

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO - MESTRADO PROFISSIONAL

Higor Suzek

ESTUDO DE PRODUTIVIDADE EM UM SISTEMA DE PRODUÇÃO
POR MEIO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVENTOS
DISCRETOS

Passo Fundo

2017

Higor Suzek

**ESTUDO DE PRODUTIVIDADE EM UM SISTEMA DE PRODUÇÃO
POR MEIO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVENTOS
DISCRETOS**

Orientador: Prof. Dr. Wu Xiao Bing

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo
2017

Higor Suzek

**ESTUDO DE PRODUTIVIDADE EM UM SISTEMA DE PRODUÇÃO
POR MEIO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVENTOS
DISCRETOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 31 Julho de 2017

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Prof. Dr. Wu Xiao Bing
Orientador

Professor Doutor Jocarly Patrocínio De Souza
Universidade de Passo Fundo – UPF

Professor Doutor Marcelo Hemkemeier
Universidade de Passo Fundo – UPF

Professor Doutor Daniel Pacheco Lacerda
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

RESUMO

A otimização dos recursos e a eliminação de desperdícios são objetivos nos quais as empresas vêm investindo para ter excelência operacional. O presente trabalho descreve a utilização da simulação computacional aplicada ao ambiente da fábrica em uma empresa de cadeiras para escritório, com o propósito de selecionar a estratégia mais adequada para modificações futuras na fábrica e atender a um novo patamar de demanda de produção. O estudo de simulação computacional tem o objetivo na reestruturação do *layout*, a fim de aumentar a produtividade. Existe uma grande complexidade e variabilidade em seus fluxos de produção e para tratar deste problema, foi proposta uma metodologia de coleta de dados, bem como a construção de um modelo de simulação que representasse esse sistema de produção. Uma vez validado o modelo, foram realizados experimentos, visando à consecução dos objetivos previamente estabelecidos. Os resultados obtidos com a simulação computacional comprovam que a sua utilização surge como uma ferramenta eficaz para avaliação do sistema, apontando que a melhor estratégia para aumento da capacidade produtiva foi obtida com a utilização da filosofia enxuta em seus processos críticos. Outros ganhos se refletem no processo produtivo e favorecem a ganhos financeiros aproximados à R\$ 3.316.723,20 por ano, redução de 65% no tempo de ciclo do produto e melhoria no fluxo de informações e materiais.

Palavras chave: Manufatura digital, sistemas de produção, simulação computacional.

ABSTRACT

Resource optimization and waste disposal are goals in which companies are investing to have operational excellence. The present work describes the use of computational simulation applied to the factory environment in an office chair company with the purpose of selecting the most appropriate strategy for future modifications in the factory and meeting a new level of production demand. The computational simulation study aims to restructure the layout in order to increase productivity. There is a great complexity and variability in their production flows and in order to address this problem, a data collection methodology was proposed, as well as the construction of a model of simulation that represented this production system. Once the model was validated, experiments were carried out, aiming at the achievement of previously established objectives. The results obtained with the computational simulation prove that its use emerges as an effective tool to evaluate the system, pointing out that the best strategy to increase the productive capacity was obtained with the use of the lean philosophy in its critical processes. Other gains are reflected in the production process and favor approximate financial gains of R\$ 3.316.723,20 per year, a 65% reduction in product cycle time and an improvement in the flow of information and materials.

Keywords: Digital manufacturing, production systems, computational simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação dos modelos de simulação	20
Figura 2 – Modelo de simulação e produto em análise	22
Figura 3 – Produto na linha de produção.....	23
Figura 4 – Aplicação do produto.....	24
Figura 5 – <i>Trade-off</i> flexibilidade de modelagem do usuário na ferramenta	31
Figura 6 – Exemplo de manufatura digital aplicada em um centro de distribuição....	32
Figura 7 – Sistema industrial	34
Figura 8 – Modelo de sistema de produção	36
Figura 9 – Sistema de manufatura (ou sistema de produção discreta)	38
Figura 10 – Exemplo de arranjo físico posicional.....	45
Figura 11 – Exemplo de arranjo por processo	45
Figura 12 – Exemplo de arranjo celular	46
Figura 13 – Exemplo de arranjo físico por produto ou linha	46
Figura 14 – Etapas de um estudo envolvendo modelagem e simulação	51
Figura 15 – Metodologia de simulação	53
Figura 16 – Etapas em um estudo de simulação	54
Figura 17 – Produto analisado	59
Figura 18 – Alteração na construção civil caso antigo e caso atual.....	61
Figura 19 – <i>Layout</i> atual.....	63
Figura 20 – Níveis da estrutura do mecanismo.....	64
Figura 21 – Níveis da estrutura dos estofados	65
Figura 22 – Fluxograma vertical	66
Figura 23 – Modelo conceitual	70
Figura 24 - Diário de bordo.....	72
Figura 25 – Tempo estimado de simulação	73
Figura 26 – Parte do modelo computacional.....	74
Figura 27 – Parâmetros para o comando <i>Transferstation</i>	75
Figura 28 – Sequência do processamento da prensa 85.....	75
Figura 29 – Parâmetros da <i>Tablefile</i>	76
Figura 30 – Parâmetros para a estratégia de saída.....	76
Figura 31 – Parâmetros para a estratégia de saída de cada componete.....	77
Figura 32 – Árvore de projeto dos componntes e carros de transporte.....	78

Figura 33 – Modelo computacional atual	78
Figura 34 – Modelo computacional atual 3D.....	79
Figura 35 – Resultados de eficiência apresentados no cenário atual.....	80
Figura 36 – Resultados de produtividade apresentados no cenário atual.....	81
Figura 37 – Gráfico dos resultados de produtividade apresentados no cenário atual ..	82
Figura 38 – Gráfico dos resultados de apresentados no atual	82
Figura 39 – Modelo computacional proposto – cenário 2.....	85
Figura 40 - Gráfico dos resultados de produtividade apresentados no cenário 2.....	86
Figura 41 - Gráfico dos resultados apresentados no cenário 2.....	86
Figura 42 – Resultados de produtividade apresentados no cenário 2.....	87
Figura 43 – Modelo computacional proposto – cenário 3.....	87
Figura 44 – Gráfico dos resultados de produtividade apresentados no cenário 3.....	88
Figura 45– Gráfico dos resultados apresentados no cenário 3.....	88
Figura 46 – Resultados de produtividade apresentados no cenário 3.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores típicos dos coeficientes	67
Tabela 2 - d_2 utilizados nos cálculos	68
Tabela 3 – Tempo padrão dos componentes setores de estampagem, corte a laser, zincagem, fosfatização e pintura	69
Tabela 4 – Tempo padrão dos componentes setores de porca garra, colagem, corte de tecido, costura e grampeação	69
Tabela 5 – Resultados da validação das unidades produzidas.	83
Tabela 6 - Comparação dos resultados do modelo atual e cenário 3	89
Tabela 7 – Resultados financeiros.....	90
Tabela 8 – Análise dos resultados.....	91
Tabela 9 – Efeitos verificados.....	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Evolução dos sistemas de simulação	30
Quadro 2 - Objetivos de desempenho da produção.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três Dimensões
WIP	Work In Process
JIT	Just In Time
MFV	Mapeamento de Fluxo de Valor
PDCA	Ciclo de Planejamento, Desenvolvimento, Monitoramento e Ação
PE	Produção Enxuta
STP	Sistema Toyota de Produção
CNC	Controle Numérico Computadorizado
PPGPPF	Programa de Pós Graduação em Projeto e Processos de Fabricação
MIG	Metal Inert Gas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Definição do problema.....	14
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo geral.....	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 Justificativa	15
1.4 Estrutura do trabalho	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Simulação computacional de sistemas	17
2.2 Classificações da simulação.....	19
2.3 Modelo de simulação	21
2.4 Aplicações da modelagem e simulação computacional	22
2.5 Vantagens e desvantagens da simulação	27
2.5.1 Vantagens.....	27
2.5.2 Desvantagens.....	29
2.6 Evolução dos softwares de simulação computacional.....	30
2.7 O projeto da simulação.....	32
2.8 Sistema de produção.....	33
2.9 Sistemas de manufatura.....	37
2.10 <i>Layout</i>	41
2.10.1 Classificação de <i>layout</i>	43
2.11 Otimização da produção.....	47
2.12 Administração da produção e tomada de decisão	47
2.12.1 Evolução histórica.....	48
2.12.2 Desperdícios nos processos produtivos	49
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
4 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS	59
4.1 Planejamento do projeto.....	59
4.2 Formulação do problema	60

4.3 Apresentação do <i>layout</i> e fluxo dos componentes em estudo.....	62
4.4 Definição dos níveis da estrutura do produto.....	64
4.5 Coleta de dados.....	65
4.5.1 Determinação do número de ciclos a serem cronometrados.....	67
4.5.2 Determinação do tempo padrão.....	68
4.6 Construção do modelo conceitual	70
4.7 Verificação do tempo disponível.....	71
4.8 Construção do modelo computacional.....	72
4.8.1 Modelagem computacional.....	73
4.9 Verificação do modelo computacional.....	79
4.10 Eficiência do sistema de produção atual.....	80
4.10.1 Verificação da produtividade do cenário atual.....	81
4.11 Validação do modelo.....	83
4.12 Experimentação.....	84
4.12.1 Simulação cenário 2.....	84
4.12.2 Verificação da produtividade do cenário 2.....	85
4.12.3 Simulação Cenário 3.....	87
4.12.4 Verificação da produtividade do cenário 3.....	88
4.13 Verificação dos custos.....	89
4.13 Análise dos resultados.....	90
5 CONCLUSÕES	92
REFERÊNCIAS	94
APÊNDICE A – Planilha para coleta de dados	102
APÊNDICE B – Planilha para coleta de dados	104

1 INTRODUÇÃO

A indústria brasileira tem enfrentado diversos desafios na área de manufatura, dentre eles, a necessidade de aumento de investimentos no desenvolvimento de produtos, renovação de processos e, ainda, a urgência em tornar-se mais ágil para responder com rapidez às novas demandas do mercado. Assim, com a globalização e a conseqüente competitividade, as empresas tem buscado também um maior controle do processo produtivo, por meio de melhorias na tecnologia dos equipamentos e no controle das ineficiências dos processos.

Em decorrência, otimizar a produção é vital e inegociável para assegurar a produtividade, pois uma indústria cada vez mais ágil será capaz de responder em pouco tempo às demandas do mercado, produzindo mais e utilizando menos recursos naturais. Por isso, a tendência futura é que a maioria dos produtos será desenhada, simulada e otimizada antes no ambiente virtual, para depois ser fabricada. Assim, a indústria do futuro se apoiará fortemente em estratégias com a utilização de ferramentas virtuais para projetar e simular produtos e processos, reduzindo seus prazos e otimizando sua produção.

O aumento da diversificação e a crescente demanda por produtos customizados com preços acessíveis, aliado a redução do ciclo do produto, exigem um processo de inovação muito rápido, bem como, novos processos de manufatura. Dessa forma, a indústria precisa de fábricas mais inteligentes, enxutas, ágeis e produtivas, características estas que serão alcançadas com o investimento em tecnologias avançadas de manufatura e com o aumento da conectividade digital, pré-requisitos para uma tomada de decisão rápida, confiável e para uma gestão inteligente do fluxo de informações. Nesse contexto, a simulação computacional surge como uma ferramenta de análise que auxilia na construção de modelos, sem que se tenha que modificá-los para depois implementá-la nos sistemas de produção das empresas.

A empresa moveleira estudada, montadora de cadeiras para escritório, passa por dificuldades de atendimento a sua demanda, as quais são decorrentes da sazonalidade dos pedidos de seus clientes. Sendo assim este trabalho tem como objeto de estudo a aplicação da ferramenta de simulação para melhorar a capacidade produtiva e conseguir adaptar a produção à sazonalidade dos pedidos. A modelagem dos dados e cenários pode ajudar na melhoria dos processos de fabricação e na redução dos custos de operação. Para que seja possível analisar os dados e atingir os resultados desejados, a cronoanálise será utilizada como ferramenta para documentar o sistema, assim como o *software* de simulação *Plant Simulation* como facilitador.

1.1 Definição do Problema

A empresa estudada, fabricante de cadeiras para escritório, passa por constantes melhorias no parque fabril, entre ela a aquisição de novas máquinas e aprimoramento na construção civil. Com isso apareceram dúvidas de como o sistema de produção se comportaria com tais alterações.

O problema abordado se concentra em uma necessidade real quanto à capacidade de atendimento da demanda, surgimento de gargalo, discrepâncias no arranjo físico, itens com alto estoque em processo, grandes variações nas movimentações de operadores, dificuldade no fluxo de informações e de materiais e adequada quantidade de mão de obra seja por falta ou por excesso.

Por meio da simulação dos sistemas de produção objetiva-se identificar aspectos a serem aprimorados em termos de qualidade, mão de obra e produtividade, para atender a um novo patamar de produção do novo parque fabril. Para tanto, será aplicada a ferramenta de simulação computacional de eventos discretos, analisando as potencialidades e vantagens que este sistema pode apresentar.

Em decorrência do tema escolhido tornou-se prudente a sua colocação sob a forma do problema de pesquisa, definindo-se melhor a questão analisada, qual seja: “como o sistema de produção se comportaria com as alterações no *layout*?”.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Aplicação da simulação computacional no sistema de produção de uma fábrica de cadeiras para escritório para otimização dos recursos e aumento da produtividade de um novo parque fabril.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são apresentados a seguir:

- a) Análise do desempenho e capacidade atual do sistema real;
- b) Coleta de dados e definição do sistema e modelo conceitual;
- c) Validação do modelo conceitual;
- d) Construção do modelo computacional e verificação;

- e) Validação do modelo de simulação;
- f) Propor modificações no sistema produtivo para melhoria dos recursos e testá-las através da simulação computacional;
- g) Avaliar os resultados obtidos e definir a solução para o aumento de capacidade produtiva.

1.3 Justificativa

Devido às condições do mercado e à necessidade de atender clientes cada vez mais distantes, há uma significativa flutuação na demanda de produção, o que acaba por sua vez gerando mais custos, tais como o da superprodução. Percebe-se que essas mudanças na demanda não são passadas para o chão de fábrica, ou seja, continua-se trabalhando com a mesma capacidade de antes, porém com aumento de estoques intermediários, baixo aproveitamento da mão de obra e arranjo físico desconfortável.

É necessidade de qualquer organização reduzir seus custos e aumentar a sua produtividade, e a manufatura enxuta auxilia nesse processo de enxergar os desperdícios fazendo com que a empresa se torne mais competitiva.

No entanto, atingir um estado ideal são necessários diversos ajustes no sistema produtivo para que o mesmo trabalhe de acordo com o planejado. Assim sendo, a simulação pode ser empregada em ambientes fabris para facilitar as tomadas de decisões sem que para isso haja mudanças no processo produtivo. Deste modo, as melhorias propostas para atingir um processo enxuto seriam simuladas antes de qualquer mudança. Outra vantagem seria a simulação de diversos cenários, o que facilitaria aos gestores a implementação das melhores práticas.

A simulação permitem a transformação de informações em conhecimento, o qual poderá ser aplicado em um novo sistema. Num mundo globalizado e turbulento, tal ferramenta mostra-se eficiente na tarefa de propiciar às organizações a oportunidade de aprender a pensar de forma rápida, inteligente e flexível. Além disso, as ferramentas de modelagem e simulação computacional estimulam a análise crítica de dados, a formulação de perguntas, a descoberta de respostas e a visão sistêmica.

A proposta deste trabalho constitui assim, uma contribuição para a difusão da metodologia de modelagem e simulação através de ferramentas computacionais e inovação para as empresas. Para isso o Programa de Pós Graduação em Projeto e Processos de Fabricação – Mestrado Profissional – PPGPPF enquadra-se neste assunto proporcionando a formação de

mestres com orientação profissional para a indústria, desenvolvendo estudos avançados na área de projeto e processos de fabricação e buscando a capacitação técnico-científica para alunos das engenharias e áreas afins. Também contribui efetivamente para o estudo de otimização e simulação de eventos discretos com moderno laboratório.

A análise desenvolvida no estudo de caso proposto por esse trabalho assenta-se na importância de conhecer alternativas que permitam atingir melhorias nos processos antes de causar impactos sobre o fluxo de trabalho real, ou seja, em conhecer os resultados possíveis antes mesmo da implementação prática da solução. Para tanto, o primeiro passo consiste em entender o sistema real a ser estudado. Por conta disso é que a simulação computacional tem sido citada como uma ferramenta eficaz para melhorar esse entendimento.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. No primeiro é apresentada uma introdução, a definição do problema, objetivos e a justificativa da utilização da simulação computacional.

Já no segundo capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica acerca da simulação computacional e sistemas de produção. O terceiro capítulo, por seu turno, trata da metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho, expondo uma proposta de abordagem.

O quarto capítulo apresenta o desenvolvimento do trabalho, a empresa, a descrição do processo atual, como foi feito para chegar ao modelo computacional, o desenvolvimento de outros cenários, a apresenta dos resultados e discussão, e o quinto capítulo, por fim, a conclusão do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apresenta-se neste capítulo a revisão da bibliografia dividida em duas partes. Na primeira trata-se sobre simulação computacional de sistemas, modelo de simulação, classificações da simulação, aplicações da modelagem e simulação computacional, vantagens e desvantagens da simulação, evolução dos softwares de simulação computacional e o projeto da simulação. A segunda parte trata de uma revisão dos assuntos acerca de sistema de produção, sistemas de manufatura, *layout*, classificação de *layout*, otimização da produção, administração da produção, tomada de decisão, evolução histórica e desperdícios nos processos produtivos para criar e testar cenários alternativos considerando o pensamento enxuto de fabricação.

2.1 Simulação computacional de sistemas

Segundo Hollocks (1992) citado por Ripoll (1998), a simulação computacional é uma técnica de pesquisa operacional que envolve a criação de um programa computacional para representar alguma parte do mundo real, de tal forma que os experimentos no modelo são como a antevisão do que acontecerá na realidade. Dessa forma, a simulação permite que se verifique o funcionamento de um sistema real em um ambiente virtual, gerando modelos que se comportam como aquele considerando a variabilidade do sistema e demonstrando o que acontecerá na realidade de forma dinâmica (CASSEL, 1996).

Apesar de muitas pessoas acreditarem que a experiência é o melhor professor, ter essa experiência real frequentemente custa caro por consumir tempo e dinheiro. À vista disso o uso da simulação pode ser uma maneira rápida e barata de adquirir o conhecimento que normalmente se obtém pela experiência (MOORE; WEATHERFORD, 2005).

Em geral, ao desenvolver-se um novo sistema de produção, surgem questões quanto a como fazer a reorganização e como será o desempenho. As respostas para esses questionamentos podem ser apresentadas basicamente de três formas: baseadas em opiniões onde as análises são realizadas com base em crenças e ideias de um indivíduo ou de um grupo, sendo pouco quantificáveis e sujeitas a aprovações por ego; baseadas em modelos matemáticos estáticos que não consideram as características dinâmicas do sistema podendo induzir a erros por não conseguir avaliar estas características do sistema e, baseadas em modelos de simulação computacional dinâmico, onde são consideradas as aleatoriedades e interdependências das variáveis do sistema, melhorando assim a capacidade de previsão do comportamento do sistema real (BANKS, 2000).

Simulação é uma técnica que utiliza modelos para representar a essência de uma instalação real ou proposta sob investigação, com o objetivo de avaliar o comportamento deste sistema sob diversas condições (SILVA, 2005). A simulação computacional vem a ser a representação de um sistema real por meio de um modelo de grande precisão através do computador, trazendo a vantagem de se poder visualizar esse sistema, implementar mudanças, responder questões como: “o que aconteceria se” (*what-if*), e desta maneira economizar recursos econômicos e tempo (PEREIRA, 2000). A representação de um sistema real ou de um projeto de sistema feita através de um modelo tem por objetivo estudar desempenho, avaliar mudanças, experimentar e testar o projeto sem que seja necessário construí-los ou alterá-los na realidade. Esta interatividade com o modelo, ou seja, a facilidade de modificá-lo para fins de estudo, analisar os resultados, a rapidez na obtenção desses resultados e a possibilidade de se verificar através da animação como o processo está sendo conduzido, é uma vantagem que se tem com a simulação e que vem tornando o seu uso cada vez mais comum no estudo de sistemas complexos (HARREL *et al.*, 2002; PEREIRA, 2000).

Para Freitas (2008) simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo. Hoje, simulação é sinônimo de simulação computacional a qual é um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo com o propósito de entender seu comportamento ou avaliar estratégias para sua operação.

Bertrand e Fransoo (2002) definem a simulação como uma técnica utilizada para solucionar problemas complexos. A simulação permite a observação de dados, gerados a partir de modelos computacionais que representam um sistema real.

A simulação computacional pode evitar decisões desacertadas que possam pôr em risco o funcionamento da empresa ou resultem em investimentos inadequados. O uso dessa ferramenta vem crescendo muito, devido a facilidade de uso e sofisticação dos ambientes de desenvolvimento de modelos computacionais, aliadas ao crescente poder de processamento das estações de trabalho e intenso uso da animação dos sistemas, contando com interfaces gráficas (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2001).

Dias (2011), afirma que a simulação é a tentativa de replicação de um sistema real, através da construção de um modelo matemático tão parecido quanto possível com a realidade. A ideia geral é imitar uma situação real matematicamente, estudar seu comportamento, tirar conclusões e tomar decisões com base na simulação. Ferreira (2004) acrescenta que pela

possibilidade de uma visão mais clara e ampla do processo, pode-se testar novas rotas, novos equipamentos e *layout*, sem provocar a real aplicação dessas modificações.

Segundo Lachtermacher (2002) ao utilizar processos de modelagem para auxílio na tomada de decisão, é possível obter as seguintes vantagens: (i) os modelos forçam os decisores a tornar explícitos os objetivos; (ii) forçam a identificação, o armazenamento e a análise de relacionamento das diferentes decisões que influenciam os objetivos; (iii) forçam o reconhecimento de limitações; e (iv) permitem a comunicação de ideias para facilitar o entendimento entre grupos de trabalho.

Neste trabalho, utiliza-se a simulação computacional como ferramenta de modelagem para auxiliar na reconstrução do *layout* de um novo parque fabril. Conforme Pidd (1998) a simulação computacional é a aplicação de um modelo como base para exploração e experimentação da realidade. Prado (1999) define simulação como uma técnica que, usando o computador, procura montar um modelo que melhor represente o sistema em estudo. Assim como em outras metodologias de modelagem, a simulação é utilizada em função do seu baixo custo, maior segurança e rapidez em comparação com a realização de experimentações na realidade.

A simulação pode ser utilizada tanto para projeto e avaliação de novos sistemas como para reconfiguração física de *layout* ou ainda para analisar mudanças no controle ou em regras de operação de sistemas existentes. As suas aplicações têm crescido em todas as áreas, auxiliando os gestores na tomada de decisão em problemas complexos e possibilitando um melhor conhecimento dos processos nas organizações (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2001).

2.2 Classificações da simulação

Para Barrônio (2000), os modelos de simulação computacional podem ser da seguinte forma:

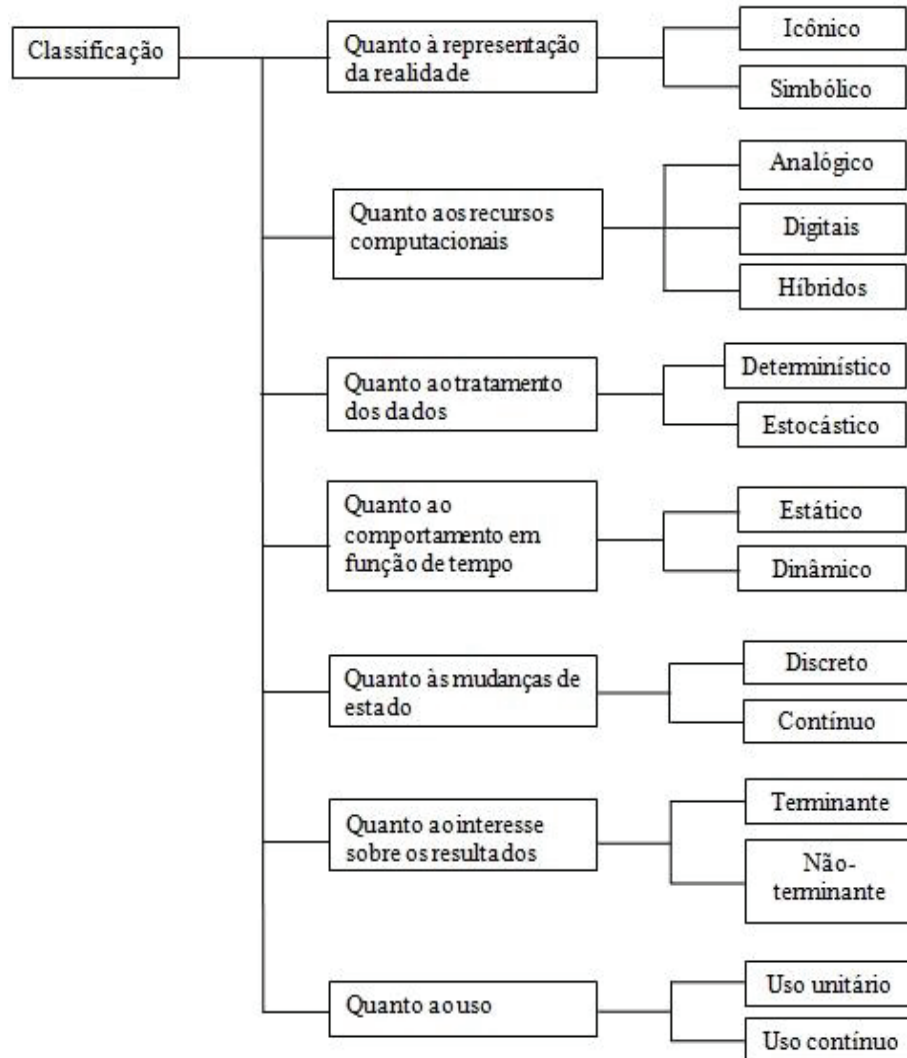
a) determinísticos ou estocásticos: os modelos determinísticos não apresentam variáveis aleatórias, ao passo que os estocásticos apresentam variáveis aleatórias;

b) estáticos ou dinâmicos: os modelos estáticos não consideram a variável tempo, já os dinâmicos demonstram as modificações no estado do sistema ao longo do tempo; e

c) discretos ou contínuos: nos modelos discretos a contagem de tempo ocorre em intervalos definidos, sendo que as variáveis só podem ser determinadas nos instantes de atualização da contagem de tempo. Nos modelos contínuos, a contagem do tempo é contínua, com isso as variáveis podem ser determinadas em qualquer instante de tempo.

Ainda Barrônio (2000), esquematiza na Figura 1 os principais modelos de simulação, com sua descrição:

Figura 1 - Classificação dos modelos de simulação.



Fonte: Barrônio, 2000.

a) Quanto à representação da realidade: os modelos icônicos são modelos concebidos geralmente para fins de treinamento. Neste caso, aparentemente representam situações reais. Como exemplo tem-se os simuladores de voo. Os modelos simbólicos são aqueles em que as características do sistema real são representadas matematicamente ou simbolicamente.

b) Quanto aos recursos computacionais: no modelo analógico as variáveis e os relacionamentos entre elementos dos sistemas são representados por entidades físicas, como exemplo tem-se o túnel de vento em que o modelo é instrumentado matematicamente ou

simbolicamente alimentados em um programa de simulação que avalia a resposta do modelo. O modelo digital é caracterizado pelo aumento considerável do dinamismo e precisão, como por exemplo, tem-se a simulação completamente digital do comportamento de um corpo no fluido sem a utilização de uma entidade física. Já no modelo híbrido é necessário combinar recursos, mesclando o modelo analógico com o modelo digital.

c) Quanto ao tratamento de dados: no modelo determinístico os dados são considerados sem variabilidade estatística associada ao modelo. Já nos modelos estocásticos os efeitos da aleatoriedade dos dados são considerados no desenvolvimento do modelo.

d) Quanto ao comportamento em relação ao tempo: os modelos estatísticos retornam uma resposta a um determinado conjunto de dados de entrada para um tempo específico não levando em considerações a continuidade da simulação. Nos modelos dinâmicos a simulação representa o desempenho do sistema ao longo do tempo, sendo possível acompanhar o comportamento do sistema em diferentes momentos.

e) Quanto às mudanças de estado: nos modelos discretos as mudanças do sistema ocorrem em intervalos definidos e específicos de tempo. Nos modelos contínuos o comportamento ininterrupto de mudanças de estado pode ser representado.

f) Quanto ao interesse sobre os resultados: modelos terminantes são aqueles em que o interesse recai sobre o comportamento dos sistemas em um tempo ou evento específico, ou após um período definido inicialmente. Nos modelos não determinantes o interesse está em analisar a condições continua de operação do modelo sem ater a eventos ou momentos especiais.

g) Quanto ao uso: o modelo de uso unitário é concebido para representar uma situação específica. Após a decisão se tomada, o modelo não tem mais utilidade. Nos modelos de uso contínuo, a concepção está voltada para testar e validar hipóteses sobre o sistema e seu funcionamento continuamente, podendo ser utilizado enquanto o sistema real continue a ser representado pelo modelo.

2.3 Modelo de Simulação

Para Carson (2004), um modelo é a representação de um sistema ou processo. Um modelo de simulação é a representação de um sistema ou processo que incorpora o tempo e as mudanças que ocorrem com o passar do tempo. Conforme Barton (2004), modelos de simulação possibilitam obter, de modo relativamente rápido e barato, estimativas do desempenho de configurações de um sistema e/ou alternativas de procedimentos operacionais.

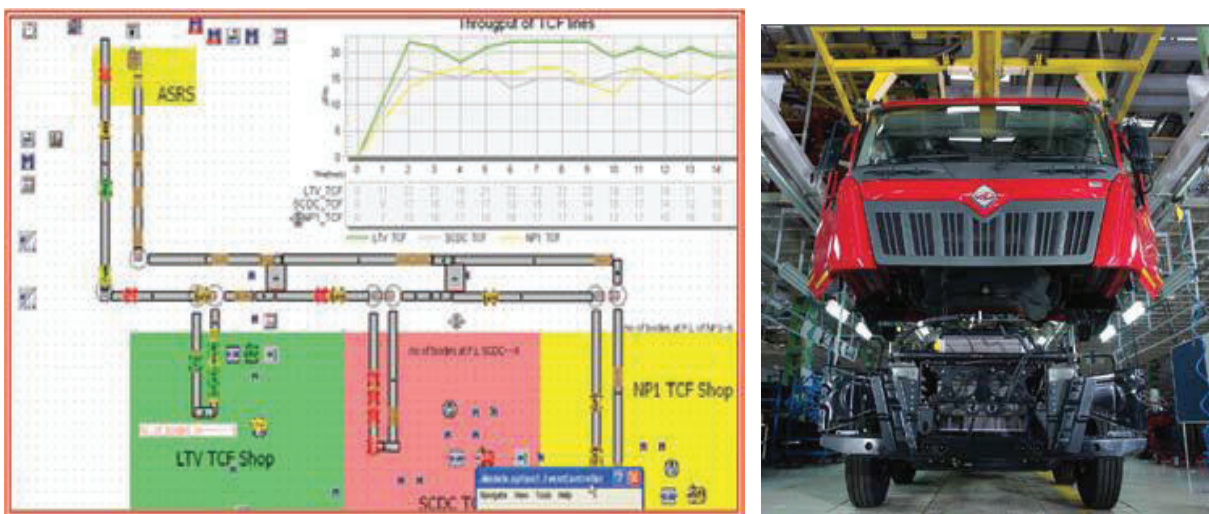
O modelo de simulação é utilizado para descrever o comportamento do sistema, que pode ou não existir e que é geralmente muito maior custoso e complexo que o modelo real. Este modelo geralmente utiliza diversos parâmetros sobre a operação do sistema e uma vez desenvolvido e validado, o modelo pode ser usado para investigar uma grande variedade de questões sobre o sistema, e ainda, quaisquer mudanças no sistema podem ser simuladas a fim de prever o impacto no seu desempenho (MIYAGI, 2004).

Conforme Leal (2003), a construção do modelo computacional é fortemente facilitada pelas informações obtidas com o mapeamento, como os *inputs* e *outputs* de cada atividade e a própria lógica do processo, representada no mapeamento através das conexões.

2.4 Aplicações da modelagem e simulação computacional

A simulação computacional permite que estudos sejam realizados sobre sistemas que não existem, levando ao desenvolvimento de projetos eficientes antes que qualquer mudança física tenha sido iniciada. Muitas empresas já utilizaram a simulação como ferramenta para auxiliar engenheiros nas decisões. A empresa *Mahindra Vehicle* fabricante de automóveis na Índia utiliza a simulação para minimizar o tempo de apresentação dos novos veículos para o mercado, atender a crescente demanda de veículos, diminuir o investimento de capital de máquinas e transportadores e reduzir os gargalos de produção. A Figura 2 mostra o modelo de simulação e ao lado o produto na linha montagem da empresa (SIEMENS, 2015).

Figura 2 – Modelo de simulação e produto em análise.



Fonte: Siemens, 2015.

O *Institute of Shipping Economics and Logistics (ISL)*, fundado em 1954, é um dos institutos líderes da Europa na área de pesquisa, consultoria e transferência de conhecimento marítimo. Dos escritórios em Bremen e Bremerhaven, Alemanha, as equipes interdisciplinares da organização assumem projetos de todo o mundo, como a otimização da logística de engenharia de energia eólica marítima. Com a simulação dos processos e logística a empresa obteve resultados nos custos de logística reduzidos em 10%, redução nos atrasos, capacidade de avaliar diferentes estratégias de cadeia de fornecimento e aumento na taxa de utilização de recursos, tais como guindastes, navios, portos, etc. A Figura 3 mostra parte da fabricação do produto (*SIEMENS*, 2015).

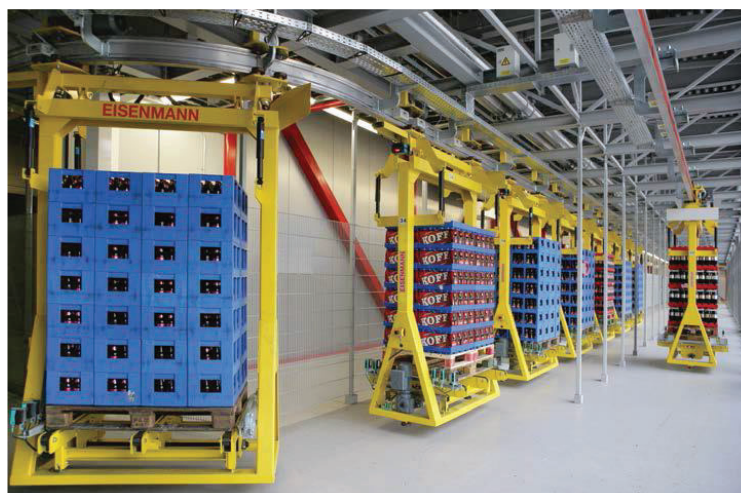
Figura 3 – Produto na linha de produção.



Fonte: *Siemens*, 2015.

A *Eisenmann*, fabricante de sistema de monotrilha eletrificada utiliza a simulação para testar uma instalação ou planta e verificar que suas funções correspondem às especificações. Com a utilização da ferramenta virtual o tempo de cada projeto foi encurtado, assim cada cliente do monotrilha pode visualizar o projeto antes mesmo de ser implantado. A Figura 4 mostra um exemplo de monotrilha aplicada a indústria de bebidas (*SIEMENS*, 2015).

Figura 4 – Aplicação do produto.



Fonte: *Siemens*, 2015.

Para Freitas (2008) é a identificação ou problema que leva à definição dos objetivos e do tipo de modelo e estudo de simulação que deve ser desenvolvido. O mesmo cita exemplos pertinentes à modelagem e simulação.

- a) Sistemas de produção: manufatura e montagem, movimentação de peças e matéria-prima, alocação de mão-de-obra, áreas de armazenagem e *layout*.
- b) Sistemas de transporte e estocagem: redes de distribuição e logística, armazéns e entrepostos, operações portuárias, transporte rodoviário e ferroviário, operações em aeroportos.
- c) Sistemas computacionais: redes de computadores, redes de comunicação, *web sites*, servidores de redes; arquitetura de computadores, sistemas operacionais, gerenciadores de base de dados.
- d) Sistemas administrativos: seguradoras, operadoras de crédito, financeiras.
- e) Sistemas de prestação de serviços diretos ao público: hospitais, bancos, centrais de atendimento (*Call centers*), restaurantes industriais e tipo *fastfood*, serviços de emergência (polícia e bombeiros), serviços de assistência jurídica.

A seguir serão apresentados alguns exemplos de trabalhos que utilizaram a ferramenta da simulação, os quais foram estudados para produção deste trabalho. Dentre eles, Andrew (2005) aplicou a simulação a fim de suportar a tomada de decisão em uma empresa de recipientes para gás, com o objetivo de ajudar a gerência a conhecer melhor as variáveis existentes no sistema de manufatura. Após aplicação da simulação, foi possível identificar alternativas para melhorar os resultados das variáveis dos processos.

Mello *et al.* (2006) construíram um modelo de simulação para avaliar os tempos de operação em um centro cirúrgico, a fim de analisar melhorias e tomar decisões para aumentar a capacidade no atendimento aos pacientes. Já Ferreira *et al.* (2007) realizaram um estudo com o objetivo de testar técnicas de melhoria em sistemas portuários. A simulação permitiu verificar a eficácia de cada técnica antes mesmo de ser implementada, aumentando a confiabilidade na tomada de decisão.

Hussein *et al.* (2009) aplicaram a simulação como ferramenta para tomada de decisão em um processo de produção em uma padaria, visando à eliminação dos desperdícios, especificando a capacidade dos equipamentos e identificando as restrições ou operações que limitam a capacidade de produção do sistema, definidas como gargalos, entre outros.

Dhouib, Ghardi e Landousi (2010) desenvolveram um estudo de caso cujo objetivo era propor um modelo de flexibilização em um sistema de produção por lotes, com alto mix de produtos e com alta incidência de falha nos equipamentos. Após aplicar técnicas que tornaram a produção contínua e utilizar a simulação para avaliar alternativas, o objetivo foi alcançado.

Filip (2012) desenvolveu um estudo de caso que utilizou a simulação como ferramenta de tomada de decisão a fim de identificar e aplicar melhoria no fluxo de produção em uma linha de montagem. Os objetivos do trabalho foram atingidos por meio da introdução e do dimensionamento dos *buffers*.

Para Castilho (2004), a utilização da simulação computacional vem aumentando sua abrangência dentro de diversas áreas de conhecimento, sendo uma delas, a manufatura que analisa o sistema de fabricação. Ainda segundo Castilho (2004), as principais possibilidades de análise são: identificação de gargalos de forma antecipada, análise da expansão ou modificação de sistemas já existentes, verificações relacionadas à mudança de *layout*, adição de novos produtos ou inserção de novos equipamentos, planejamento de produção, analisando os melhores fluxos produtivos e gestão de estoques de forma a buscar o melhor equacionamento entre a matéria-prima e sua produção.

Dois exemplos conhecidos são da empresa Michelin pneus e da construção do Boeing 777. A Michelin Pneus do Brasil, fábrica de pneus, que utilizou a simulação computacional para verificar se uma nova linha de resfriamento de pneus era necessária após a prensagem. A empresa construtora de aviões Boeing, utilizou a ferramenta de simulação para analisar a produção do Boeing 777. (BARRONIO, 2000).

Harrel *et al.* (2002), ainda apresentam exemplos de aplicações para ilustrar como a simulação pode ser aplicada nas questões de manufatura, serviços, saúde, logística, manutenção

e meio ambiente. Quanto aos sistemas de manufatura, os autores apresentam as seguintes questões:

a) Tempo: permite a verificação do desempenho da manufatura. Aplicações relacionadas com redução de tempo em que um elemento gasta no sistema sem agregar valor. (Exemplo: tempos de espera e tempo de movimentação);

b) Movimentação de materiais: simulação de equipamentos de transporte e movimentação de materiais;

c) Análise de *layout*: na análise de *layout* os recursos de animação serão bastante úteis, pois permitirão, pela maior interação com o usuário, que este veja literalmente quais as mudanças que poderão ser feitas de maneira a melhorar o desempenho da produção. Assim, poderá verificar quais as distâncias percorridas pelos operadores para cada uma das alternativas, mudar a posição das máquinas, aumentar ou diminuir os espaços das instalações, verificar quais as áreas de circulação necessárias, qual a movimentação das peças etc. Todas essas mudanças geram variação nos *outputs*, como no fluxo de peças, *Work in Process (WIP)* e taxa de ocupação dos equipamentos.

d) Planejamento de capacidade: análise de capacidade para atender as metas de produção, análise de comportamento nas variações de demanda, análise de gargalos de produção, análise de material em processo e *lead-time*;

e) Programação *job shop*: a simulação pode gerenciar prioridades conflitantes e a chegada de componentes em diferentes estações de trabalho;

f) Avaliação de investimentos e equipamentos: avaliações da inclusão em um modelo já existente de novas tecnologias, equipamentos ou processos;

g) Logística: armazenamento e distribuição, processamento de pedidos;

h) Manutenção: os modelos podem ser utilizados para avaliar o impacto das paradas e para desenvolver um regime de manutenção que minimize as perdas na capacidade operacional. Custos com a energia elétrica de cada máquina também podem ser visualizados nos *softwares* de simulação.

A correta avaliação sobre a aplicação da simulação é um ponto fundamental para o sucesso de um estudo com sua utilização, já que nem sempre esta é uma ferramenta adequada para a solução de determinado problema (BANKS; GIBSON, 1997). Uma das situações favoráveis à aplicação da simulação ocorre em circunstâncias onde um sistema deve ser projetado. Neste caso, estimar corretamente o desempenho deste sistema, ainda inexistente, aumenta as chances de sucesso do projeto. Para tanto, a simulação permite não apenas representar o sistema futuro e seu desempenho, mas também possibilita avaliar diferentes

condições de operação para este sistema e compreender o efeito de tais modificações. Neste caso, é possível comparar alternativas sob diversos aspectos sem comprometer recursos na aquisição de equipamentos, economizando ainda gastos com possíveis alterações e correções posteriores (LAW, 2007; BANKS,1998).

Quando projetadas para treinamento de pessoas, tornam-se um facilitador do aprendizado, permitindo transmitir rapidamente informações entre pessoas de diferentes contextos. Com este objetivo, esta ferramenta pode auxiliar no entendimento de certos fenômenos através da construção de cenários e análise detalhada das condições nas quais os fenômenos ocorrem. Ainda, pode expor as consequências de determinadas ações, permitindo o aprendizado sem interferir no funcionamento do sistema real (BANKS,1998).

Em contraposição aos aspectos citados, a simulação também apresenta algumas desvantagens, ou situações desfavoráveis a sua aplicação. O desenvolvimento de modelos de simulação exige qualificação específica pela a sua atividade, pois os resultados apresentados podem ser difícil interpretação. Ainda, tal desenvolvimento exige tempo e requer disponibilidade de dados. Em certos casos, a necessidade dos resultados rápidos inviabiliza o uso da simulação, e o custo associado a este desenvolvimento que em alguns casos, pode ser significativo (BANKS,1998; BANKS; GIBSON,1997).

2.5 Vantagens e desvantagens da simulação

Apesar de a simulação ser uma excelente ferramenta de análise, é preciso conhecer um pouco mais profundamente tanto as vantagens como as desvantagens de seu emprego. A lista a seguir é baseada nos textos de Pegden, Shannon e Sadowski (1990), Banks e Carson (1984), Piccolini (1998) e Freitas (2008) e apontam algumas delas.

2.5.1 Vantagens

São vantagens do uso da simulação:

Interromper uma linha de produção para que se façam modificações em seu arranjo físico com a intenção de realizar experimentos, causaria um custo elevado para a organização, o que representa um ponto a favor ao uso da simulação computacional

Uma vez criado, um modelo de simulação pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas;

A metodologia de análise utilizada pela simulação permite a avaliação de um sistema proposto, mesmo que os dados de entrada estejam ainda na forma de “esquemas” ou rascunhos;

A simulação é, geralmente, mais fácil de aplicar do que métodos analíticos;

Uma vez que os modelos de simulação podem ser quase tão detalhados quanto os sistemas reais, novas políticas e procedimentos operacionais, regras de decisões, fluxo de informações, dentre outros, podem ser avaliados sem que o sistema real seja perturbado;

Hipóteses sobre como ou por que certos fenômenos acontecem podem ser testadas para confirmação;

O tempo pode ser controlado, comprimido ou expandido, permitindo reproduzir os fenômenos de maneira lenta ou acelerada, para que se possa melhor estudá-los;

Podem-se compreender melhor quais variáveis são as mais importantes em relação ao desempenho e como as mesmas interagem entre si e com os outros elementos do sistema;

A identificação de “gargalos”, preocupação maior no gerenciamento de inúmeros sistemas, tais como fluxos de materiais, de informações e de produtos, pode ser obtida de forma facilitada, principalmente com a ajuda visual;

Novas situações sobre as quais se tenha pouco conhecimento e experiência podem ser tratadas de tal forma que se possa ter, teoricamente, alguma preparação diante de futuros eventos. A simulação é uma ferramenta especial para explorar questões do tipo: “O que aconteceria se?”

Conforme Bressan (2002) são vantagens do uso da simulação:

Sistema real com elementos estocásticos pode não ser descrito de forma precisa através de modelos matemáticos que possam ser calculados analiticamente;

Permite estimar o desempenho de sistemas existentes sob condições de operação projetadas, por exemplo, aumento da demanda de serviço;

Permite manter maior controle sob as condições dos experimentos o que muitas vezes não é possível com o sistema real;

Permite estudar o sistema durante um longo período de tempo simulado;

Gavira (2003), por sua vez, apresenta as vantagens da simulação citadas por diversos autores:

Modelos mais realistas: liberdade na construção do modelo;

Processo de modelagem evolutivo: modelo vai aumentando de complexidade aos poucos;

Perguntas do tipo “e se?": não busca diretamente a solução, mas torna mais claras as possíveis consequências de tomadas de decisões;

Facilidade de comunicação: mais fácil compreensão que os modelos matemáticos;
Soluções rápidas;

- Grande flexibilidade: aplica-se a variados problemas;
- Visão sistêmica: visualização através de animação;
- Exploração de possibilidades: experiências com o modelo construído;
- Diagnóstico de problemas: melhores entendimentos das interações entre as variáveis;
- Desenvolvimento de entendimento: ajudar a entender como o sistema opera;
- Construção de consenso: depois de validado tem melhor aceitação que a opinião de uma única pessoa;
- Preparação para mudanças e análise de investimentos prudentes;
- Treinamento de equipes.

2.5.2 Desvantagens

A construção de modelos requer treinamento especial. O aprendizado se dá ao longo do tempo, com aquisição de experiência. Dois modelos de um sistema construídos por dois indivíduos competentes terão similaridade, mas dificilmente serão iguais. Além disso, os resultados da simulação são, muitas vezes, de difícil interpretação. Uma vez que os modelos tentam capturar a variabilidade do sistema, é comum que existam dificuldades em determinar quando uma observação realizada durante uma execução se deve a alguma relação significativa no sistema ou a processos aleatórios construídos e embutidos no modelo (FREITAS, 2008).

Bressan (2002) apresenta as seguintes desvantagens do uso da simulação:

- ✓ Cada execução da simulação estocástica produz apenas estimativas dos parâmetros analisados;
- ✓ O modelo de simulação em geral é caro e consome muito tempo para desenvolver;
- ✓ Os resultados da simulação quando apresentados em grandes volumes de dados e com efeitos de animações e gráficos, podem levar a uma confiança nos resultados acima da justificada. Se o modelo não for uma representação válida do modelo em estudo, este não terá utilidade, mesmo que os resultados causem boa impressão.

Gavira (2003) também apresenta as desvantagens da simulação:

- ✓ Treinamento especial para a construção do modelo;
- ✓ Maiores dificuldades para interpretação dos resultados;
- ✓ Maior aplicação de recursos e tempo para a modelagem e análise da simulação;
- ✓ Uso indevido em problemas que possuem solução analítica factível;
- ✓ Dificuldade de modelagem;
- ✓ Necessidade de recursos computacionais adequados;
- ✓ Nível de detalhamento do modelo além do necessário;

- ✓ Grau de precisão requerido que satisfaçam os objetivos.

2.6 Evolução dos softwares de simulação computacional

A utilização de simulação computacional por muito tempo esteve restrita a um grupo pequeno de usuários, basicamente grandes empresas da área de transporte, mineração e siderurgia. Tal fato decorreu principalmente do elevado custo de *hardware*, do grande esforço de programação requerido e das limitações de memória para armazenamento de dados. O desenvolvimento de linguagens específicas e a acessibilidade e incremento na capacidade de processamento computacional vêm aumentar o leque de possibilidades de utilização desta metodologia (LOBÃO;PORTO, 1996).

A simulação computacional apresenta uma evolução que está diretamente relacionada com a tecnologia de suporte (*hardware e software*) disponível no momento de seu desenvolvimento. O Quadro 1 apresenta uma síntese da evolução dos sistemas de simulação de acordo com o desenvolvimento da tecnologia de suporte (LOBÃO; PORTO,1996).

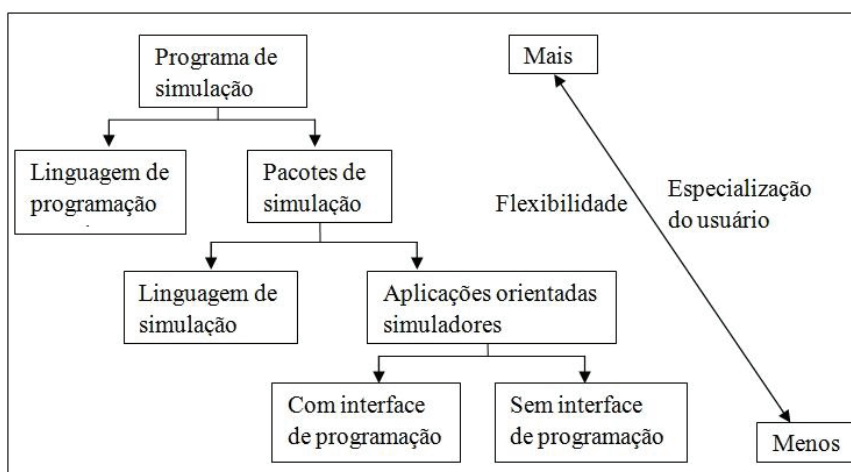
Quadro 1 - Evolução dos sistemas de simulação.

Classificação	Tecnologia disponível	Ferramentas
Tipo I até década de 60	Conhecimentos científicos, matemáticos, estatísticos e habilidades manuais.	Modelos matemáticos e físicos em escala reduzida.
Tipo II até década de 60 E 70	Computadores de grande porte. primeiros microcomputadores.	Linguagem genérica: Fortran, Pascal e C. Linguagens de simulação: GPSS, SLAM, SIMAN.
Tipo III até década de 80	Microcomputadores	Pacotes de simulação: Witness, Arena, Promodel.
Tipo IV até década de 90	Estações de trabalho de alto desempenho e grande capacidade de memória.	Simuladores de interface gráfica, interativos e inteligentes.

Fonte: Lobão e Porto, 1996.

A escolha de um programa de simulação, entre os *softwares* de linguagem genérica, linguagem de simulação ou de pacotes comerciais, está diretamente relacionada com o *trade-off* entre flexibilidade e especialização do usuário. Rodrigues (1994), apresenta este *trade-off* segundo as diversas categorias de pacotes passíveis de utilização para fins de modelagem computacional de um sistema, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - *Trade-off* entre flexibilidade de modelagem e especialização do usuário na ferramenta.



Fonte: Rodrigues, 1994.

Observa-se nas últimas décadas um avanço nos chamados ambientes de simulação. As tradicionais linguagens de simulação exigiam muita experiência e dedicação do usuário, esses novos ambientes são amigáveis, consistentes em termos estatísticos e possuem interfaces gráficas que permitem visualizações das simulações (RODRIGUES 1994).

A simulação virtual permite que os usuários executem diversos cenários e hipóteses que tornarão suas tomadas de decisão mais assertivas, como, por exemplo, auxiliar nas decisões de *Make-Or-Buy* (Fazer ou Comprar), aquisição de novos equipamentos, expansão de plantas produtivas, dentre outras, sem afetar os processos existentes e até mesmo validar conceitos novos e inovadores (RODRIGUES 1994).

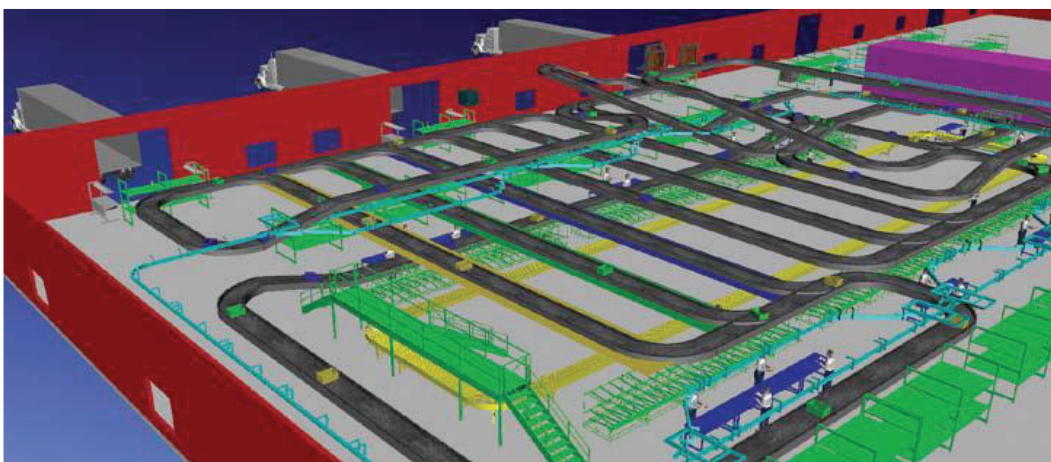
Os benefícios que o software apresenta são: aumento da produtividade de instalações de produção, redução do investimento no planejamento de novas instalações de produção, corte no tempo de inventário, melhorias na utilização de espaço em planta produtiva, redução dos riscos de investimento por meio de demonstração de conceito antecipada e visão ampliada do processo de tomadas de decisão mais assertivas (RODRIGUES 1994).

O *software* empregado neste trabalho foi o *Plant Simulation* da empresa *Siemens*, o qual permite a simulação e a otimização de sistemas, sejam eles, de fabricação, logísticos e armazenagem, como, por exemplo, fluxo de materiais em uma planta produtiva, transporte de matéria-prima entre centros de distribuição, dimensionamento de estoques, dimensionamento de mão-de-obra, layouts e sequenciamento da produção (SIEMENS, 2015).

O *plant simulation* contribui para detectar e eliminar os problemas nos sistemas de produção que, caso contrário, precisariam de medidas de correção demoradas e onerosas durante a produção. Contribui também para minimizar os custos de investimento de linhas de

produção sem prejudicar a saída requerida, otimizar o desempenho de sistemas de produção existentes ao tomar medidas que foram verificadas em um ambiente de simulação anterior à implementação. A Figura 6 mostra um centro de distribuição sendo simulado (SIEMENS, 2015).

Figura 6 – Exemplo de manufatura digital aplicada em um centro de distribuição.



Fonte: Siemens, 2013.

2.7 O projeto da simulação

Conforme Silva (2005), simulação é mais que o uso de um *software*. A simulação é um projeto, e deve ser planejado com conhecimento das etapas e suas necessidades, com conhecimento do sistema, comunicando-se com os clientes e pessoas envolvidas durante o processo.

A maioria de nós acharia inconcebível construir uma casa sem uma planta ou escrever um livro sem um rascunho. Ao começar um estudo de simulação de qualquer importância, deve-se ter a compreensão que construir a estrutura do modelo no computador é apenas uma parte do esforço de proporcionar uma ferramenta útil para a tomada de decisão, e que o cumprimento de cada passo de uma metodologia nos trabalhos de simulação busca sistematizar o seu desenvolvimento, otimizando a integração entre *software*, modelador e usuário, evitando o desperdício de tempo, dinheiro e resultados frustrantes (SILVA, 2005).

A maioria dos projetos de simulações mal sucedidos tem a deficiência de planejamento como sua principal causa. Por isso, é necessário ao profissional ou engenheiro não só o conhecimento de um *software* específico, mas também, o conhecimento dos passos a serem seguidos, bem como experiência analítica, estatística, organizacional e de engenharia (SILVA, 2005).

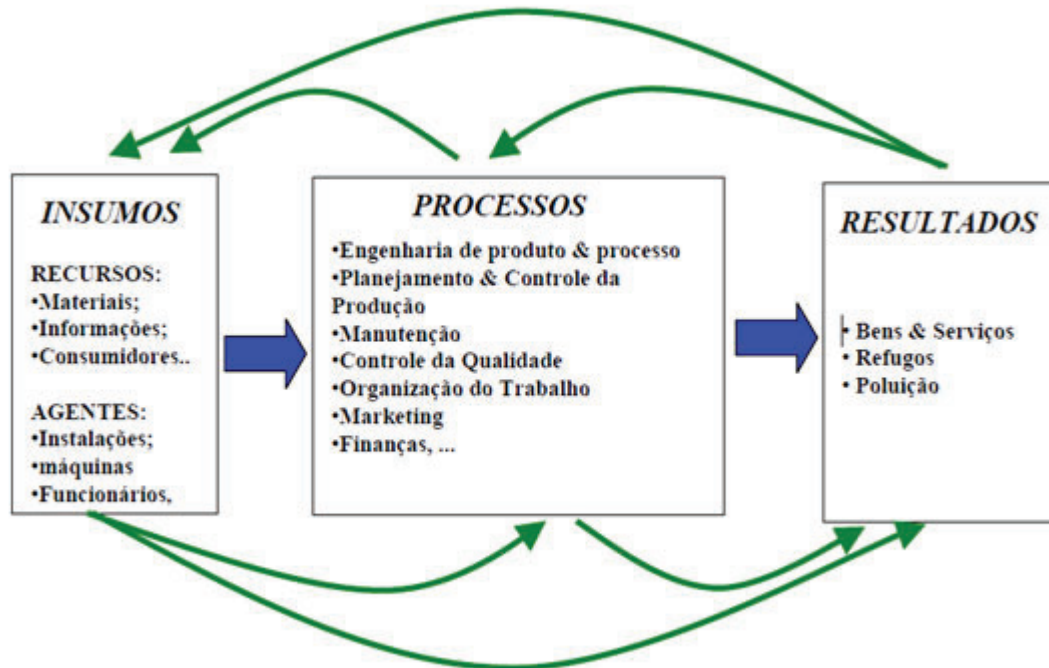
Bressan (2002) apresenta como seguintes às causas de insucesso no desenvolvimento de um projeto de simulação:

- Falha na obtenção de um conjunto bem definido de objetivos no início do estudo da simulação;
- Nível inadequado de detalhes: o pouco detalhamento ou o muito detalhamento;
- Falha de comunicação com a gerência do sistema a ser simulado durante o estudo da simulação;
- Interpretações equivocadas por parte da equipe da simulação da operação do sistema a ser simulado;
- Falha de compreensão da simulação por parte da gerência;
- Tratar a simulação de forma amadora, como um exercício de curso;
- Falha em formar uma equipe com conhecimentos de metodologias e técnicas de simulação;
- Falha na obtenção de dados representativos do comportamento do sistema;
- *Software* de simulação inadequado;
- *Software* de simulação muito complexo e com documentação inadequada;
- Crença de que *software* de simulação sofisticado e com recursos amigáveis, prescindem de conhecimentos técnicos da teoria de simulação;
- Uso inadequado de animação.

2.8 Sistema de produção

Rosa (2002) ressalta que um sistema é definido por conter um processo específico de funcionamento a partir de determinados insumos (*inputs*) de tal forma a atender determinados resultados (*outputs*), sendo organizado previamente para atender esses resultados. Porém, esta organização prévia não é garantia que os resultados sejam atingidos conforme planejado, necessitando o sistema ter um monitoramento ao longo de seu desenvolvimento até a etapa final para verificar as discrepâncias entre o resultado real e o planejado. Este monitoramento propiciaria constante retroalimentação (*feedback*) de forma a orientar as correções de eventuais desvios no funcionamento do sistema. A Figura 7 sintetiza um sistema industrial.

Figura 7 - Sistema industrial.



Fonte: Adaptado de Rosa, 2002.

Palomino (2001) apresenta sistemas de produção como processos planejados pelos quais elementos são transformados em produtos úteis. Segundo Russomano (*apud* Tagliari, 2002), um sistema de produção pode ser definido como a configuração de recursos combinados, para a provisão de bens e/ou serviços. A explicitação dos itens físicos que compõem esses recursos combinados produz o que se denomina sistemas físicos, cujas principais categorias de recursos são as matérias-primas, os equipamentos, a mão-de-obra e os produtos associados ao sistema de produção.

Stoner (1995) ressalta que o sistema de produção atua dentro do quadro mais amplo da estratégia organizacional, devendo o plano estratégico da organização ser utilizado como diretriz coerente para as políticas produtivas, especificando metas e objetivos que possam ser atingidos. Desta forma, o sistema de produção deve ser projetado de modo compatível com as estratégias da organização e reciprocamente, suas capacidades devem ser consideradas na formulação da estratégia organizacional.

Inúmeros fatores podem influenciar a configuração de um sistema de produção, podendo surgir assim várias classificações. Johnson e Montgomery (1974) fazem uma classificação dos sistemas de produção em função do fluxo de materiais como sendo sistema de produção contínua, sistema de produção intermitente, sistema de projeto e sistema puro de inventário. O sistema de produção contínua envolve tipicamente a produção de umas poucas

famílias de produtos com relacionamento próximo, em grandes volumes de produção, com arranjo físico de acordo com a rotina (sequência de produção) do produto. No sistema de produção intermitente um grande número de produtos precisa ser fabricado ocorrendo então frequentes mudanças (*Setup*) nos centros de produção que terão arranjos (*flow shop ou job shop*) de acordo com a coincidência ou não da rotina (sequência de produção) dos produtos. Problemas de planejamento e controle de produção são mais complexos no sistema produção intermitente do que no sistema de produção contínua. No sistema de projeto a produção é feita para atender um projeto específico que não é produzido com frequência e em alguns casos é produzida uma única vez. O sistema de puro inventário é um caso especial onde há gerenciamento de compra e estoque de material, mas não há produção. Uma loja de varejo que compra produtos para vendas intermediárias é um sistema puro de inventário.

Zacarelli (1979) faz classificação semelhante à realizada por Johnson e Montgomery (1974), porém, fazendo subdivisões para os sistemas de produção contínuo e intermitente. O autor classifica as indústrias em duas classes: indústria do tipo contínuo e indústria do tipo intermitente. Indústrias do tipo contínuo: onde os equipamentos executam as mesmas operações de maneira contínua e o material se move com pequenas interrupções entre eles até chegar ao produto acabado. Pode se subdividir em: a) contínuo puro: uma só linha de produção, os produtos finais são exatamente iguais e toda a matéria-prima é processada da mesma forma e na mesma sequência; b) contínuo com montagem ou desmontagem: várias linhas de produção contínua que convergem nos locais de montagem ou desmontagem; e c) contínuo com diferenciação final: características de fluxo igual a um ou outro dos subtipos anteriores, mas o produto final pode apresentar variações. Indústrias do tipo intermitente: diversidades de produtos fabricados e tamanho reduzido do lote de fabricação determinam que os equipamentos apresentem variações frequentes no trabalho. Subdividem-se em: a) fabricação por encomenda de produtos diferentes: produto de acordo com as especificações do cliente e a fabricação se inicia após a venda do produto; e b) fabricação repetitiva dos mesmos lotes de produtos: produtos padronizados pelo fabricante, repetitividade dos lotes de fabricação, podendo ter as mesmas características de fluxo existente na fabricação sob encomenda.

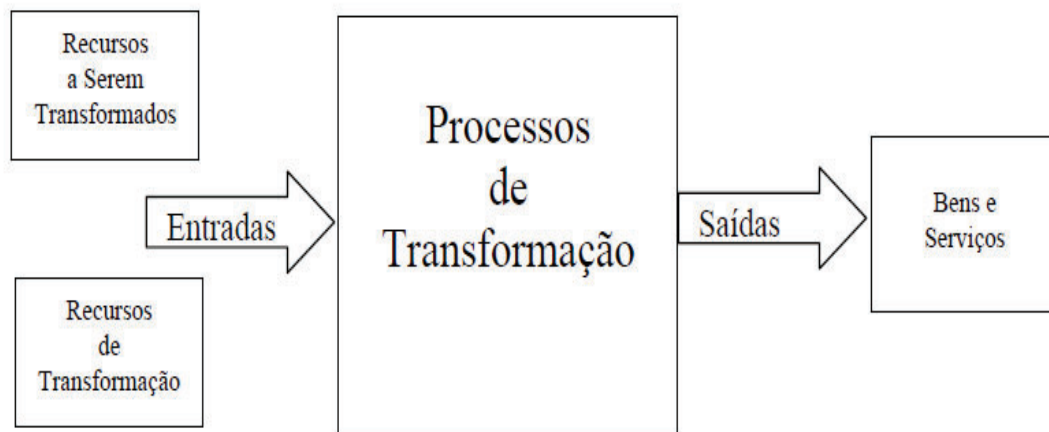
Diferente dos dois autores anteriores, Palomino (2001), classifica os sistemas de produção pelo tipo de produto final, como sendo: sistemas discretos e contínuos. Quando os produtos finais são compostos de partes discretas, isto é, podem ser quantificados numa forma discreta por um número real, tais sistemas são conhecidos como sistemas de produção discreta. Como exemplos deste tipo de sistemas pode-se citar a produção de eletrodomésticos, automóveis, máquinas, ferramentas, livros etc. Por outro lado, quando o produto final não pode

ser identificado individualmente, isto é, quando ele é contado em parcelas fracionárias, como litros, toneladas, metros etc., como é o caso das indústrias de processos em geral (líquidos, laminados, refinarias etc.), estes tipos de sistemas são conhecidos como sistemas de produção contínua.

Sousa (2003) apresenta duas classificações para o sistema de produção. A classificação por tipo de produto e a classificação por tipo de processo. A classificação por tipo de produto é apresentada como: a) contínua: no qual o fluxo contínuo de produção agrega valor ao produto através de misturas, separação, destilação e reação química; b) seriada discreta: fluxo de produção com unidades discretas, executadas e planejadas de maneira a obedecer a um sequenciamento ou taxas de produção; e c) sob encomenda: produção na qual cada unidade ou pequenas quantidades de unidades é gerenciada por uma equipe de produção (e projeto) específica para esse propósito. A classificação por tipo de processo é apresentada como: a) *job shop*: neste tipo de produção, o processo produtivo é caracterizado por máquinas que não possuem uma ordem definida; b) *flow shop*: neste tipo de produção, o processo produtivo é caracterizado por máquinas seguindo uma ordem definida; e c) linha de produção: neste tipo de produção, o processo produtivo é caracterizado por máquinas que possuem uma ordem definida com a particularidade de todas as peças ‘visitarem’ todas as máquinas.

Considerando o modelo apresentado por Slack *et al.* (2002) como base para a análise de um sistema de produção, Perales (2006) estabeleceu relações entre os elementos do sistema de produção e os critérios das diversas classificações. A Figura 8 apresenta o modelo apresentado por Slack *et al.* (2002).

Figura 8 - Modelo de Sistema de Produção



Fonte: Adaptado Slack *et al.* (2002).

Foram apresentados alguns modos de se definir e classificar os sistemas de produção. A classificação quanto ao tipo de produto está relacionada à natureza intrínseca do material a ser transformado e a dinâmica do fluxo nesta transformação. Já a classificação quanto ao tipo de processo está relacionada com a forma como os recursos produtivos estão organizados para a realização da transformação do produto. Para os objetivos deste trabalho, estenderemos este estudo para a classificação quanto ao tipo de produto e especificamente para o sistema de produção discreta, considerada como veremos a seguir, a forma do sistema de manufatura (SLACK, 2002).

2.9 Sistemas de Manufatura

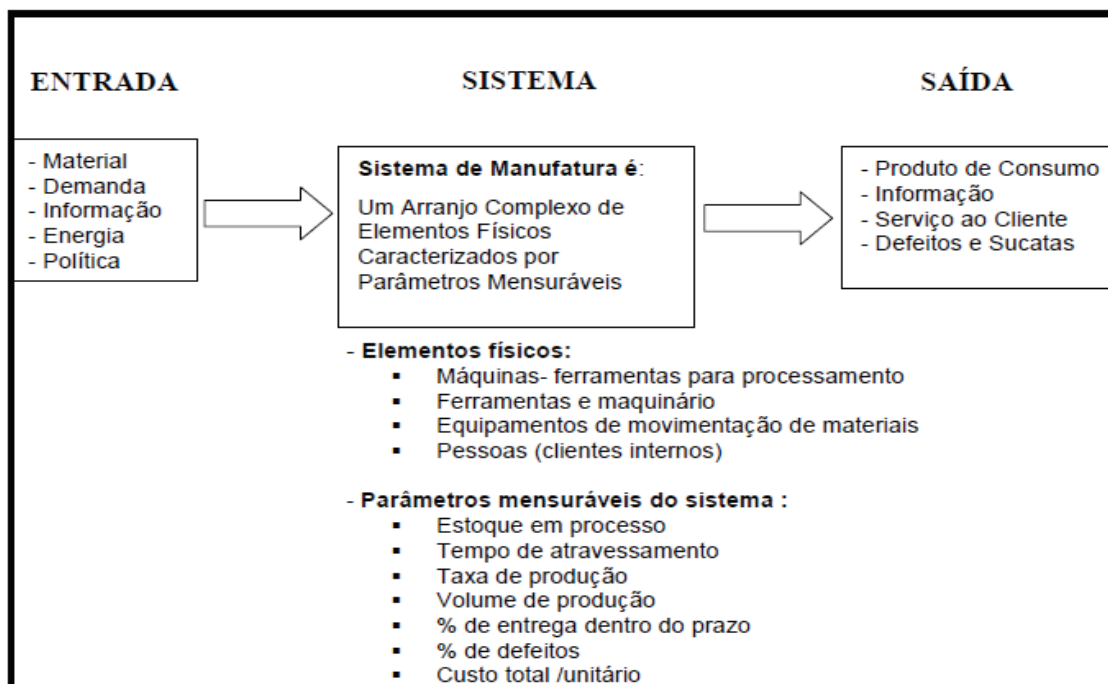
DICESARE (apud Palomino, 2001) considera os sistemas de manufatura como sendo um sistema de produção discreta, e composto de:

- ✓ Sistema Físico, que é o conjunto de recursos que opera sobre a matéria prima e/ou sobre o trabalho em processo, como máquinas, células, sistemas de transporte transportadores, trabalhadores, dispositivos de armazenagem, estações de carga/descarga, estações de controle de qualidade etc.
- ✓ Leiaute de Manufatura, que representa a forma como os recursos físicos são distribuídos no chão da fábrica e a conexão de um com o outro.
- ✓ Sistema de Gerenciamento, conhecido também como sistema de controle ou sistema de tomada de decisão.

Moreira (1993) define sistema de manufatura como sendo um conjunto de atividades e operações necessárias para a produção de produtos envolvendo os seguintes elementos: insumos, o processo de transformação e os produtos fabricados.

Black (1998), define sistema de manufatura como um arranjo complexo de elementos físicos caracterizados por parâmetros mensuráveis. Dentre os elementos físicos importantes na manufatura destacam-se: pessoas, processos, equipamentos, estoque e manuseio de materiais. Dentre os parâmetros mensuráveis destacam-se: taxa de produção, estoque em processo, custo total ou unitário, entre outros. A Figura 9 representa a definição de um sistema de manufatura (ou sistema de produção discreta).

Figura 9 - Sistema de manufatura (ou sistema de produção discreta).



Fonte: Black, 1998.

O sistema de manufatura (ou sistema de produção discreta) tem por objetivo produzir um conjunto de tipos diferentes de produtos, os quais precisam seguir uma determinada sequência de operações (roteiro de produção), sendo que cada operação pode ser realizada por uma ou mais máquinas. O grande número de produtos a serem fabricadas de forma simultânea e concorrente, as complexidades de cada produto, sua diversificação, a variação nas quantidades a serem fabricadas, variações nas demandas, e a introdução de novos produtos, fazem dos sistemas de manufaturas um sistema complexo, sendo que esta complexidade inerente será tanto maior quanto mais complexos forem os produtos a serem fabricados, quanto mais complexa for a estrutura de produção vinculada a esses produtos e quanto mais limitadas forem as liberdades de custos e prazos para a realização da manufatura (BLACK 1998).

Constante transformação vem ocorrendo nos sistemas produtivos ao longo dos tempos. Souza (2002) destaca em seu trabalho a evolução cronológica dos sistemas de manufatura, primeiro com enfoque na manufatura americana considerando três estágios ou eras e em seguida tratando da evolução tecnológica do final deste século e virada do milênio, quando surgiram novas propostas de sistemas de manufatura, como:

- Era da Produção Artesanal – até 1850.
- Era da Produção em Massa – de 1850 a 1975.
- Era da Produção Flexível ou Enxuta – após 1975.

- *Lean Manufacturing* – Sistema de Manufatura Enxuta ou Produção Enxuta.
- *Agile Manufacturing* – Sistema de Manufatura Ágil.
- *Holonic Manufacturing Systems* – Sistema de Manufatura Holônica.

As mudanças sempre visaram buscar uma maior eficiência dos sistemas de manufatura que possibilitasse as organizações a conquistarem o mercado consumidor oferecendo produtos variados, com qualidade, custos baixos e em curto espaço de tempo.

Slack *et al.* (2002) definem 5 (cinco) objetivos de desempenho básico aplicado a todas operações produtivas, considerando como estratégico tomar providências no sentido de atingir este objetivo com a finalidade de buscar vantagens competitivas. O Quadro 2 apresenta um resumo dos objetivos de desempenho da produção proposta por Slack *et al.* (2002).

Quadro 2 - Objetivos de desempenho da produção.

Objetivos de desempenho da produção	Providencias	Vantagens competitivas	Requisitos
Objetivo qualidade	“Fazer certas as Coisas”	Qualidade	Adequação ao uso
Objetivo rapidez	“Fazer as coisas com rapidez”	Velocidade	<i>Lead Time</i> Reduzido
Objetivo confiabilidade	“Fazer as coisas em tempo”	Confiabilidade	Cumprir prazos
Objetivo flexibilidade	“Preparado para mudar o que faz”	Flexibilidade	Capacidade de mudar operações
Objetivo Custo	“Fazer as coisas o mais barato possível”	Custos	Melhores preços

Fonte: Adaptado de Slack *et al.* (2002)

De acordo com Antunes Júnior *et al.* (2008), um sistema pode ser compreendido como um grupo de componentes inter-relacionados que trabalham juntos em prol da obtenção de uma meta comum. Para isso, recebe as entradas do sistema (insumos) e transforma-as, através de processos organizados, em resultados (saídas do sistema). Ainda, sistemas de produção podem ser definidos como um conjunto de pessoas, equipamentos e procedimentos organizados para realizar operações de produção de uma empresa e/ou organização (GROOVER, 2011). Os sistemas de produção devem ser projetados e geridos para satisfazer as necessidades observadas no mercado.

De outro ponto de vista, um sistema de produção pode ser definido como um sistema sociotécnico que realiza sua produção de forma eficiente (SUSMAN; CHASE, 1986). Nesse contexto, um sistema de produção é composto de dois fatores principais: o fator tecnológico e o fator humano. Um sistema de produção ideal funciona somente se os dois fatores puderem atender suas demandas e as exigências do ambiente no qual está inserido (PASMORE *et al.*, 1982). Enquanto o primeiro fator é a chave para a utilização da tecnologia de produção, o fator

humano é fundamental para a formação de habilidade e organização dos trabalhadores (STEVENS, 2008). As características de um sistema de produção são determinadas pela maneira como uma empresa combina o fator tecnológico com o humano no âmbito específico das circunstâncias competitivas, em cena.

Para Womack, Jones e Roos (2004), as incessantes pesquisas de Henry Ford visavam a um projeto perfeito, o que levou ao desenvolvimento do modelo T, seu vigésimo projeto. Nesse, Ford conseguiu projetar um carro especialmente para facilitar a manufatura. A linha de montagem não foi a base para a produção em massa, mas, sim, a função de intercambialidade das peças e o ajuste fácil entre elas. Para alcançar esta função, Henry Ford buscou padronizar o sistema de medição nas peças utilizadas ao longo de seu sistema produtivo. Com isso, desenvolveu projetos inovadores, reduzindo o número de peças necessárias tornando-as ajustáveis umas às outras (VIERO, 2013).

Em meados dos anos cinquenta, a indústria automotiva sofreu uma de suas principais mudanças. Essas mudanças foram provocadas pela ascensão do Japão no cenário mundial, trazendo com ele seu modelo de produção enxuta (WOMAK; JONES; ROOS, 2004).

Shigeo Shingo, (1996) propôs que a evolução dos sistemas de produção fosse considerada a partir de cinco revoluções industriais.

- Primeira revolução: o progresso através da divisão do trabalho;
- Segunda revolução: aumento das funções das mãos (mecanização e motorização);
- Terceira revolução: ciência do trabalho;
- Quarta revolução: respondendo às necessidades humanas, e
- Quinta revolução: desenvolvimento da era da produção com estoque zero.

Após a quinta revolução citada por Shingo (1996), ao final da década de 70, surge uma nova revolução industrial, iniciada a partir da evolução microeletrônica. Essa nova etapa da produção proporcionou às empresas a utilização e a implementação da automação, através de sistemas controladores, CNCs (Controle Numérico Computadorizado) e robôs em seus processos e meios e fabricação (BRYNJOLFSSON; MCAFFE, 2014).

Em meados dos anos noventa, a relação entre as empresas montadoras de automóveis e os fornecedores de componentes foi a base para experimentos em um novo modelo de produção, o intitulado sistema modular (ABREU; BEYNON; RAMALHO, 2000). O sistema modular baseia-se nos fornecedores de módulos, e as principais partes finais da operação de montagem ou subsistemas são montadas na própria planta da montadora ou muito próximo a ela, embora o trabalho de montagem final seja feito pelos funcionários da montadora. Altos níveis de

terceirização e parceria são comuns nesse sistema (ROGERS; BOTTACI, 1997; GOMES, 2000). Uma organização que se assemelha a esta descrição é a fábrica da General Motors em Gravataí, no estado do Rio Grande do Sul, que é cercada pela grande maioria de seus fornecedores, chamados de “sistemistas” (GOMES, 2000).

Produção modular é o nome da capacidade de desenvolvimento para projetar e fabricar peças que podem ser combinadas no número máximo de meios. O conceito de produção modular tem um impacto em cinco dimensões: (i) inovação acelerada (tecnologia); (ii) o aumento da terceirização, juntamente com a desintegração vertical (cadeias de abastecimento); (iii) fronteiras permeáveis de funções e integração do sistema; (iv) a customização em massa (de mercado); e (v) modularidade em serviços (STARR, 1965).

2.10 Layout

A implantação e as alterações de *layout* podem implicar em elevado custo para as empresas. Etapas de estruturação e aprimoramento de *layouts* produtivos podem ser favorecidas pela utilização de simulação computacional. A simulação pode auxiliar em decisões sobre investimentos em *layout* fabril, através da análise do comportamento de diferentes alternativas de *layout* antes da implantação prática, evitando erros e custos desnecessários (ABDUELA; WAGNER, 2004; LEMOS; ANZANELLO; FOGLIATTO, 2006; MOREIRA, 2006).

Layout é a disposição física de equipamentos que leva em consideração as dimensões dos equipamentos e os espaços necessários para sua operação e manutenção, bem como espaços reservados para corredores utilizados no abastecimento de matérias primas e escoamento dos produtos processados. Além das necessidades de movimentação de produtos, deve ser previsto o acesso a planta e serviços de apoio para a produção e para os colaboradores que operam a fábrica (TOMPKINS, 2003).

Objetivando a definição de um *layout* fabril, Groover (2000) aponta como parâmetro importante a quantidade anual produzida de cada produto definidos para a planta. O autor sugere a classificação dos volumes de produção podendo haver variações arbitrárias: a) baixa produção, de 1 a 100 unidades anuais: estes layouts apresentam grande variedade de produtos, b) média produção, de 100 a 10.000 unidades anuais e c) alta produção, acima de 10.000: estes layouts apresentam pequena ou nenhuma variação de produtos.

Ainda conforme Groover (2000) existe uma correlação inversa entre o volume de produção e a variação de produtos, sendo quanto menor o volume de produção maior será a

variação dos produtos e quanto maior o volume de produção menor será a variação dos produtos, tornando o *layout* especializado em determinados produtos.

Baseado na programação e volumes de produção, combinação de produtos (suas variações) e processos, Francis (1974) define como principais objetivos para o estudo de otimização de *layout* de uma planta, os seguintes pontos: a) minimizar investimentos em equipamentos, b) minimizar o tempo total de produção, c) melhorar o aproveitamento de espaço, d) melhorar a segurança e conforto dos colaboradores, e) manter a flexibilidade do arranjo dos equipamentos e operações, f) minimizar o custo de manuseio de materiais, g) minimizar a variação de tipos de equipamentos de manuseio de materiais, h) otimizar o processo de manufatura e i) otimizar a estrutura organizacional.

Tompkins (2003) aponta os objetivos de estudo de *layout* abrangendo a interface com o cliente e interação da cadeia de fornecedores como: a) promover a satisfação dos clientes através da facilidade de negociação e atendendo as suas necessidades, b) maximizar o retorno sobre investimentos em equipamentos maximizando aproveitamento, minimizando obsolescência, maximizando participação dos colaboradores e maximizando melhorias contínuas, c) maximizar a velocidade para responder rapidamente ao cliente, d) reduzir custos e aumentar a lucratividade da cadeia produtiva, e) integrar a cadeia produtiva através de parcerias e comunicação, f) tender a missão da organização através do manuseio, controle e armazenamento de materiais, g) utilização efetiva de pessoas, equipamentos, espaço e energia, maximizar o retorno sobre investimento, h) ser adaptável e facilitar manutenção, i) promover a segurança e satisfação dos colaboradores.

A definição de *layout* leva em consideração os produtos a serem produzidos, o processo de produção e os volumes programados de produção (FRANCIS, 1974, GROOVER, 2000, TOMPKINS, 2003). Estas considerações fazem com que os objetivos do *layout* se alterem de acordo com:

✓ Produto: o *layout* desenhado para atender o produto leva em consideração os equipamentos e elementos necessários para atender a produção dos produtos especificados. Este tipo de *layout* é aplicado a produtos com grande volume de produção e a planta é dedicada a este produto permitindo pequenas ou nenhuma alteração no processo produtivo;

✓ Processo: o *layout* desenhado para atender o processo leva em consideração a estrutura necessária para produzir uma gama de produtos que permitem ser processados pelos recursos disponibilizados nos processos. Este tipo de *layout* atende a uma variedade moderada de produtos e pode ser utilizado com quantidades anuais pequenas, médias ou altas.

O volume e a frequência de entregas influenciam a definição do *layout* determinando quanto e quando cada produto será produzido na planta. As informações de volume de produção são baseadas nos relatórios de marketing e em combinações provenientes de cálculos de previsão de demanda (TOMPKINS, 2003). A quantidade e a frequência de produção determinam também a classificação do *layout* em *jobshop*, produção em lotes, manufatura celular, linha de produção com fluxo contínuo ou produção em massa (GROOVER, 2000).

2.10.1 Classificação de *Layout*

A aplicação da planta classifica o *layout* em prestação de serviços, industriais e armazéns (HERAGU, 1997). No desenvolvimento e definição do *layout*, Francis (1974) divide a classificação em *layouts* para novas instalações, rearranjos de instalações e ampliações de instalações. A ocupação de espaço classifica o *layout* em unidimensional ou multidimensional, em espaço discreto ou espaço contínuo, e ainda limitado ou ilimitado. As medidas de distância dos recursos influenciam na determinação do *layout* e podem ser retilínea e euclidiana. Com relação aos objetivos, o autor classifica em qualitativo e quantitativo. Os objetivos qualitativos tratam de parâmetros que não podem ser quantificados, ao passo que dos objetivos quantitativos estão em minimizar o custo total, minimizar o maior custo, minimizar o tempo de espera, minimizar o tempo total de lotes, entre outros.

Considerando o fluxo de produtos na planta, Askin (1993), Gopalakrishnan (2003), Groover (2000) e Tompkins (2003) classificam *layout* do seguinte modo:

✓ Posição Fixa: Utilizado em processos de manufatura em que o produto é muito grande para transitar entre as diversas etapas do processo ou postos de transformação (recursos) para ser processado. Normalmente em processos como o de construção civil, fabricação de aeronaves e navios, os materiais, equipamentos e trabalhadores são deslocados até os produtos para proceder às operações necessárias para conclusão de cada etapa do processo.

✓ *Layout* orientado ao produto ou *flow-shop*: Sistemas de produção que utilizam o posicionamento orientado ao produto possuem a característica de produzirem produtos com pequenas variações, porém que apresentam o mesmo processo produtivo ou pelo menos parecido. Esta característica afeta a variedade de produtos que a planta pode produzir. Neste sistema os produtos visitam os postos de trabalho que normalmente são arranjados em linha de produção contínua.

✓ *Layout* orientado ao processo ou *job-shop*: Enquanto a orientação ao produto limita a variedade de produtos, o posicionamento orientado ao processo promove maior

variedade de produtos que possam ser produzidos na planta. Na orientação ao produto, o projeto da planta fabril deve promover a maior flexibilidade possível. Diversos casos seguem a tendência de agrupar os recursos por similaridade fazendo com que os lotes visitem diversos setores para serem processados, podendo ser utilizado um único recurso do setor visitado. Devido ao fato da grande variedade de roteiros que os produtos apresentam nesta estrutura, existe o desafio de tornar o sistema produtivo diminuindo o tempo de transporte entre os setores e o tempo de espera em filas para o processamento no recurso programado. Nestes sistemas é comum existirem altas quantidades de produtos em processo, aumentando o tempo total de produção dos lotes. Os lotes são divisões das quantidades programadas para serem produzidas com prazos definidos que normalmente espelham pedidos de clientes.

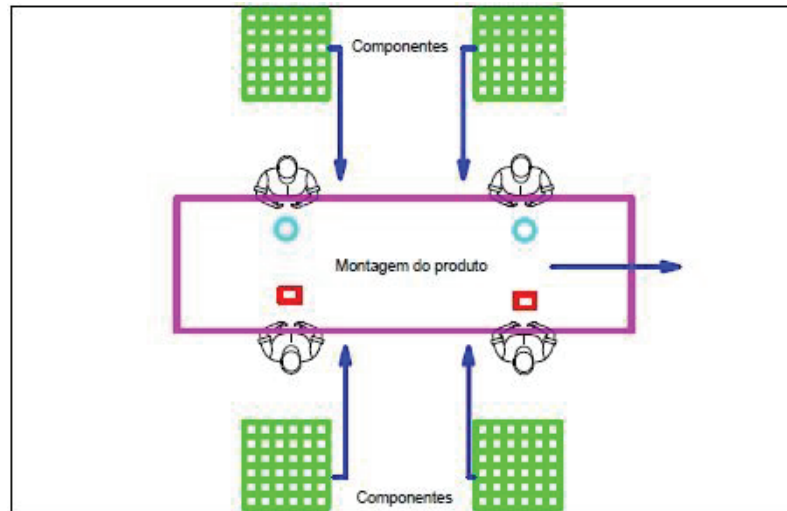
✓ *Layout* orientado para agrupamento tecnológico ou células: em um ambiente de produção de diversos produtos diferentes, existe a tendência de se criar células para atender ao posicionamento orientado ao processo e assim reunindo os equipamentos em setores com similaridade de recursos.

Outra forma de caracterizar os sistemas de produção é utilizar como referência o tipo de arranjo físico, desta forma a disposição dos equipamentos e a distribuição dos departamentos de manufatura influenciam diretamente no fluxo de produção. Definido por Corrêa e Corrêa (2012), arranjo físico é a maneira com que os equipamentos transformadores estão dispostos fisicamente dentro do ambiente de produção além de determinar a maneira pela qual os recursos transformados irão fluir dentro da fábrica.

Béranger (1989) destaca a importância dos projetos de circulação de materiais e pessoas nos sistemas de produção, para evitar desperdícios ao longo do processo de manufatura. Segundo Slack *et al.*, (1999) todos os arranjos físicos são derivados de quatro modelos básicos, são eles:

Arranjo físico posicional: conhecido também como de posição fixa, tem como característica básica a movimentação dos recursos transformadores ao redor dos recursos a serem transformados. Este sistema é utilizado para montagem de navios, aviões e hidroelétricas, devido as dimensões seria difícil a movimentação do produto para os locais de transformação, desta forma o produto fica fixo em um local e os componentes, operadores e equipamentos se movem até o produto em fabricação, conforme mostra a Figura 10.

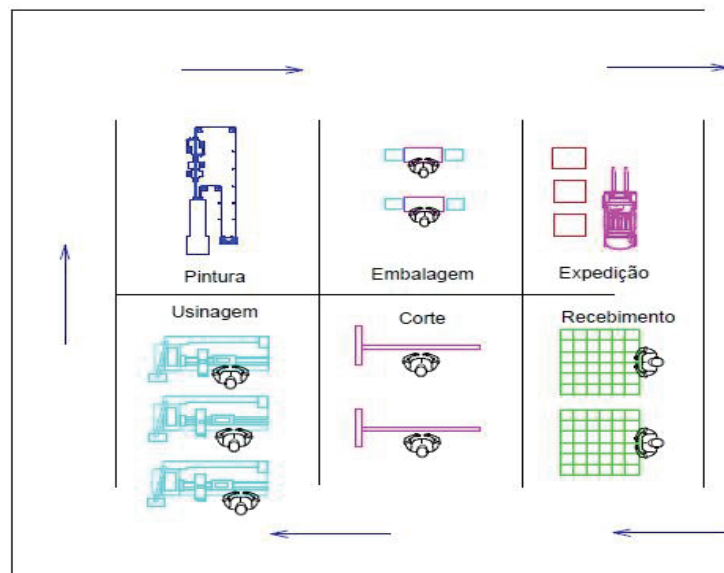
Figura 10 - Exemplo de arranjo físico posicional.



Fonte: adaptado de Slack *et al.*, (1999)

Arranjo físico por processo: se caracteriza pela aproximação de processos e tecnologias semelhantes (TUBINO, 2009). Imaginando o processo de fabricação de um componente usinado que se move entre diversos setores como: recebimento da matéria prima, corte do material, usinagem, pintura, embalagem e expedição, os equipamentos existentes em cada um dos setores possuem as mesmas características, a Figura 11 exemplifica este modelo.

Figura 11 - Exemplo de arranjo por processo.

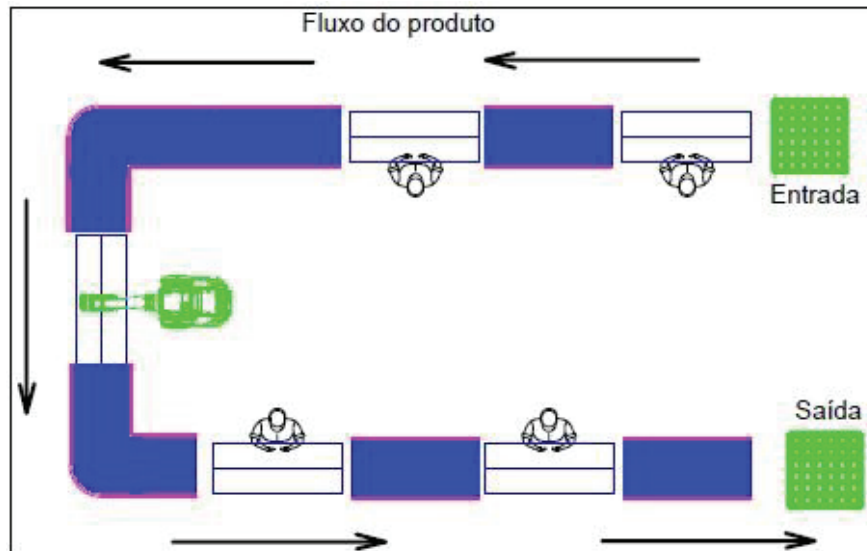


Fonte: adaptado de Slack, 1999.

Arranjo físico celular: O arranjo físico celular necessariamente reúne todos os recursos transformadores necessários para o processamento total ou parcial de um produto. Como exemplo pode-se citar uma empresa de televisores, na qual, em um determinado momento o

produto entra em um local onde são montados e/ou testados componentes para atender um determinado requisito específico. A Figura 12 exemplifica uma célula de montagem.

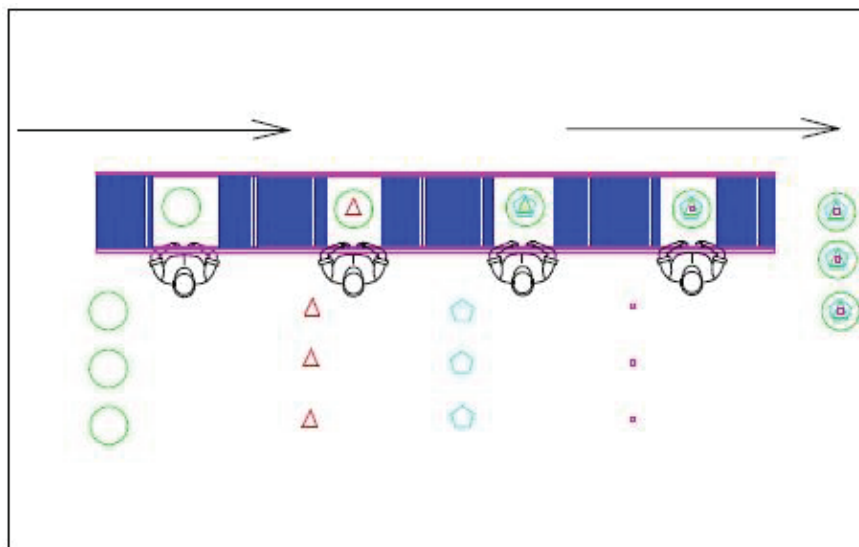
Figura 12 - Exemplo de arranjo celular.



Fonte: adaptado de Slack *et al.*, (1999)

Arranjo físico por produto: Também conhecido como arranjo em linha, este modelo de arranjo consiste em reunir de forma sequencial todas as fazes necessárias para a manufatura ou montagem de um produto específico. O exemplo mais usado para este arranjo é a linha de montagem de automóveis, que pode ser vista na Figura 13.

Figura 13 - Exemplo de arranjo físico por produto ou linha.



Fonte: adaptado de Slack *et al.*, (1999)

2.11 Otimização da produção

Heragu (1997) divide o problema de otimização de *layout* em dois tipos: linha simples e múltiplas linhas. A linha simples considera a disposição dos recursos apenas em um eixo vertical ou horizontal, ou seja, uma única linha podendo ter curvaturas, e as linhas múltiplas são caracterizadas pela disposição dos recursos no eixo vertical e horizontal de um plano de duas dimensões.

Para Oliveira (2013) a linha de montagem é projetada de forma a garantir um fluxo linear de trabalho nos produtos. Para evitar eventuais paradas na linha, colocam-se estoques protetores (*buffers*) entre os postos de trabalho. Esses postos retiram os produtos da linha para executar suas funções, recolocando-os na linha após concluídas. A capacidade de produção da linha é controlada pela adição, ou subtração, de pessoas em cada posto de trabalho.

Trabalhos de montagem existem há muito tempo. Povos pré-históricos sabiam como criar objetos úteis unindo múltiplas peças. Mas a preocupação dos processos de montagem modernos é de produzir bens com custo reduzido e de alta qualidade. (BERTI, 2010).

Uma linha de montagem é um processo de manufatura em que as peças, normalmente intercambiáveis, são adicionadas a um produto final de uma forma sequencial utilizando um planejamento logístico ideal de modo a criar produtos mais baratos que os fabricados artesanalmente. Linhas de montagem unem e encaixam diferentes peças, formando um subproduto ou um produto final. O trabalho em uma linha de montagem é repetitivo. (BERTI, 2010).

A linha de montagem é o método mais comum de produção em massa, e com ela é possível à montagem de produtos por trabalhadores com pouco treinamento (BERTI, 2010).

2.12 Administração da produção e tomada de decisão

O setor produtivo tem grande responsabilidade no progresso da empresa, visto que, suas atividades refletem de forma positiva ou negativa neste resultado. Analisando por este prisma, constata-se a relevância de produzir com alto padrão qualitativo, em que a organização e seus colaboradores possam crescer e desenvolver-se competitivamente.

Conforme Moreira (2004), a administração da produção e operações é o campo de estudo dos conceitos e técnicas aplicáveis à tomada de decisões na função de Produção (empresas industriais) ou Operações (empresas de serviços).

2.12.1 Evolução histórica

Através de Henry Ford, em 1910, são criadas as linhas de montagens seriadas, surgindo o conceito de produção em massa, diferenciada por apresentar volumes de produtos extremamente padronizados, com técnica definida pela engenharia industrial (introduzindo conceitos: linha de montagem, posto de trabalho, estoques intermediários, monotonia do trabalho, arranjo físico, balanceamento de linha, produtos em processo, motivação, sindicatos, manutenção preventiva, controle estatístico da qualidade e fluxogramas de processo) (SLACK, 2002).

O Sistema Toyota de Produção (STP) foi criado e desenvolvido por volta de 1950, apresentando características de minimização dos custos, pois a sobrevivência da empresa depende da redução de custos. Isso requer a eliminação completa das perdas (SLACK, 2002).

O STP é um projeto de Sistema de Produção de grande eficácia, onde o principal objetivo é gerar lucro, através da redução de custos via eliminação de desperdícios e do incremento de produtividade via melhorias no fluxo produtivo (SLACK, 2002).

A produção enxuta é definida por Womack *et. al.* (1992), como um novo sistema de organização industrial, inspirado no Sistema Toyota de Produção (STP), que tem como meta a eliminação de qualquer perda do sistema de produção, possibilitando produtos e serviços de alta qualidade, ao menor custo possível, atendendo da melhor forma às necessidades dos clientes. Contudo, os trabalhadores devem estar focados em agregar valor, preferencialmente, com o mínimo de espaço possível para executarem suas tarefas, alocados em pequenas equipes, executando pequenas tarefas com o mínimo de esforço e melhor qualidade, e evitando a armazenagem de estoques em função da fabricação de pequenos lotes.

Conforme Shigeo Shingo (1996), a necessidade é procurar por desperdícios que normalmente não são notados porque já se tornou aceito como normal no trabalho diário. As perdas são qualquer atividade que não contribui para as operações, e neste caso têm-se dois tipos de operações, as que agregam e as que não agregam valor, geralmente as operações que não agregam valor são consideradas como perdas, no entanto sempre há melhorias no trabalho.

Para Shigeo Shingo (1996), o objetivo na eliminação das perdas é trabalhar em todos os pontos descritos, no que diz respeito ao mecanismo da função da produção e tentar reduzir ao máximo seus tempos e custos de produção, isso de acordo com algumas técnicas.

Segundo Ohno (1997) e Womack (1996), o desperdício, também conhecido na língua japonesa por muda, normalmente é associado ao que se classifica como lixo, porém sua definição vai, além disso.

De acordo com Campos (1996), o desperdício é todo e qualquer recurso que se gasta na produção de um produto ou serviço além do estritamente necessário (matéria-prima, materiais, tempo, energia, por exemplo). É um dispêndio extra que aumenta os custos normais do produto ou serviço, sem trazer qualquer tipo de benefício perceptível para o cliente.

2.12.2 Desperdícios nos processos produtivos

A essência do Sistema Toyota da Produção está na constante busca pela erradicação total das perdas. Para a Toyota, a única forma de aumentar ou manter o lucro é através da redução das perdas existentes nos processos produtivos. Ou seja, eliminar toda e qualquer atividade que não agregue valor ao produto (SUZEK, 2012).

O executivo da Toyota, Taiichi Ohno (1997) identificou os principais tipos de desperdício. Na sequência, os sete tipos de desperdício são apresentados:

✓ Perda por superprodução: está relacionada ao fato de se produzir mais do que o requerido pela demanda dos clientes ou por produzir em um ritmo acima do necessário. Portanto, dentro do STP, a produção deve ser sustentada pela filosofia *Just In Time*, que significa produzir peças ou produtos exatamente na quantidade requerida, quando requerida, e não antes disso. (SUZEK, 2012).

✓ Perda por espera: é a atividade de ter que esperar para processar determinada peça, o que constitui desperdício. Refere-se tanto à matéria-prima, quanto aos produtos semiacabados que esperam pelo processo, assim como para a acumulação de estoques excessivos a serem entregues. Longos períodos de ociosidade de pessoas, peças e informação, resultando em um fluxo pobre, bem como em *lead times* longos. Menos óbvio é o montante de tempo de espera que ocorre quando os operadores estão ocupados produzindo estoque em processo, que não é necessário naquele momento (SLACK, 1999).

✓ Perda por transporte: esse elemento é de grande importância na produção, devido ao seu envolvimento com as entregas de peças e materiais e as informações de entrega e chegada de grandes lotes de peças dos fornecedores. Operações de transporte para distâncias maiores do que as necessárias, taxas e mudanças são também caracterizadas como desperdícios. O transporte é somente uma movimentação de produtos, o que não contribui diretamente para o valor agregado destes. Esta é a razão pela qual o transporte deve ser evitado, a menos que seja utilizado para o fornecimento da quantidade certa, na hora certa, no lugar certo, de acordo com a solicitação (SUZEK, 2012).

✓ Perda por processamento: atividade de acrescentar ao processo mais "trabalho" ou esforço do que o requerido pelas especificações dos clientes também deve ser tratada como desperdício. O valor deve ser criado pelo produtor, e o cliente deve enxergá-lo e querer pagar por ele. Dessa forma, o “pensamento enxuto” deve começar com uma tentativa consciente de definir precisamente o valor em termos de produtos específicos, com capacidades específicas, oferecidas a preços específicos, por meio do diálogo com clientes específicos (SUZEK, 2012).

✓ Perda por estoque: quando ocorre excesso de fornecimento de peças entre os processos, ou muitas peças (matéria-prima, componentes, etc.) são entregues pelos fornecedores, com o intuito de abastecer a fábrica, ocorre o que se chama de inventário (estoque), que exige capital de giro para sua manutenção, gera custo e caracteriza dinheiro parado, ou seja, perdas. Quanto maior o inventário, maior o desperdício (SUZEK, 2012).

✓ Perda por defeitos: pode-se dizer que este item está entre os piores fatores de desperdício, pois os mesmos podem gerar retrabalho, custo de recuperação ou mesmo a perda total do esforço e material. Outro ponto importante a ser considerado é o elevadíssimo risco de perder clientes (SUZEK, 2012).

✓ Perda por movimentação desnecessária: esse item está relacionado à desorganização do ambiente de trabalho, resultando em baixo desempenho dos aspectos ergonômicos e perda frequente de itens. As movimentações dentro do setor produtivo devem ser aquelas que são necessárias para o processamento de atividades (SUZEK, 2012).

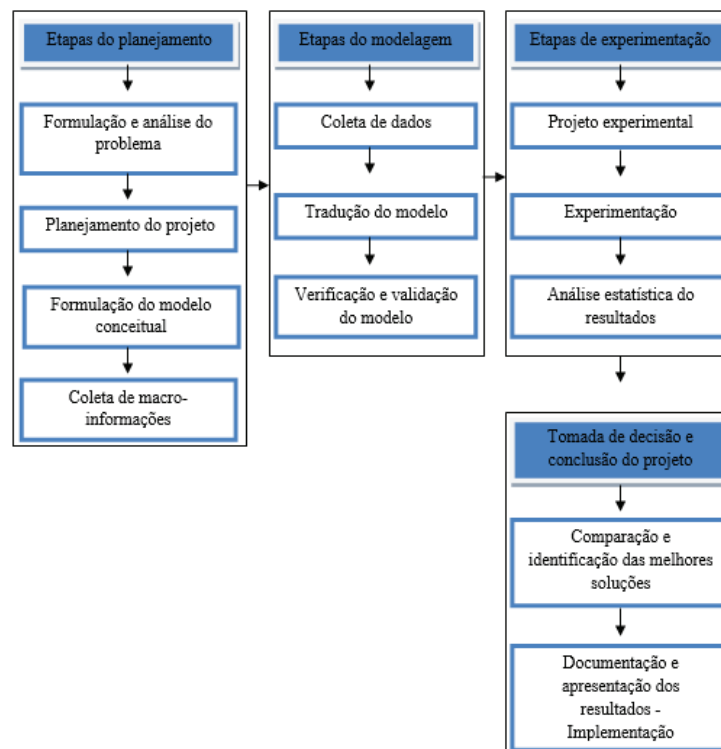
3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia descreve de uma maneira estruturada todos os passos seguidos desde a definição do problema ou abrangência do estudo em questão, até a apresentação e interpretação dos resultados obtidos. A metodologia tem como principal objetivo sistematizar o desenvolvimento do trabalho de simulação.

O ambiente de trabalho observado foi o de uma Indústria de cadeiras para escritório do Norte do Estado do Rio Grande Sul, a qual, na sua área de fabricação possui processos de corte, dobra e estampagem de metais, corte a laser, soldagem robotizada para união das estruturas, corte, costura e grampeação de tecidos, fosforização, cromagem, pintura e montagem dos componentes.

O estudo de caso foi realizado com base em uma metodologia de simulação. Essa metodologia é baseada no método que foi sugerido por Freitas (2008) e possui os passos conforme mostra a Figura 14.

Figura 14 - Etapas de um estudo envolvendo modelagem e simulação.



Fonte: Adaptado de Freitas, 2008.

Formulação e análise do problema: todo problema de simulação inicia com a sua formulação, e com a indicação dos propósitos e objetivos do estudo, que devem ser claramente definidos;

Planejamento do projeto: ter a certeza de que se possui recursos suficientes no que diz a respeito à pessoal, suporte, gerência, *hardware* e *software* para realização do trabalho. Além disso, deve incluir um cronograma das atividades;

Formulação do modelo conceitual: traçar um esboço do sistema, pode ser um fluxograma, definindo componentes, descrevendo as variáveis e interações lógicas que constituem o sistema;

Coleta de macro informações e dados: macro informações são fatos, informações e estatísticas fundamentais, derivados de observações, experiências pessoais ou de arquivos históricos, já os dados são um conjunto de informações podendo ser organizadas ou não;

Tradução do modelo: codificar o modelo num linguagem de simulação apropriada;

Verificação e validação: confirmar que o modelo opera de acordo com a intenção do profissional (sem erros de sintaxe e lógica) e que os resultados por ele fornecidos possuam créditos e sejam representativos dos resultados do modelo real;

Projeto experimental final: projetar um conjunto de experimentos que produza a informação desejada, determinando como cada um dos testes deve ser realizado.

Experimentação: executar as simulações para a geração dos dados desejados para a realização de análises;

Comparação de sistemas e identificação das melhores soluções: a técnica de simulação visa à identificação de diferenças existentes entre diversas alternativas de sistema, e o objetivo é comparar um sistema existente ou considerado padrão com propostas alternativas;

Documentação: a documentação do modelo serve de guia para que alguém familiarizado ou não com o modelo e os experimentos realizados, possa fazer uso do mesmo resultado já produzido. Também se forem necessárias futuras modificações no modelo, toda a documentação existente vem facilitar os novos trabalhos;

Apresentação dos resultados e implementação: a apresentação dos resultados do estudo deve ser realizada por toda a equipe, constando quais os problemas resolvidos.

Para Chwif e Medina (2007), o desenvolvimento de um modelo de simulação compõem-se de três grandes etapas:

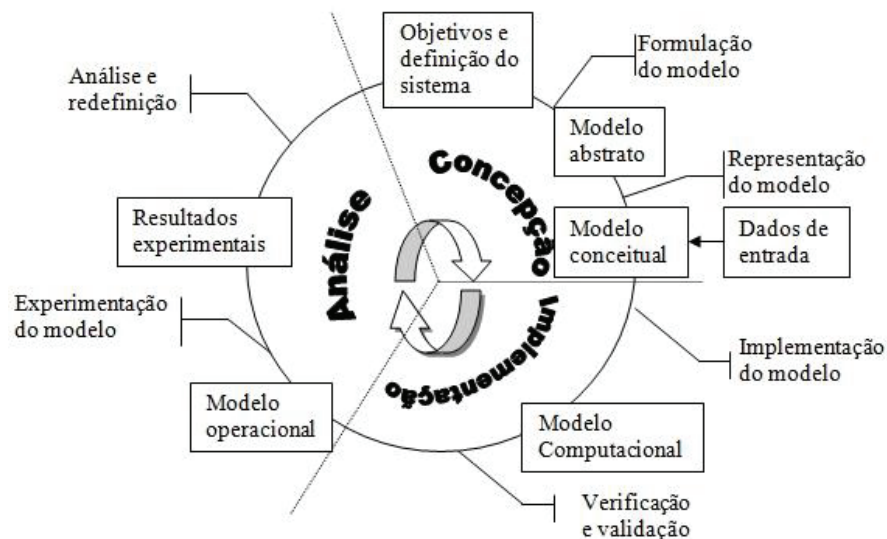
Concepção ou formulação do modelo: nesta etapa tem-se o entendimento do sistema a ser simulado. É necessário discussões do problema com os especialistas do setor e então ocorre a definição do escopo. Neste momento são também coletados os dados de entrada, certificando-se da importância que a qualidade destes tem em todo o modelo. Faz-se então a representação do modelo abstrato (que está na mente do analista) utilizando técnicas adequadas. Esta representação trará um modelo conceitual;

Implementação do modelo: neste momento, através do modelo conceitual é desenvolvido o modelo computacional utilizando um software de simulação comercial, que no caso deste trabalho, foi o *Plant Simulation*. O modelo computacional deve então ser comparado frente ao modelo conceitual para sua avaliação, ou seja, se o modelo está condizente com o sistema real. Durante este procedimento são feitas as validações (relativas ao modelo) e as verificações (relativas ao comportamento do modelo no computador);

Análise dos resultados do modelo: nesta etapa o modelo computacional está pronto para realização dos experimentos. Temos então o modelo experimental. A partir desse momento, são realizadas várias “rodadas” no simulador e analisados os resultados. Caso seja necessário, fazem-se alguns ajustes no modelo computacional e reinicia as “rodadas”. Após as análises dos resultados, conclusões e recomendações sobre o sistema poderão ser registradas.

Na Figura 15 é exposto o ciclo da metodologia de simulação apresentada por Chwif (1999).

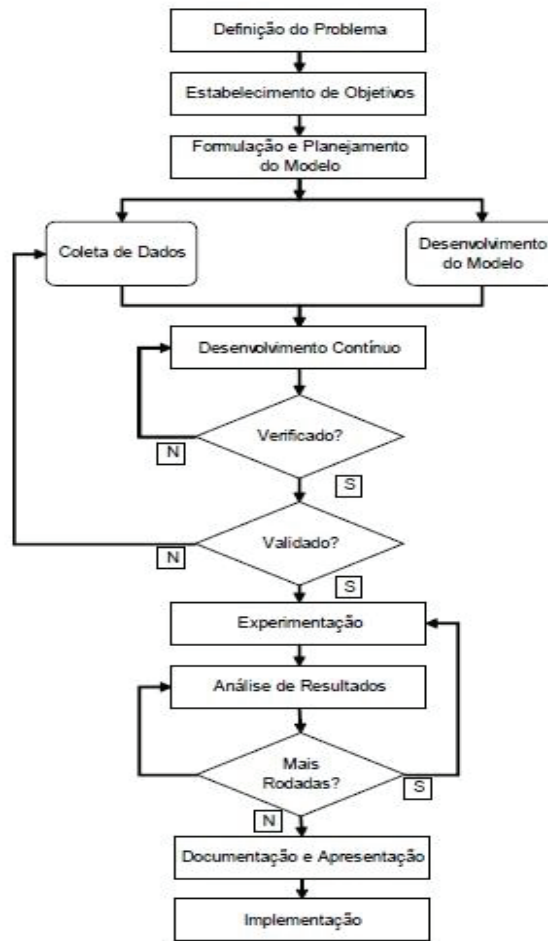
Figura 15 - Metodologia de Simulação.



Fonte: Chwif, 1999.

As etapas em um estudo de simulação desenvolvido por Harrel *et al.* (2002) e mostradas na Figura 16, poderão ser observadas nos parágrafos seguintes. A metodologia apresenta uma sequência de trabalho que se adapta bem a um projeto de simulação para sistema de manufatura em fase de desenvolvimento.

Figura 16 Etapas em um estudo de simulação.



Fonte: Harrel *et al* (2002).

A definição do problema: obter uma definição precisa e concisa do problema a ser estudado pode ser mais difícil do que parece, pois, além do modelador outras pessoas podem ter seus próprios interesses com relação às informações do modelo. Engenheiro, gerentes, pessoal operacional e outros podem vir a ter expectativas diferentes, exigindo assim do modelador um esforço para obter um acordo comum sobre a natureza do estudo, o que facilitará conseguir apoio daqueles que devem fornecer dados ou outros tipos de assistência.

Conforme Pereira (2000) é pela definição do problema, num trabalho realizado em conjunto, que todo o esforço despendido será conduzido numa só direção, com a finalidade principal de se evitar a decepção tanto do cliente quanto do modelador com os resultados finais da simulação.

Estabelecimento de objetivos: os objetivos de um estudo de simulação fluirão normalmente a partir da definição do problema, uma vez que o propósito de se executar mais tarde uma experimentação será a de resolver o problema. Com os objetivos definidos o

modelador já possui uma indicação de quais serão as prováveis questões a serem respondidas na conclusão do projeto de simulação.

Formulação e planejamento do modelo: realizado as etapas anteriores é então desenvolvida uma estrutura conceitual para o modelo. A utilização de desenhos de leiautes ou croquis do sistema a ser estudado proporcionará muitas vantagens. Primeiro, podem ser usados para refletir uma visão do nível geral de detalhes requeridos no modelo. Segundo, as representações gráficas podem ser usadas para garantir a coleta sistemática dos dados pertinentes a cada local ou recurso. Terceiro, os fluxos e as interações facilitam o entendimento do sistema. Quarto, o leiaute terá imenso valor para a determinação dos padrões dos movimentos de pessoas (operadores, ajudantes, etc).

Conforme Pereira (2000) e Duarte (2003), nesta etapa o modelador deverá elaborar um esboço do modelo do sistema, visando à realização dos primeiros estudos sobre o fluxo de informações, disposição física dos equipamentos, os dados necessários e de que maneira eles serão coletados e tabulados.

Coleta de dados: a ênfase inicial deve ser dada na coleta de fatos fundamentais, informações e estatísticas que se referem a “dados macros”. O propósito de um dado macro é lançar as bases para a determinação dos parâmetros de entrada do modelo e selecionar com acuracidade aqueles parâmetros que irão necessitar de “dados micro”, ou dados mais detalhados. A coleta de dados é um processo contínuo, e o modelador pode continuar a receber dados revisados e mais precisos à medida que o estudo de simulação progride. A inclusão de novas e melhores informações é uma das vantagens da simulação e o modelador deve desejar criar modelos com flexibilidade necessária para receber e incorporar estes novos dados.

A obtenção dos dados varia se o sistema já é existente ou não. Em um sistema já existente bastará coletar os dados históricos ou através de medições, já para sistemas não existentes o modelador terá que trabalhar com catálogos de fabricantes, dados de sistemas similares, entrevistas com operadores e especialistas no processo etc. A coleta de dados deve ser compatível com o nível de detalhamento do modelo. Seria uma perda de tempo, por exemplo, tomar-se o tempo de todas as operações de uma linha de produção, quando o que se deseja estudar é somente uma das células (PEREIRA, 2000; SILVA, 2005).

Desenvolvimento do modelo: o modelo normalmente iniciará como uma abstração conceitual do sistema, com crescentes níveis de detalhes adicionados à medida que se realiza o seu desenvolvimento. Este modelo conceitual construído na etapa de “Formulação e Planejamento do Modelo” irá se tornar um modelo lógico à medida que o processamento de eventos e os relacionamentos entre eles estejam definidos.

Nesta etapa será construído efetivamente o modelo em um *software* de simulação. Surge então, a necessidade da escolha do *software* a ser utilizado. O modelador deverá levar em consideração a necessidade do modelo e a interface oferecida pelo pacote de *software* (DUARTE, 2003).

Se o modelador começar a modelagem a partir de modelos simples, e for incrementando-o à medida que o estudo de simulação vai evoluindo, haverá não somente ganho no tempo total de trabalho de modelagem, como também na fase de verificação em que os erros de programação são corrigidos. Dessa forma, no decorrer do estudo vai se refinando esse modelo inicial, até que atenda os objetivos propostos (DUARTE, 2003)

Alguns cuidados devem ser tomados durante a construção do modelo:

a) Fiscalizar o nível de detalhamento: a modelagem é uma atividade que demanda tempo, e quanto maior o nível de detalhamento, maior o tempo de modelagem e maiores as necessidades de dados para a construção do modelo. Ao se definir o nível de detalhamento do modelo não se pode perder de vista o objetivo específico da modelagem.

b) Dividir o modelo: se o modelo for grande, é aconselhável também sua partição em um conjunto de modelos menores, relacionando-os às áreas lógicas do sistema. Esses modelos tornam-se mais simples de serem construídos e interpretados. Assim, num processo produtivo em que se têm vários estágios de fabricação, ou a peça passa por diversas células de fabricação, é interessante, caso se tenha que modular todo o processo, que se faça por partes. Cada um desses módulos que constitui o modelo total é verificado separadamente, e após serem feitas às correções, os modelos são agrupados novamente.

c) Verificar e corrigir os erros: a correção dos erros cometidos durante a programação, é tanto mais fácil quanto menor for o modelo, daí a vantagem em subdividi-lo. Alguns *softwares* possuem dispositivos que permitem a verificação e correção de erros (*debug*) com mais facilidade. É importante salientar que a recomendação de se partir de modelos mais simples decorre também da facilidade que se tem para poder verificar e corrigir erros nesses modelos, e à medida que essas incorreções são eliminadas, o modelador adiciona ao modelo maiores detalhes, introduz variáveis que proporcionam mais informações, adiciona equipamentos, sofisticam a animação (se houver), introduz novos dados do processo, constrói múltiplos cenários, etc. O importante é ter em mente que a verificação e correção de erros, pode ser uma etapa demorada na modelagem, porém é mais segura do que se tentar ganhar tempo iniciando-a com modelos complexos e muito grandes.

Verificação: é dito que um modelo está pronto para ser verificado quando ele funciona da maneira como o modelador pretendia. A verificação pode ser efetuada rodando-se a

simulação e monitorando-se de perto a sua operação. A maioria dos modelos complexos vai requerer ao menos uma depuração para assegurar que eles reflitam de maneira acurada a intenção do modelador. A animação é uma ferramenta útil no processo de verificação e depuração de um modelo porque ela pode ser estudada em velocidade suficiente baixa permitindo realizar a análise do movimento das peças, clientes e outras entidades no sistema. Embora útil, a animação não deve ser o único meio de verificação, a apresentação das variáveis e outros contadores na tela da animação ou monitorados por meio de plotagem podem assegurar que as variáveis estejam antecipadamente respondendo ao modelador. Outro passo valioso de verificação é conseguir que outro modelador experiente analise a estrutura do modelo. Em alguns casos, o desempenho do modelo pode ser testado sob uma variedade de diferentes cenários para determinar se a resposta ocorre como prevista. É na verificação que se determina se todas as considerações ou suposições feitas durante a formulação do problema e coletas de dados foram traduzidas corretamente para o programa de computador (LAW,2006).

A validação: a validação é o processo de se assegurar que o modelo reflita a operação do sistema real em estudo de tal forma que dê encaminhamento ao problema definido. Todas as pessoas interessadas nos resultados, potenciais usuários e outras pessoas familiarizadas com a operação do sistema real, devem participar junto com o modelador em um esforço cooperativo para fazer a validação do modelo.

Conforme Law (2006), a validação é o processo que determina se um modelo de simulação é uma representação precisa do sistema para os objetivos particulares do estudo, e a facilidade ou a dificuldade deste processo está na existência ou não de uma versão do sistema em estudo. Ainda segundo o autor, a validação não é algo que deva ser realizado somente após o desenvolvimento do modelo, mas também, logo após a formulação do problema e coletas de dados onde foram definidas as considerações ou suposições que serão a base para a construção do modelo. Segundo Sargent (2004), a validação do modelo conceitual determina se as teorias e suposições do modelo conceitual estão de acordo com o sistema real, e se o modelo representativo do problema está razoável com os propósitos da simulação.

Esta validação poderá ser realizada de diversas formas: a mais comum é confrontar os resultados de saída com os dados reais do sistema; também pode ser feita com o uso de técnicas estatísticas; teste de *Turing*, onde especialistas no sistema estudado recebem dois relatórios – um com os dados simulados e o outro com os dados reais do sistema, sem a identificação de qual é o real e qual o modelado, e discutem as diferenças (PEREIRA, 2000; SILVA, 2005; DUARTE, 2003).

Law (2006) considera que um modelo válido não é necessariamente um modelo com credibilidade, um modelo de simulação só terá credibilidade se alguém responsável pelo projeto de simulação aceitar “oficialmente” o modelo como correto para o propósito do estudo.

Experimentação: o ideal é que todos os envolvidos no projeto de simulação tenham uma ideia acerca das alternativas de soluções a serem avaliadas. Antes de avaliar cada alternativa com o modelo, deve ser avaliada a extensão necessária de tempo a ser simulado e o tempo para se atingir o estado de regime quando isto for necessário. A realização de um projeto experimental seria então, o desenvolvimento de procedimentos e testes para analisar e comparar alternativas, com o propósito de maximizar a utilidade da informação produzida pelas rodadas de simulação, enquanto minimiza o esforço. Sem este planejamento fica difícil realizar comparações equitativas entre soluções candidatas.

Conforme Silva (2005), no planejamento experimental alguns itens deverão ser levados em consideração: a) sob quais condições cada simulação será realizada; b) qual a duração de cada simulação; c) quantas replicações deverão ser efetuadas para cada cenário; d) será adotado qualquer método de planejamento de experimentos.

Análise dos resultados e apresentação: cada configuração do modelo e seus resultados de saída devem ser bem documentados. O armazenamento cuidadoso dos registros irá auxiliar a determinar não apenas que alternativa atende o melhor resultado, como também permitirá observar tendências que podem sugerir alternativas adicionais a serem consideradas. Para a análise dos resultados os pacotes de simulação geram várias informações em forma de tabela e gráficos, sendo que, as informações em forma de gráficos são as mais efetivas para o uso em apresentações.

Para Pereira (2000) fazer anotações de cada experimento tem por objetivo manter uma memória a respeito de cada uma das modificações feitas no modelo, bem como dos resultados desenrolar da análise possa ser reconstituído se necessário.

Implementação: esta etapa começa na verdade com o início do projeto de simulação. A extensão na qual as recomendações são colocadas em práticas depende amplamente da efetividade de cada uma das etapas anteriores. Se todos os interessados mantiverem se informados e ativamente envolvidos em todas as etapas ao longo do desenvolvimento do projeto de simulação, eles estarão mais propensos a auxiliar na implantação da solução selecionada.

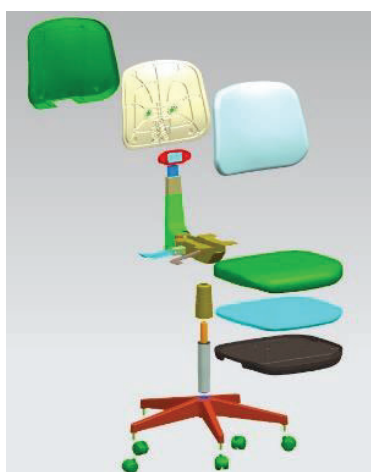
4 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

4.1 Planejamento do projeto

Este estudo aborda a análise do processo produtivo de uma cadeira para escritório de uma empresa de grande porte, líder brasileira no setor moveleiro, levando em consideração a simulação da linha de produção através da manufatura digital, antes de sua implantação. A produção caracteriza-se por fabricação em lotes, alta diversidade em sua linha de produção e variação no tamanho e frequência dos lotes. Um problema que se evidencia na empresa está relacionado à necessidade de aumentar a capacidade produtiva do seu principal modelo, tendo em vista que o mecanismo do produto analisado incorpora a maioria dos demais, cuja diferença se restringe ao tamanho e *design*. Além disso, a empresa pretende aumentar a construção civil do seu parque fabril.

A primeira etapa do planejamento foi escolher uma família de produto que servirá como um projeto piloto para o estudo o qual foi caracterizada pelo código CG0410355. O produto é uma cadeira para escritório composta de um mecanismo articulador que movimenta o encosto e assento nos sentidos vertical e horizontal, conforme a necessidade do usuário. O encosto e assento são compostos de carenagem injetada, madeira, porca garra, espuma injetada e tecido. O mecanismo é composto de chapas e tubos de aço estampados ou cortados a laser. Após a fabricação dos componentes, os mesmos são unidos por solda MIG em célula robotizada e posteriormente passam pelo processo de fosforização, zincagem, pintura e por final a sua montagem. Com o mecanismo, assento e encosto fabricados são montados formando o conjunto. A Figura 17 ilustra o produto analisado.

Figura 17 – Produto analisado



Analisando o sistema de produção do produto e considerando o aumento do parque fabril o estudo viabiliza a reconstrução do processo produtivo, diminuindo o tempo de fabricação, otimizando os recursos disponíveis, reduzindo o tempo de fila e atravessamento entre o setor metalúrgico e setor de estofados.

A fim de promover um *Brainstorming*, foi necessário formular a necessidade que o trabalho foi desenvolvido pelo autor em paralelo com outras atividades de engenharia em um período de dois anos, mas de forma indireta outros setores como planejamento e programação da produção, custos, engenharia do produto, engenharia de processos, manutenção e qualidade acabaram contribuindo para o desenvolvimento com informações e dados. A justificativa de um período longo do trabalho dá-se pela necessidade de detalhar cada etapa do processo e certificar-se que os dados não estão equivocados, pois a empresa já possui os dados, porém existiu a preocupação em validar as informações. O treinamento do *software* de simulação ofertado pela empresa Siemens no ano de 2013 e as aulas de simulação ofertadas pelo PPGPP também foram necessárias para a execução do trabalho.

4.2 Formulação do problema

A empresa estudada, fabricante de cadeiras para escritório passa por constantes melhorias no parque fabril, entre elas a aquisição de novas máquinas e aprimoramento na construção civil. Com isso apareceram dúvidas de como o sistema de produção se comportaria com alterações.

O problema abordado se concentra em uma necessidade real quanto à capacidade de atendimento da demanda, surgimento de gargalo, discrepâncias no arranjo físico, itens com alto estoque em processo, grandes variações nas movimentações de operadores, dificuldade no fluxo de informações e materiais, e quantidade de mão de obra inadequada, seja por falta ou por excesso.

A empresa estudada neste trabalho está no mercado a mais de 40 anos, possui aproximadamente 450 funcionários, produz 2500 produtos por dia e recentemente teve seu parque fabril aumentado, viabilizando o estudo de reconstrução do *layout*, objetivando o aumento de produtividade e redução de tempo de fabricação.

Para tratar esse problema, o trabalho inicialmente segue uma metodologia de mapear as atividades de produção, coletar dados e informações necessárias para racionalizar o sistema produtivo e identificar aspectos a serem aprimorados em termos de qualidade, mão de obra e produtividade, para atender a um novo patamar de produção do novo parque fabril e assim

depois testar por meio da simulação computacional. A ferramenta de simulação de eventos discretos surge para aprimorar e acrescentar neste contexto de forma rápida, segura e eficaz agilizando o processo de informação na empresa.

O processo de alteração de *layout* torna-se eficaz quando as informações de redução ou ganhos na produção são repassados para o sistema de informação da empresa, ou seja a redução de um processo ou a redução da distância de percurso do produto tem sentido quando outros setores como setores de custo, roteirização, composição, manutenção concretizam a informação e por isso a visualização proporcionada pela simulação está sendo importante para analisar as potencialidades e vantagens que este sistema pode apresentar.

Em uma primeira análise, observaram-se estoques intermediários e diversidade na quantidade de operações de cada colaborador do sistema de manufatura. Os indicadores fomentam a necessidade de simular as etapas de fabricação para analisar e reconstruir o *layout* e a formulação do problema a ser resolvido.

A partir da identificação dos problemas do sistema de produção, definiu-se o objetivo da pesquisa sendo a identificação e quantificação, com auxílio da simulação a partir da identificação de alternativas para a reestruturação do *layout* atual do sistema. Optou-se pela simulação computacional pelo fato dos procedimentos de simulação permitirem analisar de maneira segura as diversas repercussões sobre o desempenho do sistema produtivo, incluindo a adição de novos equipamentos ou mão de obra coerente, para atingir o aumento da produtividade.

A Figura 18 mostra parte do processo produtivo no caso (a) a construção civil antiga e caso (b) a construção atualizada, mostrando um novo telhado metálico proporcionando a retirada dos pilares e conseqüentemente viabilizando o posicionamento correto das máquinas.

Figura 18 – Alteração na construção civil caso (a) refere-se ao caso antigo; (b) refere-se ao caso atual.



Fonte: Autor.

4.3 Apresentação do layout e fluxo dos componentes em estudo

No mapa do estado atual procura-se definir o fluxo de informações desde a entrada da matéria prima até o carregamento do produto acabado, assim, apresenta-se levantamento de dados, possibilidades de melhoria em relação ao gerenciamento visual e circulação de informações entre a produção.

No presente trabalho utilizaram-se métodos e técnicas desde o início da fabricação do estofado descrito anteriormente até o produto acabado, identificando as perdas. Na Figura 19, mostra-se o leiaute atual, identificando a distância percorrida pelo processo. Também observa-se o fluxo percorrido pelo estofado, dividido em dois grupos. A linha verde caracteriza-se pelo trajeto percorrido pelos componentes do assento e encosto, e a linha vermelha caracteriza-se pelo trajeto percorrido pelos componentes do mecanismo.

No *layout* observa-se as demarcações de localização setorial as quais destacam-se as operações dos processos de produção. As informações possuem configurações conforme descrito: existem quatro linhas de operação simultâneas, ou seja uma linha não depende da outra para produzir. As linhas são: 01 fabricação do mecanismo, 02 fabricação do assento e encosto, 03 fabricação da base e 04 corte de tecidos.

Indicação 1: representa o setor de estampagem dos componentes do mecanismo;

Indicação 2: representa o setor de corte a laser dos tubos do mecanismo;

Indicação 3: representa o processo de soldagem;

Indicação 4: representa o processo de torneamento do pinos;

Indicação 5: representa o processo de zincagem dos materiais metálicos;

Indicação 6: representa o processo de fosfatização dos metais;

Indicação 7: representa o processo de pinturas dos materiais metálicos;

Indicação 8: representa o processo de montagem da base;

Indicação A: representa o processo de porca garra;

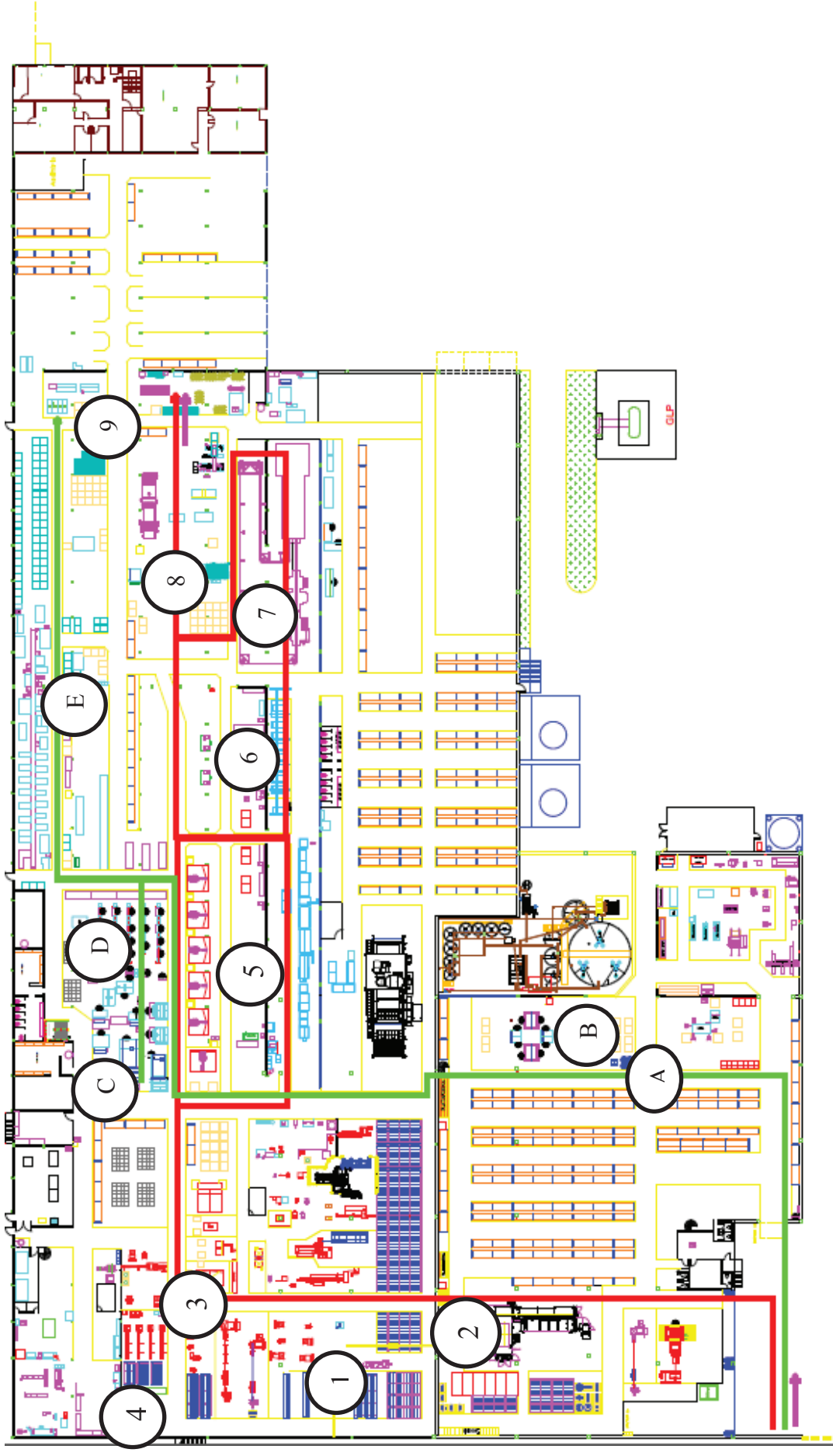
Indicação B: representa o processo de colagem da madeira com a espuma;

Indicação C: representa o processo de corte de tecidos;

Indicação D: representa o processo de costuras do tecido;

Indicação E: representa o processo grampeação do tecido, espuma e madeira; e por fim a indicação 9 que representa o processo de montagem do produto.

Figura 19 – Layout atual.



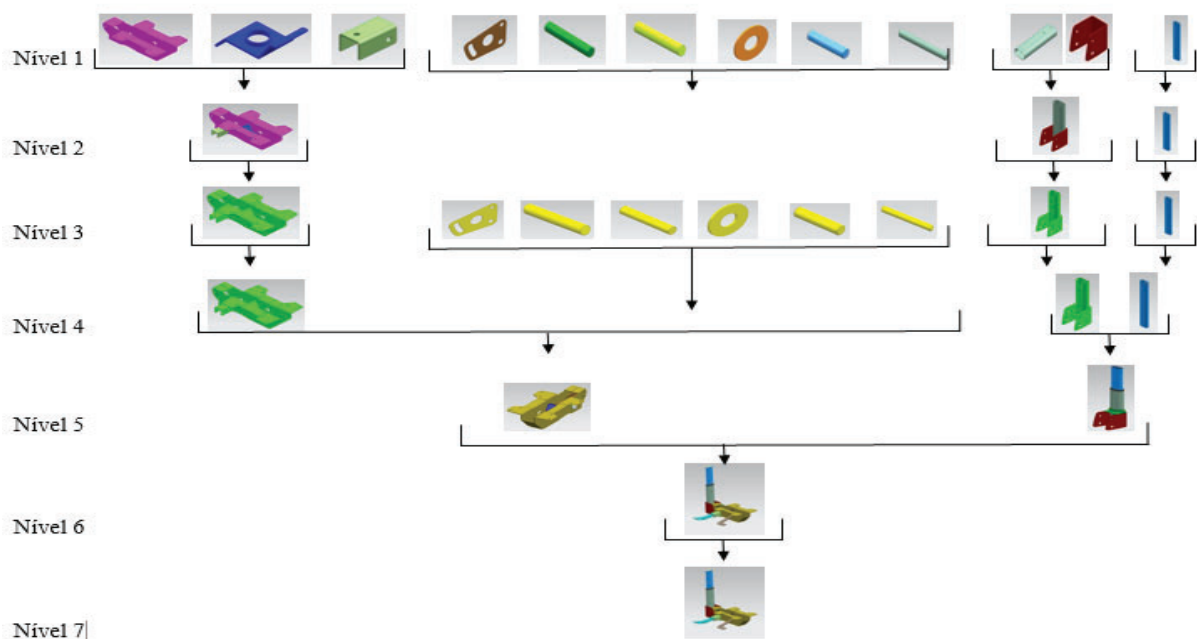
Fonte: Autor.

Em primeira visualização foram observadas que algumas partes do leiaute foram suprimidas por não se tratarem da família do produto em análise, mas pode-se observar que o leiaute apresenta uma distância longa entre os setores e movimentação desnecessária.

4.3 Definição dos níveis da estrutura do produto

Os níveis de estrutura mostram como o produto deve ser fabricado. Cada componente é representado por um código que ao passar de processo ou juntar-se a outro componente forma outro código. Para a fabricação do mecanismo o produto passa por sete níveis, sendo o nível 1 o qual representa a fabricação dos metais estampados por prensas excêntricas e hidráulicas e corte a laser; o nível 2 representa o processo de soldagem; o nível 3 representa o processo de fosfatização e/ou o processo de zincagem para cada componentes separados; o nível 4 representa o processo de pintura; o nível 5 representa a montagem inicial unindo a plataforma pintada e alguns componentes zincados; o nível 6 representa a união e montagem da plataforma com os tubos. E, por fim, o nível 7 representa a montagem final do mecanismo incluindo componentes injetados para acabamento e alavanca para o funcionamento do mesmo. A Figura 20 mostra os níveis da estrutura do mecanismo.

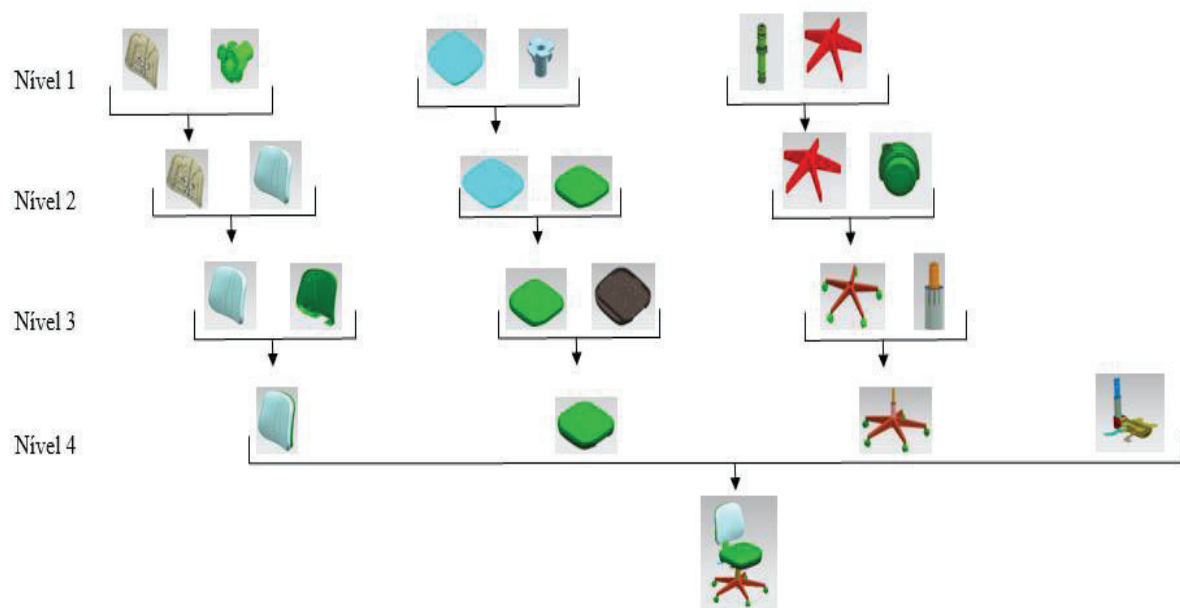
Figura 20 – Níveis da estrutura do mecanismo.



Fonte: Autor.

Para a construção do assento, encosto e base os processos acontecem simultaneamente. No nível 1 a porca garra junta-se ao encosto e assento e o pino dos rodízios junta-se a base do produto. O nível 2 representa a colagem da espuma na carenagem e no processo da base é fixado o rodízio na base. No nível 3 é grampeado o tecido e também a carenagem do assento e do encosto, na base é incluída a coluna e por fim no nível 4 é unido assento, encosto, base e mecanismo formando o produto. A Figura 21 mostra os níveis dessa estrutura.

Figura 21 – Níveis da estrutura dos estofados



Fonte: Autor.

4.5 Coleta de dados

A etapa de coleta de dados teve como foco o estudo de tempos, movimentos e métodos que submetem a uma detalhada análise de cada operação de uma dada tarefa, com o objetivo de eliminar qualquer elemento desnecessário à operação. Esses dados depois de tratados posteriormente foram incluídos no modelo computacional realizando uma análise de cada um dos passos que compõem o processo de fabricação. A técnica de coleta de dados objetiva a definição de um operador ou equipamento para realizar um trabalho especificado com um nível definido de desempenho através de um tempo padrão no qual é o tempo básico, acrescentado de uma tolerância. Para a tomada de tempos foi utilizado o equipamento cronômetro, prancheta e o diário de bordo para as anotações.

As operações foram divididas nos elementos operação, transporte, espera, inspeção e armazenamento, obtendo uma análise completa de cada um dos passos que compõem as operações e permitindo separar os tempos que agregam valor dos que não agregam valor, assim foi possível identificar as perdas no processo, assegurando o uso mais eficiente da mão de obra, materiais, equipamento e explorando as informações de maneira compacta.

A coleta de dados foi feita pelo operador e registrada na planilha de fluxograma vertical. Os dados foram também coletados por meio de cronometragem de tempos e medição da distância percorrida no processo produtivo.

O fluxograma vertical é um método que tem como princípios básicos a identificação e eliminação dos desperdícios encontrados no processo produtivo. Para mapear as atividades do sistema foi aplicado esse fluxograma vertical que pode ser visualizado de forma completa no Apêndice A.

Figura 22 – Fluxograma vertical

Fluxograma Vertical - Produto CG410355												
Símbolos	●	Operação			Totais			Rotina: Atual	x	Tipo de Rotina		
	➡	Transporte						Proposta				
	■	Inspeção						Setor: Mecanismo				
	▲	Arquivo provisório						Efetuada por: Higor Suzek				
	▼	Arquivo definitivo						Data: 11/12/2015				
Ordem	Símbolos					Setor	Código componente	Descrição dos passos		Tempo (segundos)s		Distância (m)
								Setup	Total			
1	●	➡	□	△	▽	EDB	ED0496	Estampagem			30	
2	○	➡	□	△	▽	EDB	ED0496	Transporte - Soldagem			144	72
3	●	➡	□	△	▽	EDB	ED1188	Corte a laser			9	
4	○	➡	□	△	▽	EDB	ED1188	Transporte - prensa 45T			50	25
5	●	➡	□	△	▽	EDB	ED0504	Corte a laser			9	
6	○	➡	□	△	▽	EDB	ED0504	Transporte - prensa 15T			50	25
7	●	➡	□	△	▽	EDB	ED1188	Estampagem			10	
8	○	➡	□	△	▽	EDB	ED1188	Transporte - Soldagem			30	15

Fonte: Autor.

A distância total percorrida posteriormente foi utilizada na criação dos caminhos percorridos do modelo computacional, assim também os tempos de processamento de cada operação.

Com a montagem do fluxograma vertical pode-se constatar a grande perda que existe no processo por movimentação dos componentes. Essa técnica de representação gráfica utiliza símbolos previamente convencionados, permitindo a descrição clara e precisa do fluxo, ou seqüência, de um processo, bem como sua análise e redesenho. Pode-se perceber também a

quantidade de processos e a distância percorrida pelo produto, sendo utilizadas ponte rolante e empilhadeiras para movimentação dos materiais.

O estudo de tempos, também conhecido como cronoanálise, é uma forma de mensurar o trabalho por meio de métodos estatísticos, permitindo calcular o tempo padrão que é utilizado para determinar a capacidade produtiva. O tempo padrão engloba a determinação da velocidade de trabalho do operador e aplica fatores de tolerância para atendimento às necessidades pessoais, alívio de fadiga e tempo de espera. Estes fatores são geralmente encontrados em tabelas na literatura especializada.

4.5.1 Determinação do número de ciclos a serem cronometrados

Para determinar o tempo padrão de cada operação foi primeiramente determinado o número de repetições para cada operação do sistema de produção. O número de cronometragem de ciclos é deduzida da equação de Peinado & Graeml 2007, onde: N = número de cronometragem, Z = coeficiente de distribuição normal para uma probabilidade normal, R = amplitude da amostra, Er = erro relativo a medida, d_2 = coeficiente em função do número de cronometragem realizadas preliminarmente, \bar{x} = média dos valores das observações.

$$N = \left(\frac{Z \times R}{Er \times d_2 \times \bar{x}} \right)^2 \quad (4.1)$$

Fonte: Peinado & Graeml, 2007

Foi utilizada probabilidade para o grau de confiabilidade da medida 95%, e erro relativo aceitável variando de 5%. Os valores típicos dos coeficientes Z e d_2 utilizados nos cálculos são apresentados na Tabela 1 e na Tabela 2, respectivamente. Esse cálculo foi utilizado para todas operações e componentes do sistema de produção.

Tabela 1 - Valores típicos dos coeficientes

Probabilidade	90%	91%	92%	93%	94%	95%	96%	97%	98%	99%
Z	1.65	1.70	1.75	1.81	1.88	1.96	2.05	2.17	2.33	2.58

Fonte: Peinado & Graeml, 2007

Tabela 2 - d2 utilizados nos cálculos

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D ₂	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078

Fonte: Peinado & Graeml, 2007

Para exemplificar os cálculos foram cronometrados sete repetições iniciais do componente ED0496, o qual passa pelo processo de estampagem as quais foram obtidos os seguintes valores em segundos: 30,5 – 30,3 – 29,3 – 29,2 – 29,5 – 29,9 – 30,0.

A empresa determinou, como regra geral, o grau de confiança para os tempos cronometrados fosse de 95 %, com um erro relativo inferior a 5%. Sendo assim:

$$X = 30,5 + 30,3 + 29,3 + 29,2 + 29,5 + 29,9 + 30,0 = 29,8.$$

$R = 30,5 - 29,2 = 1,3$ (a amplitude é a subtração envolvendo o maior e o menor tempo das medições).

$$Z = 1,96 \text{ (de acordo com a Tabela 2, para um grau de confiança de 95\%).}$$

$$d_2 = 2,704 \text{ (de acordo com a Tabela 2, para 7 tomadas de tempo iniciais).}$$

$$Er = 5\% \text{ ou seja } 0,05.$$

Com isso:

$$N = ((1,96 \times 1,3) / (0,05 \times 2,704 \times 29,8)) = 0,63 \text{ repetições.}$$

Com isso foram realizadas sete repetições iniciais, utilizando esses valores preliminares, porém constatou-se a necessidade de uma repetição para o componente ED0496. Os demais componentes e operações foram tratados com a mesma fórmula.

4.5.2 Determinação do tempo padrão

Com a definição do número de cronometragem para cada componente e operação foi determinado o tempo padrão. O tempo padrão é a soma das repetições cronometradas dividida pelo número de repetições necessárias. Na Tabela 3 e Tabela 4 são apresentados os valores.

Tabela 3: Tempo padrão dos componentes setores de estampagem, corte a laser, zincagem, fosfatização e pintura.

Código componente	1ª Máquina utilizada	2ª Máquina utilizada	3ª Máquina utilizada	4ª Máquina utilizada	5ª Máquina utilizada	6ª Máquina utilizada	Tempo padrão (s)
ED0496	Prensa 300T.	-	-	-	-	-	30
ED0504	Corte a laser	Prensa 15T.	-	-	-	-	4
ED1188	Corte a laser	Prensa 45T.	-	-	-	-	9;9
ED1467	Corte a laser	Prensa 45T.	Prensa 80T.	-	Fosfatização	Pintura	8;9;15
ED0505	Prensa 85T.	-	-	Zincagem	-	-	4
ED0499	Prensa 85T.	-	-	-	-	-	3
ED0506	Prensa 85T.	-	-	Zincagem	-	-	2
ED0500	Prensa 85T.	-	-	-	-	-	4
ED2502	Prensa 160T.	-	-	-	-	-	6
ED0734	Torno 1	-	-	Zincagem	-	-	14
ED0733	Torno 1	-	-	Zincagem	-	-	15
ED1189	Torno 1	-	-	Zincagem	-	-	9
ED0475	Torno 2	-	-	Zincagem	-	-	10
SD0207	Robô de solda	-	-	-	Fosfatização	Pintura	112
SD1013	Robô de solda	-	-	-	Fosfatização	Pintura	30

Fonte: Autor

Tabela 4: Tempo padrão dos componentes setores de porca garra, colagem, corte de tecido, costura e grampeação.

Código componente	1ª Máquina utilizada	2ª Máquina utilizada	3ª Máquina utilizada	4ª Máquina utilizada	5ª Máquina utilizada	Tempo padrão (s)
MD437	Porca Garra	-	-	-	-	8
MD278	Porca Garra	-	-	-	-	30
PC399	-	Cabine Colagem	-	-	-	17
PC174	-	Cabine Colagem	-	-	-	15
CP415	-	-	Corte tecido	-	-	16
CP080	-	-	Corte tecido	-	-	7
COS1	-	-	Costura	-	-	138
COS2	-	-	Costura	-	-	60
EN0416U	-	-	-	Grampeação	-	228
AS8103U	-	-	-	Grampeação	-	189
BS1	-	-	-	-	Montagem	60

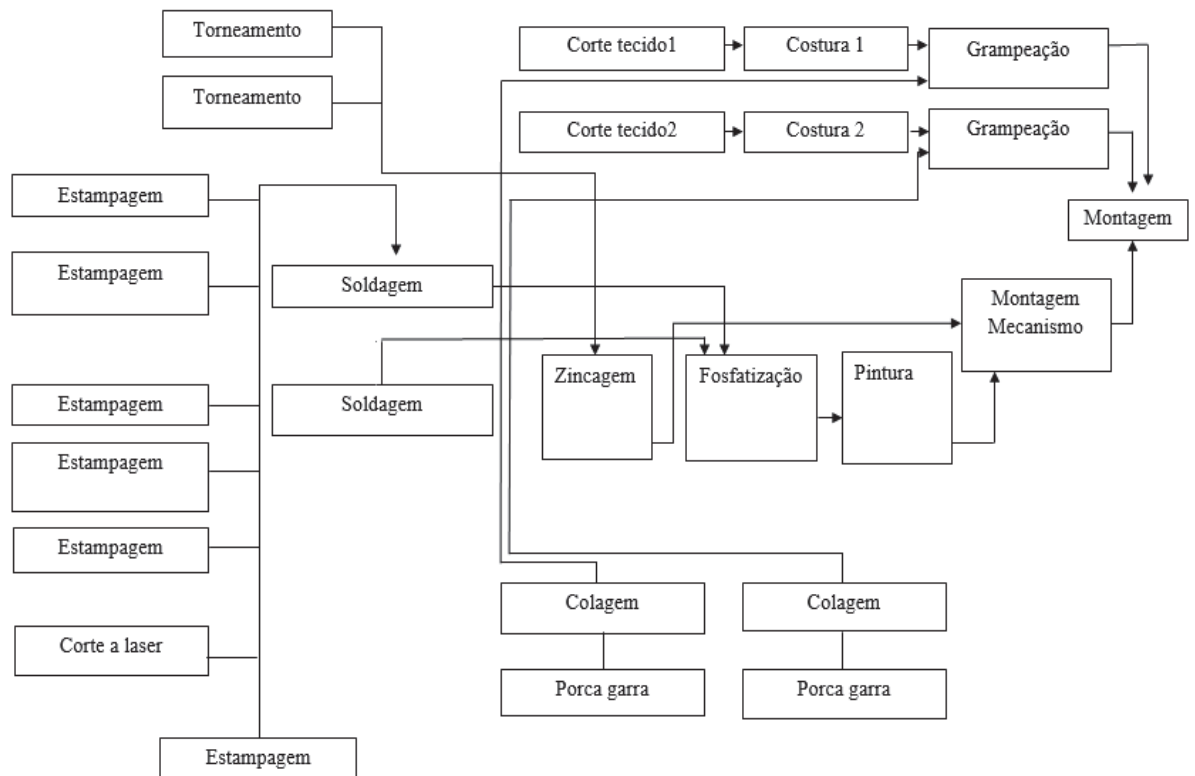
Fonte: Autor

Para o processo e produto em análise foi definida a quantidade produzida em um dia, portanto não foi necessário adicional tempo de tolerância, *setup* ou preparação de trabalho, pois o operador executa o trabalho sentado. Entende-se por *setup* o trabalho feito para se colocar o equipamento em condição de produzir uma nova peça com qualidade em produção normal. O tempo de *setup* é o tempo gasto na nova preparação do equipamento até o instante em que a produção é liberada. O *setup* costuma ser visto como uma atividade acíclica dentro do processo de produção porque ocorre cada vez que é produzido um lote de peças e não somente uma peça. Na Tabela 3 e Tabela 4 a seguir são apresentados os tempos padrões de cada produto e operação. Na Tabela 3 são apresentados os dados referentes ao processo de fabricação do mecanismo com seu respectivo código e as máquinas necessárias utilizadas para formar o componente. Na Tabela 4 apresenta-se o tempo padrão dos componentes relacionados ao assento, encosto e base do produto.

4.6 Construção do modelo conceitual

O entendimento do processo de manufatura do produto é apresentado no modelo conceitual mostrado na Figura 23.

Figura 23 – Modelo conceitual.



O processo constitui-se de seis máquinas de estampagem, uma máquina de corte de chapas de aço a laser, dois tornos automáticos, dois robôs de soldagem, uma máquina de zincagem, seis tanques para fosfatização e um sistema contínuo de pintura. Para o processo dos estofados (assento e encosto) o processo inicia simultaneamente com uma máquina de porca garra, uma máquina para colagem de espumas, uma máquina de corte de tecidos, uma máquina de costura de tecidos e duas cabines de grampeação dos estofados. Após a saída dos componentes da pintura o mecanismo é montado e por fim é adicionado encosto, assento e base, concluindo o produto final. O processo é composto por 99 operadores.

4.7 Verificação do tempo disponível

A jornada diária de trabalho do sistema de produção inicia às 07 horas e 22 minutos e se encerra às 17 horas e 40 minutos. Para determinar o tempo disponível de produção foi aplicada a planilha diário de bordo, que tem o objetivo de identificar todas as perdas nesse período de análise sejam elas por almoço, afiação da ferramenta, falta de desenho da peça, busca de matéria-prima, troca de agulha, falta de instrumento de medição, higiene pessoal, limpeza do setor, manutenção corretiva, manutenção preventiva, retrabalho, reunião, saída ou falta do operador, setup de troca de peça, espera empilhadeira e treinamento.

Foram cronometrados 05 dias, e, com as anotações na planilha foi possível constatar uma média de 108 minutos por dia de perdas ou tempo que não agrega valor ao sistema. Diminuindo o tempo total disponível que foi de 528 minutos pelo tempo que não agrega valor que foi de 108 minutos temos um total de 420 minutos, ou seja 7 horas disponíveis para produção as quais serão utilizadas no modelo computacional.

Figura 24 – Diário de bordo.

Empresa		Diário de Bordo																Número documento:	2			
																		Folha:	2			
Fábrica:	Setor:	Equipamento:	Operador:	Turno:	Tempo de análise:	Período de análise:																
Unidade II	Corte	Lectra	Luciele	Matutino	44h:00min	12/11/15 à 16/12/15																
Data início da parada (dia/mês/ano)	Horário início da parada (h:min)	Horário final parada (h:min)	Tempo total de parada (h:min)	Código da tabela de dados																Observação	Tabela de dados	
				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q		R	Código
12/11/2015	07:22	07:26	00:04	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	A	Almoço
12/11/2015	08:00	08:05	00:05	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	B	Afiação da ferramenta
12/11/2015	11:40	13:10	01:30	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	C	Falta desenho da peça
12/11/2015	15:30	15:35	00:05	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	D	Buscar matéria prima
12/11/2015	17:30	17:34	00:04	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	E	Troca de agulha
			01:48																		F	Falta de instrumento de medição
13/11/2015	07:22	07:26	00:04	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	G	Higiene pessoal
13/11/2015	08:00	08:20	00:05	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	H	Limpeza do setor
13/11/2015	11:40	13:10	01:30	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	I	Manutenção corretiva
13/11/2015	15:30	15:35	00:05	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	J	Manutenção preventiva
13/11/2015	17:30	17:34	00:04	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	L	Retrabalho
			01:48																		M	Reunião
14/11/2015	07:22	07:26	00:04	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	N	Saída ou falta do operador
14/11/2015	08:00	08:20	00:05	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	O	Setup de troca de ferramenta
14/11/2015	11:40	13:10	01:30	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	P	Setup de troca de peça
14/11/2015	15:30	15:35	00:05	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	Q	Espera empilhadeira
14/11/2015	15:00	15:04	00:04	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	R	Treinamento
14/11/2015	17:30	17:31	00:01	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R		
			01:49																			
15/11/2015	09:00	09:08	00:08	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R		
15/11/2015	11:40	13:10	01:30	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R		
15/11/2015	15:30	15:35	00:05	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R		
15/11/2015	17:30	17:35	00:05	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R		
			01:48																			
16/11/2015	11:40	13:10	01:30	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R		
16/11/2015	15:30	15:35	00:05	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R		
16/11/2015	16:00	16:06	00:06	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R		
16/11/2015	17:10	17:16	00:06	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R		
			01:47																			
Total			09:00																			9

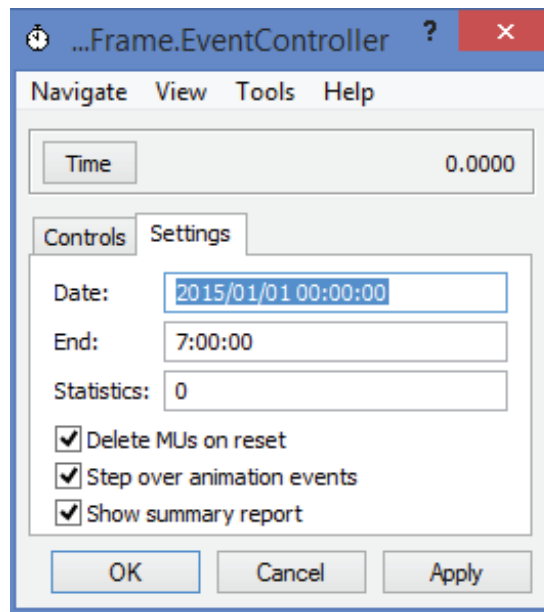
Fonte: Autor.

4.8 Construção do modelo computacional

A construção do modelo computacional foi realizada no *software plant simulation* da empresa Siemens. No modelo foram inseridas todas as máquinas, estoques iniciais, os caminhos que representam a distância percorrida pelo componente, juntamente com o carro transportador, visto que o processo atual é em lotes. Também foram inseridas estratégias de saída para cada componente visto que os componentes não tem percurso e/ou tempo iguais.

O tempo disponível de produção foi inserido no modelo computacional. A Figura 25 mostra como foi inserido os dados.

Figura 25 – Tempo estimado de simulação



Fonte: Autor.

Como o tempo de fabricação foi considerado de um dia não foram contabilizadas parada de máquinas, reparos do setor de manutenção ou troca de ferramentas e inspeção.

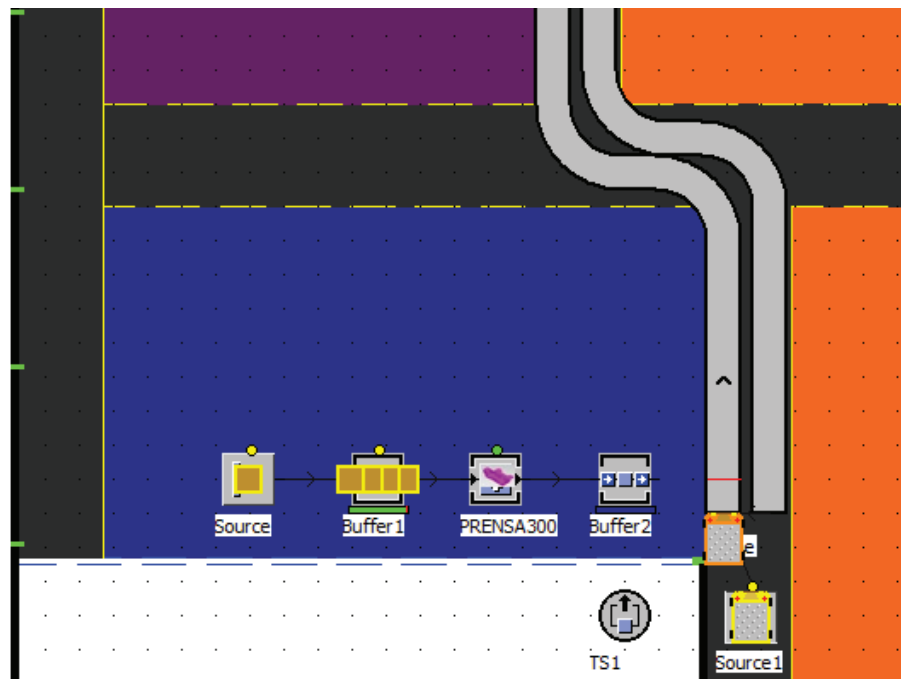
4.8.1 Modelagem computacional

Na etapa de construção deste modelo foram utilizados os seguintes elementos que compõem o aplicativo:

- ✓ Locais: estações de trabalho e seu respectivo posicionamento no modelo;
- ✓ Entidades: matérias-primas, componentes e produtos;
- ✓ Recursos: número de operadores;
- ✓ Chegadas: quantidade e frequência dos componentes ingressantes no processo.

O modelo de simulação em estudo foi criado a partir de uma série de objetos do *software*. Para representar a fabricação da plataforma do mecanismo foram utilizados os comandos *Source*, *Buffer*, *SingleProc*, *Line* e *Transferstation*. Para a representação do componente foi criada uma entidade comando (*entities*) e por fim um carro transportador comando (*Transporter*), ou seja, os componentes passam pelo processo de estampagem (*SingleProc*), já inserido o tempo de fabricação no comando. Após o processo são colocados no carro transportador e esse percorre a trajetória através da (*Line*) para o processo seguinte. A Figura 26 ilustra o processo básico de fabricação do componente ED0496.

Figura 26 – Parte do modelo computacional.



Fonte: Autor.

A seguir é apresentada a descrição de cada um dos comandos utilizados para representar o sistema de produção:

a) *Source*: este objeto é a fonte das peças, que se movem e são utilizadas para fazer algum processo de fabricação ou processo de montagem;

b) *Buffer*: objeto para armazenamento de unidades móveis;

c) *SingleProc*: objeto para representação de processos ou máquinas;

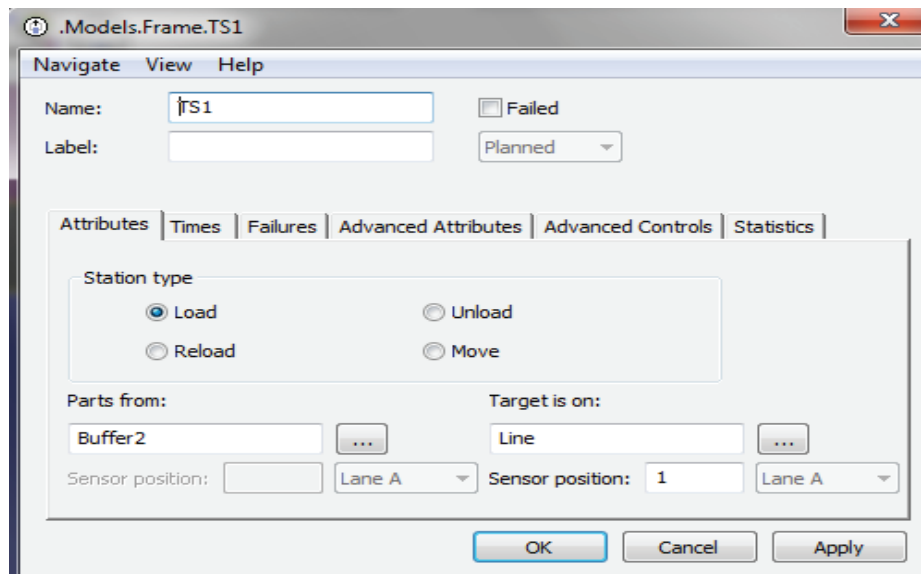
d) *Entity*: unidade que circula pelo fluxo de materiais, representando os produtos em um processo produtivo;

e) *Transporter*: objeto de transporte com propulsão própria, que pode ter velocidade e aceleração configuradas;

f) *Line*: objeto de transporte ativo, ou seja, que transporta objetos de fluxo de material (*entities* ou *containers*);

g) *Transferstation*: indica por onde o componente ou carro deve seguir um caminho.

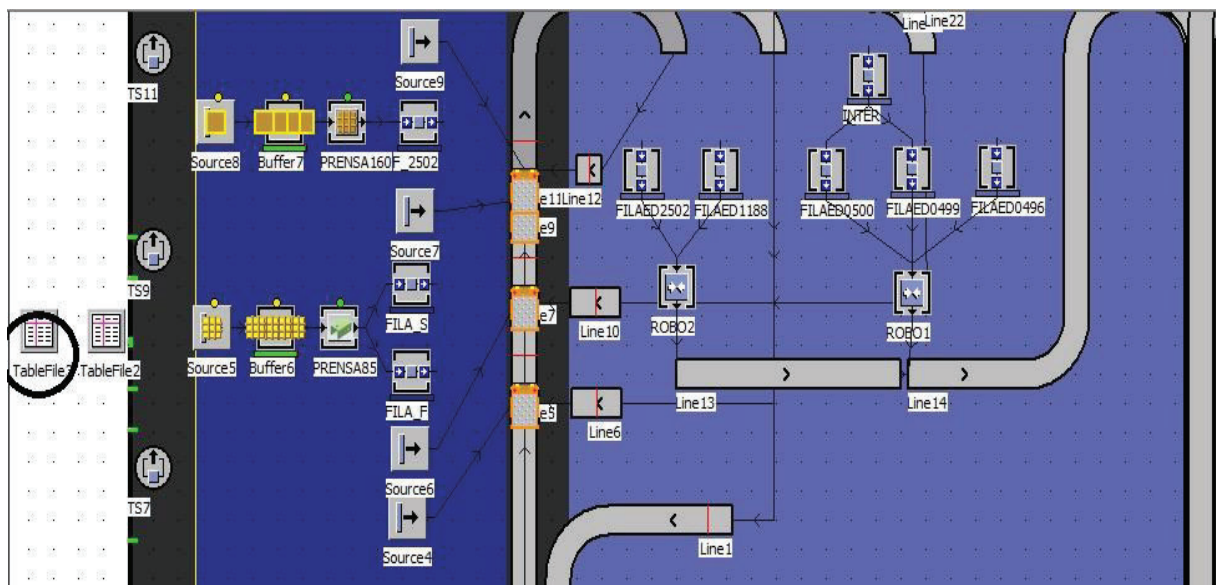
O comando *Transferstation* significa por onde o carro e o componente vão percorrer um determinado caminho. No caso inicia pela linha um, após chegar ao próximo processo o componente será descarregado e o mesmo carro percorre outro caminho (linha dois) voltando à posição inicial. A Figura 27 mostra como foi feita a descrição no *software*. O componente sai do buffer 2 passa para o carro transportador que está posicionado na linha um.

Figura 27 – Parâmetros para o comando *Transferstation*.

Fonte: Autor.

Alguns componentes do sistema de produção passam por uma mesma máquina, ou seja, são fabricados pela mesma máquina porém com tempos padrões diferentes e um de cada vez. Para representar no modelo de simulação foi inserida uma tabela vinculada à máquina pertinente. Com essa tabela chamada no *software* de *TableFile* foi possível colocar o tempo de fabricação de cada componente e a quantidade necessária, assim a máquina processa um componente de cada vez com seu específico tempo. A Figura 28 mostra a sequência de processamento da prensa 85 com diversos componentes sendo processados.

Figura 28 – Sequência do processamento da prensa 85



Fonte: Autor.

Dentro da *TableFile* são inseridas as entidades ou no caso os códigos dos componentes com seu respectivos tempos e quantidade necessária, ou seja, o registo de informações ou parâmetros de processo. A Figura 29 mostra uma das tabelas vinculadas a uma máquina específica.

Figura 29 – Parâmetros da *Tablefile*.

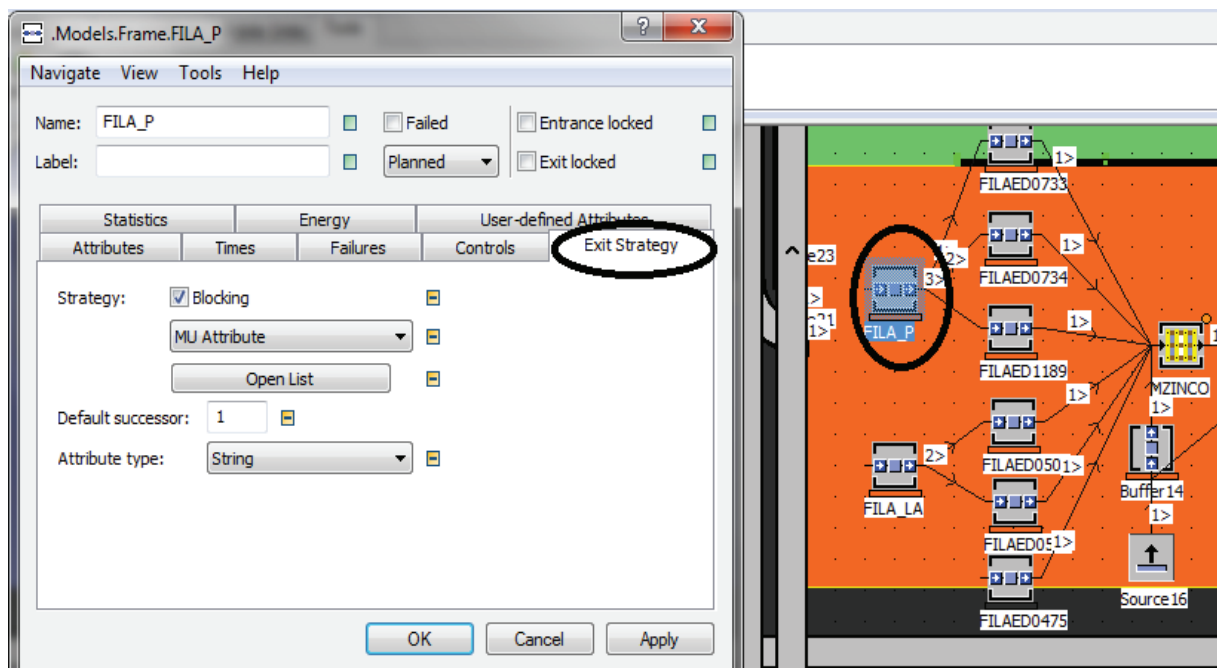
	object 1	integer 2
string	MU	Number
1	.MUs.ED0500	25
2	.MUs.ED0499	125
3	.MUs.ED0505	125
4	.MUs.ED0506	25
5		

	string 1	time 2
string	MU type	Time
1	ED0500	5.0000
2	ED0499	8.0000
3	ED0505	5.0000
4	ED0506	8.0000
5		

Fonte: Autor.

No sistema de produção cada componente percorre um caminho e determinadas máquinas para a fabricação. Portanto na modelagem foi inserida uma estratégia de saída para cada componente através do comando *exit strategy* o qual foi possível colocar o sucessor de cada componente. A Figura 30 representa a modelagem do recurso *FILA_P*.

Figura 30 – Parâmetros para a estratégia de saída.



Fonte: Autor.

Dentro da estratégia de saída foi inserido o sucessor de cada componente através do código e atributo. A Figura 31 mostra a lista e seu sucessor, ou seja, cada máquina ou *buffer* tem seu sucessor, isso pode ser visto através do número que está sobre a linha de conectividade entre as máquinas e *buffers*.

Figura 31 – Parâmetros para a estratégia de saída de cada componente.

	Attribute	Value	Successor
1	CODIGO	ED0734	2
2		ED1189	3

Fonte: Autor.

A partir desses objetos básicos, os diferentes elementos do processo produtivo foram modelados da seguinte forma:

a) componentes: os componentes foram modelados como *entities*, ou seja, constituem a unidade básica de movimentação no modelo. Diferentes tipos de *entities* foram criados, para representar todos os componentes considerados no modelo;

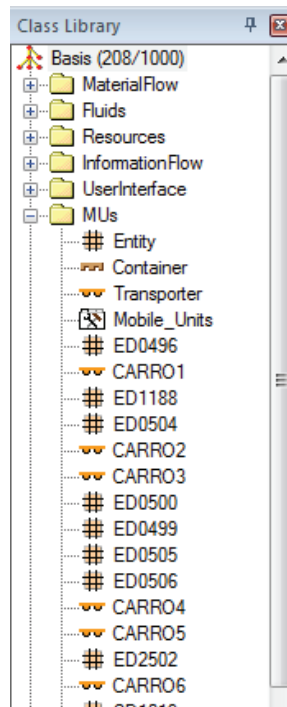
b) paletizadores: os paletizadores utilizados para movimentação dos componentes foram criados do objeto *transporter*;

c) transportadores: lineares, estufas e *buffers* de processo - esses elementos foram representados por *lines*, onde os componentes a serem pintados se movimentam (no caso dos transportadores);

d) postos de trabalho: a maior parte dos postos de trabalho foi modelada como *SingleProcs*, *Paralellproc*, *Assembly* e *dismantlestation*.

e) parâmetros de processo: para a inserção dos parâmetros de processo foram utilizadas *TableFiles*. A partir desse tipo de objeto foram inseridas as informações referentes a: tempos de processo nos tanques de fosfatização; tempos de processo de pintura; tempos de processo nos postos de trabalho; velocidades das esteiras; e velocidades dos transportadores. A figura 32 mostra as entidades com o código de todos os componentes e o carro de transportes das peças.

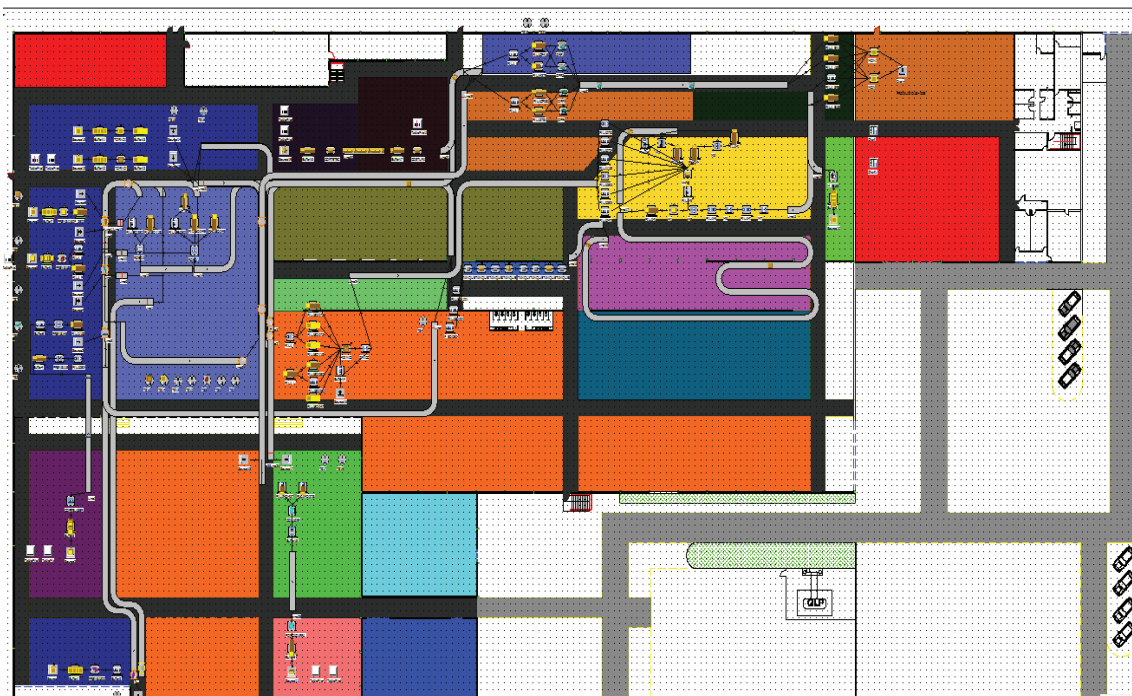
Figura 32 – Árvore de projeto dos componentes e carros de transporte.



Fonte: Autor.

A Figura 33 mostra a representação do modelo computacional atual com as máquinas, caminhos percorridos pelos carros de transporte e estoques intermediários. A partir da validação do modelo conceitual e coleta de dados foi desenvolvido o modelo computacional.

Figura 33 – Modelo computacional atual

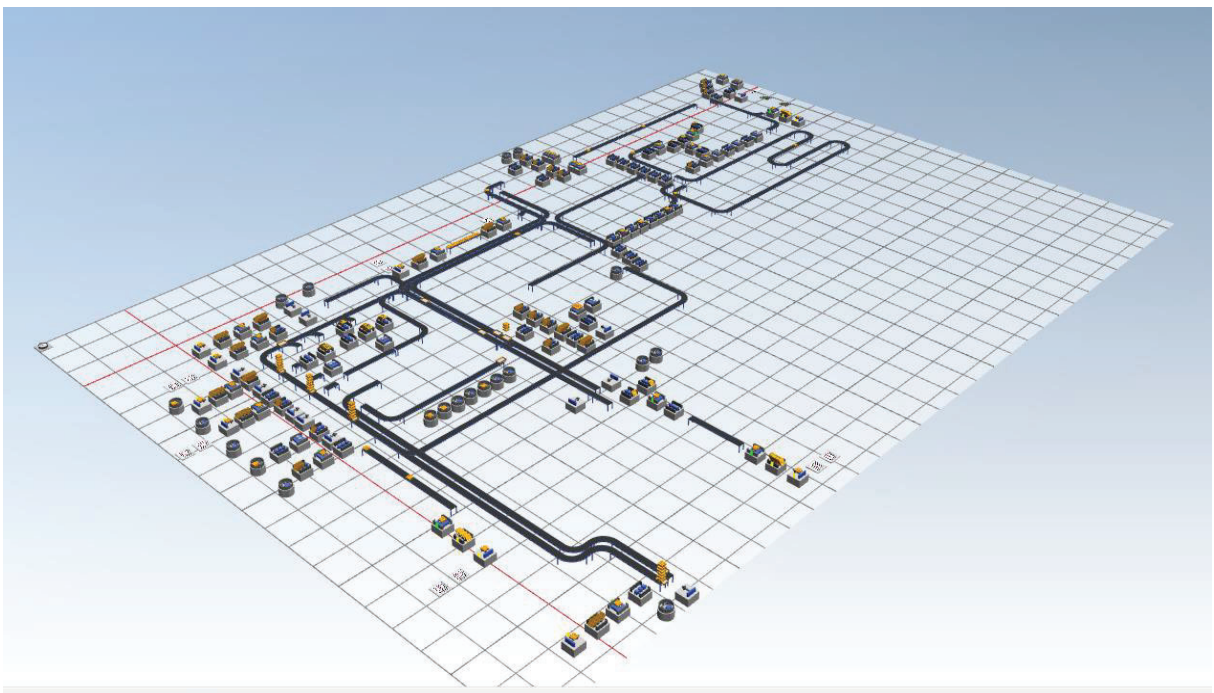


Fonte: Autor.

4.9 Verificação do Modelo

O objetivo da verificação é avaliar se o modelo computacional está rodando adequadamente. Identifica-se se as equações e rotinas do modelo estão funcionando como esperado. Na verificação do modelo fez-se uso das técnicas mais comuns utilizadas para identificação de problemas com programas computacionais. Dentre elas destaca-se a verificação por partes, que foi amplamente utilizada como forma de rastreamento e refinamento progressivo do modelo. A verificação por partes ocorreu durante a construção do modelo, a cada parte construída o modelo foi testado contra erros com o intuito de evitar a etapa posterior de correção do modelo como um todo. Foi utilizado também o teste por parâmetros, que consiste na execução da simulação através da variação dos parâmetros de entrada, verificando se os resultados obtidos apresentam um comportamento razoável. Erros de entrada de dados foram identificados pelo próprio *software* ao tentar rodar a simulação, os quais foram tratados separadamente até que a simulação rodasse normalmente. A Figura 34 mostra a verificação do modelo computacional por inteiro.

Figura 34 – Modelo computacional atual 3D.



Fonte: Autor.

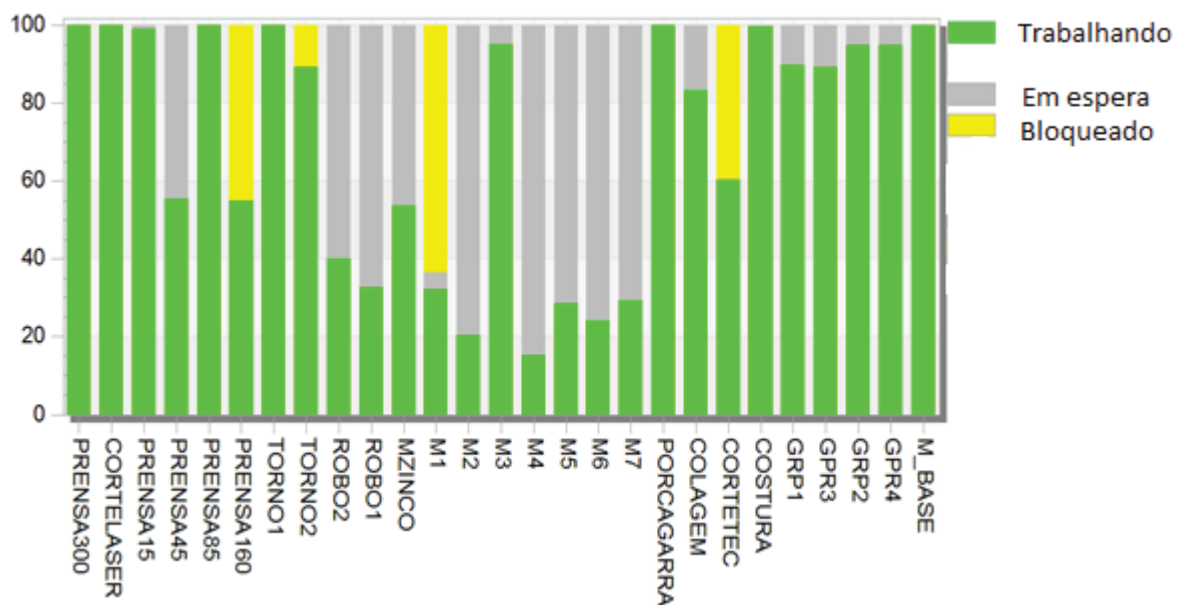
A verificação do modelo ocorreu de duas maneiras. Primeiro foi analisada a sequência de operações e, em seguida, foi verificado, com dados determinísticos, se o tempo total de

fabricação simulado, bem como as operações, foi semelhante ao processo real. Dessa forma, garantiu-se a verificação do modelo.

4.10 Eficiência do sistema de produção atual

Ao final da etapa de simulação, foram desenvolvidos gráficos para facilitar a compreensão dos dados. A Figura 35 ilustra os resultados de produtividade de cada máquina do processo de produção referentes a simulação do sistema atual.

Figura 35 – Resultados de eficiência apresentados no cenário atual.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados dos relatórios de simulação.

O gráfico anterior mostra em cor verde a porcentagem de eficiência por cada máquina do sistema, em cinza a porcentagem em esperas e em amarelo os bloqueios isso ocorre devido ao desbalanceamento existente entre as estações de trabalho. Foi observada a baixa ociosidade das máquinas robô 1 e robô 2 caracterizados pelo processo de soldagem e pelas máquinas M1, M2, M4, M5, M6 e M7, cerca de 35%, 23%, 16%, 30%, 25% e 30% respectivamente.

Com o modelo validado, apresenta-se os resultados de produtividade do produto por completo. A Figura 36 gerada pelo *software* de simulação comprova a produtividade de 225 unidades do produto, também foi possível determinar o *takt time* ou seja o ritmo de produção que será comparado com os cenários futuros visto que o tempo disponível é de 420 minutos e a produtividade foi de 225 neste modelo, o *takt time* resulta em 1,86 minutos. O *takt time*, ou tempo de ciclo define que para atender a demanda dentro do tempo de trabalho, é necessário produzir um produto a cada 1,86 minutos.

Figura 36 – Resultado de produtividade apresentados no cenário atual.

Tempo de Simulação 7:00

Estatística acumulada das peças

Objeto	Nome	Tempo	Quantidade	TPH	Produção	Transporte	Armazenamento	Valor adicionado	Parte
CG	CG410355	3:07.7418	225	32	100%	0%	0%	5.33%	

Fonte: Autor.

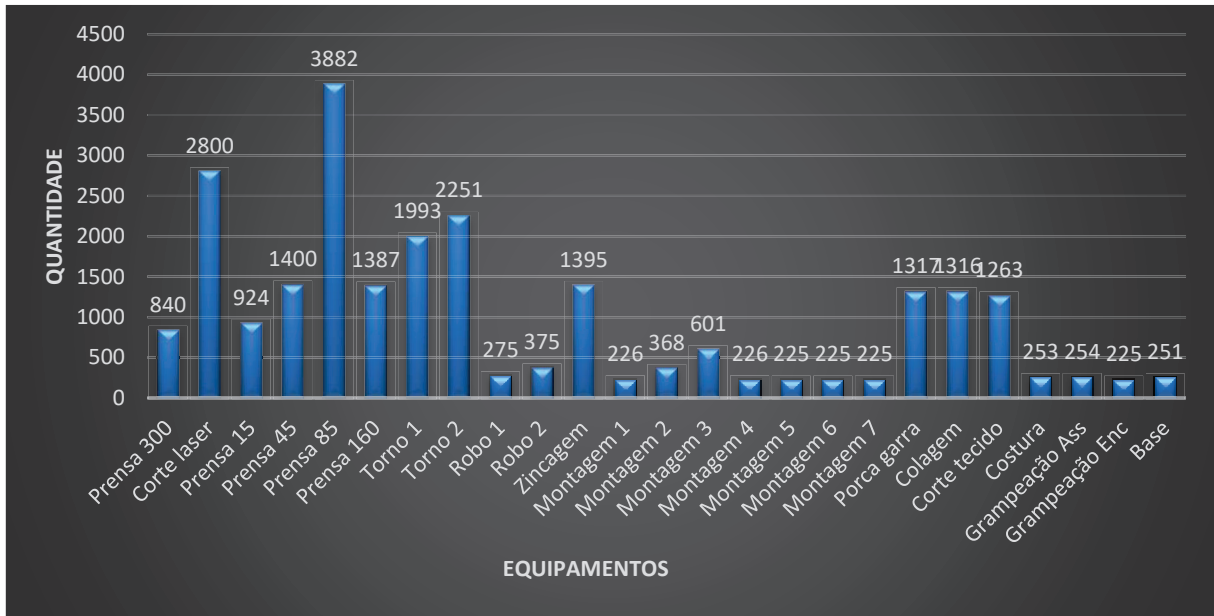
4.10.1 Verificação da produtividade do cenário atual

Nesta seção são considerados os resultados alcançados em relação a aderência e eficiência da linha proporcionados pelo cenário atual. Com base nos resultados de produtividade foi possível identificar perdas de superprodução, perdas de transporte, perdas por movimentação desnecessária e perdas por espera no processo atual.

A perdas por superprodução são caracterizadas pelas máquinas prensa 85 que produziu 3882 unidades de quatro componentes do mecanismo com média próximas de 970 unidades de cada componentes, torno 1 e torno 2 que produzem 1993 e 2251 unidades respectivamente e setor de porca garra, colagem e corte de tecido que produzem 1317, 1316 e 1263 unidades respectivamente, ou seja um índice muito elevado comparado com outros setores do sistema que produzem 225 unidades que foi o caso do setores de soldagem e montagem do mecanismo.

A perdas por transporte são identificadas pelo número alto de distância percorrida dos componentes que totalizaram 1163 metros para o processo de fabricação do mecanismo e 359 metros para a fabricação dos estofados. Essa distância pode ser verificada detalhadamente no fluxograma vertical no apêndices A e B. Resultante da alta distância percorrida as máquinas de soldagem robô 1 e robô 2 tem uma baixa produtividade com 275 e 375 unidades, o mesmo acontece com a montagem 1, 2, 4, 5, 6, 7 com 225 unidades produzidas e com o setores de costura, grampeação encosto e grampeação do assento. A Figura 37 mostra um comparativo de cada equipamento podendo visualizar a quantidade de que cada máquina produziu.

Figura 37 - Gráfico dos resultados de produtividade apresentados no cenário atual.

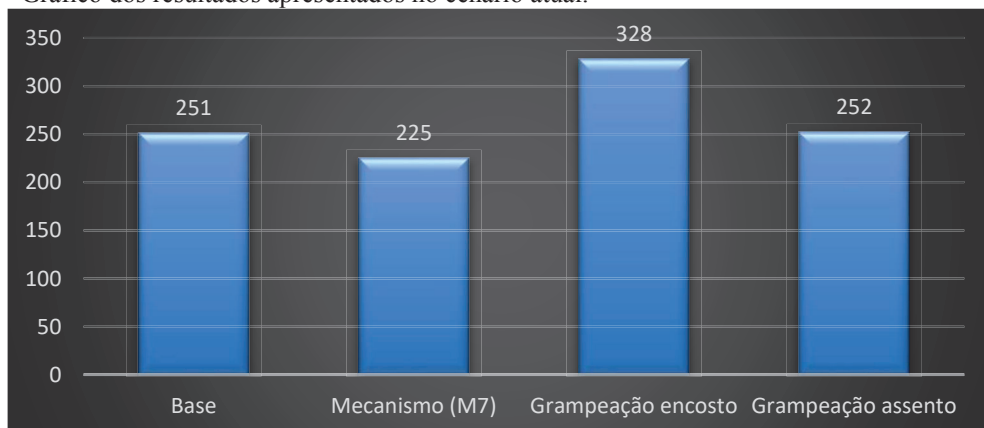


Fonte: Autor.

Também foram identificadas perdas por movimentações desnecessárias e perdas por espera, principalmente do setor de soldagem, pois devido à espera por componentes estampados as máquinas ficaram ociosas. Não foram encontradas perdas por processamento pois os tempos de processamento foram considerados iguais para todos os cenários.

Ainda podendo analisar os componentes já em fase final de fabricação ou seja quatro subconjuntos que compõem o produto (mecanismo, assento, base e encosto) já montados, a Figura 38 mostra graficamente a baixa produtividade em todos os setores, principalmente no setor de fabricação do mecanismo com 225 unidades sendo fator limitante do sistema. O setor de fabricação foi o mais produtivo com 328 unidades, a assento com 252 unidades e a base com 251 unidades.

Figura 38 - Gráfico dos resultados apresentados no cenário atual.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados dos relatórios de simulação.

4.11 Validação do modelo

A validação do modelo de simulação consiste em assegurar que este representa o sistema real. O objetivo é verificar se o comportamento do modelo computacional construído está representando adequadamente o sistema. A abordagem de validação do modelo utilizada foi a validação operacional, que consiste na comparação direta dos valores gerados pelo modelo com os coletados do sistema. Foram coletados dados de produção através dos indicadores da empresa analisada, situados no chão de fábrica durante um dia para constatar existe uma similaridade entre o modelo e o sistema real. Assim permitirá a formulação dos cenários hipotéticos para avaliar a otimização do processo produtivo.

Os códigos dos componentes modificam-se após cada etapa do processo, como visto os códigos ED's são chapas e tubos metálicos, quando unidos por solda formam um conjunto sendo esse novo componente com o código SD e assim consequentemente nos outros processos. Esta mudança de codificação é o problema identificado no momento da primeira rodada da simulação e promove uma reanálise na forma de inclusão das informações de processo no modelo.

O ajuste do tempo de deslocamento também foi importante na fase de validação do modelo, pois os carros transportadores tiveram que ser adequados na velocidade exata com o tempo de movimentação entre os processos, isso foi testado com várias rodadas de simulação até ser encontrado o tempo igual ao real. As distâncias dos caminhos foram seguidas exatamente iguais a distância na fábrica real.

Nesta tabela estão relacionados os tempos de ciclo reais já apresentados na Tabela 5 e comparados aos resultados da simulação para a avaliação comparativa final.

Tabela 5 - Resultados da validação as unidades produzidas.

Produto	Atual	Simulação	Aderência
Base	243	251	96,80%
Mecanismo	220	225	97,77%
Encosto	324	328	98,78%
Assento	246	252	97,61%

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados dos relatórios de simulação.

Ao observar os resultados, destaca-se uma variação de aproximadamente 3% no tempo de ciclo representado pelo modelo em comparação ao real, condição que assegura a validação do modelo pelo tempo de processo.

As performances do sistema real e do modelo foram comparadas através desses indicadores, concluindo que o modelo está validado. Este modelo tem a finalidade de validar a construção do modelo real para propor e otimizar outros cenários.

4.12 Experimentação

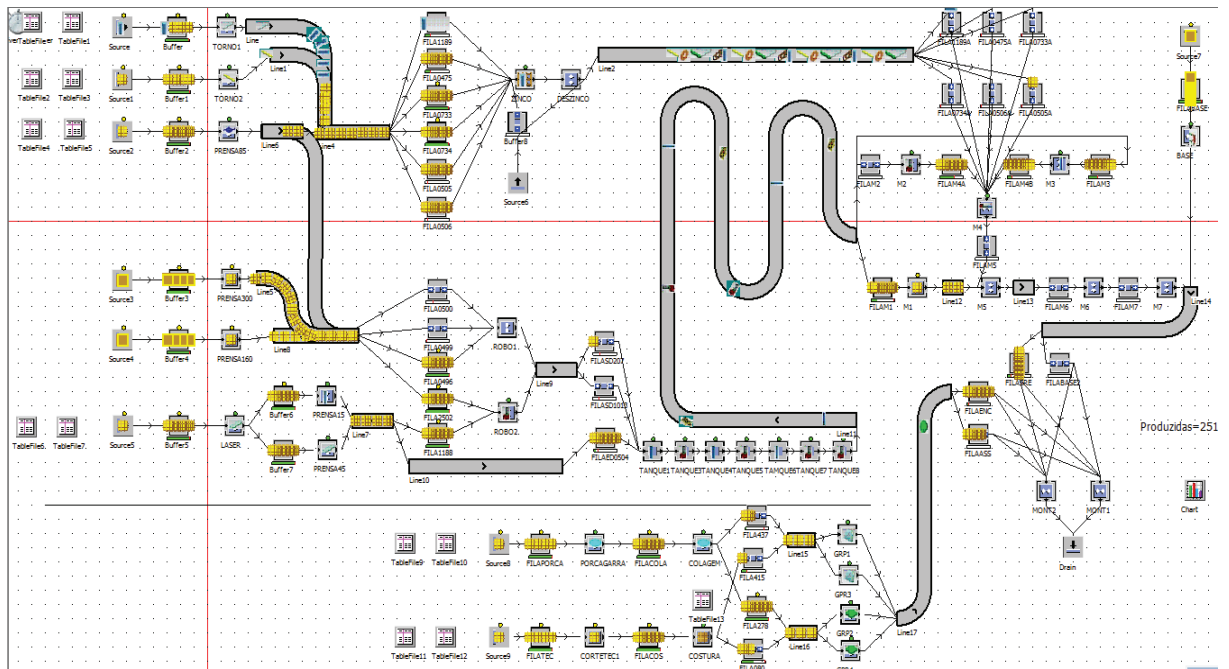
Com base no modelo atual, considerando os mesmos tempos de fabricação e quantidade de máquinas operando, foi proposto um novo modelo de simulação. Esse novo sistema de fabricação consiste em fabricar o mesmo produto em formato celular de fluxo contínuo assim os componentes são movimentados por esteiras contínuas que ligam os setores de produção. A partir das ponderações citadas projetam-se os cenários apresentados como sequência do desenvolvimento do trabalho.

4.12.1 Simulação cenário 2

A proposta do cenário 2 visa a alteração da planta para um fluxo contínuo de produção, onde com os mesmos dados de produção do cenário 1 ou atual apresenta-se um cenário enxuto com alterações nas posições das máquinas encurtando o caminho a ser percorrido. Os carros transportadores deixam de existir e as esteiras transportadoras fazem o serviço de movimentação. O modelo computacional apresenta na parte superior 3 máquinas que produzem pinos torneados e arruela, posteriormente passam pelo processo de zincagem e ficam em espera no setor de montagem que junto com outros componentes formam o mecanismo.

Na linha do meio outras 3 máquinas de estampagem e corte a laser produzindo outros componentes do mecanismo, que, posteriormente passam pelo processo de soldagem, fosfatização e pintura que chegam a montagem do mecanismo. O setor de pintura é representado no modelo em forma de caminho pois trata-se de um sistema contínuo de pintura a pó. Simultaneamente na parte de baixo na Figura 39 mostra o processo da fabricação do encosto e assento. Duas linhas apresentadas no modelo passam pelos processos de colocar a porca garra no assento e assento, colagem da espuma, corte e costura de tecidos e finalizando com a grampeação dos componentes. Com o mecanismo, assento, encosto prontos juntam-se a base no final do processo formando o produto. O arranjo físico por produto ou em linha justifica-se pelo fator de aproximar os setores.

Figura 39 – Modelo computacional proposto – Cenário 2.

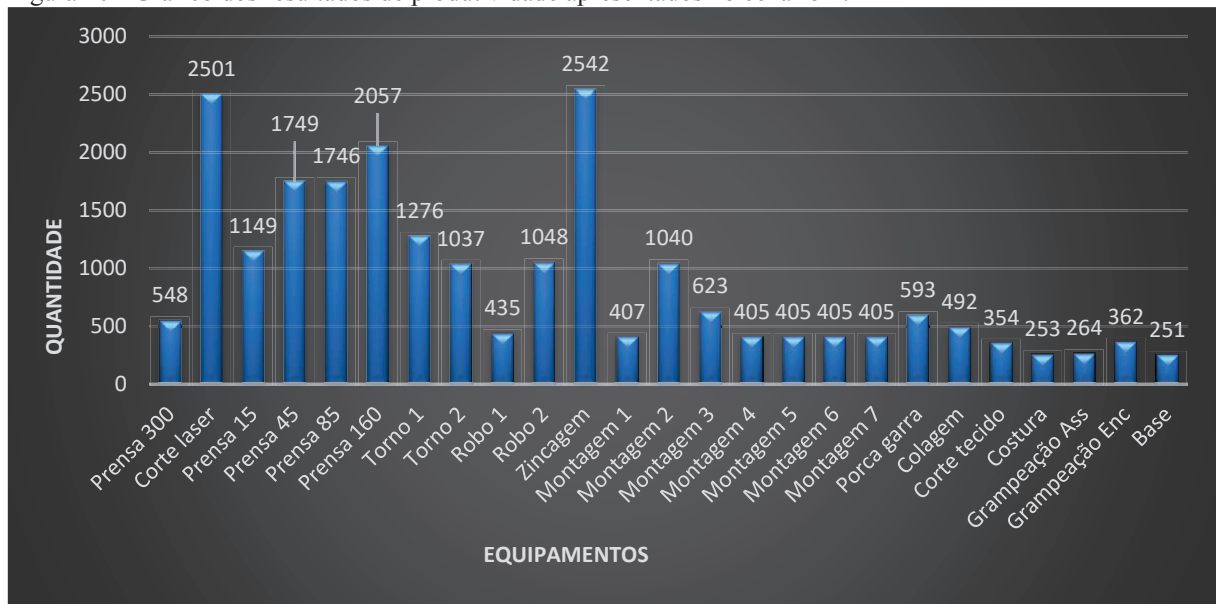


Fonte: Autor.

4.12.2 Verificação da produtividade do cenário 2

Com base nos resultados apresentados da simulação do cenário 2 o índice de produtividade teve aumento. Devido ao encurtamento da distância percorrida pelos componentes a produção fluiu melhor diminuindo as perdas por espera, assim os setores mais críticos de soldagem e montagem tiveram uma produtividade maior que o cenário atual. Foram produzidas no robô 1 435 unidades e no robô 2 1048 unidades. O setor de montagem representado pelas máquinas M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7 também teve a produtividade elevada com 405 unidades. A Figura 40 mostra detalhadamente a produtividade de cada máquina. Os dois tornos passam a produzir número de unidades parecidas melhorando em relação ao sistema atual e também tem uma produtividade menor. Nesse caso foi definido um ganho para o processo pois as duas máquinas produzem mais que a demanda necessária sendo assim eliminando parcialmente a perda por superprodução. A distância percorrida também foi um fator positivo, apresentou 718 metros. Essa distância foi medida pelo *software* visto que o modelo já está validado.

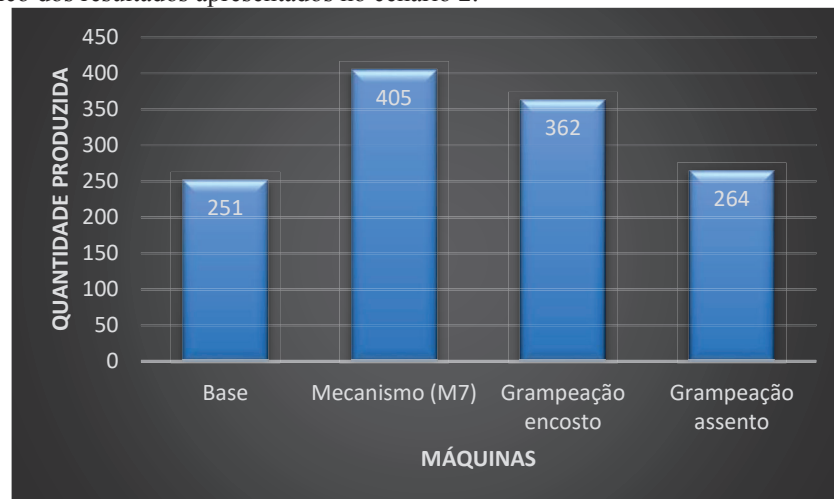
Figura 40 - Gráfico dos resultados de produtividade apresentados no cenário 2.



Fonte: Autor.

Os resultados apresentados na Figura 41 mostram como o modelo se comporta em um fluxo contínuo de produção. Observa-se que com a aproximação dos setores e menor deslocamento, a máquina M7 sendo a última máquina de montagem do mecanismo apresenta uma produtividade de 405 unidades e uma eficiência de 53% de operação muito diferente 225 unidades produzidas no cenário 1. A quantidade produzida também justifica-se pela melhor produtividade e menor tempo de fila dos processos antecedentes como o robô 1 e robô 2, que tem produtividade de 435 e 1049 unidades respectivamente. O cenário 2 apresenta melhor produtividade em relação ao modelo anterior. No entanto, apresentou também uma baixa produtividade na fabricação do assento e da base com 264 e 251 unidades respectivamente.

Figura 41 - Gráfico dos resultados apresentados no cenário 2.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados dos relatórios de simulação.

Orientando-se pelos resultados apresentados nota-se postos de trabalho com produtividade discrepantes em relação aos demais, proporcionando oscilações elevadas especialmente nos postos de trabalho da base.

O resultado de produtividade do produto por completo é mostrado na Figura 42 gerada pelo software de simulação que comprova a produtividade de 251 unidades do produto, assim é determinado novo *takt time* que resulta em 1,67 minutos.

Figura 42 – Resultado de produtividade apresentados no cenário 2.

Tempo de Simulação 7:00

Estadística acumulada das peças

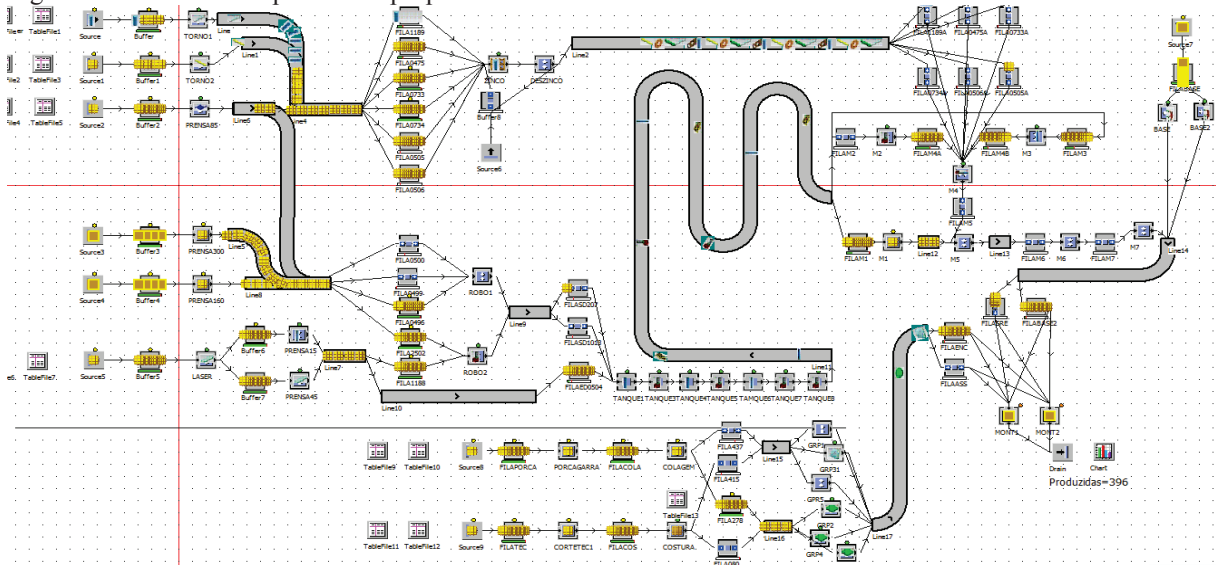
Objeto	Nome	Tempo	Quantidade	TPH	Produção	Transporte	Armazenamento	Valor adicionado	Parte
CG	CG410355	18.4507	251	36	100%	0%	0%	54.20%	

Fonte: Autor.

4.12.3 Simulação cenário 3

A proposta do cenário 3 objetiva ainda a melhoria em produtividade do sistema de produção. Já visto no cenário 2 que a produtividades dos mecanismos foi de 405 unidades trata-se agora de dar produtividades aos gargalos identificados na fabricação da base, assento e encosto. No cenário 3 foi inserida uma máquina na produção da base e outras duas na fabricação do assento e encosto sendo uma para cada modelo uma máquina. O modelo computacional é representado na Figura 43.

Figura 43 – Modelo computacional proposto – Cenário 3.

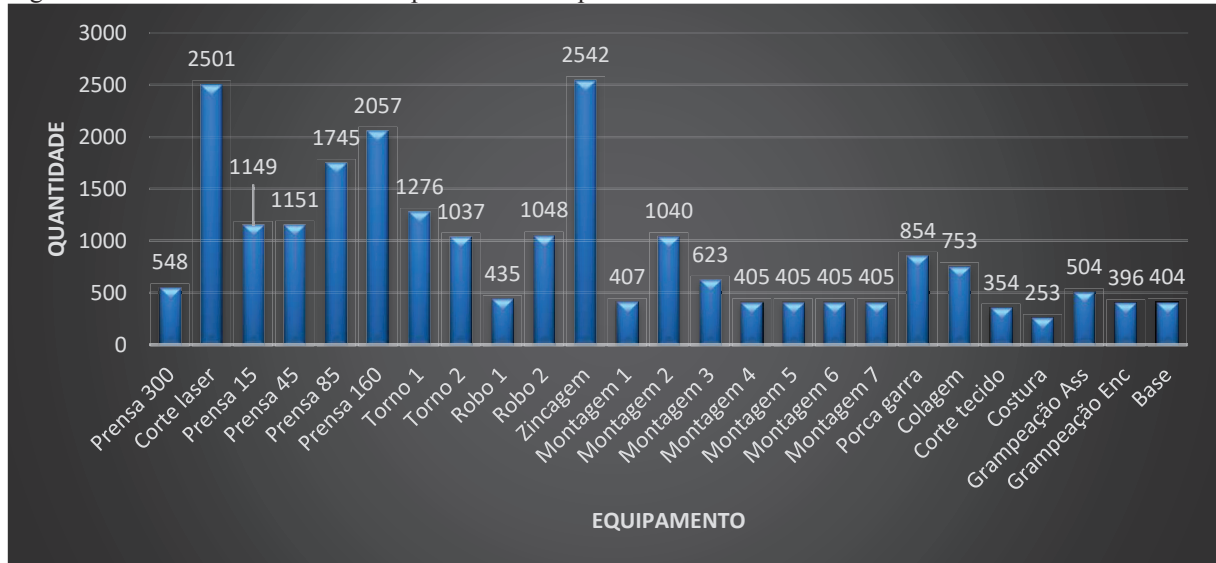


Fonte: Autor.

4.12.4 Verificação da produtividade do cenário 3

Em comparação com o cenário atual, o cenário escolhido (cenário 3) apresenta melhor produtividades dos três cenários analisados, com base nos resultados apresentados na Figura 44 mostra detalhadamente a produtividade de cada máquina no cenário 3. A fabricação do encosto, assento e base aumentaram 52%, 1%, 62% respectivamente em relação ao cenário 2.

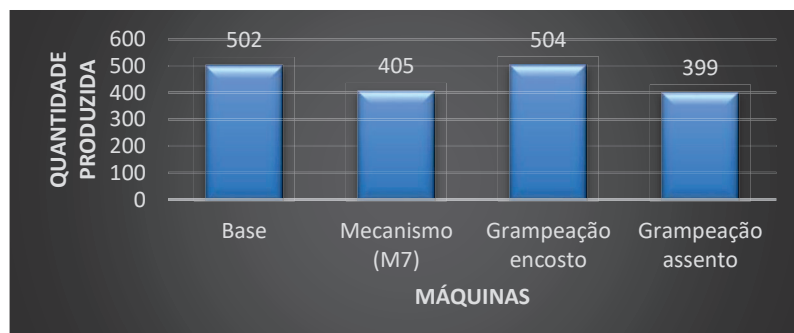
Figura 44 - Gráfico dos resultados de produtividade apresentados no cenário 3.



Fonte: Autor.

Os resultados apresentados na Figura 45 mostram como o modelo se comporta com as alterações citadas. A base tem produção de 502 unidades, o mecanismo tem produção de 405 unidades, o encosto tem produção de 504 unidades e o assento tem 399 unidades produzidas. Observa-se um melhor nivelamento entre os setores principalmente entre a produção da base e do encosto que praticamente fabricam o mesmo número de componentes, porém nota-se que com a colocação de novas máquinas identifica-se que o setor responsável pela fabricação do mecanismo e assento foram os gargalos do sistema.

Figura 45– Gráfico dos resultados apresentados no cenário 3.




Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados dos relatórios de simulação.

O resultado de produtividade do produto no cenário 3 é mostrado na Figura 46 gerada pelo software de simulação que comprova a produtividade de 251 unidades do produto. Novo *takt time* é determinado resultando em 1,67 minutos.

Figura 46 – Resultado de produtividade apresentados no cenário 3.

Tempo de Simulação 7:00

Estatística acumulada das peças									
Objeto	Nome	Tempo	Quantidade	TPH	Produção	Transporte	Armazenamento	Valor adicionado	Parte
CG	CG410355	2:060391	396	57	100%	0%	0%	7.93%	

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados dos relatórios de simulação.

Percebe-se que surgem outra inúmeras opções para melhorar, porém o trabalho limita-se a demanda atual de produção para este produto conforme necessidade da empresa analisada.

4.13 Verificação dos custos

Nesta seção de verificação dos custos, são considerados os dados de produtividade do cenário atual, que teve 225 unidades produzidas, e o cenário que teve melhor produtividade, no caso o cenário 3, com 369 unidades produzidas. Assim, apresenta-se na Tabela 6 a comparação da evolução do sistema de produção e ganhos percentuais.

Tabela 6 – Comparação dos resultado do modelo atual e cenário 3

Variáveis	Modelo atual	Cenário 3	Percentual ganho
Base (un.)	251	502	100%
Mecanismo (un.)	225	405	80%
Encosto (un.)	328	504	54%
Assento (un.)	252	399	58%
CG1410355 (un.)	225	369	64%

Fonte: Autor.

Com base nos resultados torna-se possível identificar os ganhos de eficiência do produto por inteiro e dos 4 subconjuntos que o formam o produto. Assim é possível calcular o valor financeiro da melhoria considerando a porcentagem do produto pronto e dados de custo do sistema de gestão da empresa.

Na Tabela 7 são apresentados os custos dos subconjuntos e por fim um somatório deles que resultam no valor do produto respectivo por cada linha de produção do sistema de produção,

entendidos como ganhos proporcionais as quantidades produzidas a mais em relação ao modelo atual.

Tabela 7 – Resultados financeiros

Custo médio unitário (R\$)		
Variáveis	Modelo atual	Cenário 3
Base (un.)	16,34	8,17
Mecanismo (un.)	35,09	19,49
Encosto (un.)	19,63	12,75
Assento (un.)	25,30	17,27
CG1410355 (un.)	95,97	57,68

Fonte: Autor.

Com base nos resultados apresentados, verifica-se que o custo do produto no modelo atual foi de R\$ 95,97, já no modelo apresentado no cenário 3 o custo foi de R\$ 57,68, uma redução de R\$ 38,59 por unidade produzida. Considerando a demanda diária de 369 unidades, o custo diário seria de R\$ 35.412,93, porém com o modelo proposto no cenário 3 o custo diário das 396 unidades foi de R\$ 21.593,25, proporcionando uma redução de R\$ 13.819,68 por dia. Assim considerando 20 dias por mês trabalhados o cenário 3 apresenta uma redução de R\$ 276.396,60 mensal ou R\$ 3.316.723,20 por ano. Os valores foram considerados não havendo sazonalidade na demanda anual.

Considerando os objetivos previamente determinados nesse estudo, obtém-se resultados satisfatórios com a utilização da modelagem computacional, aumentando a produtividade e reduzindo custos do produto.

4.14 Análise dos resultados

Após a realização dos experimentos, pode-se avaliar se os resultados dos mesmos atenderam aos objetivos de construir um modelo que representasse o sistema, efetivando mudanças baseadas nas técnicas de mapeamento enxuto, produtividade, *takt time*, espaço físico, quantidade dos operadores e carros de movimentação de um sistema de manufatura de cadeiras para escritório.

As mudanças no fluxo de produção analisado podem ser avaliadas pelos resultados discriminados na Tabela 8 a qual apresenta um comparativo dos parâmetros operacionais do modelo atual que serviu para validar a simulação e os cenários 2 e 3 que foram otimizados.

Convém destacar a independência entre os experimentos realizados, a qual foi proposital, visto que o objetivo do estudo é analisar o efeito da aplicação da melhoria em termos de produtividade.

Tabela 8 – Análise dos resultados

Variáveis de Saída (análise)	Modelo atual	Cenário 2	Cenário 3	Resultados
Capacidade produtiva (diária)	225un.	251 un.	369 un.	64%
<i>Takt time</i>	1,86 minutos	1,67 minutos	1,13 minutos	65%
Espaço físico	12288 m ²	6410 m ²	6410 m ²	5878 m ²
Distância percorrida	1523 m	718 m	718 m	804 m
Quantidade de operadores	99	89	92	7
Quantidade de carros para transporte	10	0	0	10

Fonte: Autor.

O modelo de simulação do cenário 3 foi o mais eficiente e comparando com o modelo atual proporcionou resultados de aumento de produtividade de 225 conjuntos para 369 conjuntos, aumento de 64% em relação ao modelo atual. O *takt time* foi reduzido em 65%, o espaço físico foi reduzido em 5878 m², a distância percorrida reduzido em 804 metros. Também foram reduzidos 7 operadores e 10 carros de transporte.

Os resultados apresentados no Cenário 3 apresentam um melhor balanceamento das linhas dos componentes finais do produto, com isso pode-se dizer que diminui o valor do capital imobilizado da linha disponibilizando mais recursos para outros investimentos da empresa.

O estudo analítico do problema abordado neste estudo permite identificar alguns benefícios potenciais da introdução dos conceitos de manufatura enxuta em um processo produtivo. No entanto a simulação permite de forma eficaz e rápida a visualização de todos os efeitos potenciais da mudança na planta industrial. Na Tabela 9 são apresentados os efeitos das mudanças simuladas, permitindo uma análise sistêmica de reconstrução das linha de produção.

Tabela 9 – Efeitos verificados.

Variável de saída	Efeito verificado
Capacidade produtiva (diária)	Aumento
<i>Takt time</i>	Redução
Espaço físico	Redução
Quantidade de operadores	Redução
Quantidade de carros para transporte	Redução

Fonte: Autor

5 CONCLUSÃO

O objetivo geral deste estudo foi atendido, já que por meio do uso da simulação foi possível avaliar as possíveis alternativas para aumentar a capacidade de produção de um sistema de produção de uma empresa moveleira. A proposta para atingir o objetivo deste trabalho foi analisar a situação inicial do *layout* de produção, representar no *software* de simulação e propor mudanças para otimizar o sistema produtivo.

Neste estudo utilizou-se os conceitos de manufatura enxuta, mapeamento das atividades de produção, identificação de gargalos e aplicação da simulação de processo no *software Plant Simulation*, o qual se mostrou capaz de auxiliar na modelagem matemática do processo e na visualização do funcionamento do sistema, possibilitando uma melhor percepção, para os operadores e gestores da empresa, de como o sistema funcionaria em uma situação real, facilitando a aprovação das mudanças propostas. O caso apresentado comprovou que a ferramenta de simulação pode auxiliar no processo decisório de uma empresa.

A validade de um modelo é verificada quando existe uma proximidade dos resultados obtidos com a realidade, o que neste caso foi obtido, visto que o modelo proposto neste trabalho conseguiu reproduzir a situação real.

Depois de desenvolvidas as etapas da simulação foram obtidos dados de produtividade os quais foram comparados a outros modelos desenvolvidos no trabalho que resultaram no aumento da produtividade e organização dos recursos.

Outros ganhos se refletem no processo produtivo e favorecem a ganhos financeiros aproximados a R\$ 3.316.723,20 por ano, onde ressaltam-se os ganhos de produtividade, que alcançam aproximadamente 65% de redução no tempo de ciclo da produção, quando a linha é modelada no seu âmbito geral.

A simulação computacional para processos de produção surge como ferramenta eficaz e inteligente para as empresas, pois além de proporcionar uma visualização do sistema produtivo também serve para otimizar e organizar setores industriais como o setor de custo e o setor de planejamento e controle da produção que podem simular as atividades de custo e programação do produto antes mesmo deste ser lançado no mercado.

Sendo assim, pode-se concluir que a simulação permite de forma inteligente, eficaz e rápida avaliar a aplicação dos conceitos de manufatura enxuta, também pode-se apresentar dados que servem para melhorar os recursos da companhia, pois o mercado de qualquer produto ou serviço está sujeito às flutuações de demanda do consumidor.

Sugere-se para estudos futuros a criação de um modelo que simule a quantidade de estoque necessário para a produção do produto, dimensionado e reduzindo os estoques intermediários, identificando problemas no sistema de produção e propondo melhorias.

REFERÊNCIAS

ABDUELMULA, A.; WAGNER, C. **Design and evaluation of lean manufacturing cells: a simulation model**. In: IAMOT 2004, Washington, D.C., 2004, Anais... Washington, D.C.: International Association for Management of Technology, 2004.

ANDREW, G. 2005. **Using system dynamics in a discrete-event simulation of a manufacturing plan**. International Journal of Operations & Production Management. Vol. 25, 6.

ANTUNES JUNIOR, J.A.V et al. **Sistemas de Produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008. 328p.

ARONS, H. S.; BOER, C. A. **Storage and retrieval of discrete-event simulation models. Faculty of Economics, Erasmus University, Rotterdam, Netherlands. Simulation Practice and Theory**, n.8, pp. 555-576. 2001.

ASKIN, R. G.; ZHOU, M. A **parallel station heuristic for the mixed model production line balancing problem**. International Journal of Production Research, London (Inglaterra), v. 35, n. 11, p. 3095-3105, 1997.

BANKS, J. **Handbook of simulation**. [S.I.]: John Wiley & Sons, Inc., 1998.

BANKS, J. **Introduction to simulation**. Proceedings of the Winter Simulation Conference. Atlanta, 2000.

BANKS, J.; CARSON II, J.S.; NELSON, B.L. **Discrete-event system simulation**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida de trabalho**. Tradução da sexta edição americana. Editora Edgard Blucher Ltda, 1986.

BARRÔNIO, Sidnei. **Desenvolvimento de modelos de simulação computacional para análise e melhorias de sistemas produtivos**. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre: Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

BARTON, R. R. **Designing Simulation Experiments**. Proceedings of the Winter Simulation Conference, USA, 2004.

BERENDS, P. e ROMME, G. **Simulation as a research tool in management studies**. European Management Journal, vol 17, n.6, 1999.

BERTI, RODRIGO m., **Implantação de um MÊS – Um estudo de caso**, dissertação de mestrado em engenharia mecânica, Universidade federal de Santa Catarina, 2010.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. **Modelling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling**. International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 241-264, Feb. 2002.

BETIATTO, Alexandre. **Modelagem e simulação - aplicação a uma linha de manufatura de componentes automotivos**. XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2013

BLACK. J.T. **O projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre, Bookman, 1998.

BOGHI C. e SHITSUKA R., **Aplicações Práticas com Microsoft Office Excel 2003 e Solver: Ferramentas Computacionais para Tomada de Decisão**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2005.

BRESSAN, G. **Modelagem e Simulação de Sistemas Computacionais**. LARC, PCS/EPUSP 2002.

BRIGHENTI, J. R. N. **Simulação e otimização de uma linha de manufatura em fase de projeto**. Dissertação (Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2006.

CARSON, J. S. **Introduction to Modeling and Simulation**. Proceedings of the Winter Simulation Conference, U.S.A, 2004.

CASSEL, R. A. **Desenvolvimento de uma abordagem para a divulgação da simulação no setor caçadista gaúcho**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre, 1996.

CHIAVENATO, I. **Iniciação a administração da produção**. São Paulo, Makron, 1991.

CHWIF, Leonardo. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Mecânica, 1999.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria e aplicações**. Segunda edição. São Paulo, 2007.

DHOUIB, K.; Gharbi, A.; Landolsi, N. 2010. **Availability modelling and analysis of multi-product flexible transfer lines subject to random failures**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology.

DIAS, E. C.; OPRIME, P. C.; JUGEND, D. **Análise da inovação e capacitação tecnológica com enfoque no PDP: survey em um cluster industrial de móveis da microrregião de Votuporanga-SP**. 8º Congresso em gestão de desenvolvimento de produto. Porto Alegre, 2011.

DICESARE, F.; HARHALAKIS, G.; PROTH, J. M.; VERNADAT, F. **Practice of Petris Nets in Manufacturing**. Chapman and hall, London, 1993.

DUARTE, R. 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.

FERREIRA, A. M.; MENDES, R. J.; CARNIERI, C. 2007. **Análise de desempenho de sistemas portuários usando simulação matemática e estatística**. Revista Produção On line, v. 7, n. 3.

FERREIRA, F. **Análise da implantação de um sistema de manufatura enxuta em uma empresa de autopeças**. Dissertação Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional do Departamento de Economia, Contabilidade e Administração – Universidade de Taubaté, 2004.

FILIP, F.C. 2012. **Method for optimization Production Systems by Computer Aided Modeling and Simulation**. Journal of Eletrical and Eletronics Engineering. Vol. 5, 1.

FRANCISCHINI, P. G.; FEGYVERES, A. **Arranjo físico e gestão de operações**. São Paulo: Edgar Blücher, 1997.

FREITAS, P. **Introdução a modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. 2. ed. Santa Catarina: Visual Books, 2008.

FUSCO, A. C. Hospital Albert Einstein: **Usamos e aprovamos o Medmodel**. Boletim Fluxus – Boletim informativo da Promodel. São Paulo, n°1, 1997.

GAVIRA, Muriel O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. Dissertação de mestrado em engenharia de produção. USP, São Carlos, SP, 2003.

GOMES. G.S. **O Papel da Área de Planejamento e Controle da Produção na Integração entre Clientes e Fornecedores dentro de uma Cadeia de Suprimentos JIT: o caso da VW/AUDI e um dos seus fornecedores JIT**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GONÇALVES, J. E. L. **As empresas são grandes coleções de processos**. 6 RAE - Revista de Administração de Empresas, São Paulo, Jan./Mar. 2000.

GROOVER, M. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 581 p.

HARREL, C. R.; MOTT, J. R. A.; BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOOG, T. J. **Simulação: Otimizando os sistemas**. Belge Engenharia e Sistemas Ltda, IMAM, 2 ed. São Paulo, SP, 2002.

HOLLOCKS, B. **A well-kept secret? Simulation in manufacturing industry reviewed**. OR Insight, v. 5, n. 4, p. 12-17, Oct.-Dec.1992.

HOLLOCKS, W. B. **Discrete-event simulation: an inquiry into user practice**. *Simulation Practice and Theory*, 8, 451-471, 2001.

HUSSEIN, W. B.; HECKER, F.; MITZSCHERLING, M.; BECKER T. 2009. **Computer Modelling and Simulation of Bakeries' Production Planning**. *International Journal of Food Engineering* v. 5.

JOHNSON A. L. & MONTGOMERY C. D., **Operations Research in Production Planning, Scheduling, and Inventory Control**. Georgia Institute of Technology, 1974.

JUNG, C. F. **Metodologia Científica: Ênfase em Pesquisa Tecnológica**, 3ª Edição Revisada e Ampliada, FACCAT, 2003.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Prentice Hill, 2004.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P. **Operations Management: strategy and analysis**. 6 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. 882p.

KUMAR, S.; PHROMMATHED, P. **Improving a manufacturing process by mapping and simulation of critical operations**. College of Business, University of St. Thomas, Minneapolis, Minnesota, USA. Journal of Manufacturing Technology Management Vol. 17, No. 1, pp. 104-132, 2006.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Editora Campos Ltda., 2002.

LAW, A. M. & KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis**. McGraw-Hill Books, NY, Second Edition, 1991.

Law, A. M. (2007) **Simulation modeling and analysis**, 4th edition. McGraw-Hill, 768p.

LAW, A. M. **How to Build Valid and Credible Simulation Models**. WSC, EUA, Dezembro 2006.

LAW, A. M.; MCCOMAS, M. G. **Simulation of Manufacturing Systems**. Proceedings of the Winter Simulation Conference. Tucson, 1999.

LEAL, F.; MONTEVECHI, J. A. B.; ALMEIDA, D. A.; PINHO, A. F.; MARINS F. A. S.;. **Um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através de mapeamento de processo e simulação computacional**. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2003.

LEAL, F.; MUSSIO F. B.; ALMEIDA, D. A. **Processo interativo de aprendizagem do cálculo do Tempo padrão através de uma ferramenta visual**. Artigo do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2004.

LEMO, F. O.; ANZANELLO, M. J.; FOGLIATTO, F. S. **Simulação da capacidade teórica de uma linha de montagem tipo "U" em uma empresa de pequeno porte**. In: VI SEMANA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO SUL AMERICANA, Porto Alegre, 2006. Anais... Porto Alegre: FEENG, 2006.

LOBÃO, Elírio de Carvalho, PORTO, Arthur José Vieira. **Evolução das técnicas de simulação em acordo com a tecnologia**. Anais do 15º ENEGEP. Outubro 1996, Piracicaba, SP.

MARTINS, P.G.; LAUGENI F.P. **Administração da Produção**. (6ª tiragem, 2009), São Paulo: Saraiva, 2005.

MELLO, C. H. P.; TEIXEIRA, L. A. T.; SALGADO, E. G.; TORGA, B. L. M.; SCAFF, V. P. 2006. **Simulação computacional: estudo de tempos em um centro cirúrgico**. In: ENEGEP, 26, Fortaleza, CE, Brasil. Anais eletrônicos.

MIYAGI, P. E. **Introdução a Simulação Discreta**. Escola Politécnica da Universidade de São, 2004.

MIYAGI, P. E.; FILHO, D. J. S.; MARUYAMA, N. **Curso de ProModel**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP 2006. Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, São Paulo, SP 2004.

MONTEVECHI, J.A.B. **Apostila do curso de simulação**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2004.

MONTEVECHI, J.A.B.; DUARTE, R.; NILSON, G.V. **O uso da simulação para análise do layout de uma célula de manufatura**. Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção, 2003.

MOORE H. J. & WEATHERFORD R. L. **Tomada de Decisão em administração com Planilhas Eletrônicas**. 6. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. [S.I.]: Pioneira, 2001.

MOREIRA, Daniel A. **Administração da Produção e Operações**. 5. ed. SP: Pioneira, 2004.

MOREIRA, Daniel A. **Administração da Produção e Operações**. Editora Pioneira, São Paulo 1993.

NAKAYAMA, A. Y. **Análise de margem de contribuição e capacidade produtiva por programação linear e simulação para apoio em tomada de decisão num sistema de manufatura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2005.

O'KANE, J.F.; SPENCELEY, J.R.; TAYLOR, R. **Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems**. Journal of Materials Processing Technology, 107, pp. 412-424, 2000.

OHNO, Taiichi. **Sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997. 148 p.

OLIVEIRA, F. A. de. **A gestão baseada em atividade (ABM) aplicada em ambientes celulares: uma abordagem metodológica**. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2003.

OLIVEIRA, J. B. **Análise da capacidade de produção e dimensionamento de estoques no estudo de um novo processo de manufatura através da simulação de eventos discretos**. SOBRAPO, 2006.

OLIVEIRA, Rafael P., **Método para dimensionamento e gestão de Linhas de Montagem**. Dissertação de mestrado em engenharia de Produção, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2013.

PALOMINO, R. C. **Um modelo para o planejamento e a programação da produção em ambientes job shop baseado em Redes de Petri**. Tese (Doutorado em Engenharia de

Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2001. Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, São Paulo, SP

PEDGREN, D. C.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to Simulation**. 2000.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. 1 ed. Curitiba: UnicenP, 2007.

PERALES, W. **Classificações dos sistemas de produção**. UFRN / CT / DEPT, Campus Universitário, Natal RN. 2006.

PEREIRA, I. C. **Proposta de Sistematização da Simulação para Fabricação em Lotes**. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2000.

PICCOLINI, Jacomo Dimmit Boca. **Simulação aplicada à análise de layout**. IN: In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil. 21 a 25 de setembro de 1998.

PIDD, M. **Modelagem empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 1998.

PINHO, A. F.; LEAL, F.; MONTEVECHI, J. A. B.; MARINS, F. A. S.; MAPA, S. M. S.;

PRADO, D. S. **Teoria das filas e da simulação**. Série Pesquisa Operacional, vol. 2. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

RIBEIRO, M. J. C. **Aumento de Produtividade em uma Linha de Montagem de Chassis Automotivos Através da Simulação Computacional**. Artigo ENEGEP - Encontro Nac. de Eng. de Produção - (2006).

RODRIGUES, Alexandre Medeiros, SALIBY, Eduardo. **A aplicação da simulação no dimensionamento de bases de distribuição de combustíveis**, Rio de Janeiro, 1998.

RODRIGUES, L. H. **Developing an approach to help companies synchronize manufacturing**. Lancaster University. Lancaster: s.n., 1994. Tese de Doutorado.

ROSA, E. B. **Racionalização da produção**. Apostila do curso de Pós-Graduação Especialização em Produtividade e Qualidade – UNIFEI, 2002.

ROTHER, M.; SHOOK, J. (**Aprendendo a enxergar – Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**). São Paulo: SP. Lean Institute Brasil. 1999.

RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e controle da produção**. 6 ed. São Paulo: Pioneira, 2000.

SARGENT, R. G. **Validation and Verification of Simulation Models**. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference. R. G. Ingalls, M. D. Rossetti, J. S. Smith, and B. A. Peters, 2004.

SHINGO, S. **Sistemas de Produção com estoque zero**. O sistema Shingo para melhorias contínuas. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção: Do ponto de vista da Engenharia de Produção**. 2. Ed Tradução Eduardo Schaan. Porto Alegre: Artmed, 1996.

SIEMENS. Tecnomatix Plant Design and Optimization. Disponível em: http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/index.shtml. Acesso em: Abril 2015.

SILVA, A.V.; COIMBRA, R.R.C. **Manual de Tempos e Métodos: Princípios etécnicas do estudo de tempos**. Editora Hemus, 1980.

SILVA, E. L., MENEZES, E. M. **Metodoliga de pesquisa e elaboração da dissertação**, 3 ed. Revisada e Atualizada, Florianópolis, UFSC, 2001.

SILVA, W. A. da. **Otimização de parâmetros da Gestão Baseada em Atividades (ABM) aplicada em uma célula de manufatura**. Dissertação (Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2005.

SUZEK, H. **Otimização da produção**. Trabalho de conclusão de curso (Pós Graduação em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, SC, 2012.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo, Ed. Atlas, 1999.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A. 2002.

SOUSA, J. S. S. **Tipos de Produção & Automação**. Automação Industrial, 2003.

SOUZA A. C. de. **Sistemas de manufatura**. São José dos Campos, São Paulo, 2002.

STARR, M.K. **Modular Production: a new concept**. Harvard Business Review, v. 43, n. 6, 1965, p. 131-142.

STONER, J. Administração. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1995.

SUSMAN, G; CHASE, R. A **Sociotechnical Analysis of the Integrated Factory**. Journal of Applies Behavioral Science, v. 22, n. 3, 1986, p. 257-270.

TAGLIARI, V. A. **Análise da utilização do sistema kanban: multi estudos de casos em empresas da indústria automobilística da região de Curitiba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção de Sistemas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

TAKAHASHI, Yoshikazu; OSADA, Takashi. **TPM/MPT: manutenção produtiva total**. São Paulo: Instituto IMAM, 1993. 322 p.

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 1997. Using Siman”, McGraw-Hill, 1995.

VIANA, H. L. **Método para dimensionamento da quantidade ótima de sondas de produção em um campo de petróleo** – estudo de caso – Florianópolis, UFSC, 2003.

VIERO, C. **Metodologia de projeto para arranjo estrutural de carroceria de ônibus através de sistemas modulares: um estudo de caso**. Dissertação de Mestrado em Projeto e Processos de Fabricação - Universidade de Passo Fundo - UPF, 2013. 116 p.

WOMACK, J.; JONES, D. **Lean Thinking**. Nova York: Simon & Shuster, 1996.

WOMACK, J.P, JONES, D.T, ROSS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro – Elsevier, 2004.

ZACARELLI, S. B. **Programação e Controle da Produção**. 5. ed. São Paulo: Pioneira, 1979.

ZANCUL, E. de S.; MARX, R.; METZKER, A. **Organização do trabalho no processo de desenvolvimento de produtos: A aplicação da engenharia simultânea em duas montadoras de veículos**. Departamento de engenharia de produção, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP, 2005.

APÊNDICE A – Planilha para coleta de dados

A planilha apresenta a estrutura para coleta amostral de dados da produção nos trabalhos de análise de tempos de processo e distância percorrida do mecanismo.

Fluxograma Vertical - Produto CG410355												
Símbolos						Totais	Rotina: Atual		Tipo de Rotina			
							Proposta					
							Setor: Mecanismo					
							Efetuated por: Higor Suzek					
							Data: 11/12/2015					
Ordem	Símbolos					Setor	Código componente	Descrição dos passos		Tempo (segundos)s		Distância (m)
								Setup	Total			
1	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED0496		30			
2	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED0496		144	72		
3	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED1188		9			
4	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED1188		50	25		
5	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED0504		9			
6	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED0504		50	25		
7	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED1188		10			
8	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED1188		30	15		
9	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED0504		27			
10	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED0504		30	15		
11	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED0504		27			
12	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED0504		80	40		
13	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED0500		5			
14	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED0500		24	12		
15	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED0499		8			
16	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED0499		24	12		
17	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED0505		5			
18	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED0505		92	46		
19	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED0506		8			
20	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED0506		92	46		
21	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED2502		10			
22	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED2502		10	5		
23	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED0475		10			
24	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED0475		74	37		
25	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED0733		14.4			
26	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED0733		74	37		
27	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED0734		15			
28	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED0734		74	37		
29	●	⇨	□	△	▽	EDB	ED1189		8.4			
30	○	⇨	□	△	▽	EDB	ED1189		74	37		

31	●	⇒	□	△	▽	Soldagem	SD1013	Soldagem		27	
32	○	⇒	□	△	▽	Soldagem	SD1013	Transporte - Fosfatização		122	61
33	●	⇒	□	△	▽	Soldagem	SD207	Soldagem		30	
34	○	⇒	□	△	▽	Soldagem	SD207	Transporte - Fosfatização		122	61
35	●	⇒	□	△	▽	Fosfatização	SD1013	Fosfatização		10	
36	○	⇒	□	△	▽	Fosfatização	SD1013	Transporte - Pintura		44	22
37	●	⇒	□	△	▽	Fosfatização	SD207	Fosfatização		10	
38	○	⇒	□	△	▽	Fosfatização	SD207	Transporte - Pintura		44	22
39	●	⇒	□	△	▽	Fosfatização	ED0733	Zincagem		10	
40	○	⇒	□	△	▽	Fosfatização	ED0733	Transporte - Montagem		126	63
41	●	⇒	□	△	▽	Zincagem	ED0734	Zincagem		10	
42	○	⇒	□	△	▽	Zincagem	ED0734	Transporte - Montagem		126	63
43	●	⇒	□	△	▽	Zincagem	ED1189	Zincagem		10	
44	○	⇒	□	△	▽	Zincagem	ED1189	Transporte - Montagem		126	63
45	●	⇒	□	△	▽	Zincagem	ED0475	Zincagem		10	
46	○	⇒	□	△	▽	Zincagem	ED0475	Transporte - Montagem		126	63
47	●	⇒	□	△	▽	Zincagem	ED0506	Zincagem		10	
48	○	⇒	□	△	▽	Zincagem	ED0506	Transporte - Montagem		126	63
49	●	⇒	□	△	▽	Zincagem	ED0505	Zincagem		10	
50	○	⇒	□	△	▽	Zincagem	ED0505	Transporte - Montagem		126	63
51	●	⇒	□	△	▽	Zincagem	SD1013	Pintura			
52	○	⇒	□	△	▽	Zincagem	SD1013	Transporte - Montagem		300	45
53	●	⇒	□	△	▽	Zincagem	SD207	Pintura			
54	○	⇒	□	△	▽	Zincagem	SD207	Transporte - Montagem		300	45
55	●	⇒	□	△	▽	Zincagem	ED0504	Pintura			
56	○	⇒	□	△	▽	Zincagem	ED0504	Transporte - Montagem		300	45
57	●	⇒	□	△	▽	Montagem	PS0671	Montagem M2		14	
58	○	⇒	□	△	▽	Montagem	PS0671	Transporte		10	5
59	●	⇒	□	△	▽	Montagem	SP292	Montagem M3		40	
60	○	⇒	□	△	▽	Montagem	SP292	Transporte		10	5
61	●	⇒	□	△	▽	Montagem	SP293	Montagem M1		36	
62	○	⇒	□	△	▽	Montagem	SP293	Transporte		10	5
63	●	⇒	□	△	▽	Montagem	SP952	Montagem M4		17	
64	○	⇒	□	△	▽	Montagem	SP952	Transporte		10	3
65	●	⇒	□	△	▽	Montagem	S R E	Montagem M5		35	
66	○	⇒	□	△	▽	Montagem	S R E	Transporte		5	2,5
67	●	⇒	□	△	▽	Montagem	S R E	Montagem M6		27	
68	○	⇒	□	△	▽	Montagem	S R E	Transporte		5	2
69	●	⇒	□	△	▽	Montagem	S R E	Montagem M7		33	
70	○	⇒	□	△	▽	Montagem	S R E	Transporte		5	1
Total										3477	1163,5

Fonte: Autor

APÊNDICE B – Planilha para coleta de dados

A planilha apresenta a estrutura para coleta amostral de dados da produção nos trabalhos de análise de tempos de processo e distância percorrida do assento, encosto e base.

Fluxograma Vertical - Produto CG410355											
Símbolos	●	Operação			Totais			Rotina: Atual	x	Tipo de Rotina	
	➡	Transporte						Proposta			
	■	Inspeção						Setor: Madeira, Colagem, Corte, Costura, Grampeação			
	▲	Arquivo provisório						Efetuado por: Higor Suzek			
	▼	Arquivo definitivo				0		Data: 11/12/2015			
Ordem	Símbolos				Setor	Código componente	Descrição dos passos		Tempo (segundos)s		Distância (m)
								Setup	Total		
1	●	➡	□	△	▽	Marcenaria	MD278A			30	
2	○	➡	□	△	▽	Marcenaria	MD278A			30	18
3	●	➡	□	△	▽	Marcenaria	MD437E			8	
4	○	➡	□	△	▽	Marcenaria	MD437E			30	18
5	●	➡	□	△	▽	Colagem	MD278A			16	
6	○	➡	□	△	▽	Colagem	MD278A			150	78
7	●	➡	□	△	▽	Colagem	MD437E			16	
8	○	➡	□	△	▽	Colagem	MD437E			150	78
9	●	➡	□	△	▽	Corte tecido	CP415			16	
10	○	➡	□	△	▽	Corte tecido	CP415			20	10
11	●	➡	□	△	▽	Corte tecido	CP080			8	
12	○	➡	□	△	▽	Corte tecido	CP080			20	10
13	●	➡	□	△	▽	Costura	CP415			138	
14	○	➡	□	△	▽	Costura	CP415			32	16
15	●	➡	□	△	▽	Costura	CP080			60	
16	○	➡	□	△	▽	Costura	CP080			32	16
17	●	➡	□	△	▽	Grampeação	CP415			138	
18	○	➡	□	△	▽	Grampeação	CP415			32	56
19	●	➡	□	△	▽	Grampeação	CP080			189	
20	○	➡	□	△	▽	Grampeação	CP080			32	56
21	●	➡	□	△	▽	Base	Base			60	
22	○	➡	□	△	▽	Base	Base			15	3
Total										1222	359

Fonte: Autor