

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ADRIANO PELLEGRINI PEREIRA

**SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS COMO UMA FERRAMENTA
DE AUXÍLIO AO PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO EM UMA
EMPRESA MULTINACIONAL DE TECNOLOGIA**

ITAJUBÁ, JULHO DE 2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ADRIANO PELLEGRINI PEREIRA

**SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS COMO UMA FERRAMENTA
DE AUXÍLIO AO PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO EM UMA
EMPRESA MULTINACIONAL DE TECNOLOGIA**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO COMO
PARTE DOS REQUISITOS PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO.**

ÁREA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ ARNALDO
BARRA MONTEVECHI**

**JULHO DE 2017
ITAJUBÁ**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ADRIANO PELLEGRINI PEREIRA

Simulação a eventos discretos como uma ferramenta de auxílio ao planejamento da produção em uma empresa multinacional de tecnologia

Dissertação aprovada por banca examinadora em 04 de Julho de 2017, conferindo ao autor o título de mestre em Ciências em Engenharia de Produção.

Banca examinadora:

Prof. Dr. José Arnaldo Barra Montevechi

Prof. Dr. Fabiano Leal

Prof. Dr. Marcelo Machado Fernandes

Itajubá
2017

DEDICATÓRIA

Agradeço a Deus, aos meus pais Adriano e Miriam, aos meus irmãos, aos meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Deus, aos meus pais, Miriam e Adriano, aos meus irmãos, à todos os meus familiares, e aos meus amigos, por todo apoio e companheirismo durante esta jornada.

Agradeço ao professor José Arnaldo pela orientação desse trabalho, pela confiança, pelo auxílio e empenho ao longo dessa pesquisa, e pela amizade. Obrigado pela oportunidade de fazer parte de um time que mantém reuniões frequentes, que se ajuda e que se dedica para alcançar bons resultados.

Agradeço aos professores Fabiano Leal e Queiroz, pelas sugestões e acompanhamento sobre a pesquisa. Agradeço também a todos os outros membros do projeto Neotropic, que contribuíram de forma direta para esta pesquisa.

Agradeço aos funcionários da Honeywell: Henrique, Wagner, Regina, Elaine, Thiago, Jefferson, Aline, Adriana, Rosana, Jeffrey, Jerson e Carlos, os quais foram indispensáveis para o sucesso do projeto Neotropic e desta pesquisa.

Agradeço aos meus amigos e colegas de mestrado Afonso, Alexandre, Gustavo e outros, que contribuíram muito com ideias, sugestões e críticas, estando ao meu lado por todas as etapas desta pesquisa.

Também agradeço aos outros professores e amigos do IEPG: Carlos Mello, Rafael Miranda, José Henrique, e outros, por toda a ajuda.

Sou imensamente grato à Universidade Federal de Itajubá, por todo apoio e suporte que sempre tive, contribuindo diretamente para a minha formação profissional.

Por fim, agradeço à CAPES, ao CNPq, à FAPEMIG, à FUPAI e à Honeywell por todo o incentivo dado a esta pesquisa e a muitas outras.

RESUMO

A simulação vem sendo cada vez mais utilizada para a solução de problemas complexos, incluindo os setores da manufatura e serviços. Alguns autores evidenciam as principais funcionalidades do planejamento e controle da produção, de forma que se torna possível aplicar a simulação para facilitar e otimizar estas atividades. O objetivo desta pesquisa é propor uma integração entre um modelo computacional e o sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP) de uma empresa, com a finalidade de propor uma nova sistemática para o cálculo e disponibilização de um *lead time* de entrega dos produtos finais, no momento do recebimento de novos pedidos. O objeto de estudo é uma empresa do setor de eletrônicos. Foi utilizado o método de estudo de caso, com o objetivo de utilizar e integrar um modelo computacional com o sistema ERP do objeto de estudo. Por fim, foi observado que a integração entre a simulação e o sistema ERP pode ser utilizada no dia a dia como uma poderosa ferramenta de auxílio à tomada de decisão na manufatura.

Palavras-chave: Simulação a eventos discretos, planejamento e controle da produção, sistema de manufatura.

ABSTRACT

The simulation has been increasingly used to solve complex problems, including the sectors of manufacturing and services. Some authors highlight the main features of production planning and control, so that it becomes possible to use simulation model to optimize these activities. The aim of this research is to propose an integration between a computational model and the Enterprise Resource Planning system (ERP) of a company, in order to propose a new system for calculating and providing a delivery lead time when receiving a new order. The object under study is an electronic manufacturer. The case study method was used to integrate a computational model with the ERP system. Finally, it was observed that the integration between the simulation and the ERP system can be used on a daily basis as a powerful tool to support decision making in manufacturing.

Key words: Discrete event simulation, production planning and control, manufacturing system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Evolução publicações “ <i>Discrete Event Simulation</i> ” , “ <i>Manufacturing</i> ” e “ <i>Production</i> ”.....	15
Figura 1.2 – Evolução publicações “ <i>Discrete Event Simulation</i> ” , “ <i>Manufacturing</i> ” , “ <i>Production</i> ” e “ <i>Production Planning</i> ”.....	16
Figura 1.3 – Frequência interação entre as técnicas de simulação e problemas do PCP.....	17
Figura 1.4 – Frequência dos problemas do PCP e técnicas de simulação.....	17
Figura 2.1 – SED x SD.....	20
Figura 2.2 – Sequência de etapas de um projeto de simulação a eventos discretos.....	25
Figura 2.3 – Função planejamento e controle.....	27
Figura 2.4 – Relação entre planejamento, ação e controle.....	28
Figura 2.5 – Evolução dos sistemas PCP.....	31
Figura 3.1 – Classificação da pesquisa.....	35
Figura 3.2 – Mapeamento do processo de entrega do produto.....	40
Figura 3.3 – Sistemática de integração PCP e simulação.....	41
Figura 4.1 – <i>Layout</i> das linhas de produção.....	42
Figura 4.2 – Fluxo de abastecimento.....	43
Figura 4.3 – Processo atual do sistema de recebimentos de novos pedidos.....	49
Figura 4.4 – Sistemática ferramenta de integração entre simulação e PCP.....	50
Figura 4.5 – Planilha “ <i>Arrivals Forecast</i> ”.....	52
Figura 4.6 – Planilha “ <i>Products</i> ”.....	52
Figura 4.7 – Design base da ferramenta.....	53
Figura 4.8 – Configurações da simulação.....	55
Figura 4.9 – Planilha “ <i>ProRDB</i> ”.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 – Atividades linha 1 por operador.....	45
Quadro 4.2 – Atividades linha 2 por operador.....	46
Quadro 4.3 – Atividades linha 3 por operador.....	47
Quadro 4.4 – Atividades linha 4 por operador.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Turno das linhas, atividades e períodos de operação.....	43
Tabela 4.2 – <i>Lead Time</i> obtido.....	53
Tabela 4.3 – Cenários de entrega.....	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Contextualização.....	13
1.2. Justificativas.....	14
1.3. Objetivos.....	18
1.4. Estrutura do trabalho.....	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1. Definições gerais de simulação.....	19
2.2. Simulação a eventos discretos	21
2.2.1. Elementos da SED.....	22
2.2.2. Vantagens e desvantagens da SED.....	22
2.2.3. Principais etapas de um projeto de SED	23
2.3. Planejamento e controle da produção	26
2.3.1. Dificuldades nas atividades do PCP	30
2.3.2. Evolução dos sistemas de PCP	31
2.4. Integração entre PCP e simulação.....	33
3. MÉTODO DE PESQUISA	35
3.1. Classificação da pesquisa.....	35
3.2. Método de pesquisa	36
3.3. Objeto de estudo	38
3.4. Modelagem do processo de entrega do produto	38
3.5. Sistemática de integração PCP e simulação	41
4. APLICAÇÃO	42
4.1. Descrição do sistema.....	42
4.2. Descrição dos processos	44
4.2.1. Descrição dos processos linha 1	44
4.2.2. Descrição dos processos linha 2	45
4.2.3. Descrição dos processos linha 3	46
4.2.4. Descrição dos processos linha 4	47
4.3. Construção dos modelos conceituais	48

4.4. Ferramenta de integração entre simulação e PCP.....	48
4.4.1. Sistema de recebimento de novos pedidos.....	49
4.4.2. Funcionalidade da ferramenta.....	51
4.4.3. Lógica de programação.....	54
5. CONCLUSÕES.....	57
5.1. Síntese dos resultados	57
5.2. Limitações da pesquisa	58
5.3. Recomendações para trabalhos futuros.....	58
5.4. Considerações finais	59
REFERÊNCIAS	60
APÊNDICE A– Lógica de programação	64
APÊNDICE B – Trabalhos publicados em congresso e submetidos a periódicos	67

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

É perceptível a crescente competitividade entre as organizações no cenário mercadológico atual, de forma que a necessidade de buscar soluções novas e estratégias para melhorar processos, solucionar problemas e auxiliar na tomada de decisão, tem sido uma prática frequente. Assim, para suprir essa lacuna, a simulação é uma técnica que vem sendo empregada, fornecendo o apoio na tomada de decisão, permitindo simular a realidade com aplicação de animação e fornecendo uma maior compreensão dos modelos por pessoas não especializadas (BALDWIN, ELDABI e PAUL, 2005).

Chwif e Medina (2010) e Montevechi *et al.* (2010) afirmam que boa parte dos projetos de simulação se dividem em três grandes fases: concepção, implementação do modelo, e por fim, a análise.

De acordo com O'Kane *et al.* (2000), a simulação a eventos discretos (SED) pode ser utilizada para prever o comportamento de sistemas, e consiste na modelagem de cenários onde mudanças ocorrem em intervalos discretos de tempo. Portanto, essa técnica pode ser aplicada em sistemas de manufatura onde as mudanças se dão dessa forma.

A respeito de sistemas de manufatura, segundo Junqueira (2003), os sistemas produtivos das organizações passaram a ser cada vez mais importantes, chegando a ser o foco dos níveis estratégicos. Um dos principais exemplos da importância dos sistemas produtivos foi o enorme crescimento econômico japonês nas décadas de 60, 70 e 80, onde o foco das indústrias era a busca pela melhoria contínua da manufatura e adaptação a um estilo de manufatura baseada em menores lotes, permitindo a customização através da máxima diversificação

As mudanças ocorridas nas tecnologias de manufatura, assim como o advento de novas tecnologias, tanto de chão de fábrica quanto administrativas, representaram também um incremento significativo nas mudanças ocorridas na administração da produção (CORRÊA e GIANESI, 1993).

Segundo Corrêa, Gianesi e Caon (2001), sistemas de administração da produção são aqueles que auxiliam especificamente a tomada de decisões táticas e operacionais da produção e cuja atuação pode ser resumida em quatro questões logísticas básicas:

- a) O que produzir e comprar;
- b) Quanto produzir e comprar;
- c) Quando produzir e comprar;

d) Com que recursos produzir.

Para Steiner (1979), planejar apenas com base em experiência e intuição não é suficiente para enfrentar um mundo competitivo e dinâmico. Segundo o autor, a experiência e a intuição devem ser utilizadas de forma a complementar um processo formal e sistemático de planejamento, extraindo seus aspectos relevantes para o projeto.

De acordo com Slack *et al.* (2009), o planejamento e controle da produção (PCP) consiste na atividade que estabelece o plano operacional para a administração da produção, preocupando-se em gerenciar as atividades da operação produtiva, de modo a satisfazer a demanda dos consumidores.

Tendo em vista a importância dos temas apresentados, esse trabalho objetiva realizar uma integração, utilizando os conceitos do Planejamento e Controle da Produção, juntamente com as diretrizes de um modelo computacional, com a finalidade de desenvolver uma ferramenta com a qual a empresa possa fornecer ao seu cliente um *lead time*, no momento do recebimento de novos pedidos. A pesquisa foi desenvolvida em uma companhia multinacional de tecnologia, a qual oferece produtos para diversos setores, como, por exemplo, os de segurança e aeroespacial.

Como a empresa está interessada em melhorar a eficiência de seu tempo de resposta ao cliente, visa-se também validar a nova ferramenta que se propõe implantar.

1.2. Justificativas

Para uma empresa de manufatura permanecer competitiva em um mercado cada vez mais complexo e globalizado, o planejamento e controle da produção tem a importante função de aproximação no nível estratégico e operacional da empresa, estabelecendo uma relação entre mercado, produto e produção, fornecendo ferramentas e modelos para o sistema (OLHAGER e WIKNER, 2000). Os autores ainda ressaltam a vital importância que o planejamento e controle da produção proporciona a manufatura, de forma a fornecer suporte aos seus principais diferenciais competitivos, como qualidade, confiabilidade, preço e velocidade de entrega do produto.

Segundo Gebus, Soulas e Juuso (2013), alguns processos corporativos, tais como *Supply Chain*, atendimento ao cliente ou desenvolvimento de novos produtos são demasiadamente complexos e dinâmicos para serem entendidos e analisados através de técnicas de planilhas ou fluxogramas. As interações de recursos com processos, produtos e serviços resultam em um número muito grande de cenários e resultados que são impossíveis de compreender e avaliar sem a ajuda de um modelo de simulação computacional.

De acordo com Negahban e Smith (2014), a simulação a eventos discretos é uma das técnicas mais utilizadas para análise e entendimento de sistemas de manufatura, por ser uma ferramenta altamente flexível, que permite a avaliação de diferentes configurações e estratégias operacionais para suporte à tomada de decisão no contexto da manufatura. Segundo os autores, o aumento no investimento em memória e potência computacional aumentou o uso da simulação a eventos discretos nos últimos anos. Desta forma, a simulação provou ser efetiva em várias abordagens de problemas no mundo real, principalmente no setor da manufatura.

Foi realizado um levantamento de publicações científicas sobre a SED, sistemas de manufatura e PCP. A fim de evitar uma coleta de dados com duplicidade entre diferentes bases de pesquisa, a base de dados escolhida foi a Scopus, pois representa a maior fonte de artigos. A pesquisa considera apenas publicações de 2006 até 20 de Julho de 2016.

Através da Figura 1.1, pode-se observar publicações com a interação entre as palavras-chave *Discrete Event Simulation*, *Manufacturing* e *Production*. Percebe-se o crescimento do interesse pelo assunto nos últimos anos, principalmente a partir de 2012.

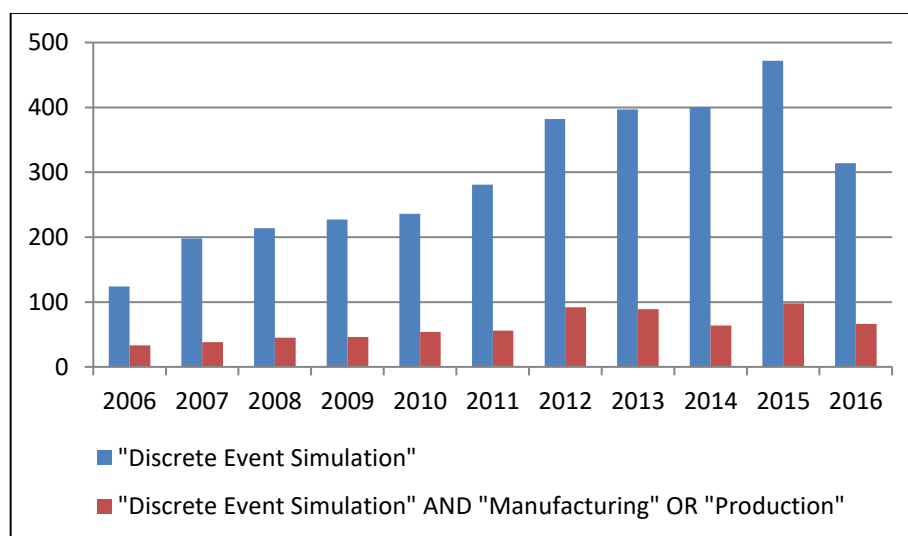


Figura 1.1 – Evolução publicações “*Discrete Event Simulation*”, “*Manufacturing*” e “*Production*”

Fonte: Base de dados Scopus (2016)

Através da Figura 1.2, pode-se observar publicações com a interação entre as palavras-chave *Discrete Event Simulation*, *Manufacturing*, *Production* e *Production Planning*. Percebe-se o crescimento do interesse por simulação a eventos discretos e manufatura ou produção, no entanto, quando analisa-se a simulação a eventos discretos juntamente com o planejamento da produção, o interesse pelo tema permanece constante, atingindo o seu pico no ano de 2010.

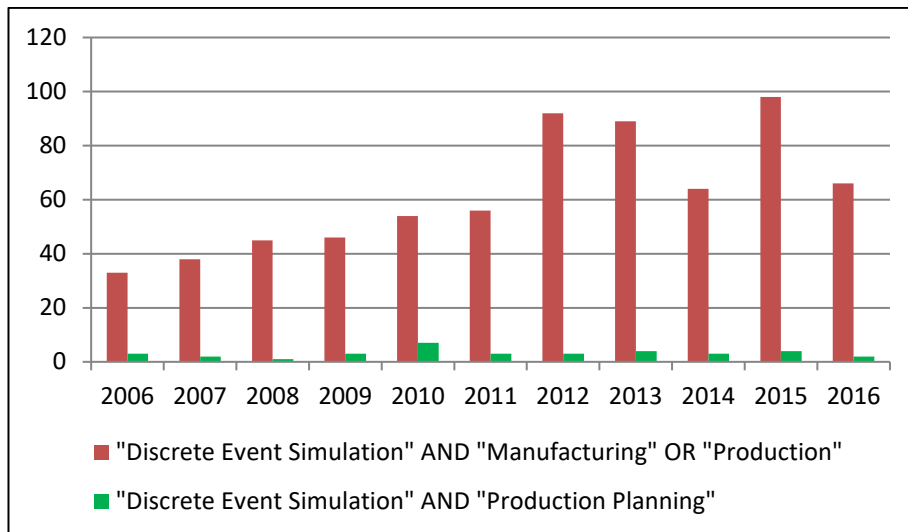


Figura 1.2 – Evolução publicações “Discrete Event Simulation”, “Manufacturing”, “Production” e “Production Planning”

Fonte: Base de dados Scopus (2016)

Os autores Jeon e Kim (2016) realizaram uma pesquisa, considerando publicações entre 2002 e 2014, sobre a aplicação de sistemas dinâmicos, simulação a eventos discretos, simulação baseada em agentes e sistemas híbridos, identificando as técnicas mais apropriadas para oito problemas do PCP na manufatura, sendo eles:

- Planejamento de recursos e instalações;
- Planejamento de capacidades;
- Planejamento de tarefas;
- Planejamento de processos;
- Calendarização;
- Gestão do inventário;
- Desenho de processos de produção;
- Gestão de suprimentos.

Para realizar a pesquisa, os autores utilizaram como referência os trabalhos de revisão da literatura, realizados por Greenhalgh e Peacock (2005), e Jahangirian *et al.* (2010), resultando em uma base de 131 artigos. Desta forma, os autores identificaram, em cada um dos artigos, quais eram as técnicas de simulação utilizadas, e quais problemas do PCP buscavam ser abrangidos em cada um destes artigos, definindo a frequência com que cada uma das técnicas de simulação estudadas ocorria em sua base de pesquisa, representada na Figura 1.3.

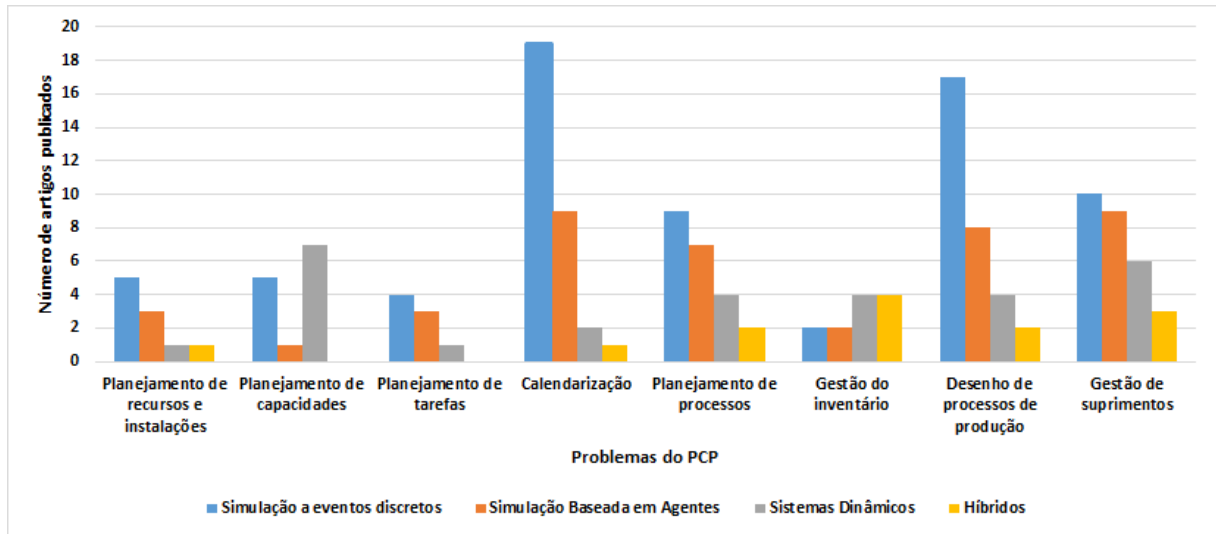


Figura 1.3 – Frequência interação entre as técnicas de simulação e problemas do PCP

Fonte: adaptado de Jeon e Kim (2016)

Através da Figura 1.3, pode-se observar que a simulação a eventos discretos é a técnica mais utilizada em situações de calendarização, planejamento de tarefas, planejamento de processos, desenhos de processos de produção e gestão de suprimentos

Como síntese dos dados coletados, os autores realizaram um levantamento sobre a frequência dos problemas do PCP e das técnicas de simulação de forma independente, conforme mostra a Figura 1.4.

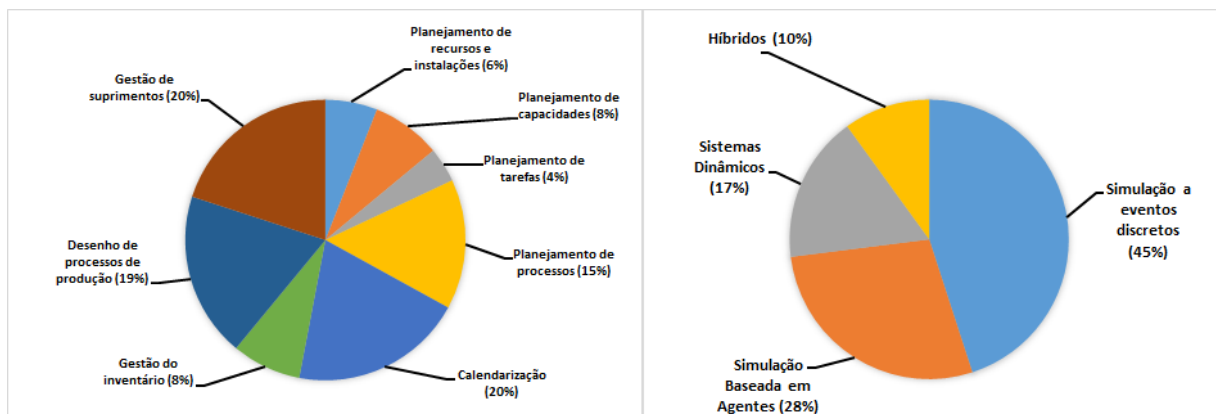


Figura 1.4 – Frequência dos problemas do PCP e técnicas de simulação

Fonte: adaptado de Jeon e Kim (2016)

Os autores definem, de acordo com a revisão de literatura, qual a melhor técnica a ser utilizada em cada um dos problemas do PCP estudados, pois foi identificado uma lacuna na literatura sobre a integração entre modelos de simulação e PCP. De acordo com Jeon e Kim (2016), a simulação a eventos discretos é a técnica de simulação mais utilizada para solucionar

problemas do PCP em empresas, pois facilita a tomada de decisões estratégicas, além de facilitar o entendimento de todo o fluxo produtivo.

1.3. Objetivos

O objetivo principal desse trabalho é desenvolver uma ferramenta que realize a interface entre um modelo computacional e as necessidades reais de planejamento de produção, com a qual a empresa possa se planejar e fornecer ao seu cliente um *lead time* no momento de recebimento de novos pedidos.

Segundo Calle *et al* (2016) em um ambiente cada vez mais globalizado, as empresas precisam se tornar mais eficiente, atingindo melhores níveis de flexibilidade de produção, melhorando os níveis de confiança de seu processo de entrega, reduzindo seus custos produtivos e custos com estoques. Além disso, as empresas enfrentam um desafio constante que é a falta de sinergia entre seus subsistemas, tendo como consequência o aumento da variabilidade nos níveis de serviço dos estoques, e o aumento de entregas em atraso. O objetivo principal deste trabalho propõe um aumento da sinergia entre subsistemas da empresa, de forma que ao se estipular um prazo para atendimento de pedido ao cliente, busca-se realizar uma simulação com os dados atualizados da empresa.

Como objetivo específico, esta dissertação pretende criar uma sistemática de interface entre o *software* ProModel® e o *software* Excel, facilitando a utilização do modelo computacional por pessoas que não conhecem a metodologia de simulação, nem mesmo o *software*.

1.4. Estrutura do trabalho

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos. O primeiro, já apresentado, mostrou a relevância do tema e o contexto no qual o trabalho está inserido, além de apresentar os objetivos propostos. O capítulo 2 apresenta uma fundamentação teórica sobre a simulação a eventos discretos, sobre o planejamento e controle da produção. O capítulo 3 apresenta a classificação da pesquisa, o método de pesquisa utilizado e a sequência de etapas executadas. O capítulo 4 apresenta a aplicação do método e a discussão dos resultados obtidos. No capítulo 5, apresenta-se os resultados alcançados com o trabalho. O Apêndice apresenta a lógica de programação desenvolvida, e os trabalhos publicados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados alguns aspectos gerais da simulação, assim como algumas definições, classificações, vantagens e desvantagens de sua utilização e metodologias. Depois disso, são apresentados alguns conceitos e definições a respeito do planejamento e controle da produção.

2.1. Definições gerais de simulação

A simulação computacional é a técnica de construção de modelos, que descreve de forma computacional os sistemas reais ao longo do tempo, para a elaboração de inferências a respeito das características operacionais do sistema real que será representado. (BAINES *et al.*, 2004; BANKS *et al.*, 2010). Através da simulação computacional, é possível estudar diversos sistemas complexos, com características e aplicabilidades distintas, de uma forma mais fácil e econômica (SHEN e WAN, 2009).

Pode-se dizer que a simulação é a transmissão do que é real para um ambiente controlado, onde o comportamento do sistema pode ser estudado e testado sobre diversas condições, sem apresentar riscos físicos e/ou custos elevados (MONTEVECHI *et al.*, 2010). Bateman *et al.* (2013) afirmam que a simulação apresenta um modelo detalhado de um sistema, e deve passar por um processo de experimentação. Como principal objetivo, os autores afirmam que a simulação deve responder como os sistemas simulados responderão as mudanças de estrutura, ambiente e condições do contorno.

Na mesma linha de pensamento, Negahban e Yilmaz (2013) afirmam que a simulação computacional deve ser utilizada para a realização de experimentos. Também pode ser utilizada para a análise de sistemas, garantindo a eficiência e a qualidade de processo que apresentam recursos limitados (PECEK e KOVACIC 2011).

Chwif e Medina (2010) afirmam que os sistemas reais são complexos pois são aleatórios e dinâmicos. A simulação consegue reproduzir fielmente as características dos sistemas reais através de um computador. Além disso, o modelo de simulação é utilizado para responder questões do tipo “*what-if*”, ou seja, “o que ocorre se”, tornando a ferramenta bastante útil na tomada de decisão.

Os mesmos autores ainda dividem a simulação computacional em três categorias: simulação de Monte Carlo, simulação contínua, também chamada de sistemas dinâmicos (SD) e a simulação a eventos discretos (SED).

A simulação de Monte Carlo, de acordo com Mooney (1997) e Chwif e Medina (2010), é o uso de geradores aleatórios de números matemáticos para entender as estatísticas de uma distribuição e avaliar o seu comportamento. Ainda segundo os autores, ela pode ser chamada de simulação estática, e não leva em consideração a variável do tempo, diferentemente dos outros tipos de simulação.

A simulação contínua, ou sistemas dinâmicos, é a simulação utilizada para modelar sistemas que variam ao longo do tempo de forma contínua (BATEMAN *et al.* 2013). Ela é utilizada para sistemas que apresentam relação de causa e efeito (CHWIF e MEDINA, 2010).

Na simulação a eventos discretos (SED), a evolução do sistema como variável muda instantaneamente em intervalos de tempo separados (YURIY e VAYENAS, 2008). Da mesma maneira, Bateman *et al.* (2013) afirmam que a SED é orientada por eventos, sendo que o relógio da simulação mostra o momento em que o evento está acontecendo.

A Figura 2.1 apresenta a diferença entre SD e SED através da preparação de um chá. Chwif e Medina (2010), afirmam que na SED, os eventos acontecem em intervalos de tempo, enquanto na SD, o processo não é interrompido, sendo constante ao longo de toda a simulação. Maiores detalhes sobre a SED são apresentados na seção 2.2.

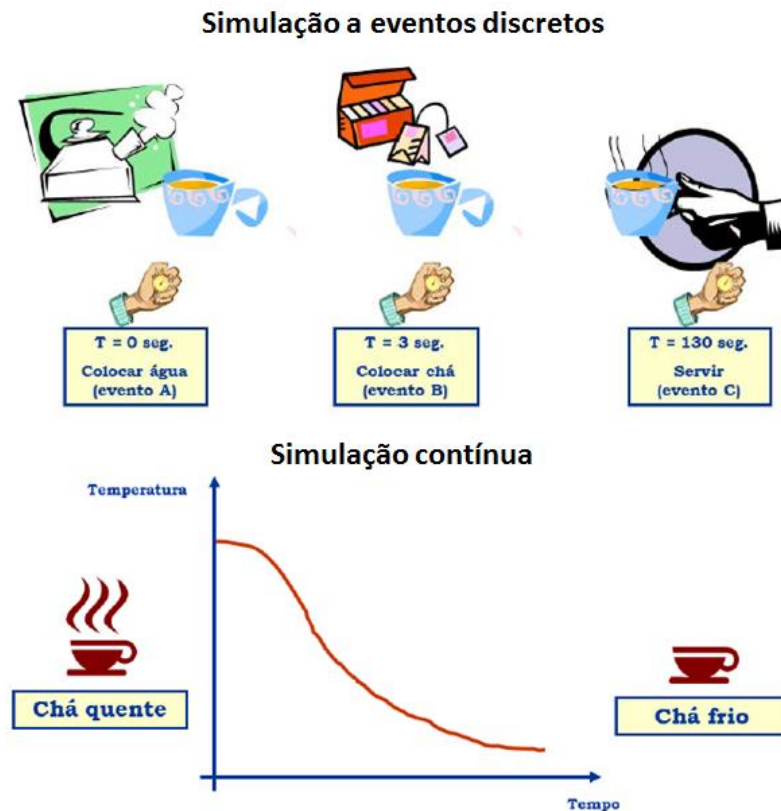


Figura 2.1 – SED x SD

Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2010)

Autores como Borschev e Filippov (2004), Onggo (2010) e Dong *et al.* (2012) ainda afirmam que existe a simulação baseada em agentes (SBA). De acordo com Chan, Son e Macal (2010), na SBA os agentes são proativos, autônomos e inteligentes, de forma que se torna possível a tomada de decisões por conta própria, na qual os agentes interagem entre si e com o ambiente, podendo provocar mudanças em seu estado e no estado do ambiente. No mesmo sentido, Borschev e Filippov (2004) definem a SBA como a simulação que se concentra na modelagem descentralizada do comportamento de objetos individuais em um ambiente definido. Segundo Dong *et al.* (2012) agentes podem ser considerados como sendo pessoas, carros, produtos, animais, entre outros.

2.2. Simulação a eventos discretos

Para Albright e Winston (2007) a simulação a eventos discretos (SED) se define na representação de um item ou evento, onde seu principal objetivo é simular um sistema real, para que possa explorá-lo, realizando experimentos e entendendo o sistema antes da implementação, com as opções de alternativas para representar a realidade. Ainda segundo os mesmos autores, a simulação tem sido, por muitas décadas, uma das técnicas mais conhecidas de apoio à decisão. Os autores Baldwin, Eldabi e Paul, (2005) também acreditam que a SED é uma técnica capaz de auxiliar no processo de tomada de decisão de uma organização, permitindo simular a realidade sem alteração no sistema real.

Essa técnica possui uma grande vantagem, uma vez que lida com dados aleatórios interdependes e discretos. Sua técnica envolve também o uso de um computador (*software*) para simular a operação de um processo ou sistema (HILLIER e LIEBERMAN, 2010). Ainda segundo os autores, tornou-se quase impossível realizar um levantamento de todas as diferentes áreas produtivas em que a simulação vem sendo aplicada, seja na manufatura ou mesmo em prestações de serviços, explicitando como a SED se tornou uma técnica extremamente versátil, com uma ampla diversidade de aplicações.

De acordo com Sakurada e Miyake (2009), o foco da SED são os modelos de simulação cujas variáveis mudam de estado instantaneamente em períodos específicos de tempo, de forma contrária aos modelos contínuos, nos quais as variáveis podem mudar de estado continuamente no decorrer do tempo.

Para Law e Kelton (2000), o foco da simulação é a modelagem de um sistema por meio de uma representação, na qual as variáveis mudam de estado instantaneamente em pontos distintos no tempo, a partir da ocorrência de eventos. Segundo os autores, uma das principais vantagens em se utilizar a simulação é a capacidade de proporcionar aos tomadores de decisões

uma visão ampla de todo o sistema, permitindo uma visualização dos resultados esperados antecipadamente à implementação.

2.2.1. Elementos da SED

De acordo com Harrel, Gosh e Bowden (2004), os elementos da simulação consistem em entidades, atividades, recursos e controles. Estes elementos determinam quem, o quê, quando, onde e o como ocorre o processamento da entidade na simulação. Os autores fazem uma breve descrição de cada componente que faz parte do sistema:

- **Entidades:** são considerados os itens que são processados ao longo do sistema, como produtos, clientes e documentos. Segundo Banks *et al.* (2010), uma entidade pode ser definida como um objeto de interesse para o estudo dentro de um sistema, como peças, produtos e/ou pessoas;

- **Atividades:** são as tarefas que estão sendo executadas no sistema, envolvidas direta ou indiretamente no processamento das entidades. Segundo Banks *et al.* (2010), uma atividade corresponde ao período especificado de tempo pelo qual uma entidade passa, como ocorre com o transporte, processamento da entidade, liberação de recursos, entre outros;

- **Recursos:** os recursos podem ser definidos como os meios pelos quais as atividades são realizadas, fornecendo as instalações de apoio, equipamentos e pessoal para condução das atividades. Segundo Schriber *et al.* (2015), os recursos são utilizados pelas entidades para realizar as atividades, e em muitos casos os recursos possuem capacidade limitada;

- **Controles:** são considerados os parâmetros que ditam como, quando e onde as atividades são realizadas, definindo as regras do sistema e permitindo a existência de alternativas de lógica de programação.

A projeção de um novo sistema ou a proposta de realização de melhorias em um sistema existente necessita mais do que simplesmente identificar os elementos e os objetivos de desempenho do sistema, isto requer uma alta compreensão de como os elementos do sistema interagem entre si e afetam o desempenho geral dos objetivos (HARREL, GOSH e BOWDEN, 2004).

2.2.2. Vantagens e desvantagens da SED

Segundo Banks *et al.* (2010), inúmeras são as vantagens proporcionadas pela simulação, destacando-se: novos projetos de equipamentos; definições de *layouts* e sistemas de transportes podem ser testados via simulação, sem consumo de recursos ou aquisição de equipamentos; pode-se fornecer uma maior compreensão sobre interações entre variáveis e a importância de seus efeitos no sistema; análises de gargalos podem ser realizadas para se descobrir onde

estoque em processo, informações e materiais estão em excesso; o estudo de simulação pode auxiliar no entendimento de como o sistema opera como um todo, ao invés de como operam suas partes; questões “*What if*” podem ser respondidas.

Para Chwif e Medina (2010), um modelo de simulação pode permitir que um mesmo comportamento que o sistema teria sido submetido na realidade, seja reproduzido em um computador, respeitando as mesmas condições de contorno e permitindo assim a análise de possíveis cenários e realização de testes.

De acordo com Montevechi *et al.* (2007), a simulação torna possível o estudo dos comportamentos do sistema em diversas condições, sem ter a necessidade de exposição a riscos físicos, elevados custos de experimentação real e ainda sem a necessidade de interrupção do fluxo de atividades do sistema real.

Apesar das inúmeras vantagens da simulação, alguns autores ressaltam algumas desvantagens desta ferramenta. Banks *et al.* (2010) ressaltam a necessidade de treinamento especial para construção de modelos na simulação, e que os resultados podem ser de difícil interpretação, pois são essencialmente variáveis aleatórias.

De acordo com Habchi e Berchet (2003), uma das limitações da simulação computacional se encontra em seu uso e aplicações, tendo em vista que nem todas as possibilidades da simulação são utilizadas. Para os autores, isso ocorre pois os processos de tomada de decisão e seus impactos dentro de um sistema de produção não são levados em consideração durante a simulação.

Segundo Law (2015) modelos de simulação geralmente são caros e consomem um elevado tempo para o seu desenvolvimento, além de tornar necessário, por parte do modelador, um treinamento especial em um *software* e/ou linguagem de programação. Para o autor, os resultados provenientes de um modelo de Simulação podem demandar uma complexa interpretação por parte dos tomadores de decisões. Além disso, as informações provenientes deste modelo podem não possuir utilidade caso o modelo não seja validado.

2.2.3. Principais etapas de um projeto de SED

Segundo Chwif e Medina (2010), a execução de projetos de simulação se dá em três fases respectivas e cíclicas: concepção, implementação e análise. Durante a fase de concepção, desenvolve-se o modelo conceitual, uma representação do sistema real contendo informações relevantes com base no objetivo do estudo. A fase de implementação corresponde à construção do modelo computacional, o qual é baseado no modelo conceitual. Por fim, a fase de análise se

refere ao planejamento e execução dos experimentos, com a posterior análise, discussão dos resultados e conclusões.

A metodologia proposta por Montevechi *et al.* (2010), representada pela Figura 2.2, é dividida em três grandes etapas: concepção, implementação e análise.

Durante a concepção, são definidos os objetivos do projeto. Em sequência, constrói-se o modelo conceitual, o qual é validado por especialistas do sistema real. Assim, dá-se início à coleta de dados, como tempos de ciclo, custos, taxas de reprovação de peças, entre outros. Segundo Chwif e Medina (2010), tem-se como última etapa da fase de concepção a modelagem dos dados de entrada, na qual os dados coletados no sistema serão inseridos no modelo computacional.

Na etapa de implementação, após a construção do modelo computacional, tem-se duas etapas de extrema importância: a verificação e a validação. Sargent (2013) define a verificação de um modelo como sendo o ato de assegurar que o modelo computacional e sua implementação estão corretos, enquanto a validação do modelo computacional é definida como a determinação de que o comportamento do modelo simulado detém precisão suficiente para representar o modelo real para a aplicabilidade em questão. A validação pode ser realizada de forma quantitativa, geralmente comparando variáveis de saída do modelo e do sistema real. Há, também, a validação face-a-face com especialistas do sistema real.

Por fim, executa-se a etapa de análise, onde o modelo é submetido a experimentos e os resultados são analisados. Nesta etapa, são realizadas diversas simulações do modelo criado, e os resultados são analisados e documentados. Como último passo, são feitas conclusões e recomendações a respeito do sistema estudado, além de identificar possíveis pontos de melhorias e alterações.

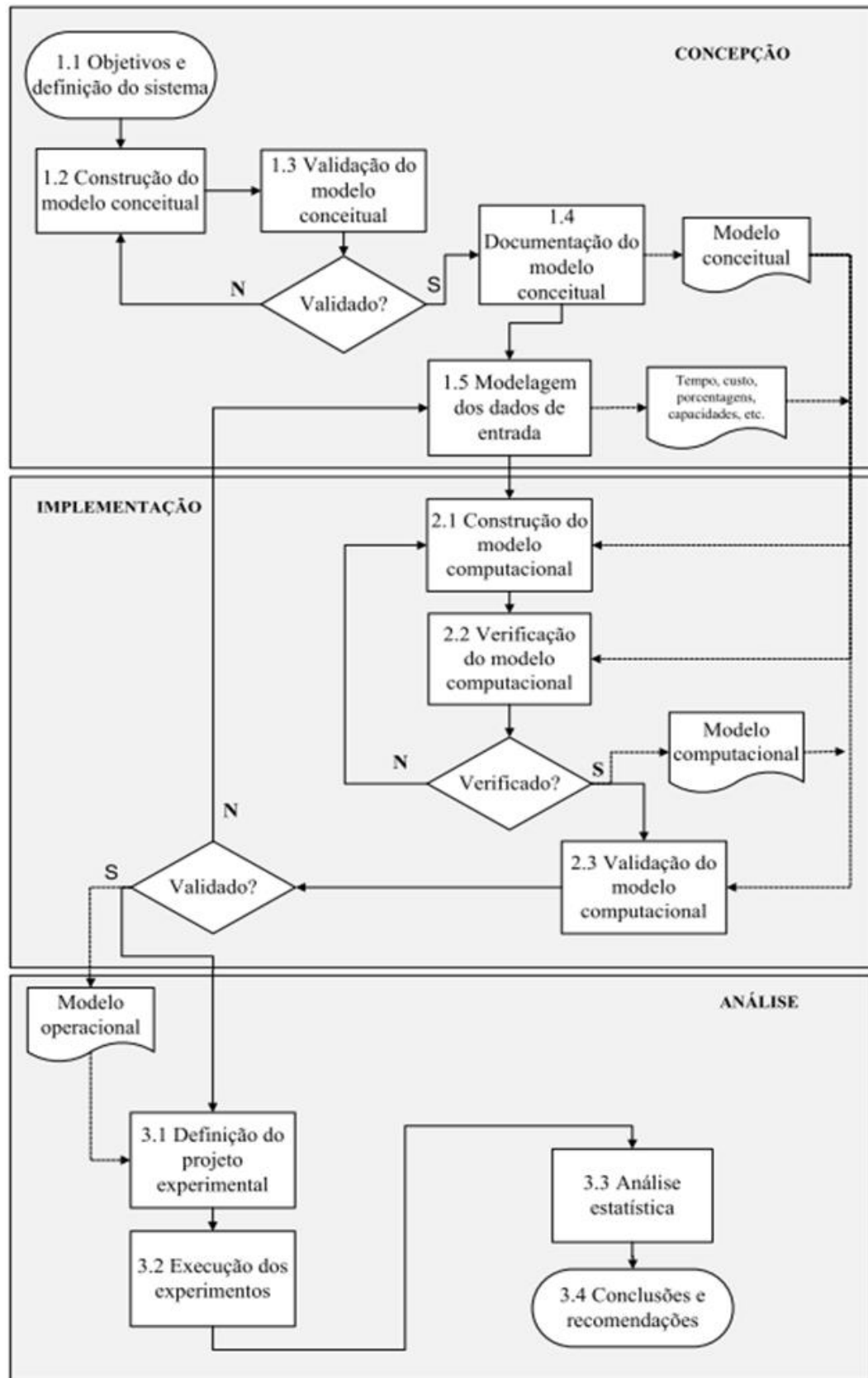


Figura 2.2 – Sequência de etapas de um projeto de simulação a eventos discretos

Fonte: Montevechi *et al.* (2010)

2.3. Planejamento e controle da produção

Segundo Slack *et al.* (2009), a administração da produção encontra-se dividida em atividades relacionadas ao projeto, planejamento e controle e melhoria do sistema produtivo, onde as principais atividades são:

- a) Projeto de produtos e serviços;
- b) Projeto da rede de operações produtivas;
- c) Planejamento do *layout* e fluxo produtivo;
- d) Escolha e administração da tecnologia de produção;
- e) Administração da cadeia de suprimentos;
- f) Planejamento e controle da qualidade;
- g) Planejamento e controle da produção.

Zadeh *et al.* (2014) definem os sistemas de Planejamento e Controle da Produção (PCP) como sistemas que integram as operações de produção com o propósito de alcançar melhorias no desempenho produtivo, com um baixo custo. Estes sistemas otimizam a alocação de recursos produtivos e fornecem uma resposta rápida às mudanças de demanda da produção.

De acordo com Bendul e Knollmann (2016), o propósito do planejamento e controle da produção é garantir os objetivos logísticos, tais como prazo de vencimento de produtos, baixo *lead time* planejado, elevada utilização de capacidade e baixos níveis de material em processamento, garantindo os níveis de qualidade e produtividade.

Segundo Scarpelli (2004), um sistema de PCP é composto por um conjunto de atividades que exigem o desenvolvimento de um sistema de tomada de decisões, a definição de um sistema de informações e a criação de uma estrutura de funções. O sistema de decisões é composto por um conjunto de normas que dão origem às ações de planejamento, controle e produção. O sistema de informações tem a função de organizar, classificar, gerar e selecionar dados, de forma a transformá-los em informações úteis aos processos de tomada de decisão, avaliação de desempenho e diversas formas de identificação. A estrutura pode ser definida considerando os recursos disponíveis para a execução das ações, abrangendo etapas desde a aquisição e movimentação de materiais, até mesmo aos processos de distribuição do produto final ao cliente.

De acordo com Slack *et al.* (2009), o propósito do planejamento e controle é garantir que a produção ocorra eficazmente, produzindo produtos e serviços como se deve. Para isto, se faz necessário que os recursos produtivos estejam disponíveis na quantidade adequada, no momento adequado e no nível de qualidade adequado. A Figura 2.3 representa a função do

planejamento e controle, conciliando o fornecimento dos produtos e serviços de uma operação com sua demanda.

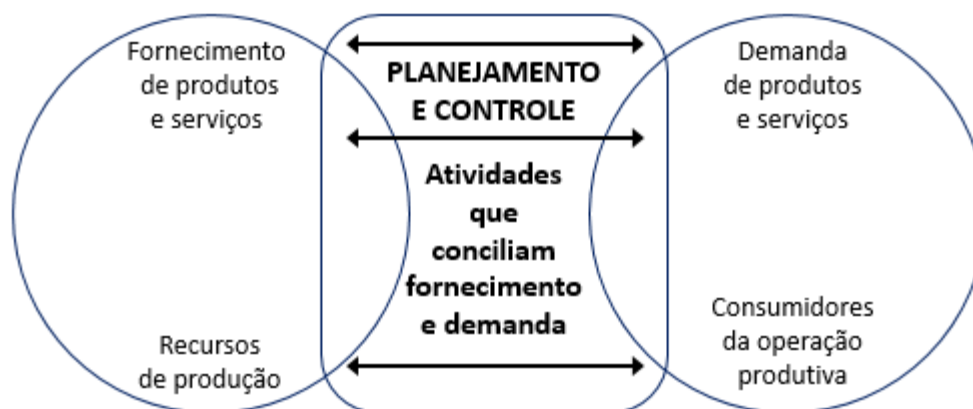


Figura 2.3 - Função planejamento e controle

Fonte: Adaptado de Slack *et al.* (2009)

Ainda segundo Slack *et al.* (2009), não se tem uma divisão clara entre planejamento e controle, nem na teoria e nem na prática. No entanto, o autor levanta algumas características gerais que ajudam a distinguir estas duas definições. A seguir, temos as características gerais de um plano:

- Um plano não garante que um evento vá realmente acontecer;
- É uma declaração de intenção de que aconteça, baseado em expectativas e esperanças em relação ao futuro;
- Planos em operações nem sempre saem como esperados, clientes mudam de ideia sobre o que querem e quando querem, fornecedores nem sempre entregam pontualmente, máquinas quebram, funcionários ficam doentes, entre outras variáveis.

As características gerais de um controle estão levantadas abaixo:

- Existem diferentes variáveis que podem contribuir para a não realização de um plano, e o controle é o processo de lidar com estas variáveis;
- O controle tem a função de redesenhar os planos a curto prazo, de fazer uma intervenção na operação para trazê-la de volta aos trilhos, de buscar um novo fornecedor, consertar máquina quebrada e remanejar a mão de obra.
- O controle faz os ajustes que permitem que a operação atinja os objetivos que o plano estabeleceu, mesmo não se confirmando as suposições feitas pelo plano.

Segundo Steiner (1979), o controle envolve um processo de avaliação de desempenho e de tomada de ações corretivas à medida que são encontrados desvios em relação ao plano.

Para relacionar planejamento, ação e controle, Schermerhorn (1999) apresenta a forma

pela qual ambos devem trabalhar juntos, como apresentado na Figura 2.4.

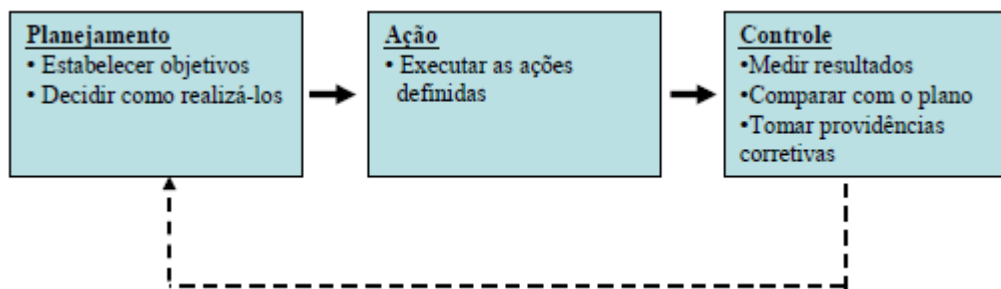


Figura 2.4: Relação entre planejamento, ação e controle

Fonte: Schermerhorn (1999)

De acordo com Vollmann *et al.* (1997), o planejamento e controle da produção tem a função de fornecer informações para uma administração eficiente do fluxo de materiais, buscando obter uma efetiva utilização das pessoas e equipamentos disponíveis, facilitando a coordenação das atividades internas, relacionadas com as atividades dos fornecedores externos, e buscando obter uma comunicação efetiva entre as necessidades do mercado consumidor e o sistema produtivo.

Segundo Stevenson, Hendry e Kingsman (2005), sistemas de planejamento e controle da produção são ferramentas cruciais para atender o elevado nível de expectativa dos clientes, em um ambiente altamente competitivo no âmbito da manufatura. Funções típicas de sistemas de PCP incluem o planejamento de materiais, gerenciamento de demanda, planejamento de capacidade produtiva e agendamento e sequenciamento de ordens de produção.

De acordo com Cowling e Johansson (2002), ainda existe uma lacuna entre teoria e prática na habilidade em que sistemas de PCP apresentam em identificar distúrbios em processos de manufatura dinâmicos. A maioria dos sistemas de manufatura operam em um ambiente estocástico, de forma que a necessidade de sistemas de PCP surgiu para identificar as divergências entre o que se foi planejado e o que realmente foi produzido em tempo real, para então providenciar as ações corretivas.

Segundo Olhager e Wikner (2000), um problema bastante complexo é o de traduzir a realidade da empresa para dentro de um sistema de planejamento e controle da produção, no qual os clientes demandam um produto que por sua vez é produzido por um processo, levando em consideração a dinâmica de suas interações. Os autores definem o cliente como pessoa ou organização que recebe o produto. O produto é caracterizado como qualquer coisa que pode ser oferecida para satisfazer a necessidade ou desejo do cliente. Por fim, o processo é caracterizado como a cadeia de valor da manufatura envolvida na entrega do produto ao cliente. Basicamente, os clientes são relacionados com os produtos e processos de formas diretas e indiretas. A

vinculação direta é o pedido do cliente, que seria o contrato para o produto ser produzido. A vinculação indireta é a previsão utilizada para antecipar a demanda do cliente. A vinculação entre produtos e processos é necessária para descrever como o produto é produzido e traçar sua rota de produção pelos processos.

O sistema de planejamento e controle da produção pode ser desenhado com diferentes abordagens. A abordagem “de cima para baixo (*top-down*)” utiliza a estratégia de manufatura como ponto de referência, enquanto a abordagem “de baixo para cima (*bottom-up*)” se inicia com o suporte à decisão para as atividades detalhadas de produção, e construída de baixo para cima. Se utilizadas corretamente, ambas as abordagens irão adicionar apenas as atividades de planejamento e controle que suportam as operações que agregam valor ao produto. Ambas as abordagens se beneficiam da modelagem específica de processos administrativos por toda a empresa, fornecendo uma visão estruturada sobre o sistema de planejamento e controle para empresas de manufatura (OLHAGER e WIKNER, 2000).

Bendul e Knollmann (2016) alertam sobre um fenômeno, denominado Síndrome do *Lead Time* (SLT) no controle da manufatura, que ocorre quando são realizados ajustes no *lead time* planejado, com a intenção de garantir os objetivos logísticos estabelecidos, no entanto, estes ajustes acabam tendo um efeito contrário no planejamento da produção.

Com o aumento do *lead time* planejado, as ordens serão lançadas mais cedo e as filas se tornarão mais extensas. Existem duas linhas de pesquisa para explicar este aumento do *lead time* planejado. Segundo Selçuk *et al* (2009), o aumento é devido as interações entre a carga de trabalho e o tempo de fluxo, enquanto para Knollman, Bendul e Mengting (2014) este fenômeno ocorre pois o processo de tomada de decisão humana é ignorado. A SLT causa instabilidade no processo e deve ser evitada.

A definição de um ponto ótimo para atualização do *lead time* planejado ainda é uma questão a ser preenchida na literatura. Selçuk *et al* (2009) afirmam que a frequência de atualização do *lead time* planejado deve ser baixo na maioria dos casos, no entanto, essa frequência pode ser elevada caso a variabilidade do processo seja baixa. Knollman, Bendul e Mengting (2014) afirmam que tanto uma frequência de atualização do *lead time* planejado muito alta, quanto uma frequência muito baixa podem levar a uma baixa performance do sistema de manufatura. Desta forma, ambos autores concordam que a frequência de atualização do *lead time* planejado depende das características do sistema a ser estudado.

2.3.1. Dificuldades nas atividades do PCP

Segundo Castro (2005), existem algumas dificuldades que são inerentes ao planejamento e controle da produção, podendo destacar as seguintes atividades:

- a) Previsão de demanda: esta dificuldade ocorre principalmente em sistemas que fabricam para estoque, e está relacionada com a obtenção de melhores previsões de demanda, com a finalidade de aprimorar as decisões sobre o quê, quanto e quando produzir ou comprar. Outra dificuldade se encontra no alinhamento entre o gerenciamento da capacidade de produção e a demanda;
- b) Gerenciamento de prazos e prioridades: esta dificuldade ocorre quando o prazo de entrega é imposto pelo cliente, havendo pouca possibilidade para o PCP avaliar sua viabilidade. Geralmente o prazo de entrega baseia-se apenas no tempo de operação do produto em questão, sem levar em consideração os tempos de fila ocorrentes nos estoques, tempos de *setup*, quebras de máquinas, entre outras variáveis. Outro fator de difícil gerenciamento são as ordens urgentes, as quais são encaixadas na programação da produção, dificultando o atendimento de prazos já acordados com o cliente;
- c) Perda de eficiência devido a constantes mudanças na programação: esta dificuldade ocorre quando a organização enfrenta um padrão de demanda variável, no qual o dimensionamento de lotes para atendimento da carteira de pedidos e para reposição do estoque de produtos acabados é prejudicado, pois outros produtos diferentes do planejado devem ser fabricados, gerando ineficiência e um custo de *set up* elevado, aumentando também o estoque de material em processo;
- d) Gestão de recursos humanos: a dificuldade desta atividade está relacionada com um padrão de demanda bastante variável, obrigando os setores responsáveis pelo PCP a administrar o contingente de mão de obra direta, aumentando turnos, contratando ou dispensando funcionários, ou pagando horas extras, gerando um aumento nos custos de produção.
- e) Gestão de estoques de matéria-prima: o PCP apresenta dificuldade em estabelecer datas e quantidades de compra de matérias-primas quando ocorre uma baixa previsibilidade da demanda, convivendo com a falta ou excesso de matéria-prima em estoque em função da variabilidade da demanda e do *lead time* de abastecimento.

Para a execução deste trabalho, teve-se como foco atuar, principalmente, no gerenciamento de prazos e prioridades, e na perda de eficiência devido a constantes mudanças na programação. Durante todo o estudo, foi considerado as interferências externas e as variáveis

presentes nas atividades das linhas de produção estudadas, para estabelecer uma sistemática para fornecer um tempo de resposta ao cliente mais preciso, sem impactar o prazo desta atividade.

2.3.2. Evolução dos sistemas de PCP

Inicialmente, os sistemas de PCP visavam apenas a reposição de itens, adotando uma abordagem histórica para previsão da demanda futura, assumindo que os dados anteriores eram uma boa representação da demanda futura. Em momentos onde o nível de estoque ficava abaixo do esperado, eram feitos novos pedidos ou feitas novas ordens de produção, sempre com quantidades fixas (RONDEAU e LITTERAL, 2001). A Figura 2.5 representa os estágios evolutivos dos sistemas PCP e as forças que impulsionaram para a evolução.

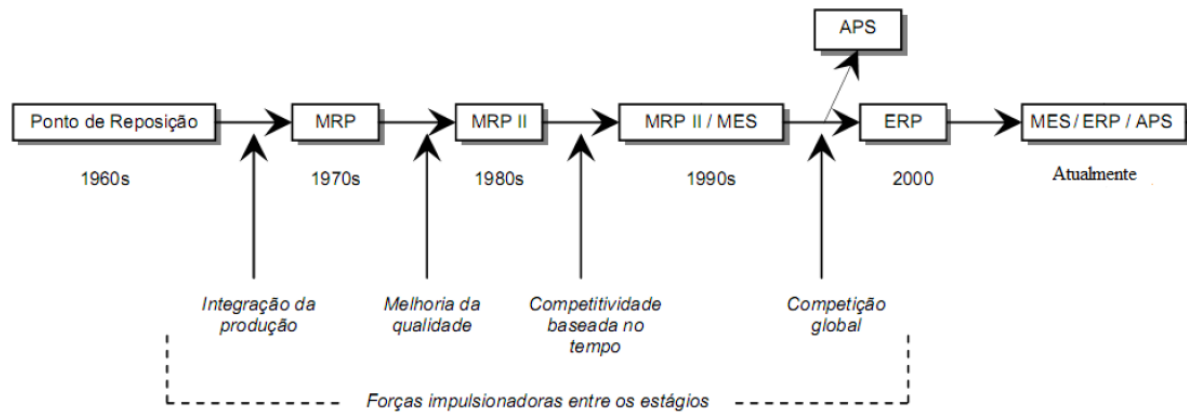


Figura 2.5 – Evolução dos sistemas PCP

Fonte: Ferreira e Zattar 2005

Em 1970 foram introduzidos os sistemas *Material Requirement Planning* (MRP), desenvolvido por Joseph Orlick. Os sistemas MRP são direcionados para lidar com a requisição de materiais, onde o objetivo deste sistema era o de calcular a real necessidade de matéria-prima, componentes e recursos, de modo a atender a demanda em diversos períodos distintos. O sistema foi inicialmente voltado para aplicações em processos de agregação e simples mudanças de formas ou propriedades. Hoje, sua lógica é baseada na identificação de todas as partes que compõem os produtos finais, e analisa nível por nível a necessidade de matéria-prima ou componentes. No passado, o sistema comparava periodicamente a demanda *versus* o inventário e assumia que os seus recursos tinham capacidade infinita (FERREIRA e ZATTAR, 2005).

Segundo Junqueira (2003), o surgimento do MRP revolucionou todo o sistema de planejamento da produção, pois a lógica simples e intuitiva do MRP tornou-se aplicável através

do uso do computador para organizações que lidam com uma quantidade enorme de itens, representando um enorme avanço frente às práticas existentes na época.

Segundo Scarpelli (2004), em um sistema MRP, as ordens são emitidas de acordo a programação mestre aprovada, utilizando a técnica de programação retroativa, iniciando-se pelos prazos dos itens finais e calculando as datas necessárias para emissão das ordens de produção ou compra dos materiais e componentes, de acordo com o *lead time* definido para cada item. Ainda segundo o autor, a estrutura básica do MRP foi criada para determinar a quantidade exata a ser produzida e no momento necessário. No entanto, pode-se identificar associados aos sistemas de cálculo de materiais do MRP diferentes formas de emissão de ordens de produção, onde as principais formas a se destacar são:

- Lote a lote: os lotes são dimensionados de acordo com a sua demanda para o período em questão. Desta forma, busca-se evitar o excesso produtivo em estoques, no entanto, pode ocorrer um uso inadequado de recursos produtivos devido ao tempo de preparação necessário.

- Lote a intervalo fixo: é o lote necessário a ser produzido em uma somatória de intervalos adjacentes. Os períodos adjacentes são agrupados de forma a compor menos lotes com quantidades maiores de produtos. Não existe um excesso de produção em estoque ao término do tempo estabelecido, entretanto, existe um estoque como função do número de períodos agrupados.

- Lotes fixos: segundo Hastings *et al.* (1982), nos sistemas com lotes fixos, os lotes produzidos serão baseados em critérios ponderados por custos de *set up* contra custos de manutenção de estoques, restando alguma sobra em estoque. No cálculo de necessidade do período subsequente, a disponibilidade de estoque deve ser deduzida da necessidade bruta.

Segundo Rondeau e Litteral (2001), em meados de 1980 foram introduzidos os sistemas *Manufacturing Resource Planning* (MRP-II), constituindo em sistemas mais amplos e completos, os quais utilizavam o MRP como um de seus componentes. Segundo Ferreira e Zattar (2005), alguns exemplos sobre as funções integradas que estes sistemas possuíam são a previsão de demanda, a programação de clientes, o processamento de dados, a lista de materiais, entre outros.

De acordo com Corrêa, Gianesi e Caon (2001), o sistema MRP II apresenta uma lógica estruturada de planejamento, prevendo uma sequência hierárquica de cálculos, verificações e decisões, que auxiliam a elaboração de um plano de produção viável, considerando a capacidade produtiva e a disponibilidade de materiais.

Segundo Rondeau e Litteral (2001), em meados de 1990 foram introduzidos os sistemas *Manufacturing Execution Systems* (MES), os quais representavam o desenvolvimento de uma

interface entre os sistemas MRP-II da empresa com as atividades do chão de fábrica e com os sistemas de controle dos dispositivos. De acordo com Ugarte *et al.* (2009), os sistemas MES nasceram como uma resposta à necessidade da empresa de satisfazer os requisitos do mercado, a partir dos pontos de vista da reatividade, qualidade, respeito de normas e redução de prazos e custos.

Segundo Rondeau e Litteral (2001), os sistemas *Enterprise Resource Planning* (ERP) foram introduzidos em meados de 2000, podendo ser definidos como sistemas de gestão de empresas que visam a integração de informações inter-relacionadas por toda a organização. Para Liu *et al.* (2002), o sistema ERP é baseado no conceito de identificação e implementação de um conjunto de melhores práticas, procedimentos e ferramentas que diferentes funções de uma empresa podem empregar para atingir a excelência organizacional, por meio da integração de informações. O ERP possui as funções do MRP-II, e o uso efetivo de sistemas ERP ajuda as empresas a melhorar seu desempenho empresarial.

Segundo Souza (2000), os sistemas ERP podem ser definidos como sistemas de informação integrados adquiridos na forma de pacotes de *softwares* comercial, com a finalidade de dar suporte à maioria das operações de uma empresa. Esses sistemas são desenvolvidos por empresas especializadas, abrangendo a maioria dos processos empresariais, e encontram-se divididos em módulos que se comunicam e atualizam uma mesma base de dados centralizada, possibilitando que as informações alimentadas em um módulo sejam instantaneamente disponibilizadas para os demais módulos dependentes.

Os sistemas avançados de planejamento e programação (*Advanced Planning and Scheduling* – APS) surgiram no final da década de 90, contendo o conceito de programação de atividades, que utilizam recursos com capacidade finita. Os sistemas APS exploram técnicas de simulação de programação da produção, considerando as restrições de matérias-primas, quebras de máquinas, e permitem o tratamento de prioridades (FERREIRA e ZATTAR, 2005) e (HVOLBY e STEGER-JENSEN, 2010).

2.4. Integração entre PCP e simulação

Uma das principais vantagens da integração entre o PCP e um modelo computacional seria a utilização de informações em tempo real para gerenciamento dos processos produtivos. Calle *et al* (2016) apresentam um estudo sobre diferentes formas de utilização de informações em tempo real nos processos produtivos, através da utilização do sistema *Virtual Build to Order* (VBTO), o qual é baseado no conceito de Ponto de Dissociação Flutuante (PDF), implicando

que o ponto de dissociação do pedido pode estar situado no início, no final, ou em qualquer outra etapa do processo produtivo. Este mecanismo de atendimento de pedidos está dividido em três estágios. No primeiro estágio, quando o cliente realiza o pedido, o sistema tenta entregar um produto alocado no estoque de produtos acabado. No segundo estágio, caso o produto não esteja disponível em estoque, procura-se por um pedido em processamento, e que ainda não está designado a nenhum cliente. No terceiro estágio, caso não exista nenhum produto não designado a clientes sendo processado, o sistema lança uma nova ordem de produção, que será designada a este pedido do cliente. A estratégia baseada no PDF é bastante sensível a utilização de informações em tempo real sobre a disponibilidade de produtos e nível de estoque de produto acabado, com o objetivo de atender a possíveis oscilações de demanda o mais rápido possível. Segundo Calle *et al* (2016), a estratégia baseada no PDF é bastante sensível a utilização de informações em tempo real sobre a disponibilidade de produtos, com o objetivo de atender a possíveis oscilações de demanda o mais rápido possível

Segundo Kim e Lee (2016), o planejamento da produção vem sendo modelado como uma estrutura de tomada de decisão para alocar a demanda requerida de acordo com os recursos disponíveis, com foco na otimização da utilização de seus recursos a médio prazo, possibilitando tomada de decisão. Entretanto, vários detalhes a nível operacional não são levados em consideração.

Kim e Lee (2016) propõem um algoritmo iterativo utilizando otimização e simulação para a integração entre planejamento e controle da produção e programação da produção. Na estrutura proposta, o planejamento da produção é gerado através de um modelo de otimização, enquanto a programação da produção é gerada pelo modelo de simulação. De acordo com os resultados da simulação, o planejamento da produção é atualizado e um novo planejamento é sugerido.

Os principais estudos na literatura atual, com o propósito de integração entre sistemas do PCP e modelos de simulação, têm como objetivo a implementação de simulação em tempo real, de forma a facilitar a tomada de decisão da empresa, com uma maior confiança nos dados coletados.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Segundo Gil (1999), toda pesquisa tem um caráter pragmático, sendo um processo formal e sistemático para um desenvolvimento do método científico. O objetivo da pesquisa deve ser a descoberta de respostas para problemas, com a utilização de procedimentos científicos, de forma que a pesquisa se torne a construção de conhecimento de acordo com as exigências científicas. O autor afirma que a pesquisa científica deve ser coerente, consistente, original e objetiva.

Este capítulo apresenta a classificação desta pesquisa científica, quanto à natureza, aos objetivos, a abordagem e ao método. Em seguida, é exposto o método de pesquisa definido e sua estrutura, a qual será seguida nesta dissertação, a partir do Capítulo 4.

3.1. Classificação da pesquisa

A Figura 3.1 apresenta a classificação da pesquisa segundo a proposta de Miguel *et al.* (2014).

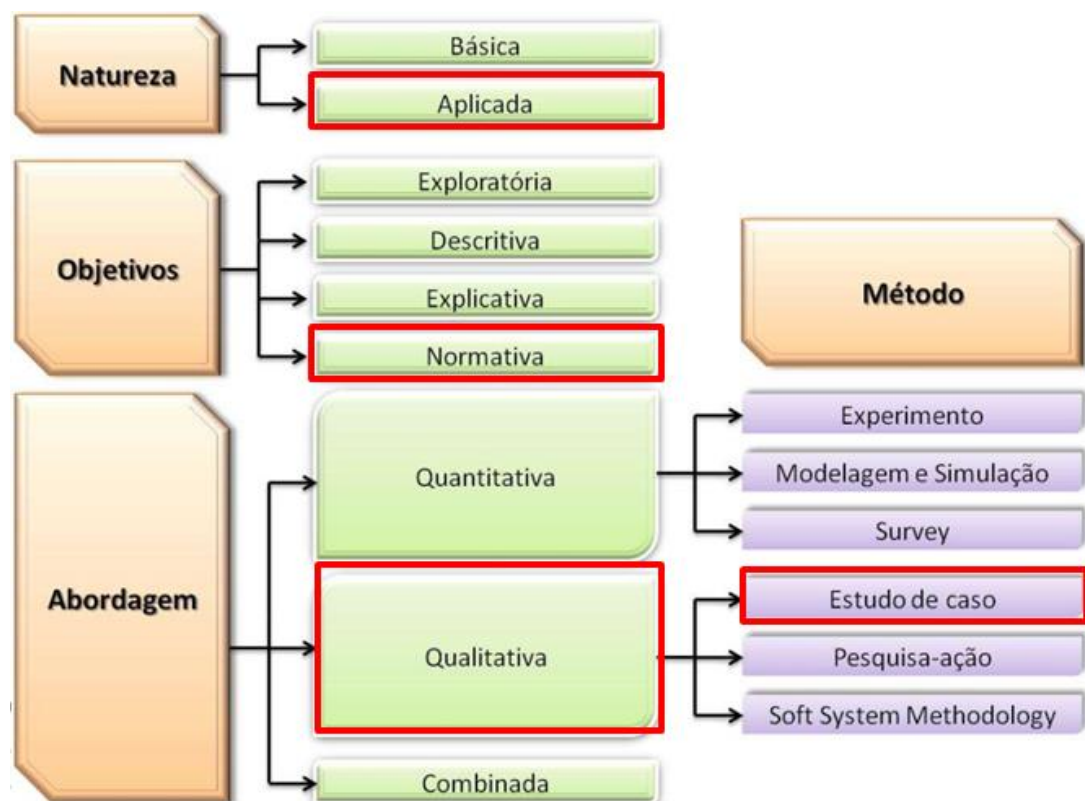


Figura 3.1 - Classificação da pesquisa

Fonte: Adaptado de Miguel *et al.* (2014)

A pesquisa realizada seguiu as seguintes classificações:

- Quanto à natureza: a pesquisa se classifica como aplicada pelo seu interesse prático, isto é, que os resultados sejam aplicados ou utilizados imediatamente na solução de problemas que ocorrem na realidade (APPOLINÁRIO, 2006).

- Quanto aos objetivos: a pesquisa se classifica como descritiva. Segundo Bertrand e Fransoo (2002), a pesquisa descritiva busca compreender, registrar e analisar um sistema modelado, estando primariamente interessada em analisar o modelo, o que conduz ao entendimento e explicação das características do mesmo. A pesquisa realizada se caracteriza como descritiva pois se preocupa em gerar uma contribuição acadêmica relacionada com a integração entre simulação a eventos discretos e PCP, através da aplicação em um sistema composto por quatro linhas de produção.

- Quanto à abordagem do problema: a pesquisa se classifica como qualitativa. De acordo com Martins (2010), a realidade subjetiva dos indivíduos envolvidos na pesquisa é relevante e contribui para seu desenvolvimento. As interpretações individuais são peças de um mosaico organizacional, que o pesquisador qualitativo precisa capturar para entender a complexidade investigada (MARTINS, 2010). De acordo com Bryman e Bell (2007), as principais características da pesquisa qualitativa são a ênfase na interpretação subjetiva dos indivíduos, delineamento do contexto do ambiente de trabalho, abordagem não muito estruturada, múltiplas fontes de evidências, proximidade com o fenômeno estudado.

- Quanto ao método de pesquisa: diante dos fatores que determinam o tipo de pesquisa científica apresentados, o método que melhor se enquadra para a condução deste trabalho é o estudo de caso. Uma vez que, segundo Gil (1999), o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa com o intuito de examinar, dentro de seu contexto, um fenômeno contemporâneo. O estudo de caso é um método flexível que possibilita um levantamento de diversos aspectos relativos ao fenômeno estudado, sendo aplicado em conteúdos exploratórios, descritivos ou explanatórios.

3.2. Método de pesquisa

A pesquisa seguiu os conceitos da metodologia de estudo de caso. Segundo Fonseca (2002), o método de estudo de caso pode ser caracterizado como o estudo de uma entidade a ser definida, visando conhecer com profundidade as suas características intrínsecas, procurando descobrir a que há nela de mais essencial e característico.

Yin (2005) define o estudo de caso como sendo uma investigação empírica sobre um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, de forma em que os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. Durante a investigação de um estudo de caso existem mais variáveis de interesse do que pontos de dados, tornando necessário se

embasar em várias fontes de evidências, buscando sempre a convergência entre os dados. Ainda segundo o autor, a principal tendência em todos os tipos de estudo de caso, é que estes tentam esclarecer o motivo pelo qual uma decisão ou um conjunto de decisões foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados alcançados

De acordo com Voss *et al.* (2002), existem alguns desafios no momento de se realizar um estudo de caso, como o consumo de tempo, a necessidade de escolha de entrevistadores capacitados e o cuidado em que se deve ter no momento de generalizar as conclusões com base em um limitado número de casos estudados. No entanto, os resultados provenientes de estudos de casos podem ser de elevado impacto, podendo encontrar novas soluções, desenvolver novas teorias e tendo uma elevada aplicação prática. Segundo os autores, os estudos de caso enriquecem não apenas a teoria, mas também os próprios pesquisadores, através da condução de pesquisas de campo e sendo expostos a problemas reais, através da proximidade com a compreensão criativa e exposição a diversos níveis da organização. Se faz necessário que um estudo de caso seja conduzido de forma correta, para que os resultados sejam rigorosos e relevantes.

Há, predominantemente, três tipos de estudo de caso, dependendo dos objetivos para o qual ele é usado: exploratório, explanatório e descritivo (Yin, 2005).

O estudo de caso exploratório funciona como um estudo piloto, que pode ser feito para testar as perguntas norteadoras do projeto, hipóteses, e os instrumentos e procedimentos. Após a conclusão do estudo exploratório, haverá perguntas que serão modificadas, retiradas ou acrescentadas, instrumentos que serão refinados, ou hipóteses que serão reformuladas, com base no que funcionou ou deixou de funcionar.

O estudo de caso explanatório pode ser considerado o mais ambicioso dos três, já que tem por objetivo não apenas descrever uma determinada realidade, mas também explicá-la em termos de causa e efeito. O estudo de caso explanatório pode também ter como objetivo a confirmação ou generalização de determinadas proposições teóricas.

O estudo de caso descritivo tem por objetivo expor uma realidade que não é conhecida pelo leitor. Não procura estabelecer relações de causa e efeito, mas apenas mostrar a realidade como ela é, embora os resultados possam ser usados posteriormente para a formulação de hipóteses de causa e efeito. Para esta pesquisa, foi utilizado os conceitos do estudo de caso descritivo, tendo em vista que o objetivo desta pesquisa foi concentrado em um cenário em específico.

Segundo Yin (2005), para que a condução de um estudo de caso seja eficaz é recomendado alguns cuidados de pesquisa:

- a) Validade do constructo: deve-se utilizar fontes múltiplas de evidências e preparar um rascunho do relatório que deve ser revisado pelos respondentes, de forma a estabelecer um encadeamento entre as evidências;
- b) Validade interna: deve-se desenvolver um padrão de convergência e de construção da explanação narrativa, estabelecendo as relações de causa e efeito;
- c) Validação externa: identificar se as descobertas do estudo são generalizáveis, mesmo sendo considerado um estudo de caso único;
- d) Confiabilidade: deve-se utilizar um protocolo para o estudo de caso, além de desenvolver um banco de dados.

Segundo Silva e Menezes (2000), a definição do instrumento de coleta e da forma de análise dos dados depende dos objetivos almejados com a pesquisa e do universo a ser investigado.

O processo de coleta de dados desta pesquisa foi realizado a partir da obtenção de dados históricos e do uso de técnicas de estudo de tempos via cronometragem. Os dados obtidos via cronometragem são tempos de atividades realizadas pelos operadores, e foram utilizados para realizar o modelo conceitual e o modelo computacional.

3.3. Objeto de estudo

A pesquisa foi realizada em uma empresa multinacional que atua em diversos setores. Por razões de confidencialidade, decidiu-se não divulgar o nome da empresa neste estudo. A planta estudada se localiza na região Sul de Minas Gerais, e produz componentes eletrônicos mediante pedidos, cujos ciclos de vida são relativamente curtos, fazendo com que a previsão de demanda se torne complexa. Desta forma, faz-se necessário estabelecer um procedimento para fornecimento de um tempo de resposta ao cliente mais preciso, conforme o objetivo da pesquisa. Quatro linhas de produção foram selecionadas. Cada uma delas é dedicada à fabricação de apenas um produto, e conta com dois operadores. Maiores detalhes das linhas de produção são apresentados na seção 4.1

3.4. Modelagem do processo de entrega do produto

Com o intuito de facilitar a compreensão do ciclo do produto como um todo, foi realizada uma modelagem de seu processo de entrega, desde o pedido do cliente até a sua finalização. A ferramenta utilizada para a modelagem deste processo foi o fluxograma em raias, como podemos observar na Figura 3.2.

O processo se inicia com o cliente realizando o pedido com o vendedor e após a sua

confirmação o responsável do departamento de vendas realiza a cotação e o *backlog* do pedido (transformar o pedido em um *input* no ERP). Com a entrada do pedido no sistema, o setor de atendimento a pedidos certifica se há o produto e o volume necessário em estoque de produtos acabados. Caso haja, o produto já é faturado pelo próprio setor e segue o caminho 1, onde o setor de logística é responsável por despachar e encaminhar ao frete. Se não houver o produto em estoque, o responsável de atendimentos de pedidos precisa checar se é um produto adaptável. Caso seja um produto adaptável, o mesmo funcionário precisa checar se há matéria-prima, e caso exista matéria prima é preciso que o responsável pelo setor da produção requisiite no sistema, gere a ordem de produção e aguarde o setor de logística alocar a matéria prima na produção. Logo após, os funcionários da produção precisam desmontar os produtos para prepará-los para a fabricação.

Quando a matéria prima já estiver no chão de fábrica, os operadores da produção podem começar a fabricação do produto e em paralelo com a inspeção. Após finalizada a fabricação e a inspeção de todos os produtos, o setor da produção é responsável por ler os produtos e apontá-los no sistema. Após o apontamento no sistema o setor de logística precisa alocar os produtos no almoxarifado e depois despacham os produtos para o frete. Se não houver matéria-prima, o fluxo necessita que o responsável pelo setor de atendimento de pedidos compre a matéria prima necessária e depois mande o planejamento com o prazo para a produção que aguarda a matéria-prima chegar e segue o caminho 3.

Caso seja um produto não adaptável, o responsável pelo setor de atendimento de pedidos precisa verificar se há matéria prima. Se houver, o fluxo seguirá para requisitar a produção e assim, gerar a ordem de produção (OP) e o setor de logística aloca a matéria prima na produção. Quando a matéria prima já estiver no chão de fábrica, os operadores da produção podem começar a fabricação do produto e em paralelo com a inspeção. Depois de finalizadas a fabricação e a inspeção de todos os produtos, o processo ocorre de modo análogo ao parágrafo anterior, e então seguirá o caminho 2 do fluxo.

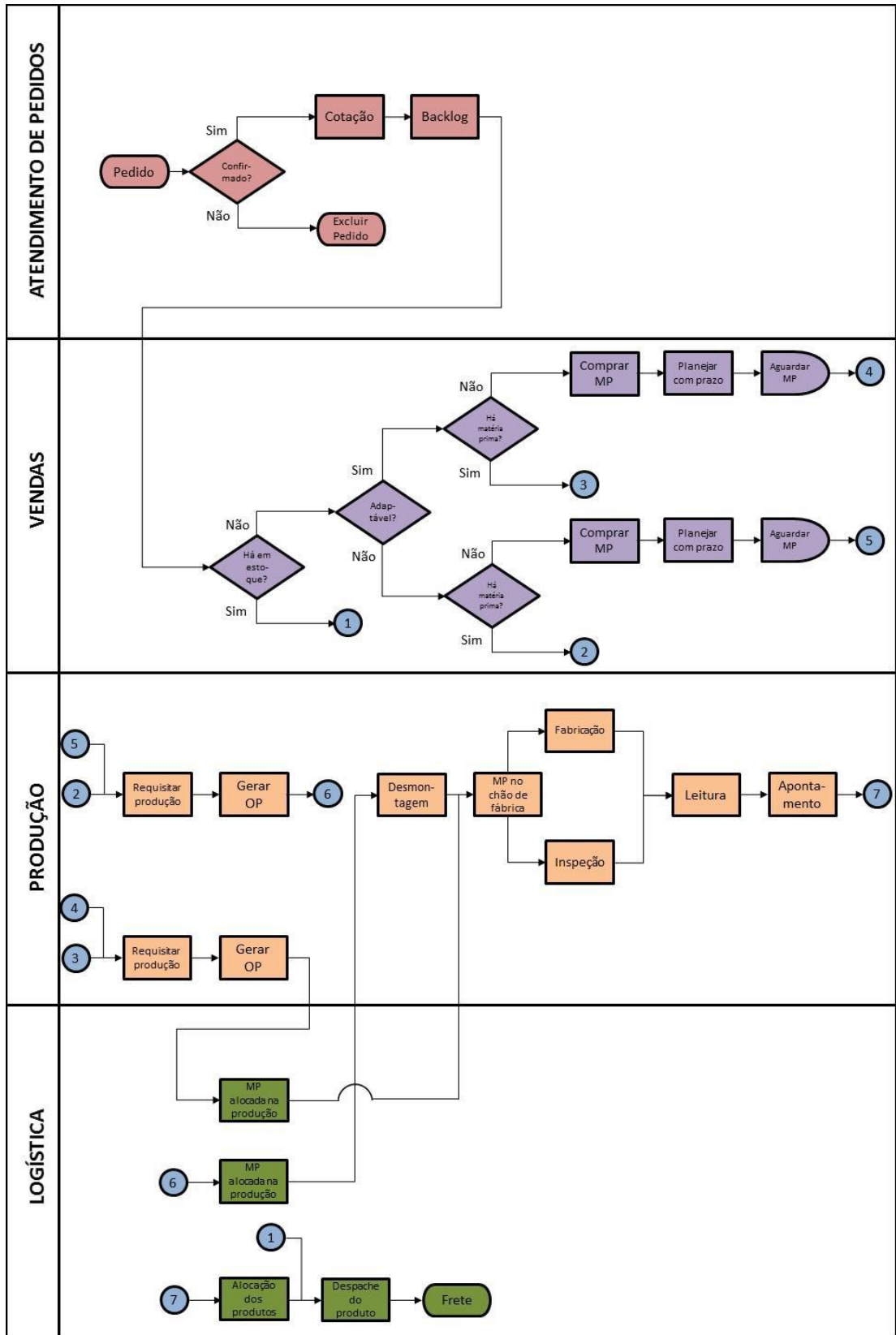


Figura 3.2 – Mapeamento do processo de entrega do produto

Através do mapeamento do processo de entrega do produto, foi possível compreender a complexidade do processo, ficando evidente a importância do desenvolvimento de uma

ferramenta para apoio no momento do recebimento de novos pedidos, principalmente em casos de um aumento repentino de demanda, sobrecarregando toda a cadeia logística.

3.5. Sistemática de integração PCP e simulação

A proposta para integração entre o sistema de PCP e um modelo de simulação computacional está representado na Figura 3.3. A sistemática consiste no desenvolvimento de uma planilha em Excel, que será responsável por reunir as informações necessárias provenientes do sistema ERP da empresa e reunir as informações provenientes de um modelo computacional. Após a inserção destas informações, a planilha atualiza todas as informações e transporta estes dados para dentro do modelo computacional, de forma que se torna possível realizar a simulação. Após a simulação, a planilha estratifica os resultados da simulação em um relatório para auxílio a tomada de decisão do usuário.

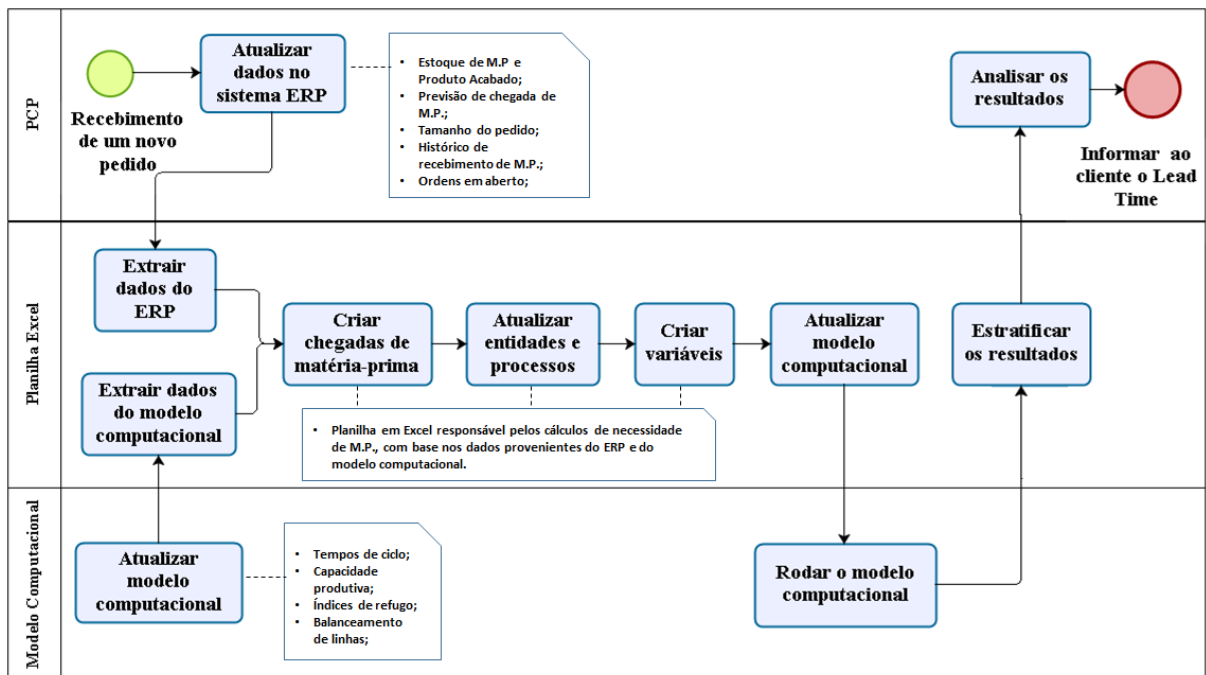


Figura 3.3 – Sistemática de integração PCP e simulação

4. APLICAÇÃO

Nesta seção serão apresentadas as etapas que são o foco da pesquisa, para obter um melhor entendimento do sistema modelado, e a sua integração com o PCP da empresa. Para este trabalho, foi utilizado o modelo computacional detalhado em Torres (2017) e Reis (2016).

4.1. Descrição do sistema

As linhas de produção são independentes entre si, dedicadas, fabricam produtos da mesma família e se localizam a poucos metros uma da outra. Os operadores disponíveis são capazes de operar todas as linhas e outras da mesma família de produtos. No entanto, durante a pesquisa, não houve mudanças de operadores entre as linhas. Quando em operação, cada linha de produção conta sempre com dois operadores. Um deles é responsável pela montagem do produto, ao passo que o outro é responsável por dar sequência no fluxo de produção com os testes e *kitting* (processo de montagem do *kit* e embalagem). A Figura 4.1 apresenta o *layout* das linhas de produção.

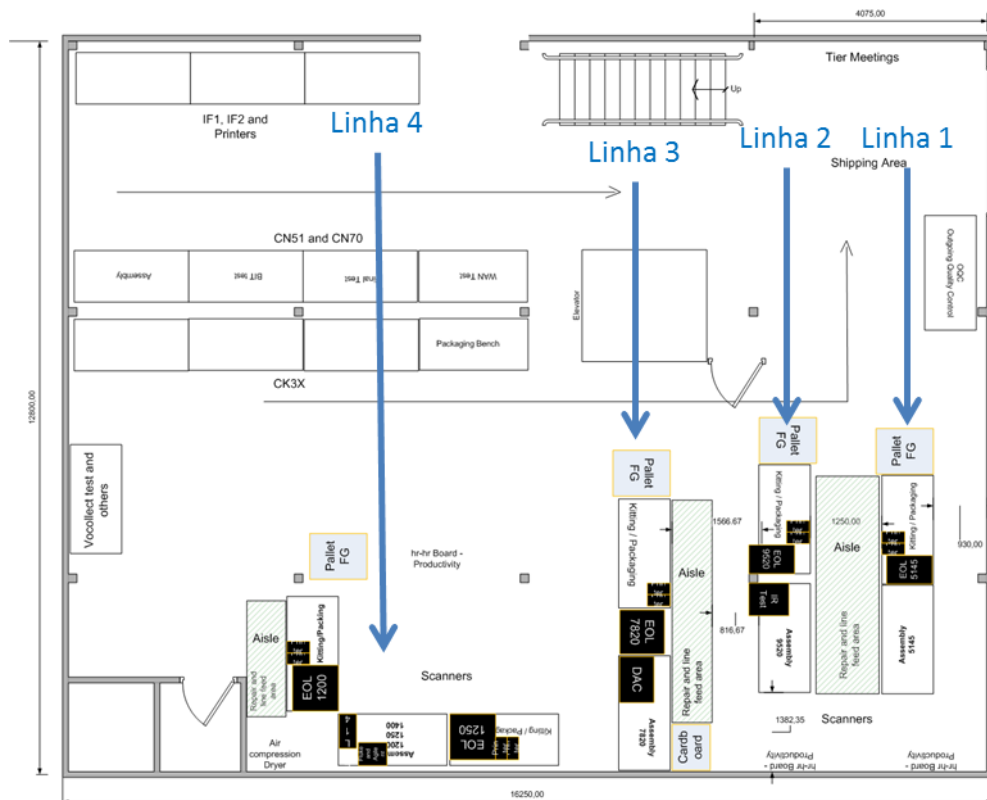


Figura 4.1 – *Layout* das linhas de produção

Foi realizada uma análise com a ajuda de uma câmera de vídeo, originando uma descrição passo a passo do sistema atual. Em seguida, os esforços foram concentrados nas atividades realizadas pelo movimentador de materiais, já que o mesmo é o principal recurso do sistema.

Para o estudo foi detalhada a rota de abastecimento assim como cada função do movimentador, sendo estas integrantes ou não do sistema.

Primeiramente, o gerente de produção recebe do planejamento a ordem de fabricação e repassa para o movimentador de materiais. O movimentador, então, retira do estoque de matéria-prima os componentes necessários para produzir a quantidade de produtos da ordem de produção. A matéria-prima não possui um local já determinado para ser depositada, sendo então armazenada no estoque de matéria-prima mais próximo da linha de produção. A Figura 4.2 apresenta uma explicação estruturada do sistema de abastecimento.

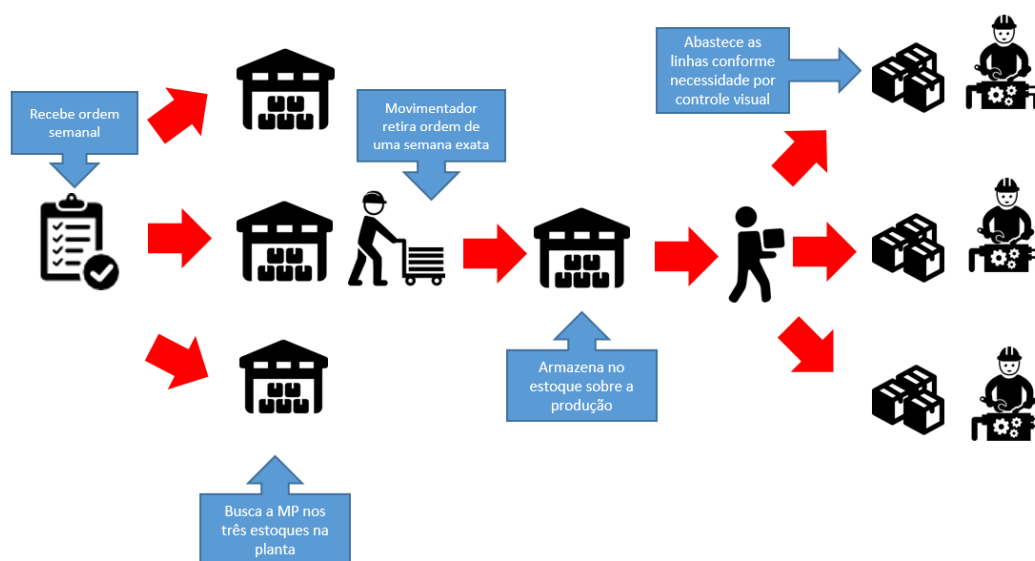


Figura 4.2 – Fluxo de abastecimento

As linhas operam em um único turno de 10 horas, com início às 08:00 horas e término às 18:00 horas. As ações dos operadores durante o turno, bem como os períodos de operação estabelecidos, são apresentadas na Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Turno das linhas, atividades e períodos de operação

Período	Início – Fim	Tarefas
-	08:00 - 08:10	Preparação da linha
A	08:10 - 10:30	Operação
-	10:30 - 10:45	Intervalo para café
B	10:45 - 12:30	Operação
-	12:30 - 14:00	Horário de Almoço
C	14:00 - 15:30	Operação
-	15:30 - 15:45	Intervalo para café
D	15:45 - 17:50	Operação
-	17:50 - 18:00	Organização do posto de trabalho

O fluxo de produção de todas as linhas em estudo começa com o movimentador de materiais abastecendo o início das linhas de produção no início da semana, com uma quantidade de componentes correspondente às ordens de produção geradas para uma semana. O primeiro processo é o de montagem. Depois de montado, os produtos são testados em máquinas automáticas e alguns modelos passam por testes manuais. Em sequência, é realizado o *kitting*, processo no qual o produto é colocado em uma caixa de papelão com outros componentes.

Após o *kitting*, ocorre a inspeção de qualidade através de amostragem. O operador de qualidade coleta uma amostra do lote para a realização do teste, de acordo com a norma NBR 5426. Enquanto o teste é realizado, o restante do lote fica em espera em *pallets* localizados no fim das linhas.

O processo de expedição é executado pelo movimentador de materiais, anteriormente mencionado. Primeiramente, o movimentador de materiais registra no sistema cada produto que chega à sua célula, indicando quais e quantos *kits* de produtos foram fabricados. Este registro é utilizado para controlar o número de peças encaminhadas ao estoque de produtos acabados. Então, os *kits* (produtos finais unitários) são colocados juntos em uma caixa maior, com capacidade para 28 produtos, onde seguirão para o estoque de produtos acabados e prontos para serem enviados ao cliente.

4.2. Descrição dos processos

Para cada uma das linhas de produção, tem-se algumas peculiaridades com relação às atividades de cada operador. Para um melhor entendimento do sistema, foi realizado um detalhamento sobre as atividades.

4.2.1. Descrição dos processos linha 1

O primeiro processo é a montagem, realizado pelo operador 1. Em seu posto de trabalho, os componentes ficam em pequenas caixas localizadas na bancada, denominadas *bins*. O processo seguinte é o *kitting*, onde são realizados dois testes e a embalagem. Para a realização do teste 1, o operador 2 retira o produto montado da bancada de montagem e o insere em um equipamento que simula a utilização do produto. Os resultados são mostrados em uma tela em frente ao operador. Após o teste 1, o operador 2 realiza um teste manual, denominado teste a *laser*. Durante a embalagem, outros componentes são colocados no *kit*, como cabos e manuais. Para isso, o operador 2 monta caixas de papelão antes da embalagem.

Dependendo do resultado de cada um dos testes, o produto pode seguir dois fluxos diferentes:

- Se reprovado: o operador escreve o motivo da reprovação em uma etiqueta e cola no produto, que é colocado em um estoque de produtos rejeitados, localizado no próprio posto. Caso já existam 5 itens reprovados no estoque, os produtos defeituosos são retrabalhados imediatamente. Caso contrário, são retrabalhados apenas no fim do turno.

- Se aprovado: o operador realiza a embalagem do produto e seus componentes e armazena junto ao lote que se localiza no final da linha.

Durante o tempo em que o produto está sendo testado, o operador 2 possui dois comportamentos distintos. Ele fica ocioso enquanto espera o teste ser finalizado ou pré-monta as caixas onde o produto será embalado.

O Quadro 4.1 apresenta as atividades realizadas pelos operadores da linha 1.

Quadro 4.1 – Atividades linha 1 por operador

Operador	Atividades
1 - Montagem	Montagem
	Reabastecimento
	Retrabalho
2 – <i>Kitting</i>	Teste (preparação teste, teste automático, teste a laser, embalagem)
	<i>Kitting</i>
	Pré-montagem de caixas
	Contagem (apontamento e transporte de kits da bancada ao <i>pallet</i> do fim da linha)
	Reabastecimento

4.2.2. Descrição dos processos linha 2

A linha 2 também é composta por atividades de montagem, testes e embalagem. A montagem e a preparação do primeiro teste são realizadas pelo operador 1. Em sequência, a preparação do segundo teste e a embalagem são realizados pelo operador 2. São chamadas preparações dos testes os procedimentos manuais realizados pelos operadores antes dos testes automáticos. A linha 2 não possui testes manuais, como o teste a *laser* da linha 1.

Após a montagem, os produtos passam por 2 testes. No teste 1, o operador 1 coloca o produto para ser testado. Depois disso, o operador 2 retira o produto do teste 1 e o coloca no teste 2. Os testes são automáticos, mas são iniciados manualmente. O operador 2 também é responsável pela pré-montagem de caixas. O procedimento de aprovação e reprovação de

produtos da linha 2 segue a mesma lógica da linha 1, e os processos subsequentes à linha 2 são os mesmos à linha 1, e estão descritos na seção 4.2.1.

O Quadro 4.2 apresenta as atividades da linha 2 divididas por operador. A montagem foi apresentada junta ao pré-teste como uma única atividade pois elas ocorrem em sequência, configurando um único ciclo. Tal informação também foi utilizada na cronometragem dos tempos de processo da linha 2.

Quadro 4.2 – Atividades linha 2 por operador

Operador	Atividades
1 – Montagem	Montagem + Pré-teste
	Reabastecimento
	Retrabalho
2 – <i>Kitting</i>	Teste (preparação teste 2)
	<i>Kitting</i> (embalagem)
	Pré-montagem de caixas
	Contagem (apontamento e transporte de kits da bancada ao <i>pallet</i> do fim da linha)

4.2.3. Descrição dos processos linha 3

A linha 3 apresenta algumas peculiaridades com relação às linhas 1 e 2. Os componentes menores ficam em *bins*, assim como nas linhas 1 e 2, enquanto os componentes maiores são alocados em caixas ao lado do operador.

A montagem tem como atividade mais longa a limpeza da lente do produto. Assim, quando o operador do *kitting* está ocioso, este auxilia o operador de montagem na limpeza das lentes.

O *kitting*, realizado pelo operador 2, é composto por dois testes automáticos, montagem de caixas e embalagem. Porém, durante o ciclo, o operador 2 posiciona todos os componentes do *kit* em seus espaços especificados na bancada, denominados *poke yokes*. Esta ferramenta está presente em todas as bancadas das linhas de produção.

O procedimento de aprovação e reprovação de produtos da linha 3 segue a mesma lógica da linha 1, apresentada na seção 4.2.1.

O Quadro 4.3 apresenta as atividades da linha 3 divididas por operador. A montagem foi apresentada junta ao pré-teste como uma única atividade pois elas ocorrem em sequência, configurando um único ciclo.

Quadro 4.3 – Atividades linha 3 por operador

Operador	Atividades
1 - Montagem	Montagem
	Reabastecimento
	Retrabalho
2 - <i>Kitting</i>	Teste (preparação teste 1, preparação teste 2)
	<i>Kitting</i> (embalagem)
	Pré-montagem de caixas
	Contagem (apontamento e transporte de kits da bancada ao pallet do fim da linha)
	Reabastecimento
	Limpeza de lentes para a montagem

4.2.4. Descrição dos processos linha 4

O operador 1 é responsável pela montagem do produto e por conectá-lo à máquina que irá fazer o teste 1 (atividade automática). Já o operador 2 retira o produto do teste 1 e o coloca no teste 2, também automático (essa atividade de retirada do teste 1 e de colocação no teste 2 recebe o nome de pré-teste 2). Se reprovado no teste 2, o produto é retrabalhado pelo operador 1. Se aprovado, o operador 2 irá embalar o produto junto com os demais componentes. Este funcionário também é responsável pela montagem das caixas e pela separação dos componentes que são embalados com o produto.

No Quadro 4.4, temos as atividades desenvolvidas por cada operador. A montagem acaba quando o operador conecta o produto no teste 1 (configuração automática).

Quadro 4.4 - Atividades por operador linha 4

Operador	Atividades
1 – Montagem	Montagem
	Reabastecimento
	Retrabalho
2 – <i>Kitting</i>	Teste (preparação teste 2)
	<i>Kitting</i> (embalagem)
	Separação do <i>Kit</i>
	Pré-montagem de caixas
	Contagem (apontamento e transporte de <i>kits</i> da bancada ao pallet do fim da linha)
	Reabastecimento
	Limpeza das bases

4.3. Construção dos modelos conceituais

Conforme detalhado em Torres (2017), os modelos conceituais foram construídos utilizando-se o IDEF-SIM (LEAL 2008), tendo como base a descrição de cada uma das linhas de produção. O IDEF-SIM é uma técnica de mapeamento de processos que aproxima a linguagem do mapa conceitual da linguagem utilizada em *softwares* de simulação, com o objetivo de tornar mais simples a programação.

Durante o desenvolvimento do modelo conceitual, o gestor das linhas de produção sugeriu modificações sempre que necessário. Ao final da modelagem conceitual, a versão final do modelo foi novamente apresentada para o gestor. No final da apresentação, o modelo conceitual foi validado. Isto é, ele foi considerado pronto para ser utilizado na construção do modelo computacional.

4.4. Ferramenta de integração entre simulação e PCP

O objetivo deste trabalho, conforme já mencionado, consiste em desenvolver uma ferramenta de integração entre o modelo computacional e o planejamento da produção para o recebimento de novos pedidos. A ferramenta deve ter como premissas o cenário real da empresa, considerando o seu estoque atual, ordens em aberto e chegadas de matéria prima.

Para realizar a integração entre o modelo computacional e o planejamento de produção da empresa em estudo, foi utilizado um código para integração do *software* ProModel® com o Excel, desenvolvido através de controles *Active X* e da linguagem de programação *Visual Basic*. Assim, é possível criar uma interface com o *software* Excel. Um dos requisitos estabelecidos é que essa interface seja simples, permitindo que o usuário utilize a simulação a eventos discretos sem ter conhecimentos sobre *softwares* de simulação. Toda a lógica de programação foi desenvolvida no próprio Excel, criando-se comandos para que o ProModel® seja aberto, as informações necessárias sejam importadas das planilhas de planejamento de produção da empresa, os cenários de simulação sejam executados, o relatório final com os resultados seja apresentado, e, por fim, o *software* seja encerrado de forma automática, mantendo-se, apenas, o resultado da simulação.

4.4.1. Sistema de recebimento de novos pedidos

O sistema de recebimento de novos pedidos consiste na atividade de atender ao cliente, verificar o cenário produtivo atual da empresa, e fornecer ao cliente um prazo estimado para recebimento do produto. Até então, este processo dependia da intuição e experiência do funcionário responsável pelo PCP, de forma que em casos de pedidos muito maiores do que os usuais, a previsão de entrega se torna imprecisa e o prazo para resposta ao cliente se torna longo.

A Figura 4.3 representa o processo atual do sistema de recebimentos de novos pedidos.

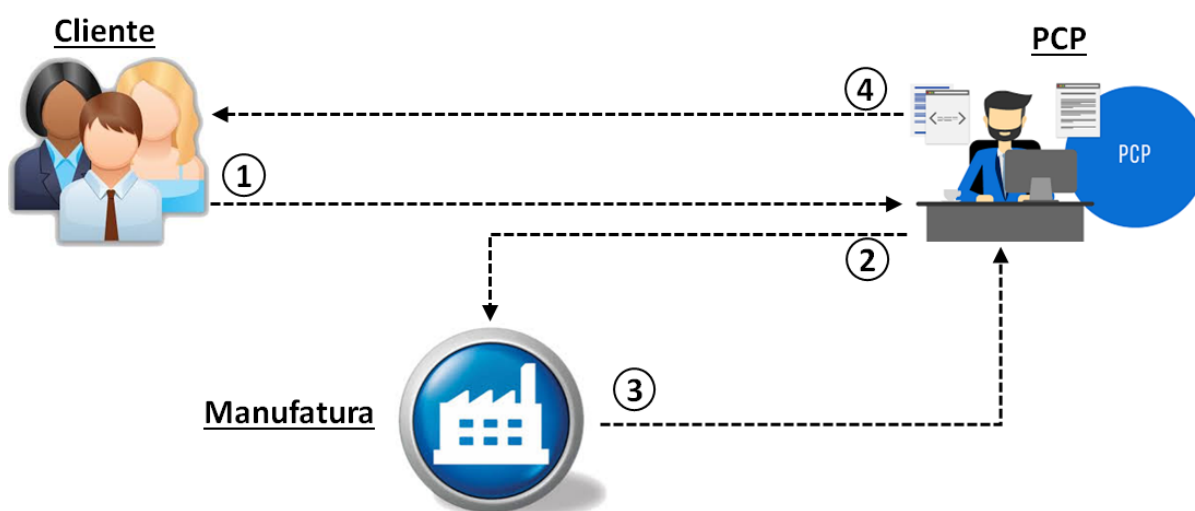


Figura 4.3 – Processo atual do sistema de recebimentos de novos pedidos

No ponto 1, temos o início do sistema, com o cliente entrando em contato com a empresa e realizando o seu pedido, especificando qual o produto requerido e a sua quantidade. Quando este novo pedido entra no ERP da empresa, o PCP é o setor responsável por analisar o seu planejamento de produção atual, com a inserção deste novo pedido. Cabe ao setor de PCP a responsabilidade de fornecer um prazo para a entrega deste produto, verificar se há matéria prima disponível para este novo pedido, e em caso contrário evidenciar a necessidade de aquisição de matéria prima.

No ponto 2, o setor do PCP é o responsável por atualizar o sistema com os dados referentes ao novo pedido. No ponto 3, está representada a manufatura, na qual os dados referentes aos processos produtivos são coletados e inseridos no ERP da empresa.

Finalizando o sistema, tem-se o ponto 4, que consiste em fornecer ao cliente final sua previsão para entrega do pedido, tomando como base a experiência do funcionário e o histórico produtivo da empresa.

A Figura 4.4 representa a proposta para a sistemática de funcionamento da ferramenta de integração entre a simulação e o PCP, dentro do sistema de recebimentos de novos pedidos.

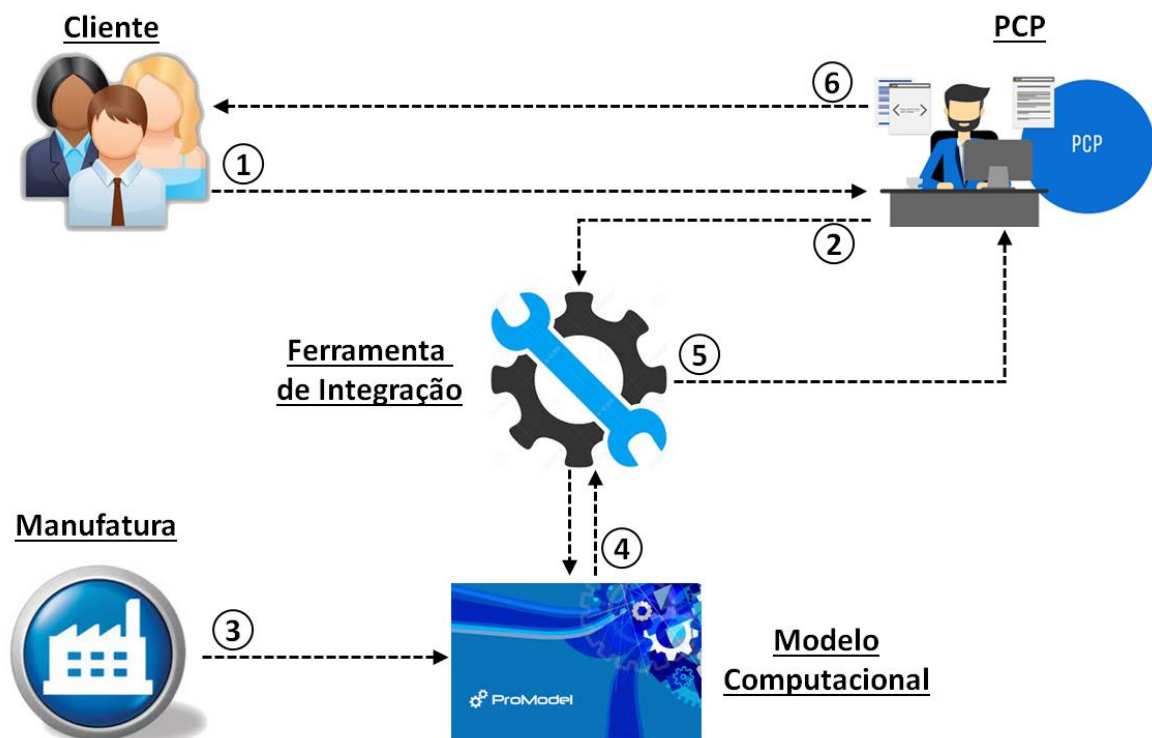


Figura 4.4 – Sistemática ferramenta de integração entre simulação e PCP

No ponto 1, temos o início do sistema, com o cliente entrando em contato com a empresa e realizando o seu pedido, especificando qual o produto requerido e a sua quantidade. Quando este novo pedido entra no ERP da empresa, o PCP é o setor responsável por analisar o seu planejamento de produção atual, com a inserção deste novo pedido. Cabe ao setor de PCP a responsabilidade de fornecer um prazo para a entrega deste produto, verificar se há matéria prima disponível para este novo pedido, e em caso contrário evidenciar a necessidade de aquisição de matéria prima.

No ponto 2, o setor do PCP é o responsável por alimentar a ferramenta de integração com os dados do ERP da empresa, juntamente com os dados do pedido do cliente. A ferramenta desenvolvida neste estudo pode ser utilizada para facilitar as análises do PCP no momento do recebimento de novos pedidos.

A manufatura, representada no ponto 3, é o setor responsável por alimentar o modelo computacional sempre que ocorrer uma nova mudança em seu processo produtivo, de forma que o modelo computacional esteja sempre atualizado e representando fielmente a manufatura, com os tempos de ciclos, paradas programadas, índices de refugo, deslocamento de funcionários, capacidade das linhas de produção, nível de estoque, entre outros.

O ponto 4 do sistema é representado pelo modelo computacional de forma que sempre quando ocorrer um novo pedido, ocorrerá uma movimentação de mão dupla entre o modelo computacional e a ferramenta de integração. A ferramenta de integração serve como uma

interface simples para o usuário, de forma que os dados alimentados na ferramenta sejam considerados para a simulação dentro do modelo computacional. O modelo computacional, após realizar a simulação, retorna para a ferramenta de integração um relatório com os dados dos cenários simulados.

No ponto 5, está representado o relatório que a ferramenta de integração fornece ao setor do PCP, considerando as simulações realizadas e os diferentes prazos de entrega estipulados, para os diferentes níveis de confiança.

Finalizando o sistema, tem-se o ponto 6, que consiste na análise dos dados por parte do PCP, e então, o usuário da ferramenta de integração tem a autonomia para realizar as suas análises e por fim fornecer ao cliente final sua previsão para entrega do pedido

4.4.2. Funcionalidade da ferramenta

A ferramenta de integração desenvolvida neste estudo, tomou como base o *Active X*, que é a ferramenta disponível no *software* ProModel® para realizar uma integração entre o modelo computacional e planilhas em Excel. Entretanto, para o estudo em questão, foi necessário realizar uma série de configurações e adaptações para obter uma atualização dos dados provenientes do ERP da empresa, de forma simples e eficaz.

A ferramenta automaticamente compila os dados provenientes do ERP da empresa e acrescentam ao modelo computacional. O primeiro passo é criar as chegadas de matéria prima, com sua quantidade a ser produzida, e priorização de produção respeitando as ordens em aberto. A ferramenta atualiza a data de início da simulação de acordo com o momento presente. As entidades são criadas com base na planilha “*Products*”, sendo seu valor total o somatório entre quantidade do pedido e *backlogs*.

Para obter um funcionamento preciso desta ferramenta, é necessário garantir que o modelo computacional esteja sempre atualizado, buscando realizar a simulação com dados reais. Com este intuito, foi desenvolvida a planilha “*Arrivals Forecast*”, com a qual deve-se manter sempre atualizada a quantidade disponível de *kits* completos de matéria-prima, a previsão de disponibilização desses *kits* à medida em que novas chegadas de matéria-prima ocorrem, e o desvio médio de dias entre as chegadas planejada e real de matéria-prima. Para um real funcionamento do nosso modelo computacional estes dados devem ser atualizados diariamente. A planilha “*Arrivals Forecast*” é apresentada Figura 4.5.

Entende-se por “*kits* completos de matéria prima” o conjunto completo de peças e materiais necessários para a produção de uma unidade do produto. Assim, se houver a

disponibilidade de matéria-prima suficiente para a produção de 10 produtos, a quantidade de *kits* completos será, também, igual a 10.

Arrivals Forecast

Standard deviation (days)	
2,00	

Scanner - 5145	
Available kits	460
Total planned arrivals (kits)	2030

Scanner - 9520	
Available kits	150
Total planned arrivals (kits)	1159

Scanner - 7820	
Available kits	200
Total planned arrivals (kits)	2780

Scanner - 1450	
Available kits	400
Total planned arrivals (kits)	15670

Date	Planned arrivals (kits)
10/03/2017	1620
20/03/2017	280
25/04/2017	130

Date	Planned arrivals (kits)
17/03/2017	100
18/03/2017	199
25/04/2017	860

Date	Planned arrivals (kits)
08/04/2017	1990
19/04/2017	380
24/05/2017	410

Date	Planned arrivals (kits)
15/03/2017	15000
18/04/2017	100
26/05/2017	570

Figura 4.5 – Planilha “Arrivals Forecast”

A ferramenta deve fornecer uma previsão de entrega do pedido ao cliente. Logo, é necessário considerar, adicionalmente, os pedidos em aberto que deverão ser produzidos antes do pedido em análise, especialmente a quantidade atualizada de produtos desses pedidos que ainda não foi produzida. Portanto, ao simular o prazo de entrega de um novo pedido, é necessário utilizar os dados reais de pedidos em aberto e quantidade de produtos em estoque. Este gerenciamento deve ser realizado diariamente, e pode ser observado pela planilha “Products”, conforme a Figura 4.6.

Products

Product	Open orders (units)	Stock (units)	Backlog (units)
Scanner - 5145	430	220	210
Scanner - 9520	460	180	280
Scanner - 7820	620	350	270
Scanner - 1450	590	420	170

Figura 4.6 – Planilha “Products”

Com base nas informações provenientes das planilhas “Arrivals Forecast” e “Products”, foi possível fazer uma integração entre o modelo computacional, o banco de dados produtivos da empresa em estudo, resultando em uma interface simples e intuitiva no Excel com a qual se tornou possível simular cenários reais mesmo sem ter conhecimento do *software* de simulação.

A Figura 4.7 representa o *design* base da ferramenta, com a qual o usuário consegue

obter o resultado de sua simulação apenas selecionando qual o produto e a quantidade do pedido a ser entregue.



Figura 4.7 – Design base da ferramenta

A Tabela 4.2 apresenta o resultado desta simulação, composto por 10 réplicas e em cada uma delas pode-se observar a quantidade de dias necessários para entrega do pedido.

Réplica	Lead Time
1	29,26
2	39,14
3	35,13
4	28,28
5	35,08
6	35,14
7	33,13
8	35,13
9	34,07
10	28,10
Média	33,25
Desvio	3,60

Tabela 4.2 – Lead Time obtido

Na Tabela 4.3, a ferramenta ainda indica 3 cenários para auxílio a tomada de decisão do usuário, tendo como base diferentes probabilidades de ocorrência, que podem ser escolhidos de maneira distinta, dependendo da necessidade do cliente.

	Probabilidade	Data prevista
Cenário Otimista	50,0%	04/04/2017
Cenário Provável	95,0%	10/04/2017
Cenário Pessimista	99,9%	15/04/2017

Tabela 4.3. – Cenários de entrega

Para facilitar o entendimento da ferramenta, encontra-se disponível no link abaixo um breve vídeo, com o qual se torna possível observar a ferramenta funcionando, através de uma

aplicação com um pedido hipotético:

<https://youtu.be/Vdh8mxJNyLU>

Através da observação deste vídeo, temos um pedido hipotético simulado para o produto “5145”, com uma ordem de 1650 unidades. Conforme mostra a Figura 4.7., tem-se em estoque de produto acabado 220 unidades disponíveis. Existem 430 unidades associadas a clientes, de forma que existem 210 unidades de *backlog*, ou seja, 210 unidades a serem produzidas para atender todos os pedidos do sistema. Conforme mostra a Figura 4.6., a matéria-prima disponível corresponde a mais 460 unidades produzidas, e no total, existem em trânsito matéria-prima suficiente para produção de mais 2030 unidades. Após a simulação, é possível observar que o *lead time* para entrega deste pedido é em média de 33,25 dias, com um desvio padrão de 3,60 dias. Para este cálculo de *lead time* está sendo considerado todo o tempo desde a data de recebimento do pedido do cliente pela empresa, até o momento onde a última unidade para completar o pedido é produzida.

A principal vantagem para um gestor em utilizar esta ferramenta é pelo fato de que em apenas alguns minutos, ele poder ter um relatório gerencial com o *lead time* simulado para entrega de um novo pedido, facilitando a sua tomada de decisão para acordo de prazos com o cliente final.

4.4.3. Lógica de programação

A lógica de programação realizada para este estudo pode ser observada no Apêndice A. A lógica foi desenvolvida utilizando a planilha em Excel, desenvolvido através de controles *Active X* e da linguagem de programação *Visual Basic*.

O programa se inicia abrindo as planilhas “*Arrivals Forecast*” e “*Products*”, para então poder considerar os dados do ERP da empresa nos seus cálculos. A seguir, a planilha em Excel gera as chegadas, na qual as entidades são alocadas em seus locais de acordo com o tamanho dos pedidos e as ordens de produção em aberto. A próxima etapa consiste em realizar um teste para verificar se quantidade disponível e futura de *kits* é suficiente para produzir o pedido necessário, e caso não seja suficiente, o usuário pode cancelar a simulação, ou então realizá-la para identificar a data de esgotamento da matéria-prima.

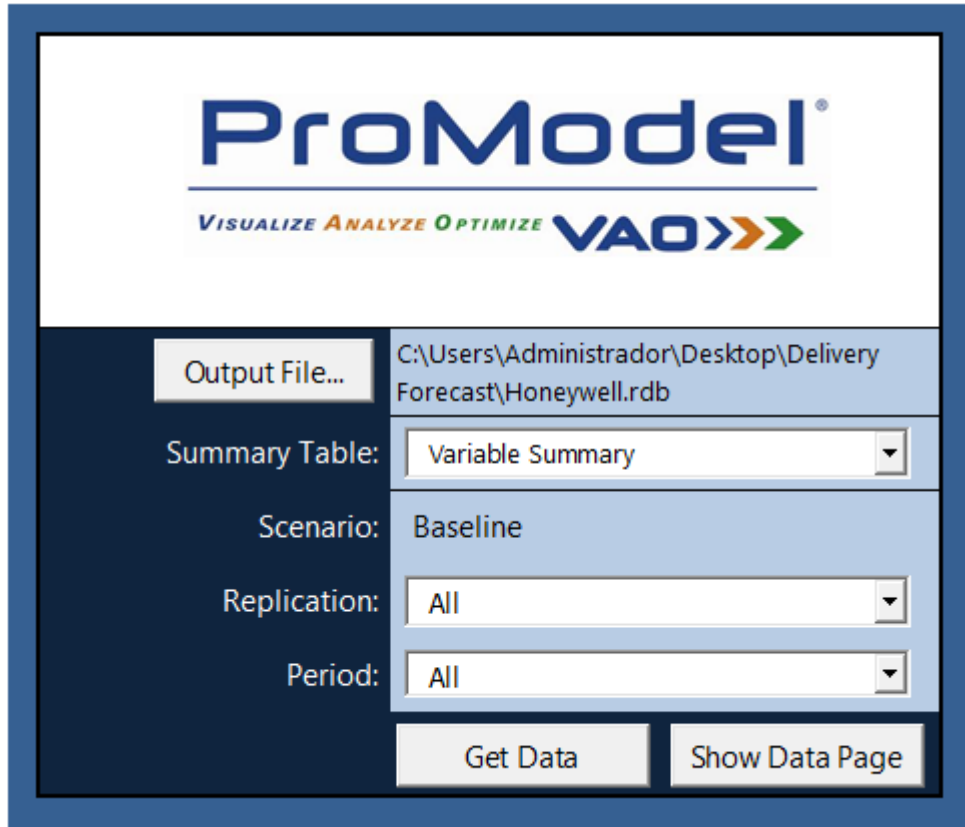
A próxima etapa da lógica de programação consiste em converter o pedido realizado para cada uma das linhas de produção de acordo com a quantidade de produto por caixa, pois a movimentação da matéria prima e do produto dependem deste indicador. Os recursos e processos estão disponíveis na ferramenta de acordo com as atualizações da manufatura, e os dados provenientes do modelo computacional.

A lógica de programação desenvolvida gera as variáveis estabelecidas de acordo com o produto e quantidade estabelecidos, sendo elas a data final de produção, quantidade produzida, e o limite de produção (valor máximo a ser produzido, e responsável pelo encerramento da simulação). Em seguida, a planilha limita as suas restrições de produção de acordo com as informações disponibilizadas pela empresa e configura a data atual para o dia da simulação.

Após todas as informações já estarem disponíveis dentro da ferramenta, a próxima etapa é inserir todas as informações coletadas no modelo computacional, no *software* ProModel®. Esta etapa ocorre de forma automática, sem a necessidade de o usuário ter conhecimento sobre o programa. A simulação ocorre de acordo com as configurações estabelecidas pelo usuário, como número de réplicas, precisão e unidade do relógio, período de aquecimento, início e término da simulação, animação, resultado, entre outros. A Figura 4.8 apresenta a planilha para configuração da simulação.

Figura 4.8 – Configurações da simulação

Após o término da simulação, a ferramenta automaticamente fecha o modelo e abre a planilha “*ProRDB*”, que assim como o “*ProActiveX*” também é uma extensão do *software* ProModel®, como podemos observar na Figura 4.9.



The screenshot displays the ProModel software interface. At the top, the logo "ProModel" is shown in blue, with the tagline "VISUALIZE ANALYZE OPTIMIZE VAO" below it. The main configuration area is a dark blue panel with several settings:

- Output File...:** C:\Users\Administrador\Desktop\Delivery Forecast\Honeywell.rdb
- Summary Table:** Variable Summary (dropdown menu)
- Scenário:** Baseline
- Replication:** All (dropdown menu)
- Period:** All (dropdown menu)

At the bottom of the configuration panel, there are two buttons: "Get Data" and "Show Data Page".

Figura 4.9 – Planilha “ProRDB”

Por fim, aparece na tela do usuário um resumo final com as réplicas realizadas, a data final para entrega do pedido de acordo com os diferentes cenários simulados, baseados nos seus níveis de confiança.

5. CONCLUSÕES

As conclusões deste trabalho são divididas em quatro seções. Primeiramente, é feita a síntese dos resultados, verificando-se o cumprimento dos objetivos estabelecidos para esta pesquisa. Depois, são apresentadas algumas limitações da pesquisa, com algumas justificativas. Em sequência, são propostas ideias para trabalhos futuros relacionados ao tema desta pesquisa. Por fim, são feitas as considerações finais deste trabalho.

5.1. Síntese dos resultados

O objetivo geral deste trabalho foi alcançado com sucesso, pois foi desenvolvida uma ferramenta para obter uma interface entre um modelo computacional e as necessidades reais do planejamento e controle da produção de uma empresa, buscando estabelecer um *lead time* de entrega do pedido ao cliente no momento do recebimento de novos pedidos. A adaptação de um modelo computacional a um sistema de ERP de uma empresa é uma atividade complexa, que demanda tempo e entendimento do sistema. No entanto, como resultado desta integração, foi possível criar um sistema de operação simples e intuitiva, com o qual o usuário não necessita de conhecimentos sobre *softwares* de simulação computacional, e obtendo uma nova sistemática para estabelecer um prazo de entrega ao cliente, sem depender exclusivamente da experiência e intuição de seus funcionários.

Em relação ao objetivo específico foi possível estabelecer um *lead time* a ser fornecido ao cliente no momento do recebimento de novos pedidos, pois antigamente, o processo era dependente da intuição do funcionário, e com a ferramenta desenvolvida se tornou possível obter uma resposta, com embasamento técnico, em poucos minutos, sendo considerados cenários distintos de nível de confiança.

A ferramenta desenvolvida está configurada para a análise do modelo computacional das linhas de produção definidas como objeto de estudo. No entanto, a lógica de programação desenvolvida pode facilmente ser modificada para outros objetos de estudo, de forma que a integração entre um modelo computacional do *software* ProModel® e uma planilha em Excel, já está estabelecida e corretamente configurada.

Além dos objetivos acadêmicos pré-estabelecidos, esta pesquisa também gerou resultados positivos para a empresa que se disponibilizou a ser o objeto de estudo. A empresa apresentava uma dificuldade em fornecer aos seus clientes uma previsão de *lead time* quando recebia novos pedidos, e com a ferramenta desenvolvida foi possível obter uma interação entre o ERP da empresa e um modelo computacional para estabelecer um prazo de entrega adequado.

O trabalho realizado possibilita ao tomador de decisão uma análise mais profunda sobre seu sistema produtivo, com a utilização de informações em tempo real, tornando possível realizar uma integração entre informações provenientes do PCP da empresa, com as informações do chão de fábrica presentes no modelo computacional. A ferramenta de interface desenvolvida busca evitar a ocorrência de uma das principais desvantagens da simulação, que seria a necessidade de uma mão-de-obra especializada para operar o sistema e assimilar os resultados.

5.2. Limitações da pesquisa

Algumas limitações deste estudo merecem ser mencionadas. As conclusões feitas se limitam ao objeto de estudo, de forma que as configurações para desenvolver esta ferramenta devem ser alteradas para sua utilização em outros modelos computacionais. Além disso, a ferramenta é exclusiva para o *software* ProModel®, de forma que para realizar simulações similares em outros *softwares* de simulação deve-se realizar um estudo sobre quais linguagens de programação são aceitas pelo *software*, além de entender suas peculiaridades. O trabalho, no entanto, contribui no sentido de expor os ganhos em realizar uma interface simples e interativa para o usuário em *softwares* de simulação, de forma a reduzir uma das principais desvantagens da simulação, que seria a necessidade de funcionários com treinamentos especiais em um *software* e linguagem de programação para utilizar a simulação em empresas.

Além disso, para o funcionamento da ferramenta e do modelo computacional, as planilhas de interface com o ERP da empresa em questão devem estar sempre atualizadas, de forma que caso ocorra algum erro ou atraso nas informações, os resultados obtidos pela simulação não serão precisos, inviabilizando o uso da ferramenta. Uma possível solução seria a integração da planilha diretamente com os dados do ERP da empresa, de forma automática, garantindo sempre a atualização e veracidade dos dados de entrada.

5.3. Recomendações para trabalhos futuros

As recomendações para trabalhos futuros estão relacionadas às limitações apontadas deste estudo. A pesquisa abordou apenas um modelo computacional, de uma empresa em específico. Este estudo, se aplicado a outros modelos computacionais, com aspectos e características diferentes, pode aumentar o valor da contribuição desta ferramenta, tornando-a mais robusta e abrangente. Outro ponto seria o de adaptar esta ferramenta para ser utilizada por outros *softwares* de simulação, aumentando a sua aplicabilidade e importância.

Além disso, a atualização de dados provenientes do ERP da empresa de forma manual é uma característica que pode impactar na qualidade da ferramenta. Uma possibilidade de pesquisa seria a integração dos dados para obter simulação em tempo real, fornecendo um tempo de resposta ao cliente ainda mais rápido e preciso.

5.4. Considerações finais

A simulação a eventos discretos pode ser muito útil e eficaz para solucionar problemas complexos do planejamento e controle da produção em grandes empresas. Por se tratar de uma metodologia que demanda tempo e mão-de-obra especializada, muitas vezes esta não é a primeira opção para solucionar os problemas do cotidiano.

Em um ambiente cada vez mais globalizado, onde as empresas buscam explorar suas vantagens competitivas, a simulação ainda tem bastante campo para auxiliar ao planejamento e controle da produção. Uma integração entre os modelos computacionais e os sistemas ERP das empresas pode fornecer uma facilidade e qualidade na coleta de dados, permitindo obter simulações em tempo real, tornando a tomada de decisão cada vez mais rápida e mais precisa.

REFERÊNCIAS

- ALBRIGHT, S. C.; WINSTON, W. L. *Management Science Modeling*. 3. ed. London: Thomson Learning, 2007.
- APPOLINÁRIO, F. *Metodologia da ciência – filosofia e prática da pesquisa*. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2006.
- BAINES, T.; MASON, S.; SIEBERS, P.; LADBROOK, J. Humans: the missing link in manufacturing simulation? *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 12, p. 515-526, 2004.
- BALDWIN, L. P.; ELDABI, T.; PAUL, R. J. Business process design: flexible modelling with multiple levels of detail. *Business Process Management Journal*, Vol. 11 Issue: 1, pp.22-36, 2005.
- BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. *Discrete-event system simulation*. 5ª ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2010.
- BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. O.; GOGG, T. J.; HARREL, C. R.; MOTT, J. R. A.; MONTEVECHI, J. A. B. *Simulação de sistemas: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura*. 1 ed. Elsevier, Rio de Janeiro, 2013.
- BENDUL, J.; KNOLLMANN, M. The Lead Time Syndrome of Manufacturing Control: Comparison of Two Independent Research Approaches. *Procedia CIRP*. 2016
- 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, 2002.
- BORSICHEV, A.; FILIPPOV, A. From system dynamics to agent based modeling. In:22nd International Conference of the System Dynamics Society, 2004.
- BRYMAN, A.; BELL, E. *Business Research Methods*. Oxford University Press, 2007.
- CASTRO, R. L. *Planejamento e controle da produção e estoques : um survey com fornecedores da cadeia automobilística brasileira*. Dissertação de mestrado. São Paulo, Escola Politécnica – USP, 2005.
- CALLE, M.; GONZALEZ, P. L.; LEON, J. M.; PIERREVAL, H.; CANCA, D. Integrated management of inventory and production systems based on floating decoupling point and real-time information: A simulation based analysis. *International Journal of Production Economics*, 2016.
- CHAN, W. K. V.; SON, Y. J.; MACAL, C. M., Agent-Based Simulation Tutorial – Simulation of Emergent Behavior and Differences Between Agent-Based Simulation and Discrete-Event Simulation. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 135-150, 2010.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. 2a. Ed. São Paulo: Editora dos Autores, 2010.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. (1993) *Just in time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico*. São Paulo: Atlas.
- CÔRREA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, Mauro. *Planejamento, programação e controle da produção*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001. 452 p.
- COWLING, P.; JOHANSSON, M. Using real time information for effective dynamic scheduling, *European Journal of Operational Research*, 139, (2), 230-244, 2002.

- DONG, F.; LIU, H.; LU, B. Agent-based Simulation Model of Single Point Inventory System. *Systems Engineering Procedia*, 4, 298 – 304, 2012.
- FERREIRA, J. C. E.; ZATTAR, I. C. Vantagens de utilização de sistemas híbridos para o planejamento da produção. 3 COBEF, Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. 2005
- FONSECA, João José Saraiva da. *Metodologia da pesquisa científica*. Ceará: Universidade Estadual do Ceará, 2002.
- GEBUS, S.; SOULAS, A.; JUUSO, E. Short Term Scheduling in Electronics Manufacturing Using Discrete-Event Simulation. *Proceedings, SIMS – Scandinavian Simulation Society 2013*, Vasteras, 1–7, 2013.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 5. Ed. São Paulo: Atlas: 1999.
- GREENHALGH, T.; PEACOCK, R. Effectiveness and Efficiency of Search Methods in Systematic Reviews of Complex Evidence: Audit of Primary Sources. *British Medical Journal* 331: 1064–1065, 2005.
- HABCHI, G.; BERCHET, C. A model for manufacturing systems simulation with a control dimension. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v.11, p.21-44, 2003.
- HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. *Simulation using Promodel*. 2ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
- HASTINGS, N. A. J.; MARSHALL, P.; WILLIS, R. J.; Schedule based MRP: an integrated approach to production scheduling and material requirements planning; *Journal of Operational Research Society*, vol. 33, No 11, p. 1021-1029, 1982.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introduction to Operations Research*. 9th. Ed. New York: McGraw-Hill, 2010.
- HVOLBY, H. H.; STEGER-JENSEN, K. Technical and industrial issues of advanced planning and scheduling (aps) systems, *Computer in Industry*, v. 61, n. p, p. 845 -851, 2010.
- JAHANGIRIAN, M.; ELDABI, T.; NASEER, A.; STERGIOULAS, L. K.; YOUNG, T. Simulation in Manufacturing and Business: A Review.” *European Journal of Operational Research* 203 (1): 1–13, 2010.
- JEON, S. M.; KIM, G. A survey of simulation modeling techniques in production planning and control (PPC), *Production Planning & Control*, 2016.
- JUNQUEIRA, G. S. *Análise das possibilidades de aplicação de sistemas supervisórios no planejamento e controle da produção*. Dissertação de mestrado. São Carlos, EESC-USP, 2003.
- KIM, S. H.; LEE, Y. H. Synchronized production planning and scheduling in semiconductor fabrication. *Journal Computers and Industrial Engineering*. Volume 96 Issue C, 2016.
- KNOLLMANN, M.; BENDUL, J.; MENGTING, H. Shifting Targets in Manufacturing Control: Development of a Methodology Considering Human Behavior to Avoid the Lead Time Syndrome of Manufacturing Control, in: 18th Annu. Cambridge Int. Manuf. Symp., 2014.
- LAW, A. M. *Simulation modeling and analysis*. 5ª. ed. Boston: McGraw-Hill, 2015.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation modeling and analysis*. 3rd. ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
- LEAL, F. *Análise do efeito interativo de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados*. 2008. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) –

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.

LIU, W.; CHUA T.J.; LAM, J.; WANG, F.Y.; CAI, T.X.; YIN, X.F. APS, ERP and MES systems integration for Semiconductor Backend Assembly. In *Seventh International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, 2002.

MARTINS, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C. (Org). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. Cap. 3, p.45-61.

MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; TURRIONI, J. B.; LEE HO, L.; MORABITO, R.; MARTINS, R. A.; PUREZA, V. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. 2ª. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F.; LEAL, F.; MARINS, F. A. S. Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. In: *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, Washington, USA, 2007.

MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. *WINTER SIMULATION CONFERENCE, Proceedings...* Baltimore, MD, USA, 2010.

MOONEY, C. Z. *Monte Carlo Simulation*. United States of America. Sage Publications, 1997.

NEGAHBAN, A.; SMITH, J. S. Simulation for Manufacturing System Design and Operation: Literature Review and Analysis. *Journal of Manufacturing Systems* 33: 241–261, 2014.

NEGAHBAN, A.; YILMAZ, L. Agent-based simulation applications in marketing research: an integrated review. *Journal of Simulation*, 2013.

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

OLHAGER, J.; WIKNER, J. *Production Planning and Control Tools*. *Production Planning & Control* 11 (3): 210–222, 2000.

ONGGO, B. S. S. Running Agent-Based Models on a Discrete-Event Simulator. In *Proceedings of the 24th European Simulation and Modelling Conference*, 51–55. Ostend, Belgium: Eurosis-ETI, 2010.

PECEK, B.; KOVACIC, A. Business Process Management: Use of Simulation in the Public Sector, *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 24:1, 95-106, 2011.

RONDEAU, P. J.; LITTERAL, L. A. The evolution of manufacturing planning and control systems: from reorder point to enterprise resource planning. *Production and Inventory Management Journal*, v. 34, n. 2, p. 1-7, 2001.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. *Gestão e Produção*, v. 16, n.1, 2009.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, v.7, n.1, p.12-24, 2013.

SCARPELLI, M. *Sistemas de produção agroalimentar: arquitetura para as funções de planejamento e controle da produção*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

- SCHERMERHORN, J. R. Administração. 5a. e. Rio de Janeiro: LTC, 1999.
- SCHRIBER, T. J.; BRUNNER, D. T.; SMITH, J. Inside Discrete Event Simulation Software: how it works and why it matters. WINTER SIMULATION CONFERENCE, Proceedings. Huntington Beach, California, USA, 2015.
- SELÇUK, B.; ADAN, I. J.; DE KOK, T. G.; FRANSOO, J. C. An explicit analysis of the lead time syndrome: stability condition and performance evaluation. International journal of production Research, 47(9), 2009.
- SHEN, H.; WAN, H. Controlled sequential factorial design for simulation factor screening. European Journal of Operational Research, v. 198, n. 2, p. 511-519, 2009.
- SILVA, E. L., MENEZES, E. M. (2000) Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000, 118p.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção, 3ª. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2009.
- STEINER, G. A. Strategic planning. New York: Free Press, 1979.
- STEVENSON, M.; HENDRY, L.C.; KINGSMAN, B. G. A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. International Journal of Production Research, v.43, n.5, p. 869-898, 2005.
- SOUZA, C. A.; Sistemas integrados de gestão empresarial: estudos de casos de implementação de sistemas ERP. Dissertação de mestrado. São Paulo. FEA-USP, 2000.
- TORRES, A. F. A influência de diferentes estratégias de cronometragem e modelagem de tempos na validação operacional de um modelo de simulação. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2017.
- UGARTE, B. S.; ARTIBA, A.; PELLERIN, R. Manufacturing execution system – a literature review. Production Planning and Control, v. 20, n. 6, p. 525-539, 2009.
- VOLLMANN, T. E.; BERRY, W. L.; WHYBARK, D. C. Manufacturing planning and control systems. 4a ed. New York: Irwin/McGraw-Hill, 1997.
- VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 22 Issue: 2, pp.195-219, 2002.
- YIN. R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 3 ed., Porto Alegre: Bookman, 2005.
- YURIY, G.; VAYENAS, N. Discrete-event simulation of mine equipment systems combined with a reliability assessment model based on genetic algorithms, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 22:1, 70-83, 2008.
- ZADEH, A. H.; AFSHARI, H.; KHORSHID-DOUST, R. R. Integration of process planning and production planning and control in cellular manufacturing. Production Planning and Control, v.25, n. 10, p. 840-857, 2014.

APÊNDICE A– Lógica de programação

```
Sub abre_forecast()
  entrada.Show
End Sub
```

```
Sub configuracoes()
  Sheets("System options").Select
End Sub
```

```
Sub inicio()
  Sheets("Delivery Forecast").Select
End Sub
```

```
Sub gera_chegadas()
  ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Range("A17:T10000") = ""
  produto = entrada.produto
  qtd_pedido = val(entrada.qtd)
  Unload entrada
  caminho = Sheets("System options").Range("forecast_path") & "Dados para forecast.xlsx"
  Workbooks.Open caminho
  With Workbooks("Dados para forecast.xlsx")
    desv_pad = .Sheets("Arrivals").Range("std_dev") * 24 * 60
    qtd_prog_liq = .Sheets("Products").Range("necessidade_" & produto)
    qtd_necessaria = qtd_prog_liq + qtd_pedido
    mp_disponivel = .Sheets("Arrivals").Range("MP_total_" & produto)
    'Testando se quantidade disponível e futura de kits é suficiente para produzir o necessário
    'Caso não seja suficiente, usuário pode cancelar simulação ou realiza-la para identificar a data
    de esgotamento da matéria prima
    If mp_disponivel < qtd_necessaria Then
      resposta = MsgBox("There will not be enough kits to produce this order." & Chr(10) & "Do
you want to forecast the last day of production, with the available raw material?", vbOKCancel)
      If resposta = 1 Then
        qtd_necessaria = mp_disponivel
      Else
        Workbooks("Dados para forecast").Close
        Exit Sub
      End If
    End If
  End With
End Sub
```

'Define a coluna da planilha Products que equivale à coluna das quantidades do produto selecionado

'Define a constante de conversão (box de MP)

'Define limite de produção

```
ThisWorkbook.Sheets("Variables").Range("C64:C67") = 0
```



```

entidade = "MP_caixa"
complemento = ""
Select Case produto
Case "5145"
    c = 2
    conv_box = 2.5
    lin_limite = 64
Case "9520"
    c = 5
    conv_box = 12
    lin_limite = 65
Case "7820"
    c = 8
    conv_box = 1
    entidade = "Lente"
    complemento = "_Lente"
    lin_limite = 66
Case "1450"
    c = 11
    conv_box = 7.5
    lin_limite = 67
Case Else
    MsgBox "ERRO"
    Exit Sub
End Select

```

```
ThisWorkbook.Sheets("Variables").Cells(lin_limite, 3) = qtd_necessaria
```

```
l = 17 'linha de registro da programacao
```

```
lin = 14 'linha de inicio de chegadas
```

```
If .Sheets("Arrivals").Range("MP_disponivel_" & produto) > qtd_necessaria Then
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(l, 1) = entidade
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(l, 2) = "Área_MP_" & produto & complemento
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(l, 3) = Int(qtd_necessaria / conv_box)
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(l, 5) = 0
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(l, 6) = 1
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(l, 7) = 1
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(l, 9) = "No"
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(l, 10) = "Time Only"
```

```
    qtd_necessaria = 0
```

```
Else
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(l, 1) = entidade
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(l, 2) = "Área_MP_" & produto & complemento
```

```
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(l, 3) = Int(Workbooks("Dados para  
forecast").Sheets("Arrivals").Range("MP_disponivel_" & produto) / conv_box)
```

```

ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 5) = 0
ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 6) = 1
ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 7) = 1
ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 9) = "No"
ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 10) = "Time Only"
qtd_necessaria = qtd_necessaria - Workbooks("Dados para
forecast").Sheets("Arrivals").Range("MP_disponivel_" & produto)
End If
l = 18
While qtd_necessaria > Workbooks("Dados para forecast").Sheets("Arrivals").Cells(lin, c)
And Workbooks("Dados para forecast").Sheets("Arrivals").Cells(lin, c) <> ""
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 1) = entidade
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 2) = "Área_MP_" & produto & complemento
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 3) = Int(Workbooks("Dados para
forecast").Sheets("Arrivals").Cells(lin, c) / conv_box)
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 5) = "N(" & ((Workbooks("Dados para
forecast").Sheets("Arrivals").Cells(lin, c - 1) - Date) * 60 * 24) & ", " & desv_pad & ")"
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 6) = 1
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 7) = 1
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 9) = "No"
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 10) = "Time Only"
    qtd_necessaria = qtd_necessaria - Workbooks("Dados para
forecast").Sheets("Arrivals").Cells(lin, c)
    lin = lin + 1
    l = l + 1
    If lin = 100 Then
        MsgBox "Travou!"
        Exit Sub
    End If
Wend
If qtd_necessaria > 0 Then
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 1) = entidade
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 2) = "Área_MP_" & produto & complemento
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 3) = Int(qtd_necessaria / conv_box)
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 5) = "N(" & ((Workbooks("Dados para
forecast").Sheets("Arrivals").Cells(lin, c - 1) - Date) * 60 * 24) & ", " & desv_pad & ")"
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 6) = 1
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 7) = 1
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 9) = "No"
    ThisWorkbook.Sheets("Arrivals").Cells(1, 10) = "Time Only"
End If
End With
Workbooks("Dados para forecast").Close
Call OPEN_PM

```

```

Call ModelLoad
Call populate_arrivals
Call populate_sim_options
Call populate_variables
Sheets("Wait").Select
Call Run_Simulation
caminho_RDB = Sheets("System options").Range("forecast_path") & "ProRDB.xls"
Workbooks.Open caminho_RDB
ThisWorkbook.Save
ThisWorkbook.Close
End Sub

```

```

Sub Run_Simulation()
    Dim PMAAppObj As CProModel
    Dim ProModelStatus As Single
    Set PMAAppObj = CreateObject("ProModel")
    PMAAppObj.Simulate
    ProModelStatus = PMAAppObj.GetStatus
    Do
        DoEvents
        ProModelStatus = PMAAppObj.GetStatus
    Loop Until ProModelStatus = 8
    ActivateExcelAppWindow
    'MsgBox "Simulation Complete"
End Sub

```

APÊNDICE B – Trabalhos publicados em congresso e submetidos a periódicos

TORRES, A. F.; MARTINS, P. C. ; MONTEVECHI, J. A. B. ; LEAL, F. ; PEREIRA, A. P. . Comparação estatística entre estudos de tempos via cronometragem e via filmagem: aplicação em uma indústria de eletrônicos. In: XXXVI ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, **Anais...** João Pessoa – PA, 2016.

CAMPOS, A. T. ; QUEIROZ, J. A. ; MONTEVECHI, J. A. B. ; LEAL, F. ; PEREIRA, A. P. . Integração entre Lean Office e simulação a eventos discretos: um estudo de caso no setor de autopeças.. In: XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2016, Vitória. XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2016.

Resumos publicados em anais de congressos:

REIS, C. M. O. ; PEREIRA, A. P. ; QUEIROZ, J. A. ; MONTEVECHI, J. A. B. ; CAMPOS, A. T. . Integração entre Lean Manufacturing e simulação de eventos discretos: uma pesquisa-

ação no setor de tecnologia.. In: XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2016, Vitória. XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2016.