

SIMULAÇÃO DE SISTEMAS PRODUTIVOS: UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO FLEXSIM PARA DESENVOLVIMENTO DE NOVOS CENÁRIOS EM UMA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA

SIMULATION OF PRODUCTION SYSTEMS: USING THE SOFTWARE FOR SIMULATION FLEXSIM FOR DEVELOPMENT OF NEW SCENARIOS IN A METAL MECHANICAL INDUSTRY

André Vicentini Coelho¹

Gabriel Augusto Curioni¹

Gilberto Clóvis Antonelli^{1*}

¹Universidade Estadual de Maringá – Centro de Tecnologia – Departamento de Engenharia de Produção - Maringá – Paraná.

*Autor para correspondência. E-mail: gcantonelli@uem.br

Resumo

Com o constante crescimento do mercado e com sistemas de produção cada vez mais complexos, as empresas atualmente precisam sempre estar pensando em mudanças, pensando em inovação e melhoria contínua, a fim de permanecerem forte no cenário competitivo. Porém não é assim tão fácil se manter no mercado, provendo mudanças na produção pelo fato de que novos sistemas, em sua maioria, sempre precisam de certa validação para que provem ser efetivos e melhores que os sistemas anteriores. Com isso, a simulação desses sistemas surge como forma viável e confiável de análise, avaliação e comparação da produção atual com a produção futura. Tornando-se assim uma forte aliada no processo de permanência no mercado.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver possíveis cenários de produção para uma empresa metal mecânica na linha de desenvolvimento de chassis para reboques canavieiros. A otimização e a simulação foram executadas utilizando o software de simulação FlexSim. Durante a realização do trabalho foi modelado o sistema de produção de forma a validar os dados existentes a fim de se garantir uma melhor precisão nos resultados finais e criação de três outros cenários. No final do trabalho podemos notar o real potencial do uso de softwares de simulação para prover as empresas, cenários confiáveis de mudança, sempre pensando em se manter competitivo e forte num mercado cada vez mais disputado.

Palavras-chave: *simulação de sistemas produtivos; otimização da produção; melhoria contínua.*

Abstract

With the steady growth of the market and the increasingly complex production systems, today's businesses need to always be thinking about change, thinking about innovation and continuous improvement in order to remain strong in the competitive landscape. But it is not so easy to stay in the market, providing changes in output by the fact that new systems, mostly always need some validation that prove to be effective and better than previous systems. With that, the simulation of these systems emerges as a viable and reliable form of analysis, evaluation and comparison of current production with future production. Thus becoming a strong ally in the process of remaining in the market.

This work aims to develop potential scenarios for a metal manufacturing company in the mechanical chassis development for sugarcane trailers online. The optimization and simulation were performed using the simulation software FlexSim. During the work has modeled the production system in order to validate the existing data in order to ensure better accuracy in the final results and creation of three other scenarios. At the end of the work we notice the real potential of using simulation software to provide companies, reliable change scenarios, always thinking of staying competitive and strong in an increasingly competitive market.

Key-words: *simulation of production systems; production optimization; continuous improvement.*

1. Introdução

A ferramenta de simulação computacional foi primeiramente desenvolvida na década de 60 junto com a introdução dos primeiros computadores, visto que com a grande quantidade de cálculos e informações envolvidas, simular sem qualquer auxílio de um hardware seria extremamente complicado. As primeiras aplicações de simulação computacional foram para a área militar, tendo como principal objetivo melhorar toda a logística na distribuição de suprimentos para as frentes de batalha.

Hoje em dia, uma das maiores aplicações de simulação computacional está em empresas de manufatura. Dentre seus benefícios podemos destacar a facilidade de se especificar máquinas, funcionários e processos, além da facilidade de se expor avaliações de desempenho e avaliação dos procedimentos operacionais. Como parâmetro de avaliação, são utilizados em sua maioria números como peças produzidas, tempo de espera de peças para serem processadas e porcentagem na utilização de maquinário e pessoas.

A simulação computacional é uma poderosa ferramenta na análise de processos e sistemas complexos. Tornando possível o estudo, a análise e a avaliação de situações que não seriam possíveis na vida real. Em um mundo em crescente competição, tem se tornado uma metodologia indispensável de resolução dos problemas para os tomadores de decisão nas mais diversas áreas (SHANNON, 1998).

A otimização é um grande processo onde se busca tentar atingir diferentes combinações de resultado a partir de mudanças nas variáveis controláveis do sistema. A associação de simulação com otimização possibilita uma melhor busca de valores mais corretos para as variáveis de decisão de um determinado sistema onde o desempenho é avaliado através de novos cenários produtivos.

A simulação não é uma ferramenta mágica que substitui o trabalho de interpretação humano, mas sim uma ferramenta poderosa, capaz de fornecer resultados para uma análise mais elaborada a respeito da dinâmica do sistema. Desta maneira, a simulação permite uma interpretação mais profunda e abrangente do sistema estudado (Duarte, 2003).

As simulações de sistemas produtivos estão cada vez mais se tornando comuns em empresas de manufatura do que qualquer outra área. Algumas razões para isso podem ser levantadas:

- a. O aumento da produtividade e a busca por melhoria contínua nas empresas pode ser visto como um resultado direto da automação, esta, é melhor analisada via simulação;
- b. O custo para se prover melhoria no sistema (máquinas e equipamentos) são normalmente muito altos;
- c. Não é necessário nenhum computador de altíssimo desempenho para a utilização de softwares para simulação;
- d. Softwares de simulação apresentam algo visível aos olhos dos gestores, tornando a otimização e tomada de decisões mais clara.
- e. A simulação permite a identificação dos gargalos no fluxo produtivo;
- f. Podem-se simular sistemas produtivos por meses e até anos em questão de segundos, fornecendo assim resultados em longo prazo;
- g. A simulação significa em uma maior possibilidade de realização de experimentos com situações não familiares, respondendo a questões duvidosas.

O desenvolvimento deste trabalho tem como objetivo mostrar o potencial do uso da simulação de sistemas produtivos para prover melhorias num sistema de produção empurrada numa linha metal mecânica. Junto com isso poderá ser observada algumas das funcionalidades do software de simulação FlexSim, seus recursos e possibilidades, deixando claro o quão viável é o uso de ferramentas de simulação para o melhor desenvolvimento e crescimento das empresas no mercado atual.

2. Contextualização

Este capítulo faz uma descrição de todo o objeto de estudo. O objetivo deste trabalho de simulação consiste em criar novos cenários produtivos que melhorem de alguma forma a produção da empresa em questão.

A análise deste artigo ocorre em uma empresa do setor metal mecânico produtora de implementos rodoviários localizada no norte do Paraná. Devido a questões de confidencialidade, o nome da empresa e do produto não será informado, assim como algumas informações específicas da linha de produção que possam vir a oferecer informações sobre a empresa.

A linha de produção escolhida para a realização desse estudo produz vários tipos de peça que juntas formam o esqueleto de um chassi voltado para reboques. O processamento diário se dá por meio do consumo de chapas de aço SAE 1020. A produção diária de chassis gira em torno de duas unidades diárias.

O processo tem início quando o gerente de produção libera ordens de produção para as linhas de trabalho dentro do chão de fábrica. Uma pasta com a quantidade de peças a serem produzidas são enviadas para os encarregados dos setores de usinagem, oxicorte e corte, as peças nas pastas são separadas por tipo de chapas ou tarugos que utilizam, logo o processamento das mesmas é feito chapa a chapa ou tarugo a tarugo. Primeiro com as peças de chapas ou tarugos mais grossos até as peças de chapas ou tarugos mais finos. Isso se dá pelo fato que as peças produzidas com as chapas ou tarugos mais grossos são as primeiras que devem ser movimentadas até a próxima etapa, visto que são responsáveis pela parte estrutural maior do chassi. A Tabela 1 de chapas e tarugos utilizados pode ser vista abaixo:

Tabela 1 – Chapas e tarugos utilizados

CHAPAS	SETOR QUE UTILIZA	TARUGOS	SETOR QUE UTILIZA
Chapa Aço SAE 1020 1/2"	Oxicorte, corte e dobra	2"	Usinagem
Chapa Aço SAE 1020 3/8"	Oxicorte, corte e dobra	1"	Usinagem
Chapa Aço SAE 1020 5/16"	Oxicorte, corte e dobra	1/2"	Usinagem
Chapa Aço SAE 1020 1/4"	Oxicorte, corte e dobra	3/2"	Usinagem
Chapa Aço SAE 1020 3/16"	Oxicorte, corte e dobra	1/4"	Usinagem

Fonte: Autoria própria (2013).

Com as ordens de produção em mãos, os encarregados de cada setor de produção dão o start na produção, requisitando a quantidade e o tipo de chapas ou tarugos para os operadores de empilhadeira, com as chapas requisitadas nas máquinas, o processo se dá início. Ao término de processamento de cada chapa, as peças são colocadas em um estoque do lado de cada setor, a retirada delas desses estoques é feita quando os encarregados dos setores solicitam as empilhadeiras novamente. Existe uma situação nos setores de oxicorte e corte que é a existência de peças que precisam ser dobradas, logo quando isso é necessário, as peças logo após passarem pelos processos de corte e oxicorte são enviadas para o processo de dobra. O processo de dobra também tem um estoque de peças, e a saída deste estoque se dá também quando o encarregado do setor solicita empilhadeira. Diferente dos outros processos, as peças que saem do estoque de dobra são enviadas novamente para os estoques do processo de oxicorte e corte.

A próxima etapa de produção é a montagem das peças no gabarito do chassi, uma estrutura giratória que permite a montagem de todos os componentes nos seus respectivos lugares. Junto com a montagem os operadores dão os pontos de solda na estrutura a fim de marcar os locais onde a solda terá que ser realizada, como também para deixar a estrutura fixa. Esta etapa necessita dos operadores mais experientes visto que a montagem pode ser comparada a um quebra cabeça. O gabarito ajuda muito nesse processo, mas mesmo assim operários novos e com pouca experiência não conseguiriam desenvolver a atividade de forma correta. A montagem é realizada com as peças derivadas de todas as cinco chapas e cinco tarugos utilizados anteriormente.

Logo após a montagem no gabarito ser realizada, o chassi é transportado para o próximo gabarito, também giratório onde será realizado o processo de soldagem de todos os componentes. A solda utilizada é a MIG. É um processo que toma bastante tempo, visto que para se ter uma estrutura resistente e ao mesmo tempo flexível a solda tem que ser realizada de forma precisa nos lugares corretos, marcados anteriormente com os pontos de solda.

Feita toda a soldagem na estrutura, o chassi passa para o processo de encaixe dos eixos e pneus para transporte interno na fábrica. É um procedimento extremamente rápido comparado com os processos anteriores. O chassi estudado na simulação é um chassi composto por três eixos, dois traseiros e um dianteiro.

Com a solda e os eixos no lugar, o chassi é transportado para o setor de pintura, onde ocorre todo o processo de lixar a estrutura, lavar e depois feita toda a pintura do chassi. Feito este processo, o esqueleto do chassi é levado para um pátio de estocagem onde ficará lá até ser recebida uma ordem de compra do mesmo.

A empresa trabalha em um turno de oito horas diárias com dezoito funcionários nessa linha de chassis, esses funcionários são soldadores, montadores ou ajudantes. Cada processo ou grupo de processos conta com funcionários próprios. Cada processo tem seu encarregado. Existem três empilhadeiras para atender toda a linha, os responsáveis pela empilhadeira realizam qualquer serviço que lhe forem impostos dentro da fábrica. Os detalhes sobre tempo de processamento, operadores por processo e demais variáveis serão especificadas no próximo capítulo.

A Tabela 2 de peças, chapas e setores é apresentada abaixo.

Tabela 2. Peças, chapas e setores.

Tipo de Peça	Chapa/Tarugo	Setor
Pinos	1/2"; 3/8"; 5/16"; 1/4"; 3/16"	Usinagem
Roscas	1/2"; 3/8"; 5/16"; 1/4"; 3/16"	Usinagem
Cabeçotes	1/2"; 3/8"; 5/16"; 1/4"; 3/16"	Usinagem
Almas	1/2"	Oxicorte
Empalmes	3/8"	Oxicorte
Travessas de reforço dianteira	5/16"	Oxicorte
Travessas de reforço central	5/16"	Oxicorte
Travessas de reforço traseira	5/16"	Oxicorte
Fechamento dianteiro	3/16"	Oxicorte
Mesa 5ª roda	1/4"	Oxicorte/Dobra
Engate Traseiro	5/16"	Corte/Dobra
Reforços laterais	3/16"	Corte
Reforços centrais	5/16"	Corte
Reforços traseiros	1/4"	Corte
Reforço da mesa	1/2"	Corte/Dobra
Reforço do engate	3/8"	Corte/Dobra

Fonte: Autoria própria (2013).

Vale relembrar que as peças são processadas em chapas e não individualmente.

Além do processo em si, podemos ressaltar algo muito importante a ser avaliado quando buscamos melhoria contínua. Redução de custos também é algo a se buscar quando pensamos em simulação visando otimizar o processo produtivo. Segue abaixo a Tabela 3, que mostra os preços que cada item do sistema apresenta:

Tabela 3. Preço dos componentes do sistema

Preço	Serviço
-R\$ 1.200,00	Funcionário
-R\$ 18.000,00	Torno
-R\$ 600.000,00	Máquina de Oxicorte
-R\$ 40.000,00	Guilhotina
-R\$ 70.000,00	Dobreira 6000
-R\$ 10.000,00	Gabarito de Montagem
-R\$ 10.000,00	Gabarito de Solda
R\$ 20.000,00	Chassi Final
R\$ 45.000,00	Empilhadeira

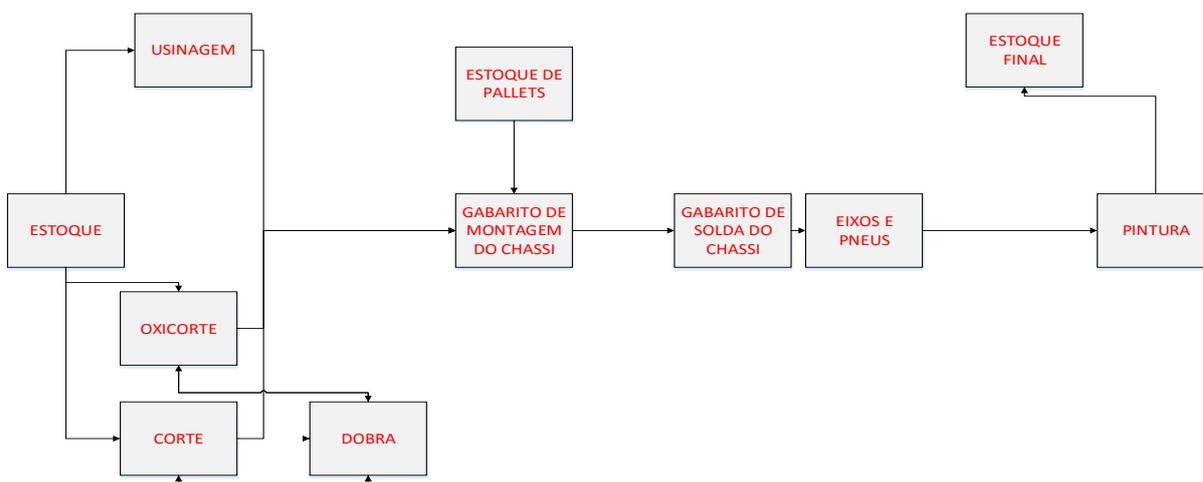
Fonte: Autoria própria (2013).

Com os preços em mãos, podemos propor mudanças guiadas pela simulação na redução de custos.

3. Simulação

O fluxo de processos pode ser visto na Figura 1 abaixo:

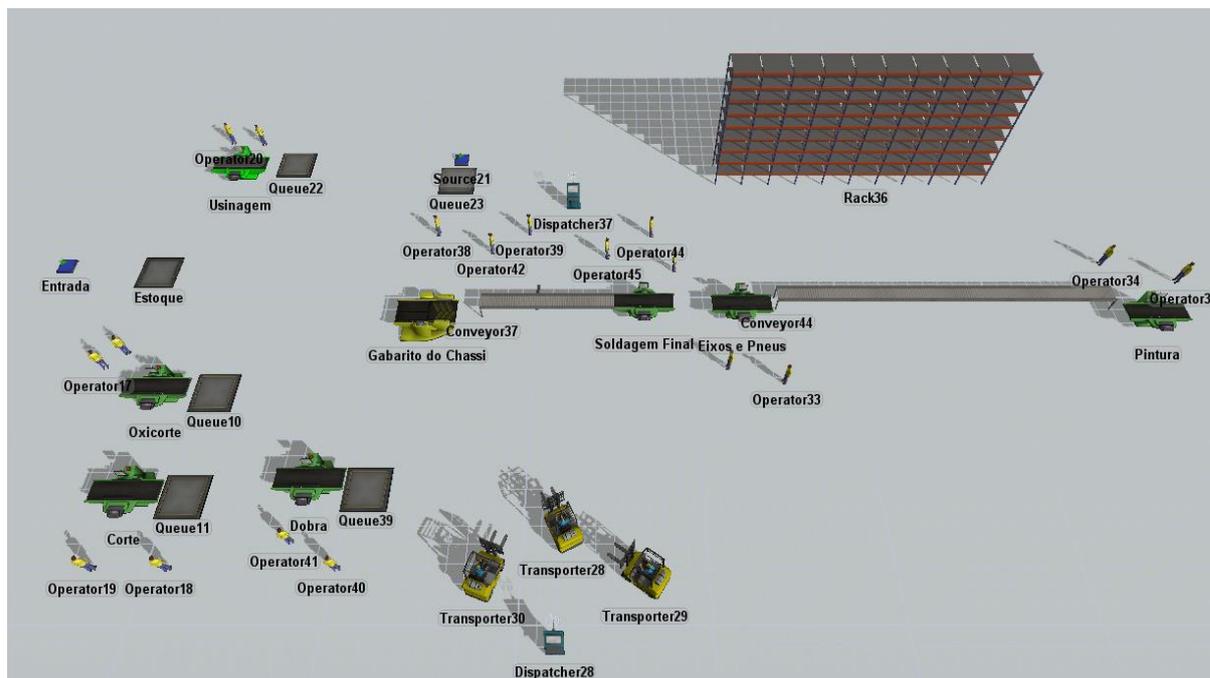
Figura 1. Fluxo do Processo



Fonte: Autoria própria (2013).

Já na Figura 2, podemos observar a disposição dos elementos do processo já no software FlexSim:

Figura 2. Disposição dos elementos no FlexSim



Fonte: Autoria própria (2013).

A imagem 2 representa o cenário atual da linha da empresa estudada, dividiremos o processo todo em duas etapas, a primeira sendo a transformação de chapa em peças nos setores de usinagem, oxicorte, corte e sobra e a segunda a partir do gabarito de montagem do chassi. Essa divisão se dá pelo fato de que a empresa dá o melhor suporte para mudanças a partir da segunda etapa, devido aos custos serem melhor administrados com questão de equipamentos e maquinário e devido aos dados em mãos para a realização da simulação do sistema produtivo serem acurados a partir da segunda etapa.

Cada elemento do sistema produtivo do FlexSim apresenta suas propriedades, propriedades essas que foram coletadas via cronoanálise e entrevistas com os operadores do chão de fábrica, como tempo de processo ou setup, abaixo será mostrada todas essas variáveis, lembrando que elas são passíveis de mudança pensando na otimização da produção da empresa.

- a. A empresa sempre mantém um estoque mínimo de chapas e tarugos de todos os tipos, sempre realizando a compra dessas matérias primas quando requisitada.
- b. Usinagem:

- i. Setup: 300 segundos, um operador;
 - ii. Processamento: 540 segundos, um operador.
- c. Oxicorte:
- i. Setup: 300 segundos, um operador;
 - ii. Processamento: 600 segundos, um operador.
- d. Corte:
- i. Setup: 120 segundos, um operador;
 - ii. Processamento: 480 segundos, um operador.
- e. Dobra:
- i. Setup: 60 segundos, um operador;
 - ii. Processamento: 300 segundos, um operador.
- f. Gabarito de Montagem:
- i. Setup: 300 segundos, três operadores;
 - ii. Processamento: 1200 segundos por operador, totalizando 3600 segundos de processo, já que os mesmos operadores que fazem o setup participam do processamento.
- g. Gabarito de Solda:
- i. Setup: 300 segundos, três operadores;
 - ii. Processamento: 3600 segundos por operador, totalizando 10800 segundos de processo, já que os mesmos operadores que fazem o setup participam do processamento.
- h. Eixos e Pneus:
- i. Setup: 300 segundos, um operador;

- ii. Processamento: 1800 segundos totais, sendo 600 segundos por eixo.
- i. Pintura:
 - i. Setup: 60 segundos, um operador;
 - ii. Processamento: 10800 segundos, um operador.
- j. Empilhadeiras:
 - i. Load Time: 300 segundos;
 - ii. Unload Time: 300 segundos.

Com os dados de cada elemento do sistema em mãos, e com o processo produtivo desenhado no FlexSim, a simulação foi realizada, para uma semana de trabalho, sendo então 144.000 segundos simulados. Para essa primeira simulação, podemos observar que o número de chassis produzidos semanalmente é igual ao número produzido no sistema real, validando assim a simulação no software FlexSim.

Podemos notar com a simulação do cenário atual alguns problemas logo de início. Existem alguns operadores em determinados processos que estão muito ociosos, como é o caso do operador 32, 35 e 40. Esses operadores são os responsáveis pelo setup das máquinas e processos, estudando um pouco o processo podemos verificar que com treinamento adequado, os próprios operários que realizam o processo poderiam realizar o setup também, logo diminuição de quadro no processo pode ser uma alternativa para um próximo cenário simulado.

Além da questão dos operadores, podemos notar que os processos de processamento de chapas e tarugos estão ociosos uma grande parte do tempo, isto pode se dar ao fato de que o tempo que leva para a matéria prima chegar e ser descarregada é muito próximo ao tempo de processamento, logo esses processos operam com um tempo ocioso muito alto, na faixa dos 55%. Criar estoques na linha de produção, ao lado desses processos já se mostrou na empresa um cenário inviável considerando o espaço e o custo de movimentação interno, visto que seriam necessários operadores para fazer a movimentação dessas matérias primas internamente.

Não só os processos da primeira etapa estão com alto tempo de espera, o processo de montagem do chassi no gabarito apresenta também um tempo de processamento considerado muito baixo, na faixa dos 40%. Isto se deve ao fato do tempo que leva das peças saírem dos processos iniciais da primeira etapa e chegarem ao gabarito. Este cenário, otimizando o tempo de chegada das peças no gabarito de montagem é algo muito viável de se pensar visto que os processos da primeira etapa não são considerados gargalos e produzem estoques de peças para a montagem, logo pensar em reduzir distâncias ou contratar empilhadeiras seria um cenário viável de se simular.

Com o objetivo primário de aumentar a produtividade, os cenários desenvolvidos para a otimização serão visando um aumento no estoque final de chassis no final da semana tentando ao máximo aumentar o lucro e reduzir custos.

Em um primeiro cenário, pensando no aumento da produtividade e na facilidade de se propor mudanças na etapa dois do processo, foi pensada um aumento de operadores para os processos de montagem no gabarito e soldagem final do chassi.

Com apenas um operador a mais em cada processo, notou-se uma diminuição no tempo de processamento total dessas atividades, diminuição essa que não alterou a produção semanal total de chassis acabados. Logo se pode mostrar a empresa que só aumento de mão de obra no chão de fábrica pode não levar a melhorias visto que existem inúmeros parâmetros que podem e devem ser observados quando pensamos em otimizar a linha de produção.

Este cenário se mostrou inviável e pode ser descartado. Visto que não trouxe melhorias tanto para o aumento de produtividade quanto para a redução de custos da empresa.

O segundo cenário foi montado visando resolver o problema da ociosidade de certos operadores responsáveis somente pelo setup das máquinas nos processos de pintura, eixos e pneus e dobra. Estudando os três processos se observa que o setup deles é algo que pode ser feito pelo operador responsável pelo processamento. Portanto foi simulado um cenário onde esses três processos são realizados por apenas um funcionário.

Rodando a simulação fica claro que os tempos de processamento do sistema de produção não se alteram, a produtividade semanal também não é afetada e o tempo total de processamento de um chassi na linha continua o mesmo.

A conclusão a que se chega é que a redução de três operadores da linha de produção de chassis é viável e que essa mudança traria uma economia com gastos sobre mão de obra direta em torno de 3600,00 reais mensais. Pode ser considerado pouco quando se leva em consideração que em um mês, realizando cálculos simples, a receita bruta total gira em torno de 800.000,00 reais. Só que quando se pensa em melhoria contínua, toda e qualquer redução de custos pensando numa produção mais enxuta é viável e digna de ser realizada.

Em um terceiro cenário simulado, foi pensado em uma mudança total na linha de produção na etapa dois. Visto que a empresa possui espaço para mudança nessa linha e que mudança no layout inteiro visando uma melhor aproximação dos processos de transformação de chapas e tarugos com o gabarito de montagem estão inviáveis visto que a linha de chassis é apenas mais uma na fábrica, foi proposto um aumento na etapa dois. Adicionando um novo gabarito de montagem do chassi, um novo gabarito para solda final, uma nova empilhadeira, assim como contratação de mais sete operadores, se pode observar um aumento na produtividade quando se compara custos de implantação com o aumento da receita bruta total. Uma questão que pode ser levantada seria o tempo de processamento do chassi no gabarito de montagem, este já era baixo e ainda com a adição de mais um gabarito opera com tempo de processamento em torno dos 30%. A solução aqui seria a otimização da velocidade de chegada de peças para a montagem do gabarito, mas, como já foi dito, uma mudança no layout geral da empresa é inviável.

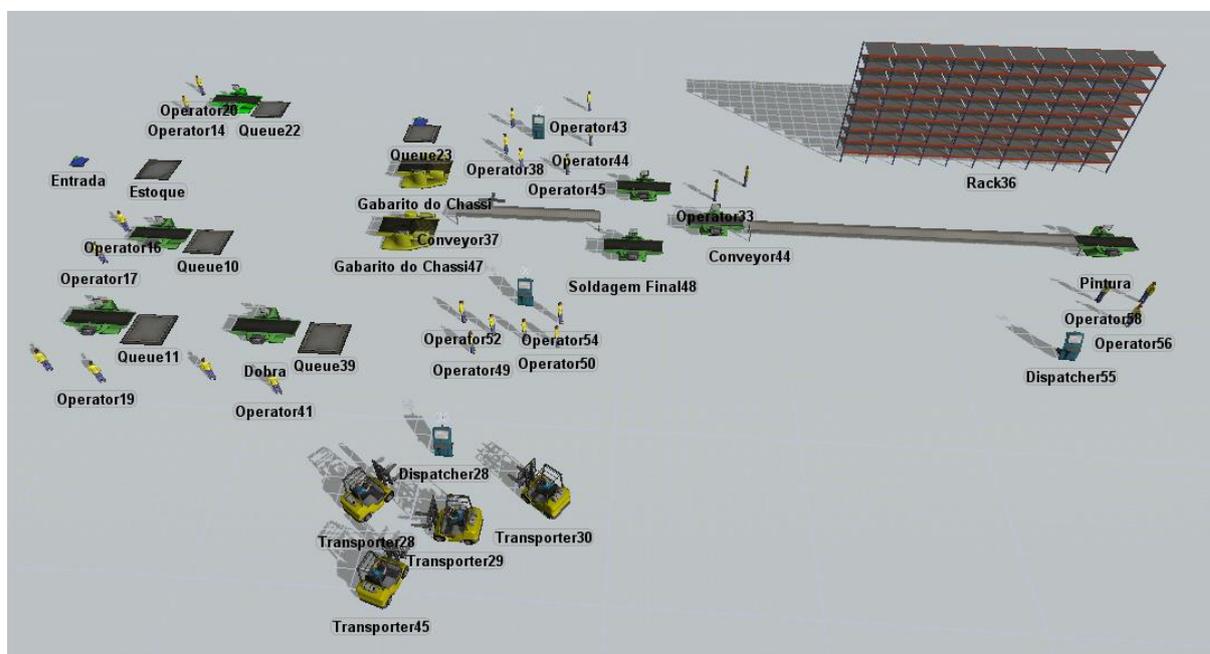
A adição de uma nova empilhadeira tornou os processos da etapa um muito menos ociosos, com um tempo de processamento na casa dos 60% para cada processo, visto que a chegada de peças se tornou muito mais ágil.

Voltando a falar de produtividade, notou-se um aumento do sete unidades semanais de chassis, o que dá um aumento na receita total mensal por volta de 560.000,00 reais. O custo para adição de um novo gabarito de montagem do chassi e de um novo gabarito de solda fica em torno de 20.000,00 reais, uma nova empilhadeira com

seu novo operador giraria em torno de 46.200,00 reais e mais sete operadores, um para o processo de pintura e seis para os novos gabaritos custaria 8.400,00 reais. Somando os custos para adição de uma segunda linha para chassis temos o custo de 74.600,00 reais, comparando esse valor com o total acréscimo na receita bruta total podemos dizer que esse cenário é bastante viável e digno de ser estudado mais a fundo pela alta gerência da empresa.

O desenho da nova linha de produção para o terceiro cenário pode ser visto na Figura 3.

Figura 3. Linha de produção para o terceiro cenário



Fonte: Autoria própria (2013).

4. Conclusão

A simulação computacional é uma incrível ferramenta que vem evoluindo cada vez mais com o tempo, devido principalmente as constantes evoluções nas áreas de hardware e software. No desenvolvimento do trabalho foi possível observar que mesmo tendo em mãos excelente software e hardware para cumprimento do trabalho estes não bastam para prover as melhores decisões na hora de se avaliar futuros cenários produtivos. O envolvimento de todos na empresa, desde o chão de fábrica até a alta gerência é essencial no desenvolvimento correto e acurado de

um projeto de simulação de uma empresa. Este envolvimento é importante desde para coleta de dados até no final, onde seria preciso tomar uma decisão importante.

A grande vantagem de se utilizar a simulação para modelagem de possíveis cenários futuros para crescimento da empresa é a possibilidade de realizar um grande número de experimentações e alcançar com isso modelos que estejam em maior concordância com as políticas e desejos da empresa. Sendo assim, se consegue estabelecer cenários e simulá-los realizando análises e comparando dados que só seriam possíveis na vida real se a alta gerência estivesse disposta a investir grande quantidade de tempo e dinheiro, o que sempre é algo de extremo risco.

Uma grande dificuldade encontrada na realização do trabalho foi buscar a correta análise do tempo de processamento, principalmente processos da primeira etapa. Quando se consegue precisão em todas as variáveis do sistema, a criação de novos cenários fica mais simples e fácil de ser realizada, podendo até existir um brainstorming para se pensar cenários novos e testá-los, mesmo podendo prever alguns resultados, a simulação pode trazer pequenos detalhes que foram deixados de lado ou até esquecidos.

O presente trabalho tratou tentar aumentar a produtividade e prover melhoria contínua numa empresa através dos conceitos de simulação de sistemas produtivos. Todas as etapas seguidas para a realização e desenvolvimento do mesmo, não são de fácil aplicação. Seguir uma metodologia de implementação e uma sinergia entre todos na empresa é de grande valia para o desenvolvimento de um trabalho futuro.

Referências

AZADIVAR F., **Simulation optimization methodologics**. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conferation. Manhattan, U.S.A.

BANKS, J. **Introduction to simulation**. Preceedings os the Winter Simulation Conference. Atlanta, 2000.

BOWDEN R. O. **Simulation optimization research and development**. Proceedings os the 1998 Winter Simulation Conference. Mississippi, U.S.A.

DUARTE, Roberto N. **Simulação Computacional**: Análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de autopeças. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção. UNIFEI, Itajubá, MG, 2003.

SHANNON R. E., **Introduction to the art and science of simulation**. Proceedings os the Winters Simulation Conference, 1998.