



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
MBA EXECUTIVO EM LOGÍSTICA E GESTÃO DA PRODUÇÃO

VANESSA AGUIRRE MENDES

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA
MANUFATURA: UMA REVISÃO DA LITERATURA.**

Salvador

2015

VANESSA AGUIRRE MENDES

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA
MANUFATURA:
UMA REVISÃO DA LITERATURA.**

Monografia apresentada ao MBA Executivo em Logística e Gestão da Produção da Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec, como parte dos requisitos para a conclusão do curso.

Área de concentração: Modelagem e Simulação na Manufatura.

ORIENTADOR: Ricardo de Oliveira Monteiro Russel

Salvador

2015

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

M538m Mendes, Vanessa Aguirre

Modelagem e simulação computacional na manufatura: uma revisão da literatura / Vanessa Aguirre Mendes. – Salvador, 2015.

51 f. : il. color.

Orientador: Prof. MSc. Ricardo de Oliveira Monteiro Russel.

Monografia (MBA Executivo em Logística e Gestão da Produção) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador, 2015.

1. Modelagem computacional – Processo de produção. 2. Simulação computacional - Manufatura. 3. Sistemas de manufatura. I. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. II. Russel, Ricardo de Oliveira Monteiro. III. Título.

CDD 658.5

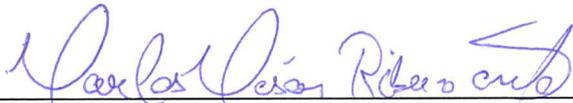
VANESSA AGUIRRE MENDES

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA
MANUFATURA:
UMA REVISÃO DA LITERATURA.**

Relatório final, apresentado ao SENAI
CIMATEC, como parte das exigências para a
obtenção do título no MBA Executivo em
Logística e Gestão da Produção.

Salvador, 11 de setembro de 2015.

BANCA EXAMINADORA



Msc. Carlos César Ribeiro Santos – Coordenador de Curso



Msc. Leonardo Sanches de Carvalho - Professor



Msc. Ricardo de Oliveira Monteiro Russel - Professor

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, em especial a meus pais e meu irmão, por todo apoio e suporte em todos os momentos de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me permitir mais essa conquista. Em segundo lugar agradeço a meu orientador Ricardo Russel, por todo o apoio e compreensão no processo de elaboração deste trabalho e aos professores do MBA Executivo em Logística e Gestão da Produção do SENAI pela transmissão dos conhecimentos e crença na capacidade da turma.

Agradeço também a Alex Santos, pela torcida, apoio, companheirismo e força em todos os momentos. Por fim, agradeço a minha família e meus amigos, pelo enorme suporte e crença na minha capacidade de superar os desafios necessários para conquistar mais essa vitória, além do apoio incondicional nos momentos mais difíceis.

RESUMO

O uso da modelagem e simulação computacional destaca-se como uma ferramenta útil para o auxílio de tomada de decisões em processos industriais complexos. Hodiernamente diversos estudos vêm apresentando as vantagens relacionadas ao uso da modelagem e simulação, demonstrando inclusive aplicações práticas em sistemas de manufatura. Visando entender como as indústrias fazem o uso deste artifício, esse trabalho realizou uma pesquisa bibliográfica a respeito do uso da modelagem e simulação computacional na manufatura, analisando bibliotecas digitais e eventos nacionais sobre o tema, apresentando como resultado a revisão em 141 artigos relacionados ao assunto proposto, publicados entre os anos de 2005 e 2015, possibilitando análises da maneira como as empresas tratam o assunto atualmente e identificando lacunas e oportunidades acerca do uso da modelagem e simulação computacional em sistemas de manufatura.

Palavras-Chave: Modelagem, Simulação, Sistemas de Manufatura.

ABSTRACT

The usage of modeling and computer simulation stands out as a useful tool to help the decision making in complex industrial processes. In our times many studies have shown the advantages related to the use of modeling and simulation, including its practical applications in manufacturing systems. Aiming to understand how industries are using this device, this study conducted literature review regarding the usage of computer modeling and simulation in manufacturing systems, analyzing digital libraries and national event about this matter, presenting as a result the review of 141 articles related to the suggested subject, published between the years of 2005 and 2015, allowing the analysis of how companies treat this subject and the identification of trends, gaps and opportunities about the usage of computer modeling and simulation in manufacturing systems.

Key Words: Modeling, Simulation, Manufacturing Systems

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.2	PROBLEMA	10
1.3	OBJETIVOS	11
1.4	JUSTIFICATIVA	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1.1	Fordismo	15
2.1.2	Toyotismo	18
2.1.3	Classificação dos Sistemas Produtivos: Processos Contínuos e Discretos	20
2.2	MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	23
2.2.1	Modelagem	23
2.2.2	Simulação Computacional	25
2.3	USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS EM EMPRESAS DE MANUFATURA	29
2.3.1	Simulação de Sistemas Discretos	31
2.3.2	Simulação de Sistemas Contínuos	32
2.3.3	OTS – Simulador Para Treinamento de Operadores	33
3	MÉTODO DO TRABALHO	35
3.1	CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO	35
3.2	INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	35
3.3	DELINEAMENTO DO ESTUDO	36
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS DA PESQUISA	38
4.1	RESULTADOS ENCONTRADOS	38
4.2	SITUAÇÃO ATUAL DAS PESQUISAS SOBRE MODELAGEM E SIMULAÇÃO NOS SISTEMAS DE MANUFATURA	39
4.3	LACUNAS E OPORTUNIDADES NAS PESQUISAS SOBRE MODELAGEM E SIMULAÇÃO NOS SISTEMAS DE MANUFATURA	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS	47
	DEAR, ANTHONY. RUMO AO JUST-IN-TIME, 1991. IN: CARRERA, M. A. <i>ET AL.</i> ETIC - ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. JUST-IN-TIME: UMA FILOSOFIA A SERVIÇO DA ADMINISTRAÇÃO. PRESIDENTE PRUDENTE, SP, 14 P.	48

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de produção empurrada.....	15
Figura 2 – Sistema de produção puxada.....	15
Figura 3 - Comparação entre modelo de produção.....	16
Figura 4- Características dos sistemas produtivos.....	21
Figura 5 - Processo de decisões gerenciais utilizando a modelagem.....	24
Figura 6 - Metodologia de simulação.....	25
Figura 7 - Análise do ponto de equilíbrio para validação de modelo de simulação.....	26
Figura 8 - Comparação nas mudanças das variáveis discretas e contínuas.....	31
Figura 9 - Cone de aprendizagem.....	33
Figura 10 - Processo metodológico.....	36
Figura 11 - Ano de publicações dos referenciais teóricos.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição dos artigos pesquisados nos últimos 10 anos.....	38
Tabela 2 – Distribuição dos artigos nas fontes de pesquisa	38
Tabela 3 – Setores industriais abordados	39
Tabela 4 – Objetivo dos artigos	41
Tabela 5 – Metodologia de simulação	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

No atual ambiente competitivo do cenário econômico mundial, as empresas e indústrias devem buscar cada vez mais aperfeiçoar seus processos de trabalho, a fim de obter maior lucratividade e destaque no mercado. Visando isso, Carara (2014) sugere que para obter vantagem competitiva, as empresas devem buscar cada vez mais a redução de desperdícios e a utilização de ferramentas e métodos que possibilitem manipular processos, gerando variadas situações que auxiliem nas tomadas de decisões estratégicas.

Devido ao mercado turbulento instalado em que as demandas estão cada vez mais variáveis e os concorrentes cada vez mais qualificados, as empresas devem diminuir os riscos equalizando as variáveis internas e externas. Entretanto, essa relação não é igualitária, isto é, ainda há uma baixa influência da maioria das empresas no ambiente externo ficando sujeitas a qualquer variação do mercado. Neste sentido, o foco deve estar na organização e no controle do ambiente interno, de modo que as oscilações do ambiente externo exerçam um menor impacto em seus ganhos. (SOUZA *et al.*, 2013, p. 1)

Visando obter este maior controle do ambiente interno, uma solução encontrada atualmente pelas indústrias é o uso da modelagem e simulação computacional para representar o sistema real de produção e assim poder realizar experimentos, buscando melhorias em seus processos, sem interferir em seu plano produtivo. Queiroz e Miranda (2013) afirmam que uma das grandes vantagens do uso da simulação é a possibilidade da completa visualização de um sistema e dos resultados de uma mudança, antes de implementá-la. Logo, o presente trabalho tem como principal objetivo estudar e analisar a maneira que a ferramenta da modelagem e simulação computacional vem sendo utilizada pelas indústrias.

1.2 PROBLEMA

Qual é a situação atual e as lacunas existentes nos trabalhos científicos a respeito da utilização da modelagem e simulação computacional nos processos de manufatura?

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar uma revisão bibliográfica a respeito do uso da modelagem e simulação computacional na manufatura. Para isto, determinam-se os seguintes objetivos específicos: (a) Estudar a importância do uso da modelagem e simulação computacional; (b) Coletar na literatura e fontes de pesquisa artigos científicos a respeito do tema e; (c) Analisar e categorizar a pesquisa realizada, identificando a maneira como o tema é tratado atualmente, as lacunas e as oportunidades a respeito do mesmo.

1.4 JUSTIFICATIVA

Os processos industriais de produção envolvem valores muito elevados em sua implantação e operação, incluindo os custos com investimento, manutenção e situações de paradas de produção, sendo estas programadas ou emergenciais. Portanto, visando a lucratividade das empresas, é preciso que haja um bom planejamento de produção e um maior aproveitamento da capacidade produtiva utilizada da unidade industrial, para que se possa maximizar seus resultados. Para isso, os gestores utilizam-se de algumas ferramentas como o planejamento estratégico da produção, que “consiste em estabelecer um Plano de Produção para determinado período (longo prazo) segundo as estimativas de vendas de longo prazo e a disponibilidade de recursos financeiros e produtivos” (TUBINO, 2007, p.3), e de ferramentas de simulação computacional, que auxiliam as empresas no melhor entendimento do seu sistema produtivo e, com isso, na obtenção de maior vantagem competitiva, como afirma Pontes (2012).

Reduzir custo, maximizar produção, fazer mais com menos, esse é o lema de todas as empresas no cenário econômico atual. Porém, além da grande preocupação com produtividade e lucratividade, outro aspecto extremamente importante nas indústrias é a segurança do processo e de seus funcionários, visto que em casos de acidentes as perdas humanas e financeiras são imensuráveis, pois além do alto dano financeiro, grandes acidentes são capazes de prejudicar a imagem de uma empresa. Em uma indústria, os erros, incidentes e acidentes operacionais são causados basicamente por falhas humanas ou mecânicas. Manca, Brambilla e Colombo (2012) afirmam que:

“[...] de acordo com a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico, erros humanos e comportamentos inseguros podem ser responsáveis por até 30-40% dos acidentes industriais, incluindo aqueles

causados por trabalhadores inexperientes ou não treinados”. (MANCA; BRAMBILLA; COLOMBO, 2012, p. 2, tradução nossa)

Logo, em unidades industriais, faz-se necessário que operadores e engenheiros sejam treinados de forma que em qualquer instante, principalmente em situações de emergência e casos de perturbações no sistema produtivo, estejam aptos para recompor e normalizar a unidade sob sua responsabilidade. Uma maneira bastante eficaz de tentar suprir essa necessidade é através da utilização de *softwares* específicos de treinamento com uma interface similar àquela que é normalmente usada na operação do sistema.

A simulação compreende um conjunto indispensável de ferramentas tecnológicas e métodos para a implementação bem sucedida da manufatura digital, uma vez que permite a experimentação e validação de produto, processo e do design e configuração do sistema. Especialmente no atual turbulento ambiente de produção, que é afetado por megatendências como a globalização e as exigências cada vez maiores para maior grau de customização e personalização de produtos, o valor da simulação é evidente. (MOURTZIS, DOUKAS e BERNIDAKI, 2014, p. 213, tradução nossa).

A simulação computacional de processos é vista como um artifício moderno extremamente útil para as empresas e um dos métodos mais eficientes para a realização de treinamentos operacionais. Por meio de sua utilização, é possível criar ambientes no sistema que projetam a realidade de uma unidade industrial, analisando todas as etapas do processo produtivo, as conexões entre estas, sendo elas dentro ou fora dos limites da empresa, estudar possíveis modificações no processo em busca de melhoria de produtividade e novas técnicas operacionais, além de permitir entender melhor como fatores internos e externos podem influenciar na cadeia produtiva, sem causar alterações no processo real.

Além disso, os simuladores permitem a realização de treinamentos, onde é possível fazer testes e manobras, com o objetivo de aprendê-las e aperfeiçoá-las, garantindo que os operadores e engenheiros responsáveis por uma unidade industrial tenham o completo domínio da mesma, além de facilitar a padronização de ações de segurança e procedimentos operacionais para situações planejadas e de emergência, através da criação de cenários de operação e da possibilidade de realizar diversas simulações.

Apresentada a importância e os benefícios da utilização da modelagem e simulação computacional nos processos de manufatura das indústrias, este trabalho apresenta uma revisão da literatura a respeito do tema proposto realizando uma análise sobre a situação atual

das pesquisas relacionadas ao mesmo, e identificando as lacunas e oportunidades nesta área de pesquisa, para melhor basear e direcionar futuros estudos. Para este fim, o capítulo 2 introduz os conceitos abordados no trabalho, em forma de fundamentação teórica, entre eles: os sistemas de manufatura, a modelagem e simulação computacional e a utilização de ferramentas computacionais pelas empresas de manufatura. O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para a elaboração deste trabalho, enquanto no capítulo 4 são mostrados os resultados encontrados e análises realizadas. O último capítulo discorre a respeito das considerações finais, concluindo o estudo proposto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMAS DE MANUFATURA

Basicamente, o processo da manufatura consiste na transformação de matérias primas em produtos finais. No ambiente industrial a manufatura, também chamada de processo de produção, envolve uma série de etapas produtivas, para que se possa obter o produto final desejado.

Um processo é visualizado como o fluxo de materiais no tempo e no espaço; é a transformação da matéria-prima em componentes semiacabado e daí o produto acabado. Por seu turno, as operações podem ser visualizadas como o trabalho realizado para efetivar esta transformação – a interação do fluxo de equipamento e operadores no tempo e no espaço. (SHINGO, 1996, p. 37, 38).

Para obter essa produção de produtos de maneira eficiente, as empresas buscam estratégias de produção, para melhor coordenar as atividades e etapas da cadeia produtiva. Slack *et al.* (2009) afirma que o objetivo do planejamento e controle de processos é garantir uma produção eficaz e produzir os serviços e produtos como se deve, e para isso deve-se ter os recursos no momento, quantidade e nível de qualidade adequados. Para tal, algumas estratégias de programação são utilizadas, dando destaque a manufatura puxada e empurrada.

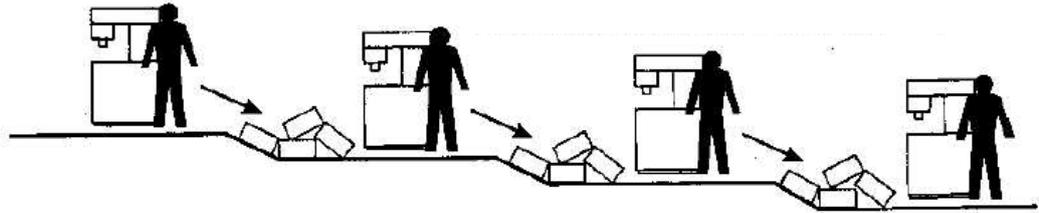
Para Slack *et al.* (2009), na produção puxada as especificações e o ritmo das atividades realizadas são definidos pela estação de trabalho do “consumidor”, à medida que este “puxa” as etapas do posto de trabalho anterior, que neste caso é considerado o “fornecedor”. O autor ainda afirma que o gatilho que ativa o movimento do sistema produtivo é a requisição do consumidor, desta forma, os estoques são reduzidos, visto que a produção só vai ser iniciada no momento em que há demanda. Periard (2010) defende que no sistema puxado as operações fabris são regidas com estoques pequenos, ou quase nulos, durante o processo, dando maior importância ao fluxo dos materiais durante o processo, gerando apenas um inventário mínimo, de acordo com o pedido do cliente.

No sistema empurrado, os postos de trabalho “empurram” a produção para o posto seguinte, sem considerar se este encontra-se pronto para recebê-lo. Esse fluxo de materiais é coordenado por um sistema central de planejamento de controle de operações, porém, devido às diferenças entre as condições reais e planejadas, filas, estoques e ociosidades acabam

surgindo no processo (SLACK *et al.*, 2009). Esse modelo de manufatura é caracterizado pela produção em lotes, onde a indústria produz e dispõe os lotes de produto no mercado.

A Figura 1 demonstra o funcionamento do sistema empurrado de produção e a sua geração de estoque.

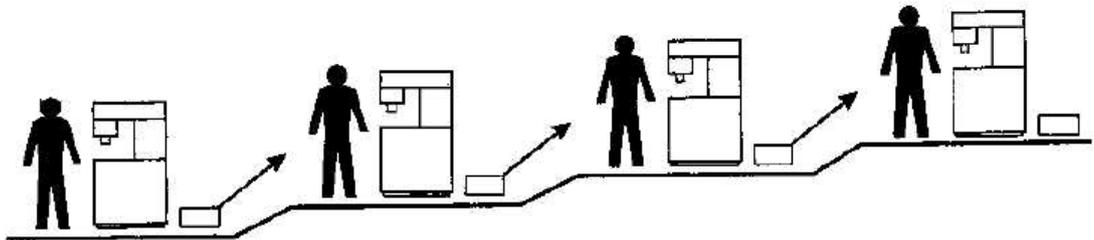
Figura 1 - Sistema de produção empurrada.



Fonte: Adaptado de SLACK *et al.*, 2009.

Já a Figura 2 representa o modelo de puxado de produção e evidencia a eliminação dos estoques, quando este sistema opera de forma ideal.

Figura 2 – Sistema de produção puxada.



Fonte: Adaptado de SLACK *et al.*, 2009.

2.1.1 Fordismo

Em 1914 o empresário Henry Ford, precursor do Fordismo, introduziu a produção em massa no ramo automobilístico. Harvey (1989) *apud* Botelho (2000), afirma que foi nesse ano que Ford deu início às linhas de montagem automatizadas, com turnos diários de oito horas de trabalho, recompensando seus trabalhadores com cinco dólares por dia trabalhado.

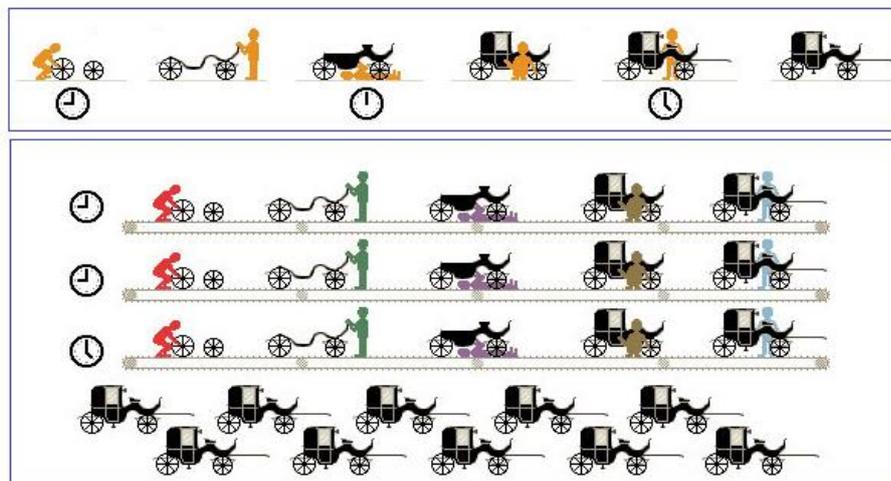
Botelho (2000, p. 13), caracteriza o Fordismo como um “conjunto de práticas econômicas, técnicas, gerenciais, políticas sociais que, combinadas, formam uma estratégia específica do capital reproduzir-se de forma ampliada”. Para o autor, este sistema de produção é uma junção da produção e consumo em massa, unidos às normas de trabalho Tayloristas, resultando, devido ao modo capitalista de produção, em valores acima do movimento natural de mercado.

O sistema Fordista tinha como objetivo baratear os custos do processo produtivo e atingir um grande número de consumidores através de sua produção em massa. Para isso, a linha de produção contava com trabalhadores pouco especializados, onde cada um era responsável por um posto de trabalho e não havia necessidade de conhecer o processo como um todo ou de proporcionar muitos treinamentos. Além disso, Ford defendia que a produção em larga escala, gerando grandes quantidades de produto e conseqüentemente grandes estoques, garantiriam um bom preço de mercado, permitindo que mais consumidores tivessem acesso aos produtos e gerando mais lucro para as empresas.

Wood Jr (1992), afirma que com o modelo de produção introduzido por Henry Ford foi possível obter uma drástica redução nos custos da produção e um aumento na qualidade dos produtos. Para ele, o princípio básico da produção em massa não é a linha de montagem contínua, mas sim a “completa e consistente intercambiabilidade de partes e a simplicidade de montagem” (WOOD JR, 1992, p. 9). De acordo com o autor, Ford reduziu um ciclo de uma tarefa do processo produtivo de 514 minutos para 2 minutos antes de implementar a linha contínua em seu processo. Após a implementação, este ciclo ainda foi reduzido à metade do tempo.

A Figura 3 demonstra as mudanças introduzidas por Henry Ford no modelo de produção, onde na parte superior da imagem um trabalhador realiza as cinco etapas do processo de fabricação de um carro, produzindo uma unidade em determinada quantidade de tempo. Na parte inferior da figura, evidencia-se cinco trabalhadores, um para cada etapa do processo, produzindo dez carros e utilizando o mesmo tempo do primeiro caso apresentado (HISTORIA CONTEMPORÁNEA, 2009).

Figura 3 - Comparação entre modelo de produção.



Fonte: Adaptado de Historia Contemporânea, 2009.

Braverman (1987), cita como um dos princípios implantados por Frederick Taylor: “Todo possível trabalho cerebral deve ser banido da oficina e centrado no departamento de planejamento ou projeto”. Esse pensamento, original do Taylorismo, é uma das bases do modelo de produção apresentado por Henry Ford, onde o operador era responsável apenas por um trabalho mecânico, repetitivo e não tinha autonomia para modificar sua metodologia de trabalho, nem liberdade para se desenvolver dentro da empresa.

Com as mudanças implementadas por Ford foi possível aumentar a produtividade, reduzir o esforço humano na montagem e os custos com a partir do aumento do volume de produção. Além disso, o tempo de preparação das máquinas também foi minimizado, uma vez que elas executavam uma tarefa por vez e seguiam uma sequência lógica, tendo como desvantagem apenas a inflexibilidade dos recursos (WOOD JR, 1992).

A fábrica idealizada por Ford apresentava algumas características para melhor adaptar-se ao seu sistema de produção: a fábrica deve ser grande, compreendendo a produção de todos os componentes do produto; manufaturar produtos simples, em grande escala e baixo custo; os operários devem ser responsáveis por apenas uma função, ser bem remunerados e ter o seu trabalho valorizado, aumentando assim sua motivação e produtividade (HISTORIA CONTEMPORÁNEA, 2009).

Considera-se que para os empresários o sistema fordista apresentava grandes vantagens, como a produção em massa, conseqüentemente maior número de vendas e aumento dos lucros, e a redução de custos de operação. A página Vier Administração (2012) afirma que para os operários, também existiam vantagens, como a redução da carga horária de trabalho e o aumento do salário, que se entende que foi concedido para possibilitar que estes funcionários também pudessem comprar os carros, aumentando a quantidade de clientes da empresa, além de fidelizar o trabalhador, desestimulando a saída destes da companhia, reduzindo a rotatividade no quadro de empregados.

Porém, também existiam desvantagens para os funcionários nesse sistema, pois o trabalho se tornava monótono e repetitivo, visto que eles não tinham uma visão geral do processo, nem recebiam qualificação para realizar outras tarefas. Além disso, pode-se dizer que o sistema de produção fordista baseava-se em uma manufatura empurrada, onde a fábrica produzia grandes quantidades de produtos, gerando estoques nos intermédios da produção entre os postos de trabalho, visto que estes apresentavam tempos de processamento diferentes, e também no final da cadeia, pois com a produção em massa, os produtos eram fabricados e colocados à venda, gerando estoques até que fosse possível dar vazão à produção. Apesar de, na época, isso não ser considerado por Henry Ford uma desvantagem, e sim o seu modelo

ideal de produção para aumentar as vendas, posteriormente, essa foi uma das causas que levou algumas empresas a começarem a adotar o sistema de produção proposto pelo engenheiro Eiji Toyoda.

2.1.2 Toyotismo

O conceito conhecido como Sistema Toyota de Produção, ou Toyotismo, é a base de gestão que guia o planejamento produtivo de muitas empresas na atualidade e visa reduzir os desperdícios das atividades que não agregam valor a cadeia produtiva e consomem recursos, como afirma Almeida (2014). Eiji Toyoda, um engenheiro japonês, foi o precursor desta filosofia ao perceber que o modelo de Henry Ford não atendia às necessidades e capacidades produtivas de seu país no cenário econômico pós-segunda guerra mundial, por envolver a produção em massa de produtos, muitas perdas e desperdício de recursos no sistema e uma grande geração de estoques, que exigia maiores espaços nas empresas.

De acordo com Futata (2005), foi em busca de uma maior competitividade que Toyoda, juntamente com Taichi Ohno, deu início às mudanças na produção, introduzindo técnicas que permitiam aumentar a variedade e oferta de produtos, aumentando a flexibilidade das máquinas, realizando rápidas alterações nestas. Com essa nova filosofia, passava-se a ordenar a produção de acordo com a demanda, visando também à redução dos estoques, que não eram economicamente viáveis, ao se analisar as dimensões geográficas do Japão.

“A base do Sistema Toyota de Produção é a absoluta eliminação do desperdício” (OHNO, 1977, p. 25). Para ele, dois pilares são necessários para a sustentação deste modelo: o *just-in-time* e a automação.

Ohno (1977) explica que a automação está relacionada a equipamentos que são capazes de evitar problemas sozinhos, para ele, a automação é a “automação com um toque humano”. Ou seja, ele afirma que as máquinas possuem um dispositivo acoplado, que permitem sua parada automática, além de diversos outros dispositivos de segurança, que proporcionam a elas um toque de inteligência humana, dispensando até a função do operador, durante seu funcionamento normal. Apenas em casos que haja alguma anormalidade no sistema, a intervenção humana passa a ser necessária. Com isso, torna-se possível dividir o tempo do operador entre mais de uma operação, reduzindo os custos de produção e aumentando a eficiência do processo.

Como o nome sugere, o *Just-in-Time* define que matérias primas e produtos devem ser transportados e produzidos apenas no momento em que é demandado, se adaptando

perfeitamente ao modelo de produção sugerido por Eiji Toyoda, onde a redução de estoques se caracteriza como um dos principais objetivos. A partir desta filosofia, torna-se possível melhorar os processos produtivos, visto que os problemas se tornam mais evidentes. Ballou (2006) define como objetivo da logística atender às necessidades do cliente e, visando isto, o *Just-in-Time* se caracteriza como uma filosofia de planejamento que gere a cadeia de suprimentos para este fim. A forma apresentada pelo *Just-in-Time* para atingir este objetivo consiste em eliminar as folgas de prazos de suprimento de matéria prima, etapas de produção e entrega do produto final, de forma que essas etapas ocorram sequencialmente, otimizando o tempo e os recursos utilizados, sendo eles humanos ou maquinários.

Segundo Dear (1991) *apud* Carrera *et al*, (2008), o *Just-in-Time* também tem como objetivo motivar os funcionários da empresa, promovendo um maior envolvimento de todos nas soluções dos problemas e na identificação e eliminação dos desperdícios, que podem ser promovidos pela prática de algumas ações negativas, como ele define:

- Grandes estoques de segurança e lotes de produção;
- Determinação de prazos de entrega com folgas;
- Atrasos no processamento dos pedidos;
- Produtos com problemas de qualidade;
- Alterações de programação de tempo ou pressão da administração que comprometem os programas de produção;
- Dados incorretos.

Para Ghinato (2000) o princípio do Sistema Toyota de Produção visa substituir a equação que define “Custo + Lucro = Preço” por “Preço – Custo = Lucro”. Ele define que, com a lógica tradicional de atribuição de preço, uma margem de lucro desejada era definida e os custos das ineficiências do processo eram transferidos ao cliente, porém, com o aumento da concorrência e da exigência do consumidor, o preço não é mais determinado pelo fornecedor, mas pelo mercado. Assim, a maneira encontrada para aumentar o lucro está na redução dos custos de produção. No Toyotismo, isso pode ser alcançado através da eliminação dos desperdícios, que foram categorizados da seguinte forma:

- Estoque: a busca pela segurança em garantir que não irá faltar produto acabado ou matéria prima leva as empresas a estocar grandes quantidades, que ocupam áreas que poderiam ser melhor utilizadas, além de gerar custos com a manutenção dos materiais estocados.

- Superprodução: é o que causa a geração de grandes estoques, quando as empresas produzem mais do que o mercado ou seu próprio processo são capazes de absorver.
- Transporte: atividade extremamente necessária, porém não agrega valor ao produto. O ideal é ter o espaço produtivo otimizado, com uma boa disposição das máquinas e equipamentos que auxiliem no transporte entre diferentes estações de trabalho.
- Espera: quando o tempo dos postos de trabalho e etapas dos processos são diferentes, gargalos serão gerados no sistema produtivo, de forma que alguns postos ficarão sobrecarregados, enquanto outros estarão ociosos.
- Processamento: caracterizado por etapas do processo que são desnecessárias ou estão sendo subutilizadas em relação a sua capacidade.
- Defeitos: produtos defeituosos, fora de especificação ou dos padrões de qualidade geram grandes perdas de recursos, devido à necessidade de descarte ou retrabalho.
- Movimentação: algumas movimentações realizadas por operadores são dispensáveis, ou até mesmo fruto de uma má organização no ambiente de trabalho e reduzem o melhor aproveitamento de seu tempo.

Para Ohno (1977), com a eliminação desses desperdícios, torna-se possível uma grande margem de aumento na eficiência da produção. Para isso, deve-se produzir apenas o necessário, eliminando o excesso de trabalho e trabalhadores, distribuindo-os da melhor forma no processo produtivo.

2.1.3 Classificação dos Sistemas Produtivos: Processos Contínuos e Discretos

Para Tubino (2007) os sistemas produtivos devem ser classificados para que se possa entender suas características de forma mais clara e relacioná-los com as atividades para o melhor controle e planejamento do processo. Para isso, segrega-se os tipos de produção com base no grau de padronização apresentado pelos produtos e no volume de produção.

De forma geral, os sistemas contínuos envolvem a produção de bens ou serviços que não podem ser identificados individualmente, e os sistemas discretos (em massa, em lotes e sob encomenda) envolvem a produção de bens os serviços que podem ser isolados, em lotes ou unidades, particularizando-os uns dos outros. (TUBINO, 2007, p. 5).

Porém, é importante ressaltar que os sistemas de produção não se limitam apenas a uma classificação, ou seja, uma unidade de processo contínua pode, em algum momento do processo, apresentar características de um processo discreto. Por exemplo, a produção de bebidas que utiliza reatores e dutos, é classificada como um processo discreto, porém apresenta aspectos da produção discreta na etapa do envasamento (ABDULLAH; RAJGOPAL; NEEDY, 2002 *apud* LOURENÇO JUNIOR, 2012).

A Figura 4 demonstra, resumidamente, as características dos sistemas produtivos citados.

Figura 4- Características dos sistemas produtivos.

Contínuos Massa	Repetitivos em Lotes	Sob Encomenda
Alta	Demanda/Volume de Produção	Baixa
Baixa	Flexibilidade/Variedade de itens	Alta
Curto	Lead Time Produtivo	Longo
Baixos	Custos	Altos

Fonte: Tubino, 2007.

Os sistemas contínuos se caracterizam pela uniformidade na demanda e produção. Nestes sistemas não é possível a identificação ou separação de uma unidade de produto, os processos são interdependentes e são propícios à utilização da automação, reduzindo assim a possibilidade de flexibilizar a produção (TUBINO, 2007). De maneira geral, as indústrias químicas e petroquímicas, de cimento, de geração de energia elétrica e fabricação de bebidas podem ser classificadas como processos contínuos.

Aulicino (2008) afirma que esse tipo de processo requer grandes investimentos de capital, tecnologias complexas e grandes instalações, de forma que este mercado é dominado por grandes empresas. De acordo com o autor, uma característica desse tipo indústria é a descentralização física, com as operações fabris realizadas em plantas e edifícios diferentes, chamados de unidades operacionais. Ele define uma fábrica química como um conjunto de unidades, onde ocorrem diferentes processos ou reações, processando produtos e subprodutos também distintos e, em diversos casos, o produto de uma unidade será a matéria prima de outra.

Os sistemas contínuos apresentam baixo *lead time* de produção, devido à automatização e sincronização dos processos, possuem basicamente dois grandes estoques, um de matéria prima e um de produtos acabados (ambos com pequena variedade) e o processo ocorre de forma continuada e nivelada, através de transformações na matéria prima, que não exigem estoques regulares intermediários. Além disso, unindo a baixa quantidade produtos manufaturados e a alta demanda no mercado, as empresas se permitem colocá-los a disposição dos clientes, sabendo que a venda é garantida (TUBINO, 2007).

Os processos produtivos baseados em sistemas discretos são aqueles em que os produtos são facilmente divididos em lotes e a produção é feita a partir da montagem de partes, de forma que cada parte representa um processo de fabricação diferente. Como já definido anteriormente, esses são subdivididos em: produção em massa; produção em lotes; e produção sob encomenda. A produção de equipamentos eletrônicos, eletrodomésticos, automóveis e aviões são exemplos da manufatura por processo discreto.

Para Slack *et al.* (2009) os processos discretos envolvem projetos extremamente customizados e que apresentam como características grande variedade de produtos e pequenos volumes. Os processos apresentam começo e fim bem definidos e quando uma mesma empresa realiza trabalhos diferentes o tempo de início do novo projeto é demorado, pois torna-se necessário organizar os recursos para a produção de cada produto.

Tubino (2007) afirma que a produção em massa, assim como o sistema contínuo, é utilizada para produtos com alto grau de padronização, porém não passíveis de serem automatizados. O autor classifica empresas como montadoras de automóveis, eletrodomésticos, abate e beneficiamento de aves, suínos, gado, etc., grandes confecções têxteis e empresas de prestação de serviços de grande escala como exemplos do sistema de produção em massa.

Slack *et al.* (2009) explica que, apesar de uma fábrica montadora de automóveis ofertar e produzir variações de modelos, cor, tipo de motor e itens opcionais nos carros, elas ainda podem ser consideradas de produção em massa, pois essas variações não influenciam no processo básico de produção, que envolve atividades repetitivas e previsíveis. Para ele, os processos de manufatura em massa são aqueles que resultam em bens com poucas variações e com alto volume de produção.

O sistema de produção em lotes é caracterizado por Tubino (2007) por apresentar um volume médio de produção, padronizada através de lotes, necessitando que a cada nova batelada de produção haja uma nova programação para as operações. O autor define que o sistema deve apresentar flexibilidade, para que se possa atender as variações de pedidos e

demandas, a partir da utilização de equipamentos com baixo grau de especialização. Nesse sistema, devido ao tempo de espera necessário entre a produção de diferentes lotes, o *lead time* e os custos de produção são mais elevados que na produção em massa. Slack *et al.* (2009) define como processos em lote a produção de alimentos congelados especiais, a indústria de roupas, a produção de peças de conjuntos montados em massa (fornecedores de montadoras de automóveis) e a manufatura de máquinas-ferramentas.

Os sistemas de produção sob encomenda tendem a produzir apenas uma unidade de um produto, com pequena demanda, para atender necessidades específicas de clientes. Neste sistema a data de fabricação é negociada com o cliente, que participa mais diretamente do processo, e o sistema produtivo, que deve apresentar alta flexibilidade, se altera para cada novo projeto. Os produtos fabricados sob demanda apresentam alto custo, devido ao maior tempo de ociosidade dos recursos. A fabricação de aviões, navios e usinas hidrelétricas podem ser citadas como exemplo de sistema de produção sob demanda (TUBINO, 2007).

2.2 MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

2.2.1 Modelagem

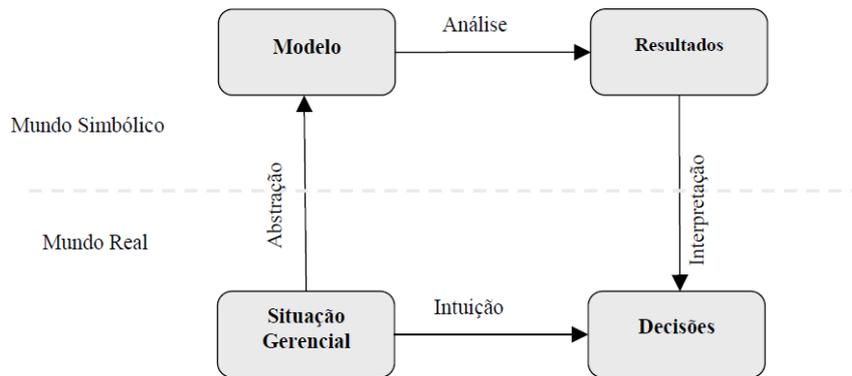
A modelagem computacional vem sendo muito utilizada por diversas empresas, com a finalidade de representar um sistema, para que a partir desta, possam ser realizados diversos estudos e análises.

Um modelo é, assim, uma abstração da realidade, que se aproxima do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre mais simples do que o sistema real. Por outro lado, se o modelo construído apresenta uma complexidade maior do que a do próprio sistema, não temos um modelo, mas, sim, um problema. (CHWIF; MEDINA, 2010, p. 5).

Boghi e Shitsuka (2005, *apud* OLIVEIRA, 2007) afirmam que a modelagem é uma técnica usada para entender e resolver um problema e que fornece embasamento para tomada de decisões.

Para Moore e Weatherford (2005) a modelagem pode ser utilizada para dar suporte a decisões gerenciais, baseando-se na análise do modelo desenvolvido, utilizando-os para levantar questionamentos, visualizar alternativas e definir melhor onde concentrar os esforços, assim obtendo melhores decisões, com maior embasamento, como evidenciado na Figura 5.

Figura 5 - Processo de decisões gerenciais utilizando a modelagem.



Fonte: Moore e Weatherford, 2005.

Fatores como disponibilidade de tempo, ambiente, importância do problema da decisão, certezas, incertezas, riscos e conflitos de interesse tem grande influência nas tomadas de decisões em empresas. Porém, a posse de dados confiáveis pode minimizar o efeito destes fatores e, juntamente com fatos e a experiência profissional dos gestores, levá-los a tomar decisões com maior embasamento (LACHTERMACHER, 2002).

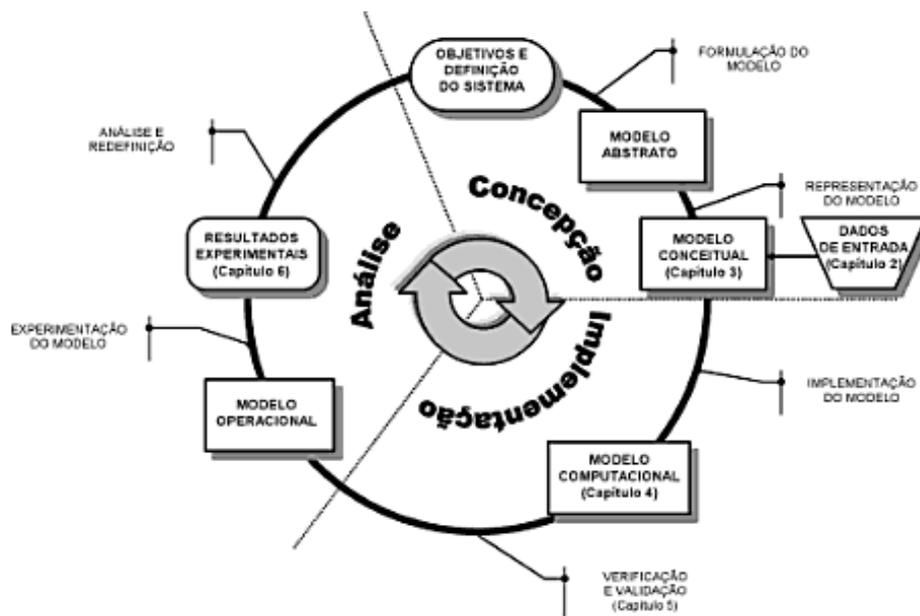
Moore e Weatherford (2005) definem que a modelagem pode ser de três formas: física, através da construção de um protótipo da realidade; analógica, quando a realidade é representada por um meio diferente, como por exemplo o mapa de uma estrada; e simbólica ou matemática, onde são utilizadas variáveis que se relacionam matematicamente, gerando um modelo de simulação.

Para Chwif e Medina (2007) os modelos se classificam em: simbólicos, que fazem uma representação estática da realidade e são mais utilizados para documentação e comunicação, não apresentando muitos detalhes do sistema representado; matemáticos, que fornecem soluções rápidas através de um conjunto de fórmulas matemáticas; e a simulação, que representa de forma mais acurada a realidade, com maior fidelidade às particularidades de cada sistema.

O desenvolvimento de um modelo de simulação é dividido em três etapas: concepção ou formulação, implementação ou codificação e análise de resultados do modelo. A etapa de concepção é onde se define o escopo, as hipóteses e o nível de detalhamento do modelo. Nesta fase o analista da simulação deve entender e discutir com especialistas o sistema a ser simulado, coletar os dados de entrada necessários para o modelo desejado e produzir um modelo conceitual, que irá reproduzir o que o modelo deverá representar. A partir disso se inicia a segunda etapa do processo, chamada de fase de implementação, onde o modelo

conceitual é utilizado para a criação do modelo computacional, através de um *software* ou linguagem de simulação. O modelo criado deve ser comparado ao modelo idealizado na primeira etapa do processo e validado. A última etapa do processo ocorre quando o modelo desenvolvido se torna pronto para a realização de experimentos. Nesta fase o modelo é testado e os resultados da simulação são analisados. Caso estes não sejam satisfatórios, o ciclo pode ser reiniciado para a adaptação e modificação da simulação (Chwif e Medina, 2007).

Figura 6 - Metodologia de simulação.



Fonte: Chwif, 1999.

A Figura 6 representa as etapas para o desenvolvimento de um modelo de simulação definidas anteriormente. Chwif e Medina (2007) definem que este ciclo não deve ser interpretado como uma sequência linear, pois há a possibilidade de o sistema necessitar de iterações e novas alimentações constantes durante o processo, à medida que surgem mudanças no entendimento do problema.

2.2.2 Simulação Computacional

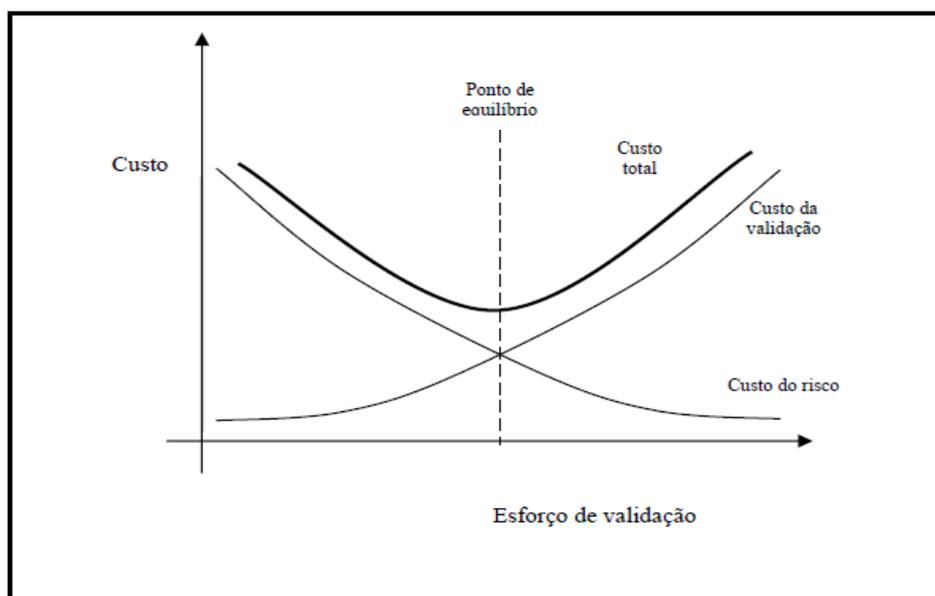
A simulação visa representar a realidade através de um modelo, realizado ou “materializado” somente por equações matemáticas ou por *softwares* com interfaces mais técnicas (apresentando os resultados na forma de tabelas, por exemplo) ou com recursos de animação, com interface visual tipo *Windows*. Esta realidade modelada poderá ser estudada sob condições controladas e neste ambiente poderão ser realizados experimentos que seriam inviáveis ou extremamente caros e arriscados no mundo real. (DUARTE, 2003, p. 61).

Miyagi (2004) define que a simulação é utilizada para descrever de forma menos complexa o comportamento de um sistema, existente ou não, utilizando diversos parâmetros. A partir do modelo de simulação, após tê-lo desenvolvido e validado, torna-se possível simular mudanças no sistema, para entender seu impacto e investigar melhor diversos questionamentos.

O processo de validação de um modelo de simulação é de extrema importância, pois permite determinar a proximidade do modelo com a realidade representada. Logo, caso o modelo não seja validado, as alterações testadas podem não refletir a realidade da situação. Portanto, o modelo deve ser testado e validado com a utilização de técnicas, que podem ser: observação do modelo; comparação com a realidade; comparação com outros modelos; testes de condições extremas e degeneração; por aparência; comparação com dados históricos; realização de *turning tests*; e análise de sensibilidade a alterações (HARRELL; GHOSH; BOWDEN, 2000).

Porém, Harrell, Ghosh e Bowden (2000) afirmam que deve-se avaliar também o custo da validação do modelo, buscando um ponto ótimo, ou ponto de equilíbrio, entre o esforço necessário para realizar este processo, o seu custo e os riscos envolvidos, como evidenciado na Figura 7. Com isso, torna-se possível determinar o nível de detalhamento do processo de validação e a quantidade de recursos humanos, maquinários e financeiros que deverá ser disponibilizada para tal.

Figura 7 - Análise do ponto de equilíbrio para validação de modelo de simulação.



Fonte: Harrell, Ghosh e Bowden, 2000.

Loureiro (2009) define que a simulação pode ser dividida em duas categorias:

- Simulação computacional: realizada através de um computador, pode ser classificada como estática ou dinâmica, discreta ou contínua e determinística ou estocástica.
- Simulação não computacional: é realizada sem utilizar um computador. Pode ser exemplificada com a realização de um protótipo de menor escala de uma aeronave ou veículo em túnel de vento.

A simulação estática se caracteriza por não considerar o tempo como variável, pois não há mudança de estado com o tempo. Já na simulação dinâmica, as variáveis sofrem mudanças com a evolução do tempo, o que a torna mais utilizada em processos industriais. Na simulação de um evento discreto a ação ocorre em um momento único, de forma que o relógio da simulação é alterado com o acontecimento de um evento. A simulação de eventos contínuos não sofre interrupções no tempo. Os modelos de simulação determinísticos e estocásticos são construídos da mesma forma, porém na simulação determinística os estados futuros foram determinados juntamente com a inserção dos dados de entrada do sistema, enquanto nos modelos estocásticos é necessária uma maior quantidade de aplicações no sistema para obter resultados confiáveis e precisos, devido às características aleatórias das saídas do processo (LOUREIRO, 2009).

Para Silva (2002) a técnica da simulação permite:

- A projeção e análise de sistemas industriais;
- A antecipação de resultados de determinadas ações;
- Tomada de decisões com menores riscos;
- Identificação preventiva de problemas;
- Eliminação de procedimentos que não agregam valor a um processo;
- Análises de sensibilidade;
- Menores custos com mão-de-obra, energia, água e estrutura física;
- Realização de estudos técnicos e econômicos para determinar a viabilidade e integridade de um projeto.

O processo de modelagem e simulação apresenta uma grande aplicabilidade em diversas áreas de negócios, tais quais:

- Sistemas de produção: definição de *layout*, manufatura, montagem, definição de áreas de armazenagem, utilização da mão de obra e movimentação de matéria prima e produtos;

- Sistemas computacionais: sistemas operacionais, serviços de rede, *website*, arquitetura de computadores, entre outros;
- Sistemas de transporte e estoques: operação em transportes aéreos, rodoviários e ferroviários, armazéns, depósitos intermediários, cadeia logística e operações em portos;
- Sistemas administrativos: seguradoras, financeiras e operadoras de crédito;
- Sistemas de prestação de serviços: bancos, hospitais, restaurantes, centrais de atendimento, entre outros.

Para Bressan (2002) a utilização da técnica da simulação traz alguns benefícios como: a possibilidade de estudar um sistema por longos períodos, sem interferir no ambiente real; permitir o teste de diferentes condições de operação e estimar o desempenho obtido; controlar melhor as condições e cenários desejados para os testes simulados; e a falta de precisão quando modelos matemáticos são utilizados para representar um sistema com elementos estocásticos. Porém, o mesmo autor evidencia também algumas desvantagens do uso deste recurso: alto custo para desenvolvimento do modelo; grande demanda de tempo de projeto; possível obtenção de dados e resultados que chamam atenção devido à grande quantidade de detalhes, porém que podem estar equivocados, caso o modelo não tenha sido devidamente validado; e as execuções de simulações estocásticas fornecem apenas resultados em forma de estimativas dos parâmetros.

Harrell, Ghosh e Bowden (2000) defendem que para obter vantagens do uso da simulação é necessário considerar os custos envolvidos na sua aplicação e seus benefícios. O autor afirma que a economia de tempo de implantação de projetos e gastos em uma empresa tornam-se negligenciados ao avaliar o custo de implantação de um sistema de simulação, que envolve o *software*, hardware e a mão de obra necessária.

Através da utilização da simulação é possível identificar e eliminar ineficiências e problemas nos processos, determinar se um projeto é ou não viável antes de sua implantação, reduzir a quantidade de re-projetos e fatores de risco e, conseqüentemente, os custos de um projeto (HARRELL; GHOSH; BOWDEN, 2000).

Atualmente no mercado existem muitos pacotes de *softwares* que realizam os mais diversos tipos de simulação, desde a simples modelagem de vigas até a modelagem completa de uma refinaria de petróleo em três dimensões. O problema está na escolha do pacote mais adequado a necessidade da empresa, levando em consideração: recursos financeiros, recursos humanos e tempo. (DUARTE, 2003, p. 73).

Além da escolha do *software* e pacote de simulação adequado, citados anteriormente, é preciso ter atenção no desenvolvimento do processo, para que o investimento com a modelagem e simulação tenha retorno. Bressan (2002) define como principais causas de problemas:

- Nível não suficiente ou exagerado de detalhamento;
- Deficiência na comunicação durante o processo;
- Deficiência no entendimento da gerencia;
- Definição de equipes não competentes no assunto;
- Uso inadequado da simulação, de forma amadora;
- Escolha inadequada de *software*;
- Uso de *softwares* complexos ou com documentação inadequada;
- Conhecimentos teóricos negligenciados ao utilizar *softwares* sofisticados;
- Mal uso de animações;
- Deficiência na obtenção de dados;
- Entendimento equivocado do sistema a ser simulado;
- Má definição de objetivos no início do estudo.

2.3 USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS EM EMPRESAS DE MANUFATURA

Bertotto (2003) define que os principais objetivos do uso da simulação em manufaturas são: quantificar a performance de um sistema e identificar problemas nas áreas. Para este autor, as medidas mais comuns de performance vistas com a simulação são:

- Formação de filas;
- Gargalos e obstruções;
- Uso dos recursos (maquinários e humanos);
- Análises de rendimento do sistema com diferentes cargas;
- Ocorrência de atrasos;
- Cálculo da mão de obra necessária;
- Redução de inventário entre as etapas do processo;
- Aumento de produtividade;
- Análise de eficiência dos sistemas de controle;
- Análise da eficiência do escalonamento de produção;
- Redução de tempo de entrega;
- Redução de custos operacionais e capital para investimentos;

- Melhor estimativa da quantidade produzida;
- Melhor entendimento do sistema;
- Provocar análises de problemas.

O uso de simulação em sistemas de manufatura tem aumentado significativamente nos últimos anos. Existem várias razões para este crescimento, dentre elas a busca para aumentar a qualidade e produtividade, reduzindo conseqüentemente, os custos. Outro fator importante é a popularização da utilização da simulação nas empresas, assim como o aumento da capacidade de recursos (*hardware* e *software*) para a realização da simulação. (PONTES, 2012, p. 92).

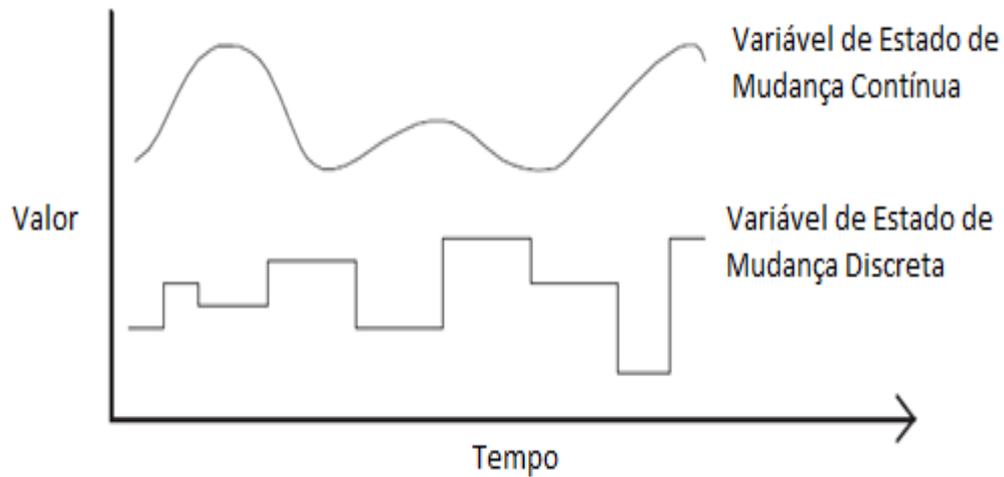
Pontes (2012) afirma que a ferramenta da simulação é amplamente usada nos sistemas de manufatura, por permitir a realização de testes e experimentos sem influenciar no funcionamento da fábrica. Para o autor, as principais formas de uso da simulação nos processos produtivos são para:

- Processos: análise de melhorias, planejamento de recursos, programação, novos projetos, capacidade produtiva, fluxo de produção, etc.
- Peças ou Produtos: determinar quais produtos serão produzidos, o sequenciamento das operações, o tipo de inspeção necessário, entre outros fatores;
- *Layout*: projetar novos *layouts* de manufatura ou alterar a estrutura existente.

Outra vantagem destacada da utilização da simulação nos sistemas de produção é a possibilidade de melhor estudar o processo através modelo, podendo assim buscar melhorias para implantar a manufatura enxuta. “A simulação de uma indústria de processo é utilizada como laboratório para a transformação *lean*, apresentando como lidar com processos que trabalham em lote com grandes campanhas no ambiente *lean*” (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2015).

Nos sistemas de manufatura, o artifício da simulação pode ser utilizado para representar sistemas contínuos e discretos. Harrell, Ghosh e Bowden (2004) evidenciam na Figura 8 as mudanças ocorridas com o tempo em variáveis discretas e contínuas.

Figura 8 - Comparação nas mudanças das variáveis discretas e contínuas.



Fonte: Harrell, Ghosh, Bowden, 2004 (adaptado).

2.3.1 Simulação de Sistemas Discretos

A simulação de eventos discretos abrange o estudo de modelos de simulação cujas variáveis mudam de estado instantaneamente em pontos específicos de tempo, em contraste ao que ocorre com modelos contínuos, cujas variáveis podem mudar de estado continuamente no decorrer do tempo. (SAKURADA; MIYAKE, 2009, p.26).

De forma geral, quando um profissional pensa nas unidades de processamento de manufatura, com o objetivo de descrever um sistema, ele irá imaginar um fluxograma do processo, onde o produto passa por atividades sucessivas durante o processo. Dessa mesma forma ocorre na simulação de processos discretos, onde uma unidade de produto passa pela etapa A, em seguida B, até atingir o final do ciclo. Porém, nesse tipo de simulação, é importante ressaltar que os eventos podem ser classificados em duas categorias: programados e condicionais (HARRELL; GHOSH; BOWDEN, 2004).

Harrell, Ghosh e Bowden (2004) definem que um evento programado é aquele que pode ser determinado e agendado com antecedência, antecipando quando ele deve ocorrer na simulação. Esses dados podem ser inseridos no início do processo e podem ser programados para ocorrer com periodicidade, caso seja necessário.

O mesmo autor define os eventos condicionais como aqueles que estão relacionados com uma condição ou acontecimento, e não apenas com o passar do tempo. Os eventos condicionais podem ser utilizados quando não se é possível determinar o tempo exato que a

ação deve ocorrer, desta forma, eles aguardam que todas as condições pré-selecionadas sejam atendidas para que o evento desejado seja acionado.

Porém, Harrell, Ghosh e Bowden (2004) ainda ressaltam que, nos processos reais os eventos ocorrem simultaneamente, enquanto nas simulações computacionais, mesmo que essas etapas ocorram em um mesmo instante simulado, o computador processa cada evento por vez, tornando-se necessário que alguma lógica seja criada para que eles esses eventos ocorram ao mesmo tempo também na simulação.

2.3.2 Simulação de Sistemas Contínuos

Os modelos de sistemas contínuos são utilizados para simular processos nos quais as variáveis de estado são alteradas continuamente ao longo do tempo. Por exemplo, em um sistema que envolve uma caixa d'água com um furo tampado, no qual as variáveis de estado são o nível e volume deste recipiente, a simulação seria iniciada quando o tampo da caixa d'água fosse aberto e seu nível fosse baixando com o escoamento da água, apresentando assim mudanças contínuas nas duas variáveis de estado citadas (FREITAS, 2005).

Como já citado anteriormente por Tubino (2007), dois grandes exemplos de indústrias de sistemas contínuos são indústrias químicas e petroquímicas, que devido à sua grande complexidade de processos, alto risco e necessidade de segurança, podem se beneficiar muito da utilização de simuladores.

A utilização de modelos de processos químicos permite, com grau de confiança elevado, a análise de um processo químico desde a sua concepção, passando pela fase de projeto básico até a análise de uma unidade operacional definida. Com a sua utilização pode-se estudar alternativas tecnológicas para produção de substâncias químicas através da comparação de rendimentos, uso de energia, sub-produtos e condições operacionais. Seu uso na fase de projeto básico de uma unidade vai desde da consolidação do balanço matéria e energético, dimensionamento de equipamentos e estudo de estratégias de controle. Na fase de operação de uma unidade industrial, a simulação permite a otimização da produção e estudo de alternativas de matérias-primas entre outras análises. (CQD TECNOLOGIA QUÍMICA, 2015).

Segundo Pritchett *et al.* (2000), o modelo de simulação contínua é utilizado para representar a dinâmica interna de um sistema de manufatura. Nestes casos, o estado do sistema é representado como uma medida, como por exemplo posição ou velocidade. O

mesmo autor ressalta que, diferente dos modelos de processos discretos, com a simulação de sistemas contínuos é possível analisar o comportamento dinâmico da unidade.

2.3.3 OTS – Simulador Para Treinamento de Operadores

Com o objetivo de demonstrar a eficiência de simulações no aprendizado, Edgar Dale apresentou um modelo evidenciando as taxas de retenção de conteúdo para diferentes métodos de ensino. Como pode ser visualizado na Figura 9, o meio de aprendizado com maior nível de absorção após duas semanas no período do treinamento é a simulação do cenário real que se deseja treinar.

Figura 9 - Cone de aprendizagem



Fonte: Xdeducation, 2015.

A utilização de simuladores para realizar treinamentos de operadores nos processos industriais oferece às empresas maiores oportunidades de enfrentar os diversos desafios do cenário atual, adquirindo assim maior competitividade no mercado. Alguns dos desafios enfrentados são: (SCHNEIDER ELECTRIC, 2015).

- Cronogramas apertados, levando às empresas a projetar novos processos e melhorar os existentes em tempos mais curtos;
- Retenção de conhecimento, uma vez que a força de trabalho de maior idade está próxima de se aposentar e deve passar seus conhecimentos para os trabalhadores mais jovens;

- Busca por maior produtividade, resultando também na busca por novos trabalhadores;
- Regulamentações e leis cada vez mais exigentes;
- Busca por maximização de lucros e resultados.

[...] os operadores precisam de um alto nível de conhecimento e habilidade para manter o sistema operando de modo confiável e economicamente viável, e de exercer juízo crítico e tomar ações apropriadas durante situações de emergência. A necessidade de treinamento contínuo dos operadores de redes é mais urgente do que nunca, especialmente porque os operadores veteranos, ao se aposentarem, levam consigo a expertise adquirida durante muitos anos. (AUTOMALÓGICA, 2015).

A *Schneider Electric* (2015) cita como principais benefícios da utilização de simuladores para treinamento de operadores: menores investimentos e custos de operação; redução no tempo de comissionamento; aumento da segurança e redução dos riscos na operação; maior captura e transferência do conhecimento; e maior confiabilidade e disponibilidade.

No Simulador de Treinamento de Operadores destacam-se como objetivos principais: O eficiente treinamento de novos operadores e a reciclagem dos operadores existentes, nas situações de Operação em Regime Normal e em Contingências.

Para alcançar estes objetivos é fundamental que o Simulador de Treinamento atenda dois importantes requisitos. O primeiro é a confiabilidade do simulador do sistema elétrico de potência (precisão da simulação) e o segundo é a fidelidade na representação da sala de operação (interfaces e demais recursos existentes na sala de operação). (LEITE; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2007, p. 18).

Leite, Oliveira e Oliveira (2007) defendem a importância de representar com fidelidade o ambiente onde os operadores trabalham, de forma que no local do treinamento, eles tenham acesso a telefones, programas de suporte, manuais de operação e outros recursos que os são disponibilizados em uma situação real. Além disso, os autores afirmam que uma equipe preparada para ministrar os treinamentos, com experiência e perfil adequado, faz parte do sucesso da utilização deste recurso, pois assim torna-se possível o maior compartilhamento de experiências nas configurações dos cenários de treinamentos.

3 MÉTODO DO TRABALHO

3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO

Lakatos e Marconi (2003) afirmam que todo trabalho científico deve estar embasado em pesquisas bibliográficas, para que se aproveite melhor o tempo pesquisando sobre problemas ainda não solucionados e, assim, seja possível atingir conclusões inovadoras. Para os mesmos autores, a pesquisa bibliográfica:

[...] abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema estudado, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, materiais cartográficos, etc. [...] e sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto [...]. (LAKATOS; MARCONI, 2003, p.183).

Para Vergara (1998) a pesquisa bibliográfica trata de um estudo com base em materiais acessíveis ao público disponibilizados através de livros, revistas, redes eletrônicas e jornais, com a finalidade de servir como um instrumento analítico a ser utilizado em outras pesquisas.

Para a elaboração do presente trabalho, a metodologia da pesquisa bibliográfica foi utilizada a fim de identificar as lacunas e oportunidades na bibliografia disponível a respeito da modelagem e simulação computacional na manufatura, além da maneira como este tema é tratado nas publicações estudadas.

3.2 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

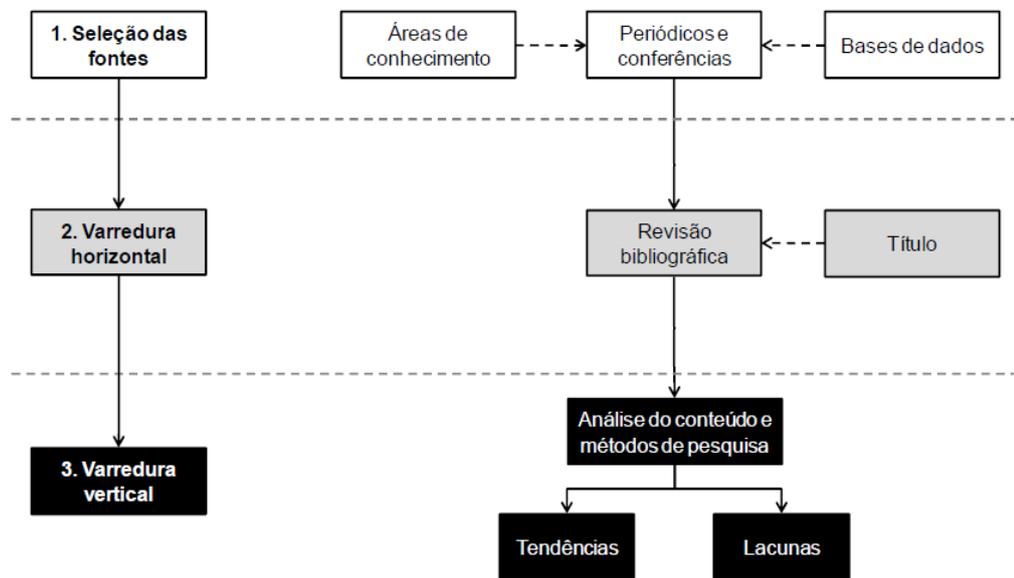
O primeiro passo para atingir o objetivo deste trabalho é a seleção das fontes de pesquisa. Para isso, a fim de realizar a coleta dos dados desejados, a pesquisa bibliográfica foi realizada nos bancos de dados científicos: *Scielo*, *Science Direct* e *Capes*, considerando artigos publicados no Brasil, logo escritos em português. Além desses mecanismos de pesquisa, também foram considerados artigos publicados no maior evento nacional de Engenharia de Produção, o ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, a partir do ano de 2005, e no SIMPEP, Simpósio de Engenharia de Produção, um dos mais relevantes congressos de Engenharia de Produção do país, também nos últimos dez anos.

Para os fins desejados nesta pesquisa e visando manter a coerência com o universo de busca delimitado nos eventos relacionados ao tema, nas buscas utilizando os bancos de dados

científicos citados também foram consideradas apenas as publicações realizadas nos últimos dez anos.

Definidos os mecanismos de pesquisa, inicia-se a etapa da revisão bibliográfica, onde se faz a busca por artigos no tema determinado, essa etapa é definida com a varredura horizontal. Em seguida, inicia-se a fase de varredura vertical, na qual os artigos encontrados são analisados, para assim obter as informações desejadas. O processo metodológico utilizado neste trabalho é demonstrado na Figura 10, e adaptado da metodologia proposta por Silva (2013).

Figura 10 - Processo metodológico.



Fonte: Silva, 2013 (adaptado).

3.3 DELINEAMENTO DO ESTUDO

Para a realização da pesquisa, faz-se necessário realizar inicialmente uma delimitação do estudo a ser elaborado. Com base nisso, Vergara (1998) define:

Delimitação do estudo refere-se à moldura que o autor coloca em seu estudo. É o momento em que se explicita para o leitor o que fica dentro do estudo e o que fica fora. Já que a realidade é extremamente complexa, por um lado, e histórica, por outro, não se pode analisa-la em seu todo; logo, cuida-se apenas dessa parte da realidade. (VERGARA, 1998, p. 30).

Para esse estudo, delimita-se que a busca por referenciais teóricos acerca da literatura será feita por artigos envolvendo as palavras-chaves: simulação e modelagem, relacionando-

as com os assuntos: manufatura, processo(s) contínuo(s), processo(s) discreto(s), sistema(s) contínuo(s), sistema(s) discreto(s), evento(s) contínuo(s), evento(s) discretos e treinamento.

A palavra chave descrita anteriormente foi combinada com os diversos assuntos de interesse, para que desta forma fossem realizadas as pesquisas nos bancos de dados científicos previamente citados.

Nos eventos relacionados à Engenharia de Produção, a busca por artigos pertinentes ao tema foi realizada buscando documentos nas áreas de Simulação da Produção e Modelagem, Análise e Simulação.

Através da pesquisa bibliográfica realizada, onde foi realizado o levantamento dos artigos a serem avaliados, foram definidas as variáveis para a classificação dos mesmos: (a) setor industrial; (b) objetivo do artigo ou resultados desejados; (c) metodologia utilizada e; (d) ano de publicação dos artigos e de seus referenciais bibliográficos.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA PESQUISA

4.1 RESULTADOS ENCONTRADOS

Ao seguir a metodologia citada previamente, foram encontrados 137 artigos relacionados ao tema delimitado nos últimos dez anos de publicações. A distribuição destes artigos ao longo dos anos evidenciou pouca variação, com exceção do ano de 2005, no qual uma quantidade inferior de artigos relacionados ao tema foi publicada no ambiente de pesquisa delimitado, como evidencia a Tabela 1.

Tabela 1 – Distribuição dos artigos pesquisados nos últimos 10 anos

Ano de Publicação	Número de Publicações	Porcentagem
2005	3	2%
2006	12	9%
2007	19	14%
2008	14	10%
2009	14	10%
2010	13	9%
2011	12	9%
2012	15	11%
2013	16	12%
2014	19	14%
Total	141	100%

Tratando-se das fontes utilizadas como ferramenta de busca, a maior concentração de artigos relacionados ao tema foi encontrada nos arquivos do Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP. Os bancos de dados científicos disponibilizados na internet apresentaram um menor número de artigos no assunto desejado (Tabela 2).

Tabela 2 – Distribuição dos artigos nas fontes de pesquisa

Local de Publicação	Artigos Encontrados
ENEGEP	66%
SIMPEP	26%
Bancos de Dados Científicos	08%
Total	100%

Com base nos artigos selecionados na varredura horizontal, respeitando as limitações determinadas, tornou-se possível analisar o conteúdo das publicações e assim identificar a situação atual e as lacunas das pesquisas em modelagem e simulação de sistemas de manufatura, como apresentado nos itens a seguir.

4.2 SITUAÇÃO ATUAL DAS PESQUISAS SOBRE MODELAGEM E SIMULAÇÃO NOS SISTEMAS DE MANUFATURA

Para iniciar o estudo proposto sobre a aplicação da simulação nos processos de manufatura, inicialmente foram analisados os ramos industriais que apresentam publicações sobre este tema, dentro das limitações da pesquisa. Ao avaliar as publicações selecionadas, percebe-se que uma grande e variada gama de setores são abordados nas pesquisas. Porém a maior parte dos artigos analisados, 17,7%, tratam o tema da simulação na manufatura de uma forma genérica e generalizada, sem especificar o tipo de indústria ou produto estudado. Em seguida, aparecem as indústrias que trabalham com metais e mineradoras e as indústrias automotivas, com respectivamente 12,8% e 7,8% das publicações no tema. O resultado desta análise é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Setores industriais abordados

Ramo Industrial	Artigos	Porcentagem
Manufatura (Generalizado)	25	17,7%
Metal-Mecânica / Mineradoras	18	12,8%
Automotiva	11	7,8%
Alimentícia	10	7,1%
Autopeças	8	5,7%
Eletroeletrônicos e Informática	8	5,7%
Calçados	5	3,5%
Confecção de Roupas	4	2,8%
Linha Branca	4	2,8%
Bebidas	3	2,1%
Cerâmicas	3	2,1%
Plásticos	4	2,8%
Material de Defesa / Indústria Bélica	2	1,4%
Petroquímica	2	1,4%
Energia	2	1,4%
Produtos de Limpeza	2	1,4%

Tabela 3 – Setores industriais abordados (Continuação)

Ramo Industrial	Artigos	Porcentagem
Artefatos em Aço Inoxidável	2	1,4%
Etanol	2	1,4%
Biodiesel	2	1,4%
Materiais de Escrita / Escolar	2	1,4%
Aeronaves	1	0,7%
Fornos	1	0,7%
Refratários	1	0,7%
Ferramentas Diamantadas	1	0,7%
Indústria de Vedação	1	0,7%
Skates	1	0,7%
Estofados	1	0,7%
Tabaco	1	0,7%
Tubos Flexíveis	1	0,7%
Facas Industriais	1	0,7%
Móveis	1	0,7%
Caçambas	1	0,7%
Piscinas	1	0,7%
Impressão Gráfica	1	0,7%
Componentes em Madeira / Plástico	1	0,7%
Cabos Elétricos	1	0,7%
Fios de Algodão	1	0,7%
Sistemas de Comunicação	1	0,7%
Química	1	0,7%
Cilindros Hidráulicos	1	0,7%
Produtos Cirúrgicos-Hospitalares	1	0,7%
Auto-Adesivos	1	0,7%

Avaliando os dados apresentados nota-se que, apesar de mais de 40 ramos industriais serem citados nas publicações analisadas, mais de 50% dos artigos referem-se a situações generalizadas de manufatura mais quatro outros setores apenas: indústrias de metais / mineradoras, automotivas, alimentícias e de autopeças.

Além disso, através da análise realizada, foi possível observar que muitas pequenas indústrias estão em busca de melhorias em seu processo e recorrem à simulação computacional para obter resultados mais satisfatórios em sua produção.

Outro aspecto avaliado nos artigos selecionados foi o objetivo da publicação, ou seja, quais resultados foram desejados ao realizar aquele estudo. Nesse quesito foi possível observar que mais da metade dos artigos selecionados buscavam analisar e melhorar o processo produtivo de diversas formas: buscando maior pontualidade nas produções e entregas, redução do *lead time*, melhor gestão de estoques, aumento da produtividade e da capacidade produtiva, diversificação no portfólio, maior flexibilidade, melhor alocação de mão de obra, aumento de eficiência e lucratividade, redução de custos e perdas no processo, eliminação de gargalos, geração de estratégias competitivas, entre outros.

A tabela a seguir (Tabela 4) apresenta um resumo dos principais objetivos traçados nos artigos avaliados.

Tabela 4 – Objetivo dos artigos

Objetivo da Pesquisa	Artigos	Porcentagem
Análise / Otimização da Produção	73	52%
Avaliação de Cenários de Produção (Apoio em Tomadas de Decisões)	16	11%
Estudo de <i>Layout</i> / Arranjo Físico	13	9%
Balanceamento de Linhas	11	8%
Apresentação de Conceitos / Ideias	4	3%
Relação com o Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM)	5	4%
Modelagem / Análise do Trabalho Humano no Processo	4	3%
Análise de Novas Linhas de Montagem / Etapas de Processo	3	2%
Suporte a Sistemas Automatizados	2	1%
Mensurar Produtividade / Capacidade	2	1%
Otimização dos Custos de Manutenção	1	1%
Desenvolvimento de Novos Produtos	2	1%
Análise de Técnica IDEF0 Para Modelagem Conceitual	1	1%
Definição Plano de Manutenção	1	1%
Construção e Exemplificação da Modelagem Conceitual	1	1%
Análise do Efeito da Interação Entre Falhas	1	1%
Controle da Produção	1	1%

Analisando os dados apresentados, é possível observar que, além dos trabalhos que buscam a melhoria de um processo produtivo, a avaliação de cenários, o balanceamento das linhas de produção e os estudos de arranjos físicos nas indústrias representam também uma parcela significativa nos objetivos apresentados pelos autores.

Observou-se também que muitas pesquisas buscavam o estudo do processo para ajudar não apenas na obtenção de melhorias operacionais, mas também na adequação do sistema produtivo ao conceito da manufatura enxuta, na avaliação de sistemas *Kanban*, na apresentação de novas situações produtivas, com intenção de diminuir a resistência a mudanças e em análises de qualidade.

O último aspecto analisado ao estudar as pesquisas referentes à modelagem e simulação nos sistemas de manufatura foi o tipo de simulação utilizado nas pesquisas. Neste quesito observa-se que a maior parte das publicações analisadas visavam o uso de uma simulação computacional de eventos discretos, como evidenciado na Tabela 5. Para este fim, existe uma grande diversidade de *softwares* de simulação disponíveis. Os mais citados são o *Arena* e o *Promodel*, porém outros *softwares* como o *Simul8*, *Witness*, *Micro Saint*, *Flexsim*, *Visual Object Net++* e *AutoMod* também são utilizados.

Tabela 5 – Metodologia de simulação

Metodologia de Simulação Utilizada	Publicações	Porcentagem
Simulação Computacional de Eventos Discretos	110	78%
Programação e Modelagem Matemática	18	13%
Realidade e Manufatura Virtual	3	2%
Simulação Computacional de Eventos Contínuos	3	2%
Modelagem e Simulação Humana	2	1%
Modelagem Conceitual	1	1%
Simulação de Eventos Discretos Combinada com Algoritmos Genéticos	1	1%
Simulação por Tecnologia RMT (<i>Rapid Modelling Technique</i>)	1	1%
Realidade Virtual Combinada com Modelagem Matemática	2	1%

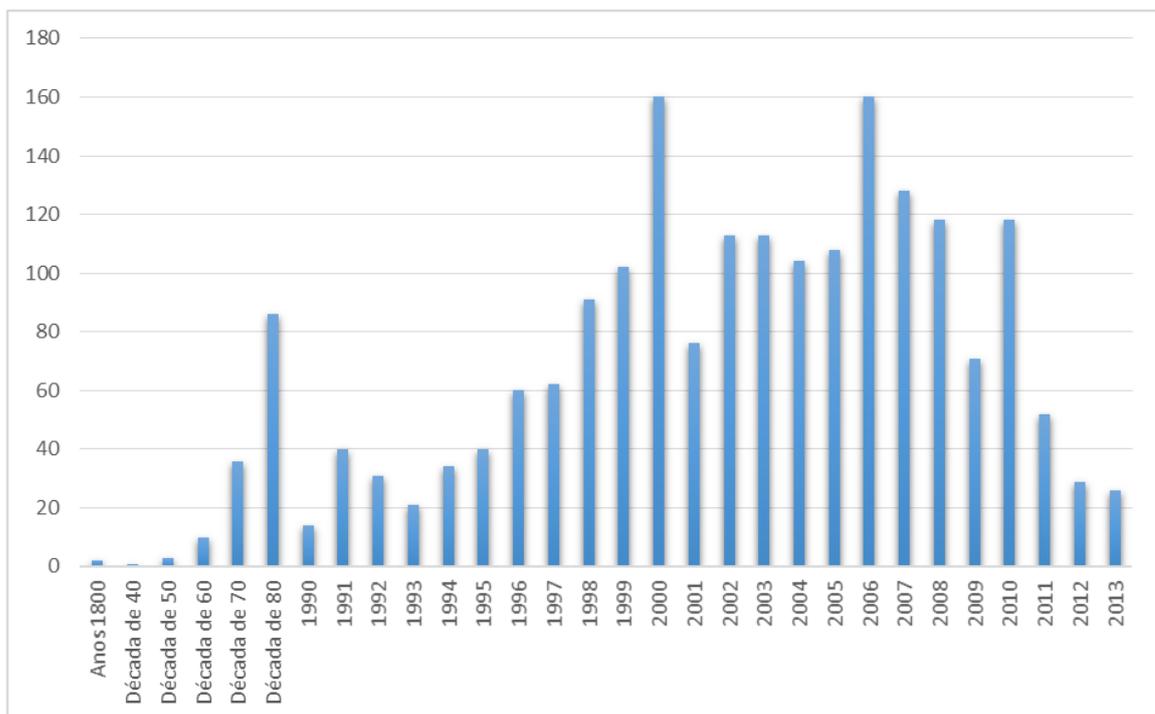
Analisando a tabela apresentada, nota-se que apesar da grande tendência do uso de simulações de eventos discretos, 13% das publicações referem-se a estudos que utilizam a programação e modelagem matemática como meio de análise dos aspectos desejados na manufatura. Nesta área, os principais *softwares* citados são: *Matlab*, *Mable*, *Excel* (incluindo o *Visual Basic*), *GAMS* e *CPLEX*. Além destes, outros *softwares* são citados nos artigos selecionados como: *Jack*, para simulações envolvendo os aspectos humanos na manufatura; *Unisim* e *Hysys* para simulações de eventos contínuos e; *AutoCAD*, para simulações de realidade virtual.

4.3 LACUNAS E OPORTUNIDADES NAS PESQUISAS SOBRE MODELAGEM E SIMULAÇÃO NOS SISTEMAS DE MANUFATURA

Ao analisar os artigos selecionados, observa-se que as pesquisas na área da modelagem e simulação ainda estão muito concentradas em um número pequeno de setores industriais e tipo de *software* utilizado no estudo, deixando assim grandes oportunidades de crescimento para as empresas que ainda não aderiram a esta modalidade e campo para mais pesquisas.

O primeiro aspecto analisado nas publicações selecionadas para identificar as lacunas nas pesquisas e oportunidades de crescimento foi o ano de publicações das fontes utilizadas, para assim pode entender se as pesquisas estão respaldadas em referências atualizadas ou em fontes mais antigas. A Figura 11 apresenta o resultado obtido a partir desta análise.

Figura 11 - Ano de publicações dos referenciais teóricos.



Fonte: Autoria própria, 2015.

Avaliando a imagem, nota-se uma distribuição heterogênea de anos de publicação dos referenciais bibliográficos utilizados. Além disso, nota-se uma grande diminuição de artigos nos últimos três anos, mantendo uma maior concentração de publicações na primeira década dos anos 2000. Porém, deve-se levar em consideração que apenas os artigos dos últimos anos poderiam usar como referência os artigos mais recentes. Desta forma, torna-se compreensível que publicações mais antigas sejam mais utilizadas, por estarem disponíveis a mais tempo.

A partir da Figura 9, juntamente com a análise dos dados apresentados na Tabela 1 (distribuição dos artigos pesquisados nos últimos 10 anos), percebe-se que as pesquisas no ramo da simulação e modelagem nos processos de manufatura mantém um ritmo constante ao se tratar de número de publicações. Ou seja, mesmo com os grandes avanços tecnológicos, *softwares* cada vez mais representativos da realidade, e com as grandes possibilidades de benefícios obtidos através da modelagem e simulação, muitas empresas e indústrias ainda não demonstraram incentivos em pesquisas nessa área, o que permite a elas ainda grandes oportunidades de crescimento.

Com a análise das publicações selecionadas, foi possível perceber que alguns autores citaram a dificuldade de coletar dados para garantir maior qualidade na elaboração das simulações, muitas vezes devido à demora no tempo de processamento das etapas do sistema produtivo. Além disso, outro fator que implica na coleta de dados é o fato de, por muitas vezes os processos serem manuais, a coleta irá depender do desempenho dos operadores, podendo torná-la tendenciosa ou não representante da realidade do processo de forma geral. Vida, Montevechi e Lima (2014) afirmam que:

Notou-se que as principais dificuldades encontradas concentraram-se nas atividades de construção do modelo conceitual (o qual sofreu diversas modificações ao longo do projeto até chegar em sua versão final), na cronometragem dos tempos (fase que consumiu muitos dias devido ao número elevado de postos e devido à coleta de dados ter sido feita em três diferentes turnos), e análise dos resultados para sugestão de modificações. (VIDA; MONTEVECHI; LIMA, 2014, p. 14).

Além disso, Oliveira *et al.* (2014) destaca o alto consumo de tempo devido aos longos períodos de simulação e análise como a maior dificuldade de um projeto. Porém, o mesmo autor afirma que isso pôde amenizado com o uso de um *software* e *hardware* com bom desempenho.

Seguindo a linha de raciocínio das grandes oportunidades a serem exploradas no ramo da modelagem e simulação e analisando a Tabela 3 (setores industriais abordados) apresentada previamente, é possível observar que diversos grandes setores industriais que movimentam altos valores monetários e possuem grande representatividade na indústria brasileira, como os setores petroleiro, químico, petroquímico, linha branca e energético, por exemplo, ainda não exploram de maneira significativa as pesquisas neste sentido. Deixando-os com essa grande oportunidade de crescimento, que pode proporcionar significativos aumentos de produtividade e melhorias no processo produtivo.

Como já foi dito, ainda existe muita oportunidade de maior exploração da simulação nos ambientes de manufatura, principalmente nas indústrias de sistemas contínuos de produção. Esse aspecto pode ser observado analisando a Tabela 5 (metodologia de simulação), que mostra que as simulações de eventos discretos estão presentes em quase 80% das publicações selecionadas, deixando as outras modalidades, como a automatização de sistemas, a simulação dos aspectos humanos na produção e de eventos contínuos, que também podem levar muitos benefícios às empresas, subutilizadas.

Além disso, observa-se também que as possibilidades de resultados obtidos através da modelagem e simulação ainda são pouco exploradas, como mostra a Tabela 4 (objetivo dos artigos), visto que a maior parte dos artigos estudados visa a otimização da produção, que apesar de trazer grandes benefícios, não engloba todos os benefícios que esta modalidade pode trazer, deixando aspectos como a definição de planos de manutenção, criação de novos produtos e análises de novas linhas de produção ainda pouco exploradas.

Carara (2014, p. 2) comenta que “muitas empresas não utilizam métodos adequados para encontrar uma solução satisfatória para o balanceamento de linhas, realizando esta tarefa empiricamente”. Para o autor, devido a isso, existem perdas de oportunidades de melhorias nas operações, ociosidades, perdas nos sistemas produtivos e menores possibilidades de redução de custos nas indústrias.

Pode-se observar também que no ambiente limitado para a pesquisa, não foi encontrado nenhum artigo abordando o assunto do uso de simuladores no processo de treinamento de operadores. Essa modalidade, também chamada de OTS (*operator training simulator* ou simulador para treinamento de operadores), é uma grande oportunidade a ser explorada pelas indústrias, devido aos grandes benefícios e segurança que ela pode proporcionar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No cenário atual de uma intensa procura por diferencial competitivo, as indústrias e empresas devem buscar melhorias contínuas em seus processos e procedimentos, para que assim seja possível reduzir custos e aumentar a produtividade, qualidade de entrega e lucratividade do negócio. A fim de atingir este objetivo, um método bastante eficiente utilizado pelas indústrias tem sido a modelagem e simulação computacional.

O uso da modelagem e simulação permite às indústrias a analisarem seus processos criticamente, sem necessitar intervir na produção da empresa, analisando diversos cenários e possibilidades, a fim de identificar falhas, oportunidades de mudanças e aumento de eficiência dos processos analisados. Com isso, torna-se possível propor alterações sem correr riscos e tomar decisões com maior embasamento de seus resultados.

Neste trabalho foram estudadas as publicações bibliográficas a respeito do uso da modelagem e simulação computacional na manufatura, buscando entender a situação atual da abordagem do tema, e as lacunas e oportunidades existentes nesta linha de pesquisa. Para isso, a partir de um universo previamente limitado de fontes e critérios de busca, foram selecionados e analisados 141 artigos relacionados ao tema proposto.

A partir do estudo proposto foi possível observar uma propensão das indústrias em buscar a metodologia da simulação com a finalidade de otimizar seus processos produtivos, especialmente das empresas que possuem processos discretos de manufatura, porém também foram identificadas muitas oportunidades de crescimento nas pesquisas e estudos relacionados ao tema, visto que foi identificado que muitos ramos industriais de grande porte, como o petroleiro, químico, petroquímico, linha branca e energético, por exemplo, ainda não apresentam muitas publicações. Além disso, foi observado também que ao utilizar a simulação nos processos de manufatura, a maioria das empresas busca de fato a otimização do processo, que apesar de trazer grandes vantagens, não é o único benefício possível de ser obtido com este recurso, existem diversos outros pouco explorados como: a definição de planos de manutenção, criação de novos produtos, treinamento de operadores e análises de novas linhas de produção.

Logo, com esta pesquisa, é possível concluir que, apesar de terem sido encontrados mais de 100 artigos com a metodologia proposta, muito trabalho ainda pode ser feito, explorando melhor a utilização da simulação em diversos setores da indústria e os seus benefícios.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, F.; RAJGOPAL, J.; NEEDY, K. **A Taxonomy Of The Process Industry With A View To Lean Manufacturing**, 2002 in LOURENÇO JUNIOR, José. **A Produção Enxuta Em Um Sistema De Fabricação Contínuo: Aplicação Da Simulação Discreta Estocástica Na Indústria De Condutores Elétricos**. 2012. 133 f. Tese (doutorado) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2012.

ALMEIDA, Marcell. **O Que É Manufatura Enxuta?** Disponível em: <<http://pensamentoenxuto.com/o-que-e-manufatura-enxuta/>>. Acesso em: 24 abril 2015.

AULICINO, Marcelo Crescenti. **Organização Na Produção Por Processos Contínuos: Prática, Conceitos E Métodos De Projeto Para Fronteiras Móveis Interpenetrantes**. 2008. 142 f. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008.

AUTOMALÓGICA. **Simulador para Treinamento de Operadores – OTS**. Disponível em: <http://www.automalogica.com.br/?page_id=534>. Acesso em: 19 maio 2015.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial**. 5 ed. São Paulo: Bookman, 2006. 616 p.

BERTOTTO, Carlos Alberto. **Concepção de uma Biblioteca de Classes para Sistemas de Manufatura**. 2003, 102 p. Dissertação (Mestrado em Computação) – Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

BOGHI, C. e SHITSUKA, R. **Aplicações Práticas com Microsoft Office Excel**, 2005 in OLIVEIRA, José B. **Simulação Computacional: Análise de um Sistema de Manufatura em Fase de Desenvolvimento**. 2007. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Engenharia de Itajubá. Itajubá, 2007.

BOTELHO, Adriano. **Do Fordismo À Produção Flexível: a produção do espaço num contexto de mudança das estratégias de acumulação do capital**. 2000. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

BRAVERMAN, Harry. **Trabalho e Capital Monopolista: A Degradação do Trabalho no Século XX**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 1987. 379 p.

BRESSAN, G. **Modelagem E Simulação De Sistemas Computacionais: Abordagem Sistemática De Modelagem E Análise De Desempenho De Sistemas**. São Paulo: Larc-PCS/Epusp, 2002. 12p.

CARARA, Bruno. XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2014, Curitiba. **Balanceamento De Uma Linha De Produção Através De Experimentos De Simulação**. Curitiba, PR, 14 p.

CHWIF, Leonardo. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal**. 1999, 139 p. + apêndices. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações**. 3. ed. São Paulo, 2010. 320 p.

CQD TECNOLOGIA QUÍMICA. **Simulação de Processos**. Disponível em <<http://www.cqd.com.br/>>. Acesso em 18 maio 2015.

DEAR, Anthony. **Rumo ao Just-in-time**, 1991. In: CARRERA, M. A. *et al.* ETIC - Encontro De Iniciação Científica. **Just-In-Time: Uma Filosofia A Serviço Da Administração**. Presidente Prudente, SP, 14 p.

DUARTE, Roberto N. Simulação Computacional: **Análise de Uma Célula De Manufatura em Lotes do Setor de Auto-Peças**. 2003. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Engenharia de Itajubá. Itajubá, 2003

FREITAS, P. **INE 5101 Simulação Discreta**. Disponível em <<http://www.inf.ufsc.br/~freitas/cursos/simgrad/2005-2/Aulas/5101%20A01/Slides%20Aula%201%20-%20Introducao.pdf>>. Acesso em 18 maio 2015.

FUTATA, Marli. Breve Análise Sobre O Toyotismo: Modelo japonês de produção. **Revista Espaço Acadêmico**, Maringá, ano IV, n. 47, abr. 2005. Disponível em: <<http://www.espacoacademico.com.br/047/47cfutata.htm>>. Acesso em: 24 abril 2015.

GHINATO, P. Publicado como 2o. cap. do Livro **Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações**, Ed.: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza, Edit. da UFPE, Recife, 2000.

HARRELL, C. R; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation using ProModel**. 3. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000. 603 p.

HARVEY, David. **A Condição Pós-Moderna**, 1989. In: BOTELHO, A. **Do Fordismo À Produção Flexível**: a produção do espaço num contexto de mudança das estratégias de acumulação do capital. 2000. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

HISTORIA CONTEMPORÁNEA. **La Fabricación En Cadena, El Fordismo**. Disponível em: <<https://historiahervas.wordpress.com/2009/12/04/la-fabricacion-en-cadena-el-fordismo/>>. Acesso em: 28 abril 2015.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Editora Campos Elsevier, 2002. 224 p.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos metodologia científica**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2001. 311 p.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Introdução ao Lean Thinking para Industrias de Processo**. Disponível em: < <http://www.lean.org.br/workshop/68/introducao-ao-lean-thinking-para-industrias-de-processo.aspx> >. Acesso em: 15 maio 2015.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Lean Thinking (Mentalidade Enxuta)**. Disponível em: < http://www.lean.org.br/o_que_e.aspx >. Acesso em: 22 abril 2015.

LEITE, Carlos R. R.; OLIVEIRA, João J. R.; OLIVEIRA, Jaldemir G. II SEMINÁRIO INTERNACIONAL: REESTRUTURAÇÃO E REGULAÇÃO DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL. 2007, Rio de Janeiro. **O Uso de Simuladores no Treinamento de Operadores da Chesf Como Ferramenta para Disseminação de Conhecimentos na Operação do Sistema Elétrico**. Gesel, Rio de Janeiro, 2007, 27 p.

LOUREIRO, Sérgio A. **Uso Integrado de Métodos de Simulação de Eventos Discretos e Contínuos na Resolução de Problemas Logísticos em Parques de Diversão**. 2009, 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2009.

MANCA, Davide; BRAMBILLA, Sara; COLOMBO, Simone. Bridging between virtual reality and accident simulation for training of process-industry operators. **Advances in engineering software**, Milão, 23 out. 2012. v. 55, p. 1-9.

MOORE H. J.; WEATHERFORD R. L. **Tomada de Decisão em administração com Planilhas Eletrônicas**. 6. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 643 p.

MOTA, Mirian. **O Fordismo e a Revolução da Administração de Empresas**. Disponível em: <<http://www.guiadacarreira.com.br/artigos/gestao-e-administracao/fordismo-revolucao-administracao-empresas/>>. Acesso em 28 abril 2015.

MOURTZIS, D.; DOUKAS, M.; BERNIDAKI, D. Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. **Procedia CIRP**, 8th International Conference on Digital Enterprise Technology, 2014. V. 25, p. 213-229.

MIYAGI, P. E. **Introdução a Simulação Discreta**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. SP, 2004. 31 p.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997. 152p.

OLIVEIRA, Francis D. *et al.* XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2014, Curitiba. **Aperfeiçoamento Do Fluxo Produtivo Por Meio De Simulação: Uma Análise.** Curitiba, PR, 17 p.

PERIARD, Gustavo. **Sobre Administração: Produção Puxada e Empurrada – Conceito e Aplicação.** Disponível em: <<http://www.sobreadministracao.com/producao-puxada-e-empurrada-conceito-e-aplicacao/>>. Acesso em: 27 abril 2015.

PONTES, Heráclito. **Desenvolvimento De Um Ambiente Para Simulação Da Manufatura Baseado Em Features E Realidade Virtual.** 2012. 301 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

PRITCHETT, Amy. R. *et al.* **Hybrid-System Simulation For National Airspace System Safety Analysis.** WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2000, Orlando.

QUEIROZ, Jose A.; MIRANDA, Rafael C. XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2013, Salvador. **Integração Da Simulação A Eventos Discretos Ao Value Stream Mapping: Uma Proposta Metodológica.** Salvador, BA, 17 p.

SAKURADA, Nelson; MIYAKE, Dario I. **Aplicação de Simuladores de Eventos Discretos no Processo de Modelagem de Sistemas de Operações de Serviços.** Gestão e Produção, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 25-43, jan./mar. 2009.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Simuladores para Treinamento de Operadores.** Disponível em: <http://iom.invensys.com/BR/Pages/IOM_OperatorTrainingSimulators.aspx>. Acesso em 19 maio 2015.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção.** 2 ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996. 291 p.

SILVA, Glauco G. M. P. **Linhas de Montagem e Estratégias Competitivas: Estudo de Múltiplos Casos.** 2013. 309 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SILVA, Luís C. **Stochastic Simulation Of The Dynamic Behavior Of Grain Storage Facilities.** 2002, 104 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônômica) – Programa de Graduação em Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2002.

SOUZA, Renato L. R. *et al.* XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2013, Salvador. **Estudo Da Manufatura Da Prancha De Skate: Uma Simulação Do Arranjo Físico.** Salvador, BA, 16 p.

SLACK, Nigel *et al.* **Administração da Produção: Edição Compacta.** 1 ed. São Paulo: Atlas, 2009. 728 p.

TUBINO, Dalvio. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática.** s/ ed. São Paulo: Atlas, 2007. 190 p.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2000. 90 p.

VIDA, Luiza; MONTEVECHI, Jose A. B.; LIMA, Josiane P. XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2014, Curitiba. **Análise De Uma Linha De Montagem De Uma Indústria De Eletrodomésticos Por Meio Da Simulação A Eventos Discretos**. Curitiba, PR, 15 p.

VIER ADMINISTRAÇÃO. **Fordismo**. Disponível em: <
<https://vieradministratoren.wordpress.com/2012/05/22/fordismo/>>. Acesso em 28 abril 2015.

WOOD JR, Thomas. Fordismo, Toyotismo e Volvismo: os caminhos da indústria em busca do tempo perdido. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 6-18, Oct. 1992.

XDEDUCATION – TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO. O Eureka.in. Disponível em: <
http://www.xdeducation.com.br/eureka_in.html>. Acesso em 19 maio 2015.