para prever qualquer tipo de combinação dentro do escopo da pesquisa inicialmente definido. Ou seja, o modelo de simulação pode servir como ferramenta para escolher o *layout* mais apropriado para o objeto de estudo.

Segundo Chambers, Johnston e Slack (2010) existem quatro tipos de *layouts*:

- *Layout* de posição fixa: o produto não se movimenta entre os recursos utilizados. A movimentação é dada pelo material, informação e operadores. Exemplo: produção de navio, avião, cirurgia em geral;
- *Layout* funcional: o produto se movimenta de acordo com a sua necessidade. Os recursos (máquinas) estão alocados em um mesmo lugar. Exemplo: máquinas de usinagem agrupadas, máquinas de soldagem agrupadas;
- *Layout* celular: todos os processos necessários estão próximos, o produto entra bruto e sai acabado em uma mesma célula;
- *Layout* de produto: o produto flui em uma linha, nessa linha estão presentes em ordem todos os recursos que serão necessários para a sua fabricação. Exemplo: linha de montagem automotiva.

Muitas pesquisas têm sido realizadas para estudar e avaliar o melhor *layout* de uma determinada realidade produtiva, sobretudo aquelas integrando a modelagem e simulação com a possibilidade de testar os mais variados tipos de *layout* e disposição de máquinas.

Nesse sentido, Jerbi, Chtourou e Maalej (2010) realizaram um trabalho utilizando a simulação para comparar o *layout* funcional com um *layout* celular para um determinado cenário. Em seu trabalho, Yazici (2006) descreve as possibilidades do uso da simulação para avaliar os tipos de *layout* mais adequados a uma realidade, alternativas para esses *layouts* e estratégias do *layout* selecionado. Jahangirian *et al.* (2010) confirmam a possibilidade de se utilizar a modelagem e simulação para avaliar o *layout* ideal de um processo.

3. Metodologia

Como o objeto de estudo desta pesquisa é um sistema de manufatura moderno, sua análise é complexa. Portanto, para a solução desse problema foi adotada a simulação computacional (MIGUEL, 2007).

A simulação computacional serve para manipular as variáveis independentes e prever as reações no sistema real, ou seja, as respostas obtidas pela simulação podem ser transpostas para o mundo real sem haver necessidade de alterar o real. Essa é uma das grandes vantagens da simulação. Os mais diversos valores para as variáveis independentes e cenários podem ser testados sem qualquer impacto no sistema real.

De acordo com Chwif e Medina (2010) o desenvolvimento de um modelo de simulação passa por três grandes etapas: concepção ou formulação do problema, implementação, e, por fim, análise dos resultados do modelo. A Figura 1 mostra a visão proposta por Montevechi *et al.* (2010) também dividida nessas três grandes áreas.

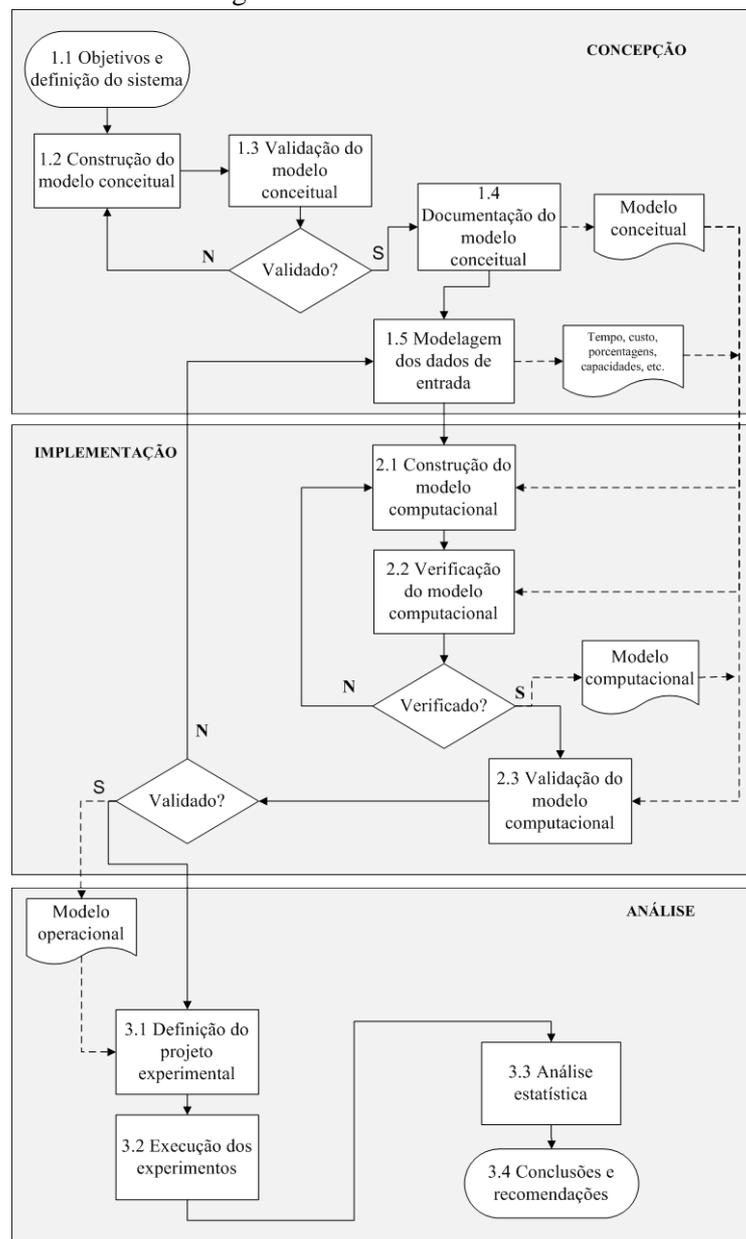


Figura 1- Sequência de passos de um projeto de simulação
Fonte: Montevechi *et al.* (2010)

O método apresentado na Figura 1 é de grande importância para orientar o pesquisador nas etapas a serem seguidas no processo. A primeira etapa (concepção) é onde ocorre maior aprendizado; o pesquisador está descobrindo o objeto de estudo através da construção do objetivo do trabalho, a definição e o escopo do projeto.

Em seguida, para a construção do passo 1.2 já existe a necessidade de reuniões entre os especialistas para definir o nível de detalhamento do sistema a ser simulado para então ser representado em forma de desenho o sistema a ser estudado. Essa construção do modelo conceitual em forma de desenho pode ser representada por diversas técnicas, como o *Integrated Definition methods - Simulation - IDEF-SIM* (MONTEVECHI *et al.*, 2010).

Após a construção do modelo conceitual, este deve ser validado por especialistas.

Uma vez o modelo válido, pode-se passar para a 2ª parte do projeto de simulação, a implementação. Assim, o modelo conceitual deve ser programado em um software de simulação, que é a etapa de criação do modelo computacional, e em seguida ele deve ser verificado e posteriormente validado para comprovar que os dados inseridos nos software correspondem ao sistema real. Além disso, o modelo deve ser verificado, ou seja, ser inspecionado para garantir que as lógicas utilizadas na programação do modelo foram bem utilizadas.

Por fim, tem-se a fase de análise. Nessa última etapa, com o modelo já verificado e validado, a execução dos experimentos ganha espaço. O modelo computacional começa então a trabalhar para o pesquisador, para então, responder as perguntas da pesquisa.

4. Objeto de Estudo

4.1. Considerações iniciais

A empresa estudada é uma empresa do setor automotivo, instalada no interior sul do estado de Minas Gerais. Essa empresa apresentava um refugo médio para determinado tipo de produto de 38%.

Acreditava-se que parte desse refugo era devido ao layout funcional apresentado, pois como foi tratado no item 3.2 sobre os diferentes tipos de layout, no layout funcional não existe um foco em determinado produto. Todos os produtos podem passar por qualquer máquina que esteja disponível naquele bloco de máquinas.

Dessa forma, o colaborador não fica especializado em um tipo de produto. Como as características dos processos de fabricação são complexas, alterar o layout para algum outro que proporcionasse um aprendizado maior, por reduzir os tipos de produtos que passassem na área, auxiliaria na redução do refugo.

4.2. Concepção

Primeiramente, foi analisado o fluxo de operação do produto. Existiam 2 famílias, cada uma delas com uma variação pequena no fluxo. Eram 271 itens cadastrados para a família A e B, correspondendo a produção de 180 mil peças em média por mês, o que correspondeu a mais de 2 milhões de itens produzidos no ano de 2011.

Acreditava-se que com a criação de uma linha dedicada para esses dois tipos de famílias os colaboradores ficariam especializados nas características técnicas e teriam maior domínio sobre as máquinas que operavam. Além disso, com a criação de um local específico para essa tecnologia, a atuação das áreas suportes como qualidade e engenharia de processos seriam facilitadas.

Seguindo então a estrutura apresentada no item 2 como método de trabalho, a primeira etapa para iniciar o projeto de simulação é a definição do escopo e objetivo do sistema.

Assim, pode-se dizer no final que o motivo de utilizar a simulação era obter resultados mais precisos por considerar variações no volume de produção e detalhes como variação no tempo de setup. Todas essas variações e interações entre fatores seria de difícil consideração nos cálculos manuais, ou seja, sem o uso da simulação a eventos discretos.

Portanto, a saída esperada pelo modelo será a quantidade de máquinas necessárias para que o sistema funcione de forma adequada (capacidade instalada igual a demanda do cliente).

Dando sequência a Figura 1 de Montevechi *et al.* (2010) a próxima etapa corresponde à criação do modelo conceitual. Para tanto foi utilizada a técnica IDEF-SIM como mapeamento das atividades pertencentes ao processo produtivo e os recursos envolvidos.

No entanto, antes de iniciar o mapeamento, foi feito um levantamento para verificar o volume de produção para cada uma das duas famílias (A e B) de produto. A relação de produção entre a família A e B era de 92% e 8% respectivamente. Como o volume de produção de A é maior, e o fluxo produtivo entre as família não se alterava muito, decidiu-se realizar todo o estudo para a família A. Dessa forma, pode-se iniciar o mapeamento conceitual.

Os produtos da família A chegam no cais da empresa e os colaboradores da área disponibilizam-nos na parte de estoque da primeira operação de usinagem (chamada de máquina 1). Esta primeira etapa de usinagem realiza operações mais brutas, ou seja, o controle dimensional do produto ainda não é rigoroso.

Após a primeira etapa de usinagem, o produto segue para uma área galvânica para ser recoberto por um revestimento químico que reduzirá seu desgaste, prolongando sua vida útil.

Ao término dessa etapa, o produto segue para a segunda parte das operações de usinagem, que são ainda operações de desbaste.

Por fim, na terceira e última etapa do processo produtivo o produto passa por operações finais, ou seja de acabamento, e conseqüentemente as tolerância para as medidas do produto também são menores. A Figura 2 representa o mapeamento dessa última etapa do processo produtivo, decidiu-se apresentar somente parte do IDEF-SIM pela complexidade do fluxo de produção.

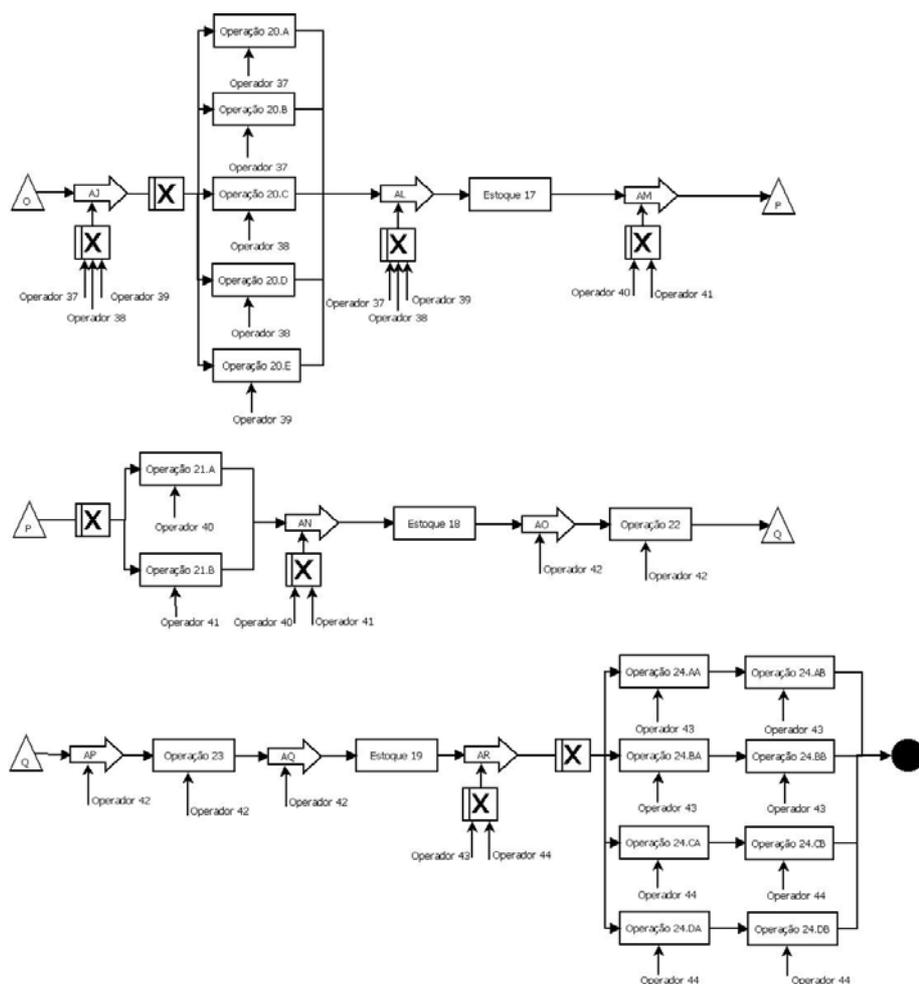


Figura 2 - IDEF-SIM da 3ª Fase produtiva.

Vale ressaltar que todos os mapeamentos realizados foram validados pelos encarregados e engenheiros responsáveis da área. Além disso, os mapeamentos foram arquivados digitalmente e estão salvos em pastas da própria empresa.

Os dados de entrada utilizados para a criação do modelo computacional foram: os tempos padrões existentes, layout da fábrica, previsão de venda do mercado, relatórios da manutenção, tempo de setup, variação no lote de produção e variação na chegada dos diferentes produtos da mesma família A.

O primeiro levantamento realizado foi com relação ao layout, a movimentação e a distância entre as operações, isso porque todo o modelo computacional foi criado levando em consideração as distâncias reais percorridas pelos colaboradores na movimentação do lote de produção.

A movimentação dos produtos está demarcada sobre o layout da fábrica na Figura 3 (totalizando mais de 900m). As distâncias não foram contabilizadas em função das retas traçadas em vermelho, elas foram marcadas somente para facilitar o entendimento de como o produto se desloca pela produção. As distâncias programadas foram as calculadas levando em consideração a movimentação pelos corredores permitidos do prédio.

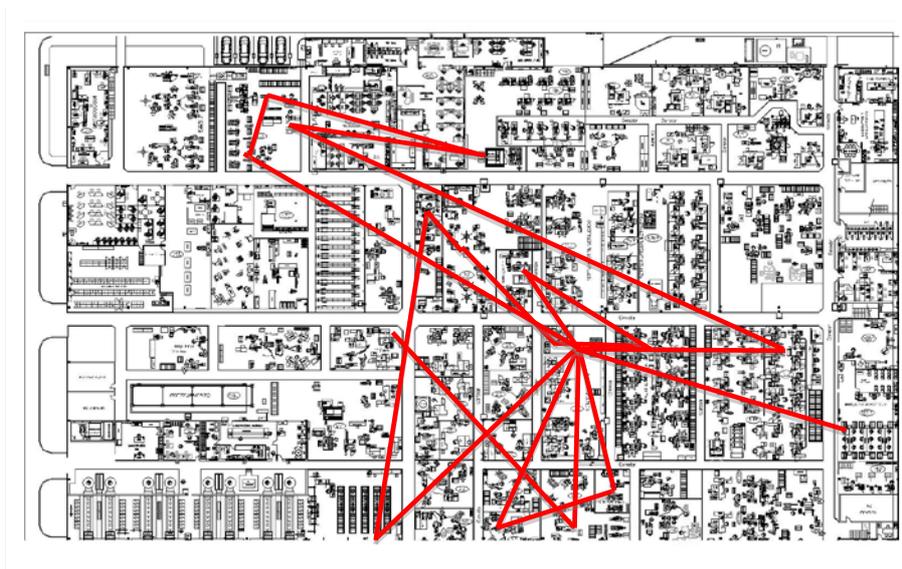


Figura 3- Fluxo do produto indicado sobre o layout da fábrica.

Os tempos padrões foram baseados no banco de dados de tempo padrão utilizados pela empresa. Esses mesmos dados são utilizados para alimentar o sistema ERP que calcula o tempo mínimo e máximo de produção para atender a data limite de entrega estabelecida pelo cliente, bem como seu custo de produção.

Apesar de todas as operações possuírem seu tempo padrão, foi tomado o cuidado de validá-los juntamente com os encarregados de cada um dos setores e operações estudadas, além de terem sido efetuadas entrevistas com os colaboradores para que esses também participassem do processo de validação dos tempos utilizados. Os tempos de *setup* de máquina também foram obtidos pela consulta da tabela de tempo padrão da operação.

Decidiu-se que todo o estudo seria feito para organizar um layout que contemplasse o fluxo da família A. No entanto, era necessário verificar a curva A dos produtos com maior volume da família.

Pode-se concluir que apenas 9 produtos correspondem a mais de 80% do volume de produção da família, ou seja, os outros 55 itens existentes possuem uma demanda muito baixa do cliente, não sendo interessante que ocupem os recursos do novo layout a ser definido.

Após definir os produtos que serão produzidos no novo layout, foi estabelecido um estudo para avaliar o tamanho do lote de produção de cada um dos 9 itens e o intervalo entre a produção de um mesmo item.

Com os resultados obtidos dos melhores ajuste estatísticos, foi utilizado o software Stat::Fit® v2 para calcular os devidos parâmetros de cada distribuição a serem programados no modelo computacional.

Ao término do estudo para determinar as distribuições com melhores ajustes para o tamanho do lote de produção dos itens, iniciou-se o estudo para determinar o intervalo de produção dos 9 itens, ou seja, encontrar as distribuições com melhor ajuste para a frequência de chegada do produtos na produção.

Em seguida, foram estudados os dados de paradas de máquina e tempo de manutenção (*mean time to repair* e *mean time between failure*).

Ao final da coleta de dados, pode-se então passar para a etapa de implementação, onde todos esses dados foram utilizados para a criação do modelo computacional. Na programação do modelo foram utilizadas mais de 600 linhas de processo, 87 locais, 9 entidades com fluxos diferentes e 39 operadores.

Na sua modelagem foram considerados também quebras de máquinas, tempos de setup, deslocamentos e disponibilidade dos operadores. Além disso, nesse modelo os tamanhos de lote para cada uma das entidades variaram de acordo com o histórico passado pela logística. A regra de entrada no estoque da primeira operação foi adotada como aleatório.

Sendo assim, a cada replicação, existia uma variação no mix de produção, bem como na taxa de utilização das máquinas. Este fato deixou o modelo mais próximo do real e ajudou na sua validação, como será analisado posteriormente.

O modelo em 3D (Figura 4) foi construído para facilitar na interpretação e visualização pelos gestores e tomadores de decisão da empresa. Em dezembro de 2011 o projeto foi aprovado, sendo seu layout finalizado em fevereiro de 2012 com a quantidade de máquinas identificadas no relatório apresentado pela Tabela 3.

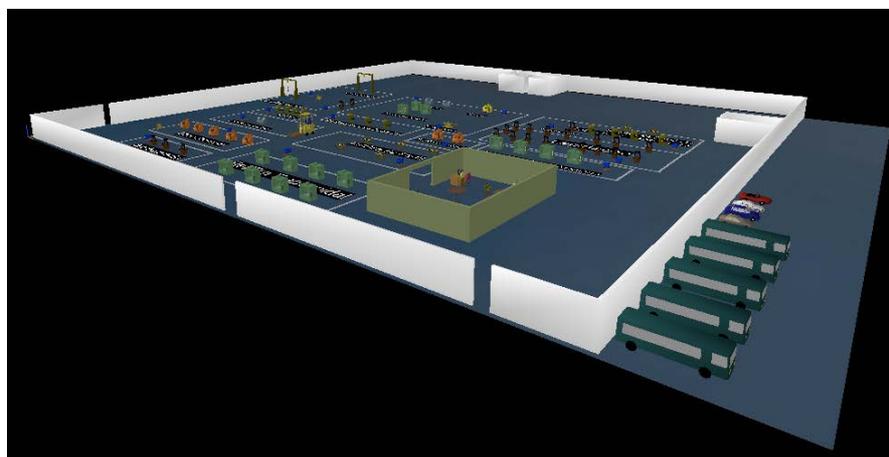


Figura 4 - Modelo computacional em 3D.

O modelo computacional foi verificado utilizando a verificação pela animação gráfica (CHWIF e MEDINA, 2010), sendo que o modelo foi apresentado para os engenheiros de processo e para o chefe da área que visualmente notaram o correto funcionamento do modelo.

Uma vez o modelo verificado, foram realizados 30 replicações durante um período de 7 meses de trabalho. Além disso, foi programado um período de *warmup*, para que a simulação não iniciasse a coleta de dados do sistema sem que filas já tivessem sido criadas no sistema.

Os resultados obtidos nas réplicas foram comparados com o volume real produzido em 7 meses e são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Produção total de produtos durante os 7 meses simulados por réplica realizada.

	Simulado	Real
Número de réplicas	30	30
Média (peças)=	1.600.065	1.570.877
Desvio Padrão=	121.938	55.632

Pela Equação 1 proposta por Kleijnen (1995), pode-se validar o modelo computacional estatisticamente.

$$\bar{x}_s - \bar{x}_r \pm t_{2\eta-2, \frac{\alpha}{2}} \times \sqrt{\frac{S_s^2 + S_r^2}{\eta}} \quad \text{Eq. 01}$$

Tomando \bar{x}_s como a média dos valores obtidos pela simulação, e como a média dos valores reais \bar{x}_r , define-se n como o número de amostras, e α como o nível de confiança esperado igual a 1 menos o nível de confiança esperado (no caso 95%). Tem-se ainda S_s o desvio padrão da amostra simulada e S_r o desvio padrão da amostra real.

Para um valor de α igual a 5% e para n igual a 30, tem-se que $t = 2,00$, pela Tabela V do Apêndice A (MONTGOMERY e RUNGER, 2009).

Portanto, substituindo os valores na Equação 1, tem-se:

$$\bar{x}_s - \bar{x}_r + t_{58;0,025} \times \sqrt{\frac{S_s^2 + S_r^2}{\eta}} = 68.809$$

$$\bar{x}_s - \bar{x}_r - t_{58;0,025} \times \sqrt{\frac{S_s^2 + S_r^2}{\eta}} = -10.433$$

De acordo com Chwif e Medina (2010) se o intervalo contiver o valor zero, então pode-se afirmar que para o nível de confiança adotado o modelo está validado. Como resultado da aplicação da Equação 1, obteve-se um intervalo de valores que contém o 0 (-10.433, 68.809) o modelo pode ser considerado validado estatisticamente.

Além da validação estatística, foi realizada a validação *face to face* sugerida por Sargent (2000), pois o modelo foi apresentado para os especialistas do processo que avaliaram os modelos conceituais e os resultados operacionais da simulação.

Sendo assim, os relatórios obtidos pela simulação puderam ser avaliados. Dentre as análises obtidas, a mais interessante para o objetivo do trabalho avaliava a utilização das máquinas em comparação com a quantidade de máquinas disponíveis (limite de ocupação), apresentada na Tabela 2.

Analisando a Tabela 2 pode-se concluir quais máquinas seriam necessárias para a produção dos 9 produtos. Dessa forma, partindo para a etapa de análise da simulação e criação de cenários para auxiliar na tomada de decisão, foram retiradas do modelo computacional as máquinas que não eram necessárias: uma máquina da operação 2, duas máquinas da operação 4, 2 máquinas da operação 5, três máquinas da operação 15, quinze máquinas da operação 16, uma máquina da operação 17, 5 máquinas da operação 18, duas máquinas da operação 19, quatro máquinas da operação 20, uma máquina da operação 21, três máquinas da operação 24A e 24B.

Ao reduzir o número de máquinas, pode-se concluir de antemão que a movimentação do produto reduziria, pois a área a ser ocupada pela célula seria menor.

Os resultados obtidos com a simulação, que representa as alterações citadas anteriormente, são apresentados pela Tabela 3.

Analisando os resultados da Tabela 3 pode-se concluir que todas as máquinas suportam a demanda do cliente, apesar das máquinas que realizam as operações 24AA e 24AB ficarem quase 97,3% do tempo utilizadas, ou seja, elas terão que ter pouca intervenção de manutenção para não comprometer a entrega dos produtos. Como são máquinas de alto valor decidiu-se por criar a célula com apenas 2 máquinas presentes e caso alguma delas apresentasse problemas, o

produto terá que sair da célula e realizar a operação em umas das outras 20 máquinas presentes na empresa, mas que ficavam alocadas em outras áreas.

Tabela 2 - Porcentagem do tempo que as operações ficavam ocupadas com os produtos.

	Ocupação das Máquinas (%)	Limite de Ocupação (%)
Operação 1	29,3	100
Operação 2	47,4	200
Operação 4	59,6	300
Operação 5	32,1	300
Operação 14	67,5	100
Operação 15	24,8	400
Operação 16	31,3	1600
Operação 17	22,6	200
Operação 18	175,1	700
Operação 19	35,4	300
Operação 20	19,8	500
Operação 21	66,0	200
Operação 22	25,2	100
Operação 24A	97,3	400
Operação 24B	97,3	400

Tabela3 - Porcentagem do tempo que as operações ficavam ocupadas com os 9 produtos.

Operação	% Utilização
Operação 1	29,3
Operação 2A	47,4
Operação 4A	59,6
Operação 5A	32,1
Operação 14	67,5
Operação 15A	24,8
Operação 16A	31,3
Operação 17A	22,6
Operação 18A	94,5
Operação 18B	80,6
Operação 19A	35,4
Operação 20A	19,8
Operação 21A	66,0
Operação 22	25,2
Operação 24AA	97,3
Operação 24AB	97,3

A tomada de decisão foi muito facilitada com a utilização da simulação a eventos discretos. Os gerentes tiveram mais segurança e conforto para dimensionar e comparar a quantidade de máquinas necessárias para atender a demanda do cliente.

No entanto, as operações 1, 2A, 4A e 5A representavam juntas 1,1% do refugo geral da família. Sendo assim, preferiu-se não movimentar essas operações para a nova célula, não comprometendo a produtividade da fábrica. O layout celular proposto é apresentado na Figura 5.

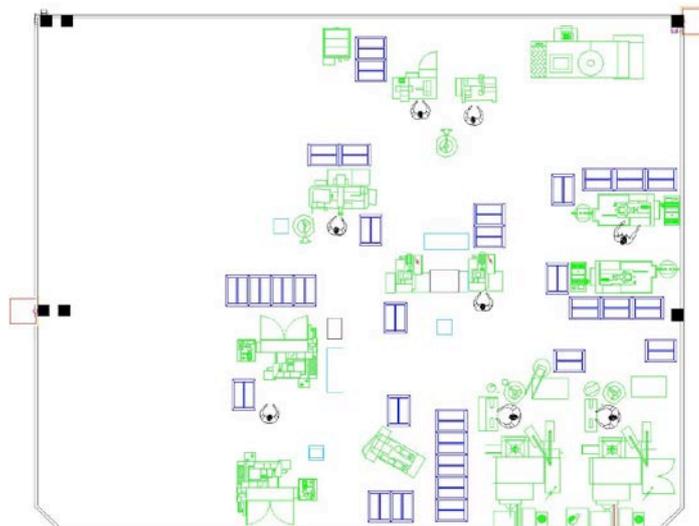


Figura 5 - Layout celular proposto.

O layout foi implementado na empresa há 1 ano e obteve os ganhos apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resumo dos ganhos obtidos.

Indicadores	Layout Antigo	Novo Layout	Ganho Geral	%
Distância (m)	921	280	641	70%
Mão de obra necessária (colaborador/turno)	15	13	2	13%
Produtividade (peças/ homem/dia)	233,9	269,9	36,0	15%
Lead Time (dias)	32	25	7	22%
Tempo de Processamento/Lead Time	0,0072	0,0087	0,0016	22%

5. Conclusão

O intuito deste artigo foi demonstrar a utilização da simulação a eventos discretos no auxílio ao dimensionamento de uma célula dedicada. Além disso, o dimensionamento deveria ser realizado considerando a maior taxa de utilização dos recursos, pois as máquinas que iriam para a célula sairiam de outros locais da fábrica com layout funcional, ou seja, a saída dessas máquinas dos seus setores de origem não poderia impactar no volume produzido sem esses produtos.

A simulação a eventos discretos atendeu às expectativas, uma vez que pode-se comprovar a utilização integrada da técnica para quantificar a quantidade de máquinas necessárias para apresentar diversas formas de layout.

A empresa em questão adotou o layout sugerido, com a quantidade de máquinas obtidas como resultado final da simulação. Há mais de um ano o layout está instalado e trouxe como retorno para a empresa 15% no aumento de produtividade, redução de 22% de lead time, 70% de distância na sua movimentação e contribuiu para a redução do refugo em 35%, representando mais de 150 mil produtos no ano que deixaram de ser produzidos, impactavam no custo da fábrica, mas não podiam ser vendidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, CNPq e a FAPEMIG pelo apoio a esta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- BANKS, J.** *Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998. 864p.
- BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M.** *Discrete-event Simulation*. 4th. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2005.
- MALHOTRA, M.; KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.** *Administração de Produção e Operações*. São Paulo: Prentice Hall, 2009, 615p.
- CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.; SLACK, N.** *Operations Management*. Harlow: Prentice Hall, 2010, 686p.
- CHWIF, L.; MEDINA, A.C.** *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. São Paulo: Bravarte, 2010, 309p.
- CHTOUROU, H.; JERBI, A.; MAALEJ, A.Y.** Comparing functional and cellular layouts using simulation and Taguchi method. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 21, n. 5, p. 529-538, 2010.
- GHOTBODDINI, M.M.; RABBANI, M.; RAHIMIAN, H.** A comprehensive dynamics cell formation design: Bender's decomposition approach. *Expert Systems with Applications*, v.38, n.3, p.2478-2488, 2011.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J.** *Introduction to Operations Research*. 9th. Ed. New York: McGraw-Hill, 2010.
- JAHANGIRIAN, M.; ELBADI, T.; NASEER, A.; STERGIIOULAS L.K.; YOUNG, T.** A Review Simulation in manufacturing and business. *European Journal of Operational Research*, v.203, n.1, p.1-13, 2010.
- KLEIJNEN, JACK P.C.** Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research*, v.82, n.1, p.145-162, 1995.
- MIGUEL, Paulo A. C.** Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. *Revista Produção*, v.17, n.1, p.216-229, 2007.
- 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.
- MONTEVECHI, J.A.B.; PINHO, A.F. de; LEAL, F.; COSTA, R.F.S.; Oliveira, M.L.M.** Conceptual modeling simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a brazilian tech company. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Baltimore, MD, USA, 2010.
- MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C.** *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. Rio de Janeiro: LTC, 2009, 493p.
- RYAN, J.; HEAVEY, C.** Process modeling for simulation. *Computers in Industry*, v.57, n.5, p.437-450, 2006.
- SANDANAYAKE, Y.G.; ODUOZA, C.F.; PROVERBS, D.G.** A systematic modeling and simulation approach for JIT performance optimization. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v.24, n.6, p.735-743, 2008.
- SARGENT, R.G.** Verification, validation and accreditation of simulation models. *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, Orlando, FL, USA, 2000.
- YAZICI, H.J.** Simulation modeling of a facility layout in operations management classes. *Simulation & Gaming*, v.37, n.73, p.73-78, 2006.