

UNESP  UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO UTILIZADO NO
PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PRODUÇÃO DE
UMA EMPRESA AERONÁUTICA

Guaratinguetá
2007

REINALDO DE ALMEIDA

UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO UTILIZADO NO
PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA
AERONÁUTICA

Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia
Mecânica na área de Transmissão e
Conversão de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Edgard Dias Batista Junior
Co-orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins

Linha de pesquisa: Engenharia de Produção

Guaratinguetá
2007

A447s	Almeida, Reinaldo de Um sistema de apoio a decisão utilizado no planejamento e controle de produção de uma empresa aeronáutica / Reinaldo Almeida. - Guaratinguetá : [s.n.], 2007 96 f. : il. Bibliografia: f. 88-96 Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2007 Orientador: Prof. Dr.Edgard Dias Batista Junior Co-orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto da Silva Marins 1. Controle da produção I. Título CDU 658.5
-------	---

UNESP  UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO UTILIZADO NO PLANEJAMENTO E
CONTROLE DE PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA AERONÁUTICA

REINALDO DE ALMEIDA

ESTA DISSERTAÇÃO SERÁ AVALIADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSFORMAÇÃO E CONVERSÃO DE
ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO

Prof. Dr. João Andrade de Carvalho Júnior
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. EDGARD DIAS BATISTA JÚNIOR
Orientador / UNESP-FEG

Prof. Dr. JOSÉ ARNALDO BARRA MONTEVECHI
UNIFEI

Prof. Dr. JOSÉ A. PERRELLA BALESTIERI
UNESP-FEG

Julho de 2007

DADOS CURRICULARES REINALDO DE ALMEIDA

NASCIMENTO 10.05.1974 – DRACENA / SP

FILIAÇÃO Ricardo de Almeida
Cleuza Fruque de Almeida

1993/1997 Curso de Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar.

Dedico este trabalho aos meus pais,
que tanto se empenharam e se
sacrificaram para que seu filho estudasse.
Aos meus amores, Marly, Gabriel e Pedro.

AGRADECIMENTOS

À minha família!

Ao meu orientador, Professor Edgard, e ao co-orientador, Prof. Marins, pela ajuda, conselhos e paciência.

Aos amigos e colegas de estudo: Amaro, Newton, Kelly e Carlos.

À equipe da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá, pela dedicação, presteza e, principalmente, pela vontade de ajudar;

À Embraer pelo apoio na realização deste trabalho e por acreditar na pesquisa brasileira.

A todos, por tudo...muito Obrigado!

“Não podemos resolver todos os nossos problemas com o mesmo pensamento que usamos para criá-los”

Albert Einstein

ALMEIDA, R. **Um Sistema de Apoio à Decisão Utilizado no Planejamento e Controle de Produção de uma Empresa Aeronáutica**. 2007. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2007.

RESUMO

Este trabalho aborda o problema de identificação dos efeitos causados por eventuais falhas no abastecimento de certos materiais ou equipamentos na linha de montagem de aeronaves. Tal problema consiste em avaliar se o atraso na disponibilidade de um determinado material pode ser absorvido pela flexibilidade existente na rede de atividades da produção. Dessa forma, foi desenvolvido um sistema de apoio à decisão para o planejamento e controle da produção, utilizando simulação de eventos discretos para avaliar se o sincronismo entre os elos da cadeia produtiva está se comportando a contento e, em caso negativo, disponibilizar informações para as correções necessárias. A grande dificuldade na modelagem do sistema está na necessidade de integração de uma complexa cadeia de suprimentos a uma grande rede de atividades necessárias à manufatura das aeronaves. Apesar da complexidade, o sistema criado é capaz de identificar antecipadamente o impacto causado na montagem pelos insumos atrasados, além de prover uma visão de quais materiais, e respectivos fornecedores, apresentam um atraso que não pode ser absorvido pelo sistema, o que facilitaria o trabalho dos gestores da cadeia de suprimentos para aumentar a robustez do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de Apoio à Decisão, Planejamento e Controle da Produção, Cadeia de Suprimentos, Simulação de Eventos Discretos.

ALMEIDA, R. *One Support System Decison Apply on Production Plan and Controlo of one Aerospace Company*. 2007. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2007.

ABSTRACT

This work approaches the effects identification of problems caused by eventual fails in the provisioning of material or equipments in one assembly line of aircrafts. Such problem consists in evaluating if a delay in the availability of a material can be absorbed by the flexibility in the activities network of the production. This way, a decision support system was developed to support the planning and control of the production, using systems simulation, to evaluate if the synchronism among the links of the productive chain is behaving as necessary; in negative case, the system must to provide information for manager's action. The great difficulty to produce a model of this system is about the necessary integration of a complex supply chain to a big activities network associate to aircrafts manufacture. In spite of that complexity, the system developed is able to identify the impact caused in the assembly line by each late input, providing a vision of which materials, and respective suppliers, have a delay that cannot be absorbed by the production line. So, this research looks for facilitate the manager works in to increase the system robustness.

KEY-WORDS: *Decision Support System, Production Plan and Control, Supply Chain Management, System Simulation.*

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. CONTEXTO DO PROBLEMA.....	1
1.2. MOTIVAÇÃO PARA A PESQUISA.....	2
1.3. OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO.....	4
1.4. LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	5
1.5. MÉTODO CIENTÍFICO ADOTADO.....	6
1.6. ESTRUTURA DO TEXTO DA DISSERTAÇÃO.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1. GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	10
2.2. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO.....	15
2.2.1. Controle e programação de materiais.....	18
2.2.2. Técnicas de planejamento, programação e controle da produção.....	19
2.3. GERENCIAMENTO DE PROJETOS.....	24
2.3.1. Planejamento e controle de projetos.....	27
2.3.2. A gestão de projetos individuais e a gestão de múltiplos projetos.....	29
2.4. SIMULAÇÃO DE SISTEMAS.....	31
2.4.1. Aplicações da simulação.....	33
2.4.1.1. Aplicação da simulação na cadeia de suprimentos.....	35
2.4.1.2. Aplicação da simulação na manufatura.....	35
2.4.2. Vantagens e desvantagens da Simulação de Eventos Discretos.....	37
2.4.3. Modelagem de Sistemas.....	39
2.4.4. O método de simulação.....	41
3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PROPOSTO.....	43
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	43
3.2. A ESTRUTURA DE ABASTECIMENTO DE INDÚSTRIAS AERONÁUTICAS.....	44
3.2.1. Grade de cobertura.....	47
3.3. CONTROLE DE PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA.....	50
3.4. O SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PROPOSTO.....	52

4. APLICAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PROPOSTO	55
4.1. DESCRIÇÃO DO CASO	55
4.2. IDENTIFICAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	56
4.3. ANÁLISE DO AMBIENTE DA EMPRESA	57
4.3.1. Abastecimento	57
4.3.2. Manufatura.....	59
4.4. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO	60
4.5. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DA SOLUÇÃO	61
4.5.1. O Uso da Grade de Cobertura no Modelo	63
4.5.2. A Utilização da Rede de Precedência no Modelo	64
4.5.3. Restrições de Recursos	66
4.5.4. O modelo no Arena	66
4.5.5. Execução do Modelo	68
4.6. VALIDAÇÃO DO SAD PROPOSTO	70
4.6.1. Validação da Grade de Cobertura.....	71
4.6.2. Validação do Uso da Rede de Precedência	71
4.6.3. Validação do Modelo no Arena.....	73
4.6.4. Validação dos Resultados Obtidos	74
4.7. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	75
5. CONCLUSÕES	83
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	95

Índice de Figuras

Figura 1 - Classificação da pesquisa.	8
Figura 2 - Primeiro Nível do Modelo SCOR representando uma Cadeia de Suprimento.	12
Figura 3 – Segundo nível do Modelo SCOR.....	13
Figura 4 – Terceiro Nível do Modelo SCOR – Planejamento da Cadeia de Suprimentos.....	14
Figura 5 – Fluxo de informações do PCP.....	16
Figura 6 – Exemplo de Gráfico de Gantt – <i>Software</i> MS Project®	20
Figura 7 – Exemplo de Rede PERT / CPM.....	22
Figura 8 – Exemplo de Diagrama de Blocos.....	22
Figura 9 – Exemplo de WBS (Projeto TSS – <i>Time Sharing System</i>).....	26
Figura 10 – Evolução dos <i>Softwares</i> de Simulação..	33
Figura 11 – Horizonte potencial para uso da simulação.	37
Figura 12 - Fluxo de aquisição de materiais importados.....	45
Figura 13 - Elos da Cadeia de Suprimentos envolvidos no estudo.	46
Figura 14 - Fluxo de aquisição de materiais nacionais	46
Figura 15 - Fluxo de aquisição de materiais fabricados internamente	47
Figura 16 – Folgas na Seqüência de Montagens	51
Figura 17 - Propagação do Atraso em um Próximo Produto	52
Figura 18 – Estrutura do SAD	54
Figura 19 - Detalhamento dos processos simulados	56
Figura 20 – Exemplo da Grade de Cobertura de Materiais Comprados.	58
Figura 21 – Exemplo da Grade de Cobertura de Materiais Fabricados Internamente. .	58
Figura 22 - Fluxograma de execução do modelo	61
Figura 23 – Estrutura do modelo	62
Figura 24 – Fluxograma da Análise da Rede de Precedência	65
Figura 25 - Modelo Lógico.....	67
Figura 26 – Definições Básicas do Cenário Simulado	69
Figura 27 – Formas de simulação admitidas	70

Figura 28 – Lógica da análise da rede de precedência	72
Figura 29 – Atraso na entrada da doca por número de série	80
Figura 30 - Atraso na saída da doca por número de série	81
Figura 31 – Ocupação das docas no tempo	81

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Seqüência de Montagem dos Produtos.....	74
Tabela 2 – Resumo do fornecimento previsto – quantidade de itens versus <i>status</i> do fornecimento	76
Tabela 3 – Total de itens não cobertos versus fornecedor versus produto.....	77
Tabela 4 - Resultados encontrados na simulação	79

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se o contexto no qual se insere esta dissertação, assim como os fatores que motivaram sua realização, seus objetivos e limitações. Também é explicitado o método científico adotado para a realização da pesquisa e, por fim, é apresentada a estrutura deste texto.

1.1. CONTEXTO DO PROBLEMA

Christopher (2002) afirma que a procura de uma vantagem competitiva sustentável e defensável tem se tornado a preocupação de todo gerente frente a mercados altamente competitivos.

Por outro lado, Harrell e Tumay (1995) destacam que o mundo dos negócios tem se tornado cada vez mais complexo devido aos avanços tecnológicos e à crescente modernização dos meios produtivos, o que torna ainda mais difícil o cumprimento das metas dos gestores das cadeias de suprimentos na atualidade.

Inserido em um ambiente extremamente complexo e tendo de administrar uma grande quantidade de variáveis que, por vezes, se influenciam mutuamente, os gestores das cadeias de suprimentos necessitam tomar decisões difíceis, que podem definir o destino da organização, baseando-se em informações que frequentemente são de grande complexidade e difícil interpretação.

Uma vez que o ambiente do mercado vem se tornando mais competitivo, é necessário que a empresa busque continuamente obter recursos que a diferenciem de seus concorrentes (FIORONI, 2000). A capacidade de tomar decisões com maior confiabilidade é uma das mais relevantes buscas das organizações atuais.

É em um ambiente com grande complexidade que se encontram as indústrias aeronáuticas, objeto do presente trabalho que, além de estarem envolvidas em um mercado complexo, possuem características nos processos de abastecimento de insumos e de manufatura que as tornam singulares. Nesse ambiente, decisões

gerenciais errôneas podem conduzir a empresa a sérios prejuízos, sujeitando a grandes riscos a sua saúde financeira e a sua imagem.

1.2. MOTIVAÇÃO PARA A PESQUISA

“O mercado muda cada vez mais rapidamente e com maior intensidade. Este é um fato que tem sido observado com clareza nos últimos anos” (FIORONI, 2000). Uma vez envolvidas nesse ambiente, criou-se para as organizações, um novo imperativo: a necessidade de serem ágeis (CHISTOPHER, 2002). Diante dessa circunstância, a comunidade acadêmica e as próprias empresas se mobilizam, desenvolvendo pesquisas para proverem soluções racionais e sistemáticas às dificuldades encontradas na adaptação a estas mudanças do mercado (HOLLOCKS, 2005).

Dentre as várias iniciativas, destacam-se o uso de conceitos de Simulação de Eventos Discretos apoiada pelo uso de ferramentas computacionais (ROGERS *et al.*, 1996) que, apesar de ter seu nascimento na década de 1960, ainda hoje não é de amplo uso nas indústrias brasileiras. Esta técnica tem permitido às empresas que a utilizam ganhos provenientes, basicamente, da melhoria propiciada à capacidade de tomada de decisões pelos gestores das organizações.

Destacam-se, também, a utilização de ferramentas e técnicas de gerenciamento da produção. No caso das indústrias aeronáuticas ressalta-se o uso de ferramentas de Gestão de Projetos, uma vez que os produtos dessas indústrias podem ser tratados como projetos, já que possuem características como começo e fim bem definidos e de serem, de alguma forma, diferentes de todos outros produtos, apesar de apresentarem algumas semelhanças.

Outra iniciativa que já se tornou bem conhecida, tanto no meio acadêmico como no industrial, é o uso de conceitos relacionados à Gestão da Cadeia de Suprimentos, ou *Supply Chain Management* (SCM) (*Supply Chain Council*, 2003). A grande importância que se tem atribuído a tais conceitos levou à criação do *Supply-Chain*

Council (SCC - <http://www.supply-chain.org>), uma instituição independente, sem fins lucrativos, fundada em 1996 pela Pittiglio Rabin Todd & McGrath (PRTM - <http://www.prtm.com>) e AMR Research (<http://www.amr-research.com>), duas conceituadas consultorias americanas. O SCC conta com representantes dos meios acadêmico, industrial e governamental, e tem o objetivo de estudar sistemas e práticas relacionadas ao gerenciamento da cadeia de suprimentos. Para tanto, elaborou o Modelo de Referência de Operações na Cadeia de Suprimentos, traduzido do inglês, *Supply-Chain Operations Reference-model* (SCOR model) (*SUPPLY CHAIN COUNCIL*, 2003).

O modelo SCOR busca promover o efetivo gerenciamento da cadeia de suprimentos robustecendo a comunicação entre seus elos, uma vez que falhas na integração entre eles podem resultar em comprometimento no balanceamento da cadeia, na otimização de estoques, na sincronização dos ciclos, na armazenagem, no acondicionamento e no transporte de bens (DIAS *et al.*, 2003). De fato, um bom gerenciamento da cadeia de suprimentos propicia a criação de uma organização ágil, melhorando a confiabilidade e a agilidade de resposta da cadeia às variações do mercado (CHRISTOPHER, 2002).

Nas indústrias aeronáuticas, em especial, essas iniciativas são de grande importância, uma vez que as empresas adquirem seus insumos com o propósito de produzir um produto pré-determinado, uma específica aeronave, que na maioria dos casos já foi vendida, o que as caracteriza como indústrias que produzem sob demanda (*make to order*) (*SUPPLY CHAIN COUNCIL*, 2003). Dessa forma, os estoques dos insumos são mínimos ou mesmo inexistentes, e, assim, uma falha no abastecimento planejado acarretaria atrasos na montagem dos aviões, pois um novo suprimento teria um longo ciclo de aquisição, provavelmente não atendendo às datas programadas na manufatura. Esses atrasos representam custos financeiros diretamente relacionados ao valor do bem produzido, na ordem de dezenas de milhões de dólares. Este estudo busca a obtenção de um mecanismo para reduzir esses custos, o que é mostrado a seguir.

1.3. OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

A presente pesquisa trata do problema da priorização dos esforços na cadeia de suprimento de uma indústria aeronáutica, visando garantir o fornecimento dos insumos necessários à linha de produção e, assim, minimizar o risco de interrupção na linha de montagem. O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão por meio da utilização de um *software* de simulação de sistemas, capaz de facilitar a tomada de decisão na cadeia de suprimentos por poder prever os impactos (atrasos) que serão causados pela falta de materiais na montagem do produto.

O sistema baseou-se em informações de previsão de aquisição de materiais e da programação do processo fabril, que, por sua vez, considera a seqüência produtiva das atividades necessárias à montagem dos produtos. Logo, o sistema de apoio à decisão deve possibilitar que ações sejam antecipadas em itens problemáticos com o intuito de evitar, na medida do possível, falhas potenciais no cumprimento dos prazos de entrega do produto final da empresa. Com a visão clara do problema, os gestores passam a ter uma previsão do futuro para orientá-los nas decisões que se tornem necessárias. (STAIR, 1998).

Logo, o objetivo geral deste estudo foi criar e validar um sistema de apoio à decisão (SAD) capaz de prover uma análise gerencial dos itens impactantes na montagem dos produtos, e poder apresentar tais impactos.

Além disso, o trabalho teve como objetivo específico a aplicação do SAD a uma empresa do setor aeroespacial, propiciando ao usuário do sistema informações relevantes como:

- uma relação dos insumos com projeção de atraso no abastecimento;
- uma lista dos insumos críticos, cujo atraso no suprimento projeta atrasos na montagem;
- o atraso projetado, causado pelos insumos críticos;
- o atraso propagado a outros produtos, devido à limitação de recursos; e
- a projeção de ocupação dos recursos disponíveis.

1.4. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Segundo Freitas (2001), a criação de modelos de Simulação de Sistema envolve um determinado grau de abstração, o que acarreta a necessidade de se fazer uma série de simplificações referentes à organização e ao funcionamento do sistema real, para o uso efetivo de tal ferramenta.

O problema abordado nesta dissertação abrange uma grande quantidade de fatores, inerentes ao sistema de produção de aeronaves, tornando complexa a elaboração de um modelo representativo de tal realidade. Por exemplo, existe uma grande flexibilidade na sequência de atividades de montagem das aeronaves, o que possibilita ao sistema de produção a capacidade de absorção de certas falhas no abastecimento de insumos por determinado período de tempo. Outro exemplo pode ser observado na grande quantidade de itens diferentes (dezenas de milhares) que são utilizados na montagem do produto. A falha no suprimento de um único item pode impedir a sequência correta de montagem, gerando, possivelmente, um atraso no término de fabricação do produto.

Assim, dada a necessidade de simplificação da realidade, os seguintes aspectos não foram considerados:

- materiais cuja fabricação é realizada na empresa ou em empresas nacionais, uma vez que os insumos têm um ciclo de aquisição reduzido e, dessa forma, não são causadores rotineiros de grandes atrasos a montagem;
- as variações estatísticas relativas à execução das atividades de montagem das aeronaves, dada a dificuldade de obtenção das informações no atual sistema da empresa;
- variações estatísticas no ciclo logístico de aquisição de materiais, pois a área de logística da empresa considera tais variações muito pequenas em comparação ao ciclo total de aquisição de materiais;
- limitações relativas à mão-de-obra necessária, ou seja, assume-se que os recursos estarão disponíveis quando forem necessários.

1.5. MÉTODO CIENTÍFICO ADOTADO

Para Lakatos e Marconi (2005), o método de pesquisa é um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que permitem alcançar um objetivo, detectando erros e auxiliando as decisões do pesquisador. Nas palavras de Silva e Menezes (2005), “Método científico é o conjunto de processos ou operações mentais que se devem empregar na investigação”.

O método é um fator de segurança e economia para a consecução do objetivo (LAKATOS; MARCONI, 2004). Entretanto, cabe ressaltar que “não há apenas uma maneira de raciocínio capaz de dar conta do complexo mundo das investigações científicas” (SILVA; MENEZES, 2005); assim, mais de um método pode ser considerado na realização de um estudo científico, cada qual se somando às possibilidades de análise e obtenção de respostas.

A escolha de um método adequado a um trabalho científico passa, primeiramente, pela avaliação e entendimento dos tipos de pesquisa científica existentes, e somente então pela definição do método que melhor atenda as características do estudo. O Quadro 1 apresenta um resumo das classificações de uma pesquisa científica.

Esta pesquisa busca realizar a investigação de uma cadeia de suprimentos de uma indústria aeronáutica por meio do uso de uma ferramenta de simulação. Logo, a busca pela aplicação dos conhecimentos adquiridos a caracteriza como uma *Pesquisa Aplicada*.

Os resultados obtidos foram quantificados e apresentados graficamente, assim, quanto à forma de abordagem o estudo classifica-se como uma *Pesquisa Quantitativa*.

Do ponto de vista dos objetivos, a pesquisa é *Exploratória*, uma vez que a partir do estudo de um determinado caso propõe-se um sistema de apoio à decisão que pode ser utilizado no planejamento e controle da produção de indústrias que produzem por atendimento de encomendas (*make-to-order*).

Da Natureza da Pesquisa	Pesquisa Básica	Busca gerar novos conhecimentos úteis ao avanço da ciência, mas sem aplicações práticas previstas.
	Pesquisa Aplicada	Busca conhecimentos para aplicações práticas dirigidas à solução de um problema.
Da Forma de Abordagem	Pesquisa Quantitativa	Busca a quantificação de todas as informações estudadas, com o propósito de analisá-las e classificá-las.
	Pesquisa Qualitativa	Busca análises indutivas dos dados. É descritiva, não se procura a tradução numérica de fatos do mundo real, mas foca-se no processo e seu significado.
Dos Objetivos	Pesquisa Exploratória	Busca proporcionar maior familiaridade com o problema. Em geral, assume as formas de Pesquisa Bibliográfica e Estudo de Caso.
	Pesquisa Descritiva	Busca descrever o comportamento ou as características de determinada população ou do relacionamento entre variáveis. Em geral, assume a forma de Levantamento.
	Pesquisa Explicativa	Busca determinar os fatores que contribuem para a ocorrência de fenômenos, propõe-se a explicar o “porquê” das coisas.
Dos Procedimentos Técnicos	Pesquisa Bibliográfica	Elaborada a partir de materiais já publicados.
	Pesquisa Documental	Elaborada a partir de materiais que não receberam tratamento analítico.
	Pesquisa Experimental	Elaborada a partir da definição e análise de variáveis que influenciam um dado objeto.
	Pesquisa Quase-Experimento	Elaborada por meio da definição e análise das principais variáveis que influenciam um dado objeto, sem um controle de todas variáveis.
	Levantamento	Elaborada a partir da interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer.
	Estudo de Caso	Envolve o estudo profundo de um ou poucos objetos de maneira que permita amplo conhecimento.
	Pesquisa Expost-Facto	Quando o experimento se realiza depois dos fatos.
	Pesquisa-Ação	Quando realizada em associação a uma ação ou resolução de um problema.
	Pesquisa Participante	Desenvolvida a partir da interação entre pesquisadores e membros das situações estudadas.

Quadro 1 - Classificações de Pesquisas (adaptado de Silva e Menezes, 2005; Bryman¹, 1989 apud Silva, 2005).

Em função da complexidade do sistema objeto do estudo, tornou-se impossível o controle de todos os fatores envolvidos, assim, a pesquisa se classifica como *quase-experimento* (Bryman¹, 1989 apud Silva, 2005).

¹ BRYMAN, J. L. A research Methods and organization studies. London Unwin Hyman, 1989

De acordo com o exposto, a presente pesquisa pode ser classificada como mostra a Figura 1.

Para este estudo optou-se por utilizar a técnica de Simulação de Eventos Discretos. Com certeza a utilização de outras técnicas é possível, a exemplo de modelos de otimização e heurísticas, entretanto sua aplicação demandaria esforços que a empresa objeto do estudo não estaria disposta a suportar.

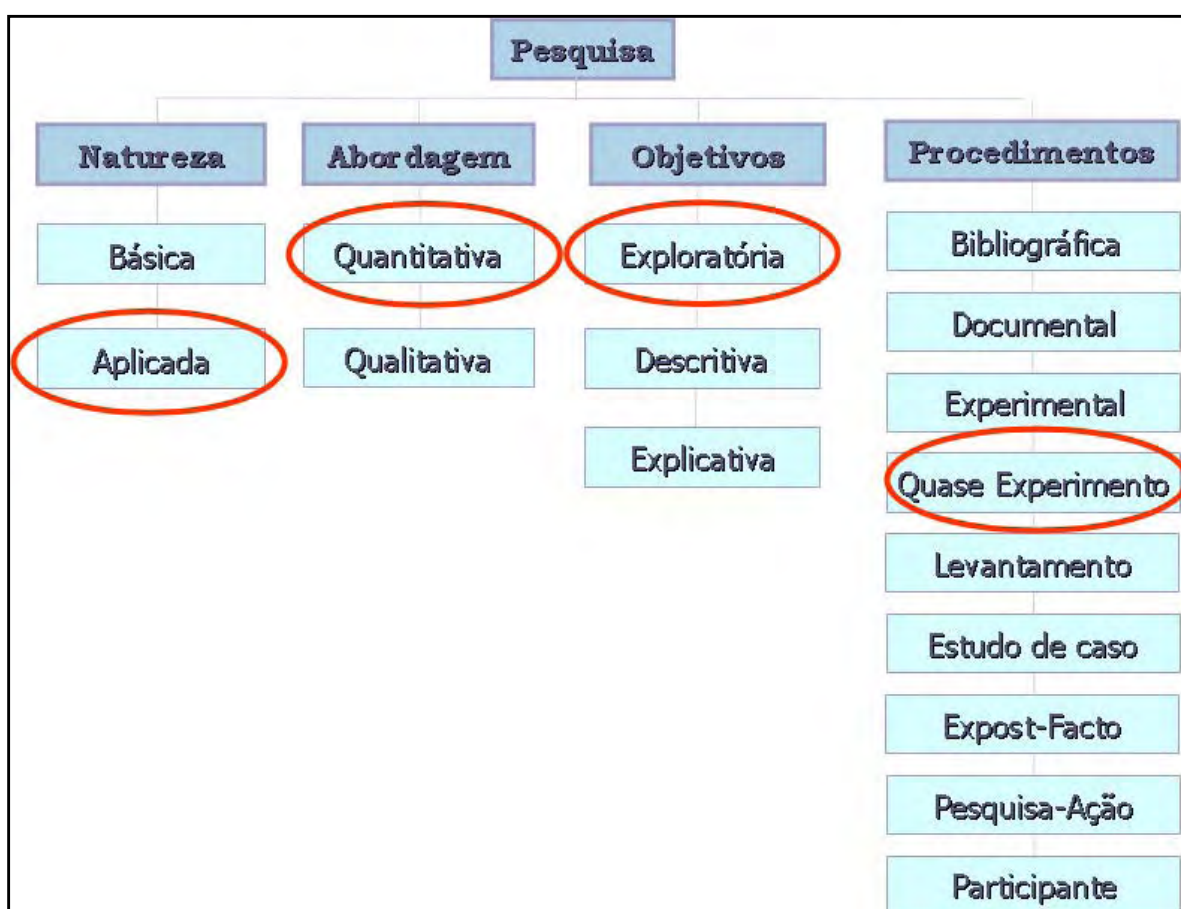


Figura 1 - Classificação da pesquisa (adaptado de Silva e Menezes, 2005; Bryman¹, 1989 apud Silva, 2005).

1.6. ESTRUTURA DO TEXTO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos, sendo que este se destina à contextualização do estudo, apresentando a motivação, o objetivo da dissertação, as limitações e o método utilizado.

No capítulo dois é apresentado o embasamento teórico, resultado de uma revisão bibliográfica acerca dos conceitos de Cadeia de Suprimentos, Planejamento e Controle da Produção, Planejamento e Gestão de Projetos e Simulação de Eventos Discretos.

O terceiro capítulo traz os conceitos, utilizados na elaboração de um SAD em uma cadeia de suprimentos na produção de aeronaves.

O quarto capítulo, por sua vez, apresenta a aplicação do Sistema de Apoio à Decisão ao problema da cadeia de suprimentos de uma determinada empresa aeronáutica.

Por fim, o último capítulo traz as conclusões da solução proposta e as recomendações para futuros trabalhos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos fundamentais para o desenvolvimento do trabalho. São eles:

- Gestão da Cadeia de Suprimentos;
- Planejamento, Controle e Programação da Produção;
- Gerenciamento de Projetos;
- Simulação de Eventos Discretos.

Uma ênfase especial será dada ao último item, quando será fundamentada a técnica adotada na resolução do problema.

2.1. GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

O desenvolvimento de abordagens para estudos de cadeias de suprimentos tornou-se mais intenso apenas no final da década de 1980, lastreado pelo amplo desenvolvimento da Logística (ALVES *et al.*, 2004). É a partir de então que vários estudos se desenvolveram e quando surgiu uma visão atualizada e expandida do conceito.

Segundo Cooper² (1994 *apud* Carmo e Hamacher, 2001), a aplicação da gestão da cadeia de suprimentos (*Supply Chain Management* – SCM) foi ampliada de uma abordagem logística para um contexto de gerenciamento global do sistema de suprimento, incluindo funções como compras, produção, distribuição e *marketing*.

O princípio básico do SCM é integrar as informações entre fornecedores, indústria, distribuidores, varejo, atacadistas e consumidores finais, de forma a ordenar, racionalizar e otimizar a produção e o escoamento dos produtos.

² COOPER, M.C. (1994), “Logistics in the Decade of the 1990” in Roberson J.F. e Copacino W.C., “The Logistic Handbook” pp 35 - 53;

Pereira Filho e Hamacher (2000) definem o SCM como um método desenvolvido para alinhar todas as atividades de produção de forma sincronizada, para reduzir custos, minimizar ciclos e maximizar o valor percebido pelo usuário final.

Segundo Afonso (2004), para se alcançar bons resultados no gerenciamento de um negócio é necessário que todos os processos organizacionais estejam integrados, o que pode ser bastante facilitado com a utilização de modelos de referência. Dessa maneira, um grande número de organizações vem utilizando modelos de referência para estruturar, analisar e melhorar os seus processos de negócio.

Um dos vários modelos de referência desenvolvidos para cadeias de suprimentos e que merece destaque neste contexto é o Modelo de Referência de Operações na Cadeia de Suprimentos (*Supply-Chain Operations Reference Model - SCOR*), desenvolvido pelo *Supply Chain Council* (SCC), que fornece uma estrutura para dar suporte à comunicação entre os diferentes elos de uma cadeia de suprimentos e promover um efetivo gerenciamento da cadeia como um todo.

O modelo SCOR divide-se em 3 (três) níveis de detalhamento, nos quais se fornece uma série de práticas e métricas para o desenvolvimento e acompanhamento de cada elo. O detalhamento apresentado pelo modelo se mantém em níveis “macros”, ou seja, não se busca a caracterização de uma cadeia de suprimentos específica; essa é uma ação destinada a cada empresa, o que torna o modelo aplicável a qualquer tipo de cadeia de suprimentos.

Com o objetivo de descrever as atividades de negócios associadas a todas as fases de atendimento à demanda de clientes, o modelo SCOR é organizado com base nos cinco processos gerenciais primários: Planejamento, Fornecimento, Produção, Entrega e Retorno (AFONSO, 2004).

A Figura 2 apresenta o primeiro nível do modelo de cadeia de suprimentos proposto pelo SCOR e destaca a integração entre os cinco processos básicos.

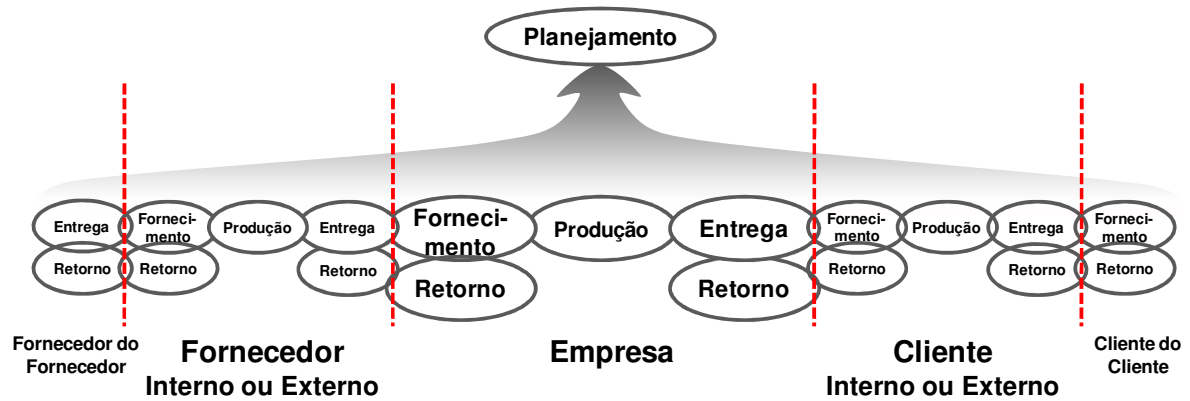


Figura 2 - Primeiro Nível do Modelo SCOR representando uma Cadeia de Suprimento. Fonte: *Supply Chain Council (2003)*

A partir do primeiro nível, os cinco tipos de processos são desdobrados em diferentes categorias que constituem o segundo nível do modelo SCOR, chamado de nível de configuração. A Figura 3 ilustra o segundo nível do modelo SCOR.

Como desdobramento do segundo nível, o modelo SCOR é detalhado em um terceiro nível de representação dos processos, denominado nível de elementos de processo.

A Figura 4 detalha um exemplo do 3º nível do modelo, o processo de Planejamento da Cadeia de Suprimentos.

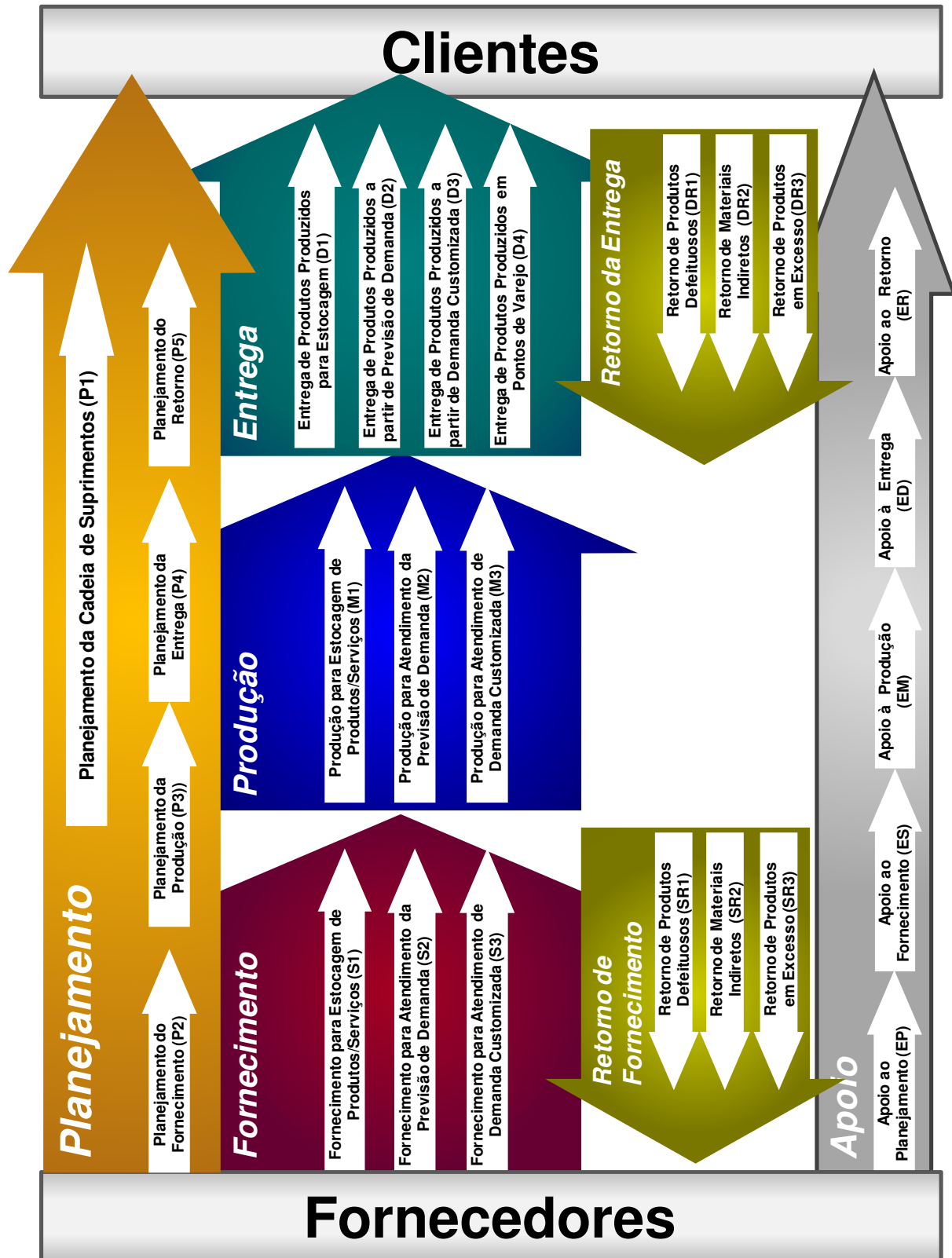


Figura 3 – Segundo nível do Modelo SCOR. Fonte: Supply Chain Council (2003)

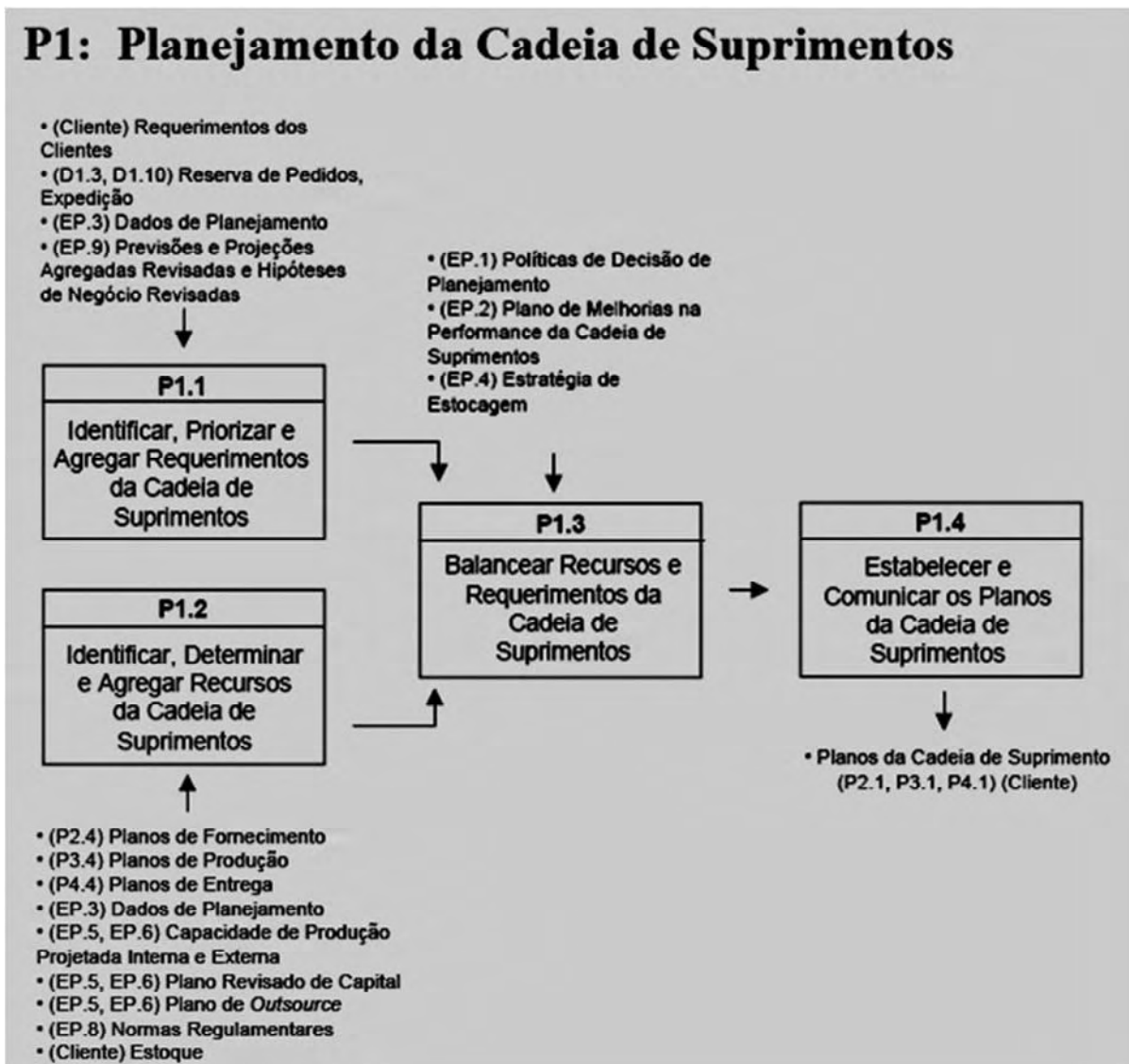


Figura 4 – Terceiro Nível do Modelo SCOR – Planejamento da Cadeia de Suprimentos. Fonte: Supply Chain Council (2003)

Como mostra a Figura 4, o terceiro nível do modelo SCOR não representa somente os elementos de processos existentes nesse nível, mas define também a ordem lógica/temporal em que devem ocorrer e as entradas e saídas associadas a cada um deles.

Nesse nível de detalhamento é que são sugeridas as melhores práticas e os aspectos tecnológicos ou conceituais relevantes para a execução das atividades em uma cadeia de suprimentos.

O uso de um modelo de referência, como o SCOR, é um meio adequado para a compreensão e visualização da cadeia de suprimentos, facilitando a identificação dos

elos “fracos” da cadeia, onde ações corretivas ou de melhora de desempenho refletem diretamente no resultado final da empresa.

Por outro lado, para que os gestores tenham mais subsídios para planejar, diminuir gastos e repensar a cadeia de produção, há a necessidade de tornar mais administrável a complexidade existente nos processos de produção, logística, venda e faturamento. Entre as mudanças mais palpáveis que se tem desenvolvido atualmente com este objetivo, encontram-se os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*), que propiciam a uma corporação uma maior confiabilidade dos dados.

Segundo Hicks (1997), o ERP é uma arquitetura de *software* que facilita o fluxo de informação entre todas as funções dentro de uma companhia. Segundo Hypolito e Pamplona (1999), o ERP integra os processos de uma empresa com a meta de integrar as informações através da organização, eliminando interfaces complexas e caras entre sistemas não projetados para conversarem. Dessa forma, todos os processos de uma organização são colocados dentro de um mesmo sistema e num mesmo ambiente, facilitando o trabalho dos gestores na coordenação dos esforços para a gestão e administração de ambientes complexos, possibilitando decisões com maior confiabilidade.

2.2. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Segundo Slack *et al.* (2002), o Planejamento e Controle da Produção (PCP) é a atividade desenvolvida no sentido de se decidir em relação ao melhor emprego dos recursos de produção, assegurando, assim, a execução do que foi previsto.

Vollmann (1997) soma a esse conceito a idéia do controle sobre os insumos e sobre a demanda; para ele o PCP provê informações para eficientemente gerenciar o fluxo de materiais, efetivamente utilizar pessoas e equipamentos, coordenar atividades internas com aquelas dos fornecedores, e comunicar-se com os consumidores em relação às necessidades do mercado.

Assim, o PCP busca prover meios de administrar a produção e a aquisição de materiais (insumos) necessários à manufatura. Martins (1993) destaca que "o objetivo principal do PCP é comandar o processo produtivo, transformando informações de vários setores em Ordens de Produção e Ordens de Compra - para tanto exerce funções de planejamento e controle - de forma a satisfazer os consumidores com produtos e serviços e os acionistas com lucros".

Para atingir esses objetivos, o PCP reúne informações vindas de diversas áreas do sistema de manufatura, resultando nas definições das Ordens de Compra e Produção. A Figura 5 relaciona as áreas e as informações fornecidas ao PCP.

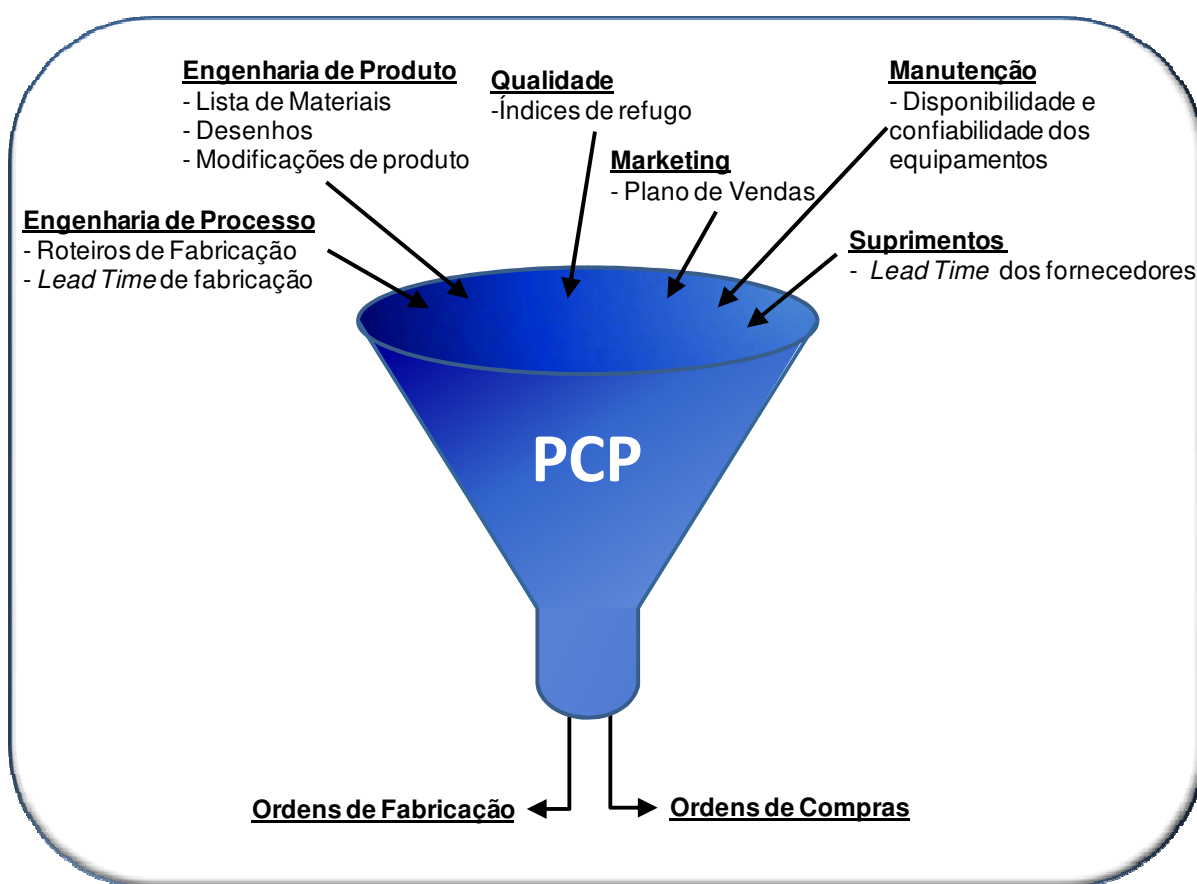


Figura 5 – Fluxo de informações do PCP. Fonte: Moura (1996)

De acordo com Slack *et al.* (2002), Moura (1996) e Martins (1993), das atividades típicas de gerenciamento desenvolvidas pelo PCP destacam-se:

- planejar as necessidades de capacidade;
- planejar o abastecimento de materiais;
- planejar estoques adequados de matérias-primas, semi-acabados e produtos finais, nos pontos certos;
- programar as atividades de produção para que pessoas e equipamentos estejam trabalhando no momento e tarefa certos;
- informar sobre materiais, pessoas, ordens, equipamentos e outros recursos na fábrica;
- comunicar-se com consumidores e fornecedores;
- ser capaz de reagir eficazmente a situações adversas.

Resumindo, Slack *et al.* (2002) afirmam que o Planejamento e Controle da Produção é o processo de conciliar demanda e fornecimento. Dessa forma, as atividades envolvidas no planejamento e controle da produção estão intimamente relacionadas à natureza do comportamento da demanda dos produtos e do fornecimento dos insumos. Para conciliar a demanda e o fornecimento, três atividades distintas devem ser desempenhadas:

- **carregamento** – determinação da capacidade de alocação de trabalho de um determinado centro de trabalho;
- **seqüenciamento** – determinação da prioridade e dependência entre as tarefas a serem executadas;
- **programação** – decisão do momento de início e fim de cada tarefa.

Slack *et al.* (2002) definem o carregamento dos recursos da produção como a quantidade de trabalho alocado para um centro de trabalho. Considerando-se as limitações impostas a cada centro de trabalho, o plano de carregamento deve ser montado provendo um nivelamento (uniformização) da demanda de cada recurso. O processo de nivelamento pode ser realizado com o auxílio de técnicas de Pesquisa Operacional (TOSO e MORABITO, 2005), e, para tal, é comum o emprego de computadores (problemas complexos) ou, ainda, por processo manual (pequenos projetos com número reduzido de recursos).

Um grande problema na programação da produção é o emprego de recursos limitados, por certo período de tempo, para o atendimento a ordens de clientes ou à reposição de estoques, conhecido como problema de seqüenciamento ou problema de *scheduling* (TOSO e MORABITO, 2005). Gupta (2002) define o problema de *scheduling* como “determinar a seqüência em que as ordens de produção devem ser processadas em cada uma das máquinas, com seus tempos de início e fim de processamento em cada máquina”.

Segundo Slack *et al.* (2002), a atividade de seqüenciamento tem a função de determinar a ordem em que as tarefas serão executadas. As prioridades dadas ao trabalho em uma operação são, normalmente, orientadas por um conjunto de regras pré-definidas.

A atividade de programação busca a definição das datas de início e término das atividades a serem cumpridas, portanto, visa a caracterização do ciclo produtivo. Para tanto, utiliza informações tais como: disponibilidade de equipamentos, de matérias-primas, de operários, características do processo de produção, tempos de processamento, prazos e prioridade das ordens de fabricação.

Segundo Martins (1993), os objetivos do seqüenciamento e programação da produção são:

- aumentar a ocupação dos recursos;
- reduzir o estoque em processo; e
- reduzir os atrasos no término dos trabalhos.

2.2.1. Controle e programação de materiais

Segundo Moura (1996), o controle e a programação de materiais têm como objetivo acompanhar a fabricação e compra dos itens planejados, com a finalidade de garantir que os prazos estabelecidos sejam cumpridos, e, dessa forma, reduzir os investimentos em estoques maximizando os níveis de atendimento aos clientes e à produção da indústria.

Por meio do controle e programação de materiais é feito o levantamento completo das necessidades de materiais para execução do plano de produção. Isso é

realizado a partir do relacionamento entre as necessidades previstas no plano mestre de produção e a disponibilidade do material no estoque ou no processo de fabricação/compras dos materiais. Por meio desta análise procura-se, também, determinar quando, quanto e quais materiais devem ser fabricados e comprados.

O controle e a programação de materiais estão intimamente ligados ao gerenciamento de estoques. Por sua vez, os estoques consomem capital de giro, exigem espaço para estocagem, requerem transporte e manuseio, deterioram, tornam-se obsoletos e requerem segurança, acarretando em altos custos para um sistema de manufatura.

Dessa forma o controle e programação de materiais devem ter como objetivo reduzir os investimentos em estoques, mas isso se contrapõe à necessidade de maximizar os níveis de atendimento aos clientes e produção da indústria, que, por sua vez são assegurados quando se tem um alto nível de estoque. Há, portanto, um sério problema a ser equacionado pelos gestores da atividade.

2.2.2. Técnicas de planejamento, programação e controle da produção

As técnicas de Planejamento, Programação e Controle da Produção auxiliam na determinação da seqüência otimizada em que as atividades serão desenvolvidas, considerando-se as limitações de recursos e precedência entre as atividades, além de otimizar o carregamento dos recursos e programar as atividades mostrando em que momento os trabalhos devem começar e quando deveriam terminar (TOSO e MORABITO, 2005).

A seguir são apresentadas algumas das principais técnicas atuais envolvidas neste estudo.

- **Gráfico de Gantt:**

Inventada em 1917 por H.L. Gantt, a ferramenta conhecida por Gráfico de Gantt é um dos métodos de programação mais comumente utilizados. É uma metodologia simples, que consiste basicamente em definir o conjunto de tarefas a realizar indicando seu nome, duração, o início e o término e o relacionamento entre as atividades e

representar isso graficamente em uma escala de tempo (Silva, 2001), como mostra a Figura 6.

A grande vantagem do gráfico de Gantt é a sua simplicidade e, portanto, a facilidade de entendimento e construção, além da capacidade de exibir várias informações associadas às tarefas. O gráfico apresenta uma visão clara do estado do projeto, indicando o *status* de cada atividade em uma visão global do planejamento.

A desvantagem está no fato de não ser possível identificar o impacto de alterações na programação tanto na fase de planejamento (simulações) como, também, da fase de execução (dados reais de início e término). Isto é, o gráfico de Gantt é uma solução estática que não permite uma análise do comportamento da realidade dinâmica do projeto.

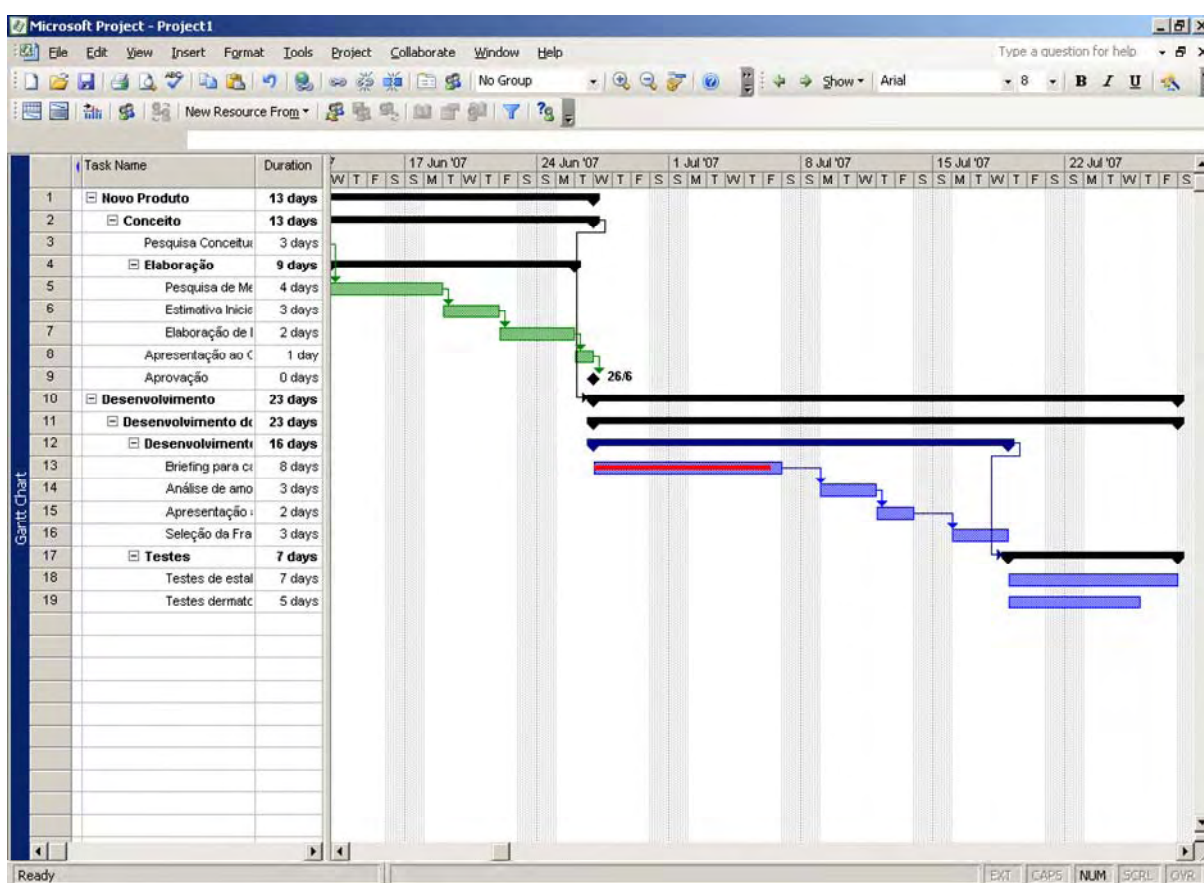


Figura 6 – Exemplo de Gráfico de Gantt – Software MS Project®

- PERT / CPM:

O método CPM (*Critical Path Method*) teve origem em 1956 na Companhia E.I. Du Pont de Nemours, com o objetivo de reduzir as deficiências de planejamento, programação e controle nas áreas de projetos, construção e instalação (Silva, 2001). Ele foca, fundamentalmente, uma abordagem temporal.

Em 1958, uma associação entre a Navy's Special Projects Office e a Lockheed Inc. iniciou trabalhos objetivando a elaboração de uma metodologia de planejamento, programação e controle para emprego no Projeto Polaris (QUEZADO, 1999; ICHIHARA, 1998), de onde surgiu o método PERT (*Program Evaluation and Review Technique*). Tendo em vista a existência de diversas atividades nunca antes realizadas e a magnitude do empreendimento, a técnica exigiu tratamento estatístico para definição de durações e da probabilidade de risco quanto à sua conclusão.

As redes PERT/CPM têm sido utilizadas em diversos setores de serviços, principalmente nos relacionados à engenharia para execução de obras, pela simplicidade de sua elaboração e por ser de fácil entendimento, oferecendo ao usuário um perfeito cenário para estudo e compreensão do tempo e da interdependência das atividades nele programadas (FREITAS e PAMPLONA, 1999). As principais vantagens da utilização desse método são:

- clareza e facilidade de compreensão das fases do projeto;
- verificação das atividades;
- coerência técnica do projeto; e
- compreensão da lógica interna do projeto.

As redes PERT evidenciam relações de precedência entre atividades e permitem calcular o tempo total de duração do projeto, bem como o conjunto de atividades que necessitam de atenção especial; caso contrário, os atrasos na execução causariam atrasos no projeto com um todo. Esse conjunto de atividades é denominado Caminho Crítico. A Figura 7 apresenta um exemplo de uma rede PERT / CPM.

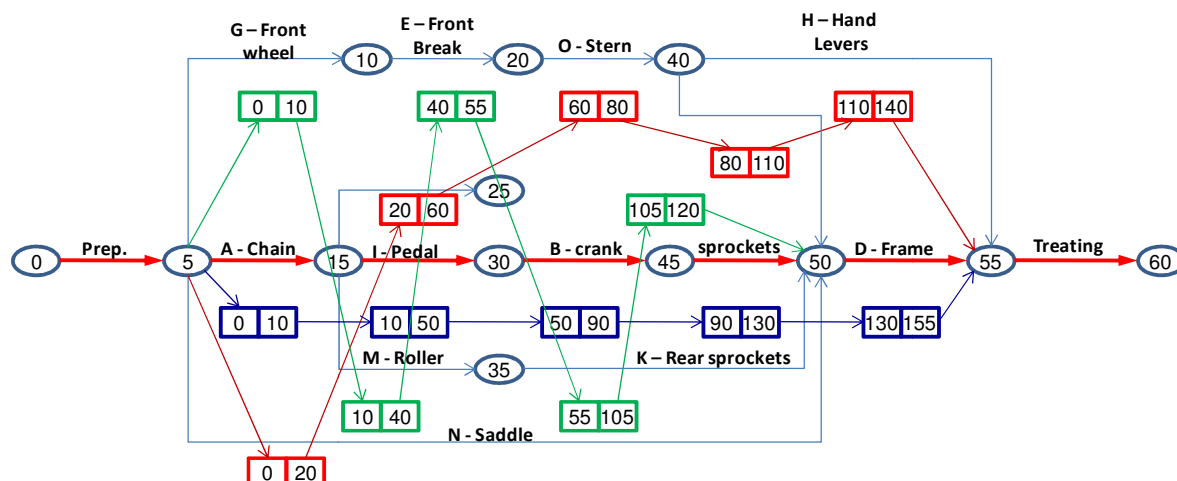


Figura 7 – Exemplo de Rede PERT / CPM. Fonte: http://pucrs.campus2.br/~annes/sig_cpm.html (acessado em 03/01/2007)

- PDM (*Precedence Diagram Method*):

Bernard Roy, professor da Universidade de Sorboune, desenvolveu em 1964 o PDM (*Precedence Diagram Method*) com o objetivo de simplificar a representação da metodologia de cálculo do CPM (LIMER, 1997).

O método utiliza representações de blocos para definir atividades, por isso ficou também conhecido como Diagrama de Blocos. Essas atividades são conectadas por setas constituindo um seqüenciamento (ou fluxo do processo) entre as atividades e, dessa forma, indicando suas interdependências, como exemplifica a Figura 8.

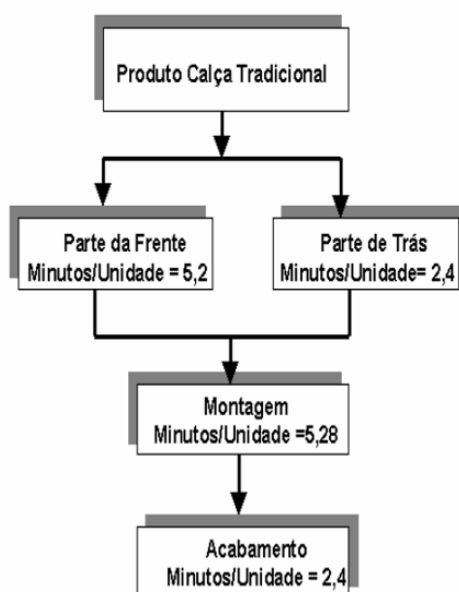


Figura 8 – Exemplo de Diagrama de Blocos. Fonte: Gomes (2002)

Em resumo, o PERT/CPM e o PDM são métodos de representação de projetos por meio de gráficos, podendo ser aplicados a diversas áreas e com variados enfoques na busca de soluções para problemas distintos como, por exemplo:

- melhoria na distribuição de recursos humanos e equipamentos;
- minimização de custos totais do empreendimento;
- localização de gargalos em processos.

Esses métodos proporcionam uma visão geral do empreendimento, permitem uma melhor coordenação entre os departamentos e possibilitam análises de diferentes cenários (SILVA, 2001). Eles utilizam representações do fluxo de atividades do projeto como base de trabalho, processando as informações de duração e dependência de cada tarefa.

No uso dessas técnicas é comum a utilização de alguns termos destacados a seguir:

- **data mais cedo:** indica as datas de início ou término possíveis de se realizar da forma mais breve para cada atividade do projeto;
- **data mais tarde:** indica as datas de início ou término possíveis de se realizar da forma mais retardada para cada atividade do projeto;
- **folga total:** representa a disponibilidade de tempo que cada tarefa possui para ser retardada (atrasada);
- **atividade crítica:** atividade cuja folga total é igual a zero, ou seja, qualquer atraso nessa atividade promoverá um atraso na data de término do projeto;
- **caminho crítico:** caminho composto por um conjunto de atividades críticas;
- **atividade predecessora:** indica a atividade que antecede a atividade corrente na seqüência de atividades; e
- **atividade sucessora:** indica a próxima atividade na seqüência do fluxo de atividades.

No SAD proposto no capítulo 3, as técnicas e conceitos de Planejamento, Programação e Controle da Produção apresentadas serão os fundamentos básicos para a elaboração da sequência das atividades de montagem do produto estudado.

2.3. GERENCIAMENTO DE PROJETOS

O gerenciamento de projetos teve a sua origem na década de 1960, após o sucesso do projeto Polaris, em 1958, quando foram construídos 200 submarinos atômicos dentro do prazo e custo planejados (5 anos e 9 bilhões de dólares) (SATO, 2004).

Para melhor entender o gerenciamento de projetos, em primeiro lugar, é preciso reconhecer o que é um projeto.

Segundo PMI (2002), “um projeto é um esforço temporário com o objetivo de criar um produto ou serviço único”. Temporário, uma vez que cada projeto tem começo e fim bem definidos. Único, pelo produto ou serviço produzido ser de alguma forma diferente de todos os produtos ou serviços semelhantes. Dias (2005) fortalece essa idéia, destacando que os “projetos têm atributos marcantes que os diferenciam das atividades do dia-a-dia ou das operações continuadas”.

Ainda de acordo com o PMI (2002), o “gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimentos, experiências, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atingir ou exceder as expectativas dos interessados”. Em outras palavras, gerenciar um projeto significa fazer o necessário para completá-lo dentro dos objetivos estabelecidos.

Para Dinsmore (1992), a Gerência de Projetos é o estudo da coordenação de pessoas, materiais, equipamentos e técnicas indispensáveis para o alcance do êxito de empreendimentos que possuam início e objetivos definidos, sempre que possível avaliando os parâmetros mensuráveis de custo, tempo, risco e qualidade.

O Gerenciamento de Projetos (GP) oferece uma visão integrada de todos os fatores envolvidos em um projeto para que sejam atingidos os objetivos propostos. O

GP compreende a concepção de metas e objetivos do projeto, a elaboração de um plano, a execução do plano e a revisão e controle do projeto. Por fim, o GP oferece uma grande variedade de princípios, procedimentos, habilidades, ferramentas e técnicas que são necessários para que se atinjam os objetivos previamente planejados.

Um ponto fundamental para um bom gerenciamento de projeto é a qualidade das informações com as quais o gestor lida. Segundo Chopra e Meindl (2003), informação é essencial para tomar boas decisões de gerenciamento, pois proporciona o conhecimento do escopo global necessário para tomar boas decisões.

Assim, cabe ressaltar algumas ferramentas que oferecem meios e informações fundamentais à gestão do projeto:

- **WBS - *Working Breakdown Structure*.**

Segundo o *Department of Defense Handbook* (2005), o WBS é uma forma de apresentação do projeto que o explicita em suas partes físicas, em *softwares*, serviços e outros tipos de trabalho, aos quais organiza, define e graficamente mostra tanto o produto a ser feito quanto o trabalho a ser realizado para obtê-lo. Pode ser considerada como a espinha dorsal de todo o projeto. A WBS consiste em uma criteriosa decomposição tanto do produto como dos processos para obtê-lo, bem como das tarefas administrativas e/ou gerenciais necessárias. Ela pode ser representada como uma árvore, em forma de um organograma, ou como uma relação ou tabela, como exemplifica a Figura 9.

Projeto TSS – *Time Sharing System*

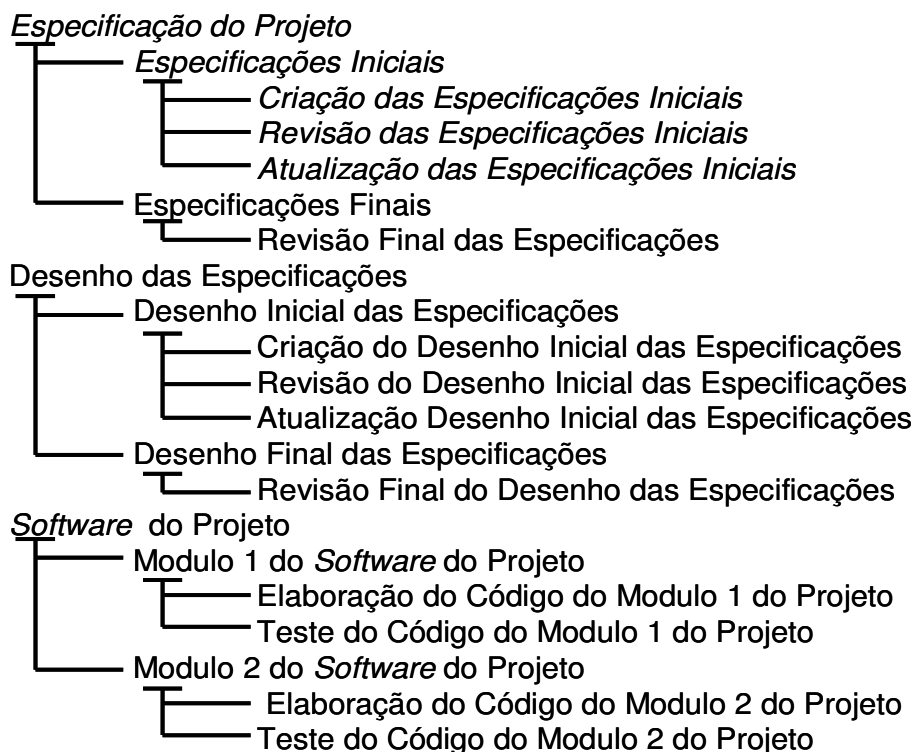


Figura 9 – Exemplo de WBS (Projeto TSS – *Time Sharing System*). Fonte: adaptado de Berg e Colenso (2000)

● Redes de Precedência.

Uma vez definidas as atividades do projeto e suas respectivas durações, deve-se empreender a montagem dessas atividades em uma sequência temporal, de maneira racional, exequível e eficiente, de forma a dispô-las na melhor ordem para o projeto. Essa montagem deve obedecer às restrições de precedência, conflito de recursos, fluxos de recursos e janelas de oportunidades (PERALTA, 2002). Existem diversas técnicas para elaboração dessas redes, como já foi abordado na Seção 2.2.2.

● C/SCSC - *Cost / Schedule Control Systems Criteria*.

O C/SCSC é uma metodologia que exerce o controle integrado de custos, prazos e do trabalho efetivamente realizado no decorrer de um projeto (FLEMING e KOPPELMAN, 2000). Caracteriza-se por prover os gerentes com dados precisos para monitorar seus projetos e uma adequada base de dados que indique o progresso do trabalho; por relacionar custos, prazos e trabalho técnico; por permitir levantar tendências de evolução de custos e prazos. São analisadas em uma mesma base

(custos) a variação de prazos e de custos para que se possa determinar as causas das variações e corrigi-las e também para obter estimativas precisas em relação ao resultado final do projeto.

- **Corrente Crítica ou CCPM (*Critical Chain Project Management*)** .

Segundo Quelhas e Barcaui (2005), a Corrente Crítica é uma nova abordagem para gerenciamento de projetos voltada para a administração de prazos e atividades, baseada na Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* - TOC). Moellmann *et al.* (2006) definem a Teoria das Restrições como “um sistema de programação de produção criado a partir da análise e reestruturação das restrições encontradas na linha”.

Assim, o CCPM atua na quebra dos paradigmas de que todo projeto atrasa e estoura o orçamento. Oferece novos métodos de estimativas de tempo, de enfoque de tarefas, de monitoração do projeto, de viabilidade econômica e de formação da rede de precedência, que é formada obedecendo às restrições de tempo e recursos.

A corrente crítica é a seqüência em que não pode ocorrer nenhum atraso em nenhuma atividade e deve ser priorizada na administração de tarefas. Para evitar os atrasos, essa seqüência é protegida por reservas chamadas "pulmões", tanto de recursos, peças como de tempo; o projeto é protegido por um "pulmão de projeto". Para diversos projetos que utilizam o mesmo recurso, esse é considerado como a primeira restrição, e é também protegido pelo "pulmão de gargalo" (QUELHAS e BARCAUI, 2005).

2.3.1. Planejamento e controle de projetos

De acordo com Dinsmore (1992), o planejamento é a chave do sucesso na administração de empreendimentos. É no planejamento que se determinam as metas, programam-se os suprimentos, visualizam-se antecipadamente os gargalos (ou dificuldades) e sugerem-se as possíveis soluções.

No planejamento ocorre a elaboração e análise do projeto, é o momento em que se especificam os resultados desejados, são verificadas as viabilidades econômicas,

mercado lógicas e tecnológicas do projeto, são descritas as tarefas e estimados os prazos, custos e recursos requeridos.

Assim, é no planejamento que se projeta o suprimento de insumos e se programam as atividades, restringindo-as ao uso limitado dos recursos necessários às atividades do projeto, bem como a precedência entre as atividades e todas as outras restrições do projeto.

Considerando-se a complexidade envolvida, surge a necessidade de aplicação de processos computacionais, baseados em metodologias científicas de modelagem e análise. A Pesquisa Operacional oferece soluções para essa situação e é possível destacar algumas técnicas utilizadas nesses problemas (ICHIHARA, 1998):

- programação linear inteira;
- programação dinâmica; e
- heurísticas.

Diversas características interferem na programação das atividades em projetos com restrições de recursos (Op. cit.), dentre elas destacam-se:

- **dependências** – inter-relações entre as atividades, duas a duas;
- **retardo na dependência** – prazo obrigatório de espera, antes que se efetue a realização da programação definida pela dependência, por questões tecnológicas, legais ou burocráticas;
- **restrições referentes às datas de início ou término** – limitações impostas às datas que determinam o início ou término das atividades;
- **duração** – prazo total de execução de cada atividade, podendo ser determinístico (CPM) ou probabilístico (PERT);
- **prioridade** – grau de importância ou urgência de cada atividade;
- **criticidade** – valor da folga total de cada atividade; quanto menor a folga maior a criticidade;
- **oferta de recursos** – quantidade limite dos recursos à disposição do(s) projeto(s);
- **permissão de interrupção de atividades** – quando a solução adotada possibilita a interrupção do período de realização das atividades;

- **tipos de recursos** – características do emprego dos recursos envolvidos;
- **quantidade e compartilhamento de recursos** – número de recursos envolvidos no(s) projeto(s), e a definição de quais são compartilhados para atuar em mais de um projeto e quais são privados por projeto;
- **objetivos da programação** – pode ser a minimização de prazo, minimização de custo, a maximização do valor presente, ou, ainda, suas combinações.

Observa-se, portanto, a necessidade de selecionar o método mais adequado para realização do trabalho em cada sistema, aproximando esse método ao máximo do conhecimento já existente na organização, assim como também buscar o emprego de ferramentas computacionais que sejam de fácil entendimento e assimilação por parte dos colaboradores da organização, e que ainda apresente um bom desempenho custo-benefício.

2.3.2. A gestão de projetos individuais e a gestão de múltiplos projetos

Certas organizações que atuam gerando serviços ou produtos com as características da Administração de Projetos (Construção Civil, Construção Naval, Construção Aeroespacial, Construção Mecânica, Manufatura sob Encomenda, Prestadores de Serviço Público, etc.), tendem a desenvolver vários empreendimentos paralelamente.

A execução das atividades desses empreendimentos, ou projetos, pode ocorrer simultaneamente, assim, podem ser classificados em função da existência ou não de inter-relações entre suas atividades, e pela necessidade de compartilhamento de recursos (Silva, 2001). Portanto, os projetos podem ser classificados como:

- **dependentes:** uma ou mais atividade do projeto está vinculada a outra(s) atividade(s) de outro(s) projeto(s);

- **independentes:** não existe atividade do projeto vinculada à atividade de outro projeto;
- **com recursos compartilhados:** um ou mais recursos do projeto também são demandados por outro(s) projeto(s), e;
- **com recursos privados:** todos os recursos do projeto são ofertados exclusivamente para sua realização.

Atualmente, os projetos têm se tornado maiores, mais inter-relacionados, mais complexos e multidimensionais, fomentando a necessidade de ferramentas apropriadas ao novo ambiente agora denominado Programa (REISS, 2000; HYDRA, 2006a).

O Gerenciamento de Programa pode ser adotado como método de planejamento quando a organização trabalha em ambientes como (HYDRA, 2006b):

- **vários empreendimentos simultâneos:** diversos empreendimentos ocorrem ao mesmo tempo, mesmo que em etapas defasadas;
- **empreendimento complexo:** um empreendimento de grande porte, que em geral demanda muito tempo, grande quantidade de recursos e várias disciplinas (especialidades) envolvidas;
- **vários empreendimentos para um cliente:** diversos empreendimentos realizados para um mesmo cliente da organização.

As diferenças entre a gestão de múltiplos projetos e a gestão de projetos individuais podem ser mais claramente observadas no Quadro 2.

Múltiplos Projetos	Projetos Individuais
Gestão de vários projetos simultâneos	Gestão de um projeto por vez
Gestão voltada para os recursos	Gestão voltada para o prazo ou processo
Recursos compartilhados	Recursos exclusivamente disponibilizados
Os projetos tendem a ser similares entre si	Os projetos tendem a ser diferenciados entre si
Possui diferentes objetivos entre os projetos	Possui em geral um único objetivo

Quadro 2 - Diferenças entre a gestão de múltiplos projetos e projetos individuais. Fonte: adaptado de Silva (2001).

Quando se define a programação geral para os projetos em busca de uma solução satisfatória, é possível que alguns planejamentos individuais sejam afastados de suas melhores soluções (SILVA, 2001). Isso implica em afirmar que a obtenção do ótimo global não implica, necessariamente, na obtenção dos ótimos locais de um sistema produtivo.

Tendo em vista a grande quantidade de variáveis inerentes à gestão de multiprojetos e à necessidade de consolidação das informações para um planejamento eficaz, pode-se considerar o emprego de diferentes métodos.

Na seção a seguir destaca-se um deles, a Simulação de Eventos Discretos.

2.4. SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

A palavra “simulação” deriva do termo latim “*simulatione*”, que significa ato ou efeito de simular, fingimento, disfarce. O Dicionário Aurélio (FERREIRA, 2004) define simulação como a representação do funcionamento de um sistema ou processo pelo funcionamento de outro.

Banks (1998) entende a Simulação de Eventos Discretos como “a imitação da operação de um processo ou sistema do mundo real através do tempo”. Desta forma, ele destaca um ponto fundamental no conceito: o tempo.

Assim, “simular” envolve o desenvolvimento de modelos que representem sistemas do mundo real, sempre através do tempo (KELTON *et al.*, 1998). Um destaque importante encontrado nessa definição é o fator tempo, meio pelo qual o modelo ganha dinamismo. Nas palavras de Taveira (1997), “simulação traz ‘vida’ ao modelo” quando o submete à variável “tempo”.

O uso da simulação pode ter duas abordagens: sem ou com o uso de ferramentas computacionais. A primeira delas usualmente se vale de modelos ou maquetes físicos, e pode ser exemplificada pela condução de experimentos simulando o voo de uma aeronave por meio de seu protótipo, associado a um túnel de vento, com o intuito de compreender o comportamento do avião em voo.

A simulação de eventos discretos, por sua vez, “é um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação” (PEGDEN *et al.*, 1990).

A Simulação de Eventos Discretos assistida por ferramentas computacionais teve início na década de 1950, realizada por meio de linguagens de programação geral, como o Fortran (CHWIF e MEDINA, 2006). Os mesmo autores destacam que todas as funções de um *software* de simulação, a geração de números aleatórios e o tratamento estatístico dos dados, necessitavam ser programados juntos ao modelo.

No início da década de 1960, a simulação desenvolveu-se no planejamento de operações militares do governo dos EUA. Ao mesmo tempo, auxiliado pela introdução dos computadores no mercado mundial, surgiram linguagens de programação direcionadas à simulação de eventos discretos, tais como o GPSS (*General Purpose Simulation System*), o GASP e o SIMULA (TAVEIRA, 1997). O mesmo autor afirma que “essas linguagens fornecem ao usuário um conjunto de facilidades para a transformação do modelo formal do sistema num programa computacional”.

A partir dos anos 1980, surgem os primeiros simuladores, ou seja, *softwares* com interfaces próprias, com o objetivo de facilitar a programação e operação dos modelos. Nesse ponto, destacam-se as animações; por meio de *softwares* acoplados aos simuladores tornou-se possível reproduzir os sistemas graficamente. Atualmente, com a evolução das interfaces gráficas dos sistemas operacionais dos computadores pessoais, os *softwares* de simulação ficaram bem mais fáceis de operar, dominando o mercado (CHWIF e MEDINA, 2006). Os mesmos autores destacam a tendência da especialização das aplicações, ou seja, o desenvolvimento de ferramentas mais singulares para o uso em manufatura, serviços, telecomunicações e reengenharia, dentre outros.

A Figura 10 sintetiza a evolução dos *softwares* de simulação no tempo.

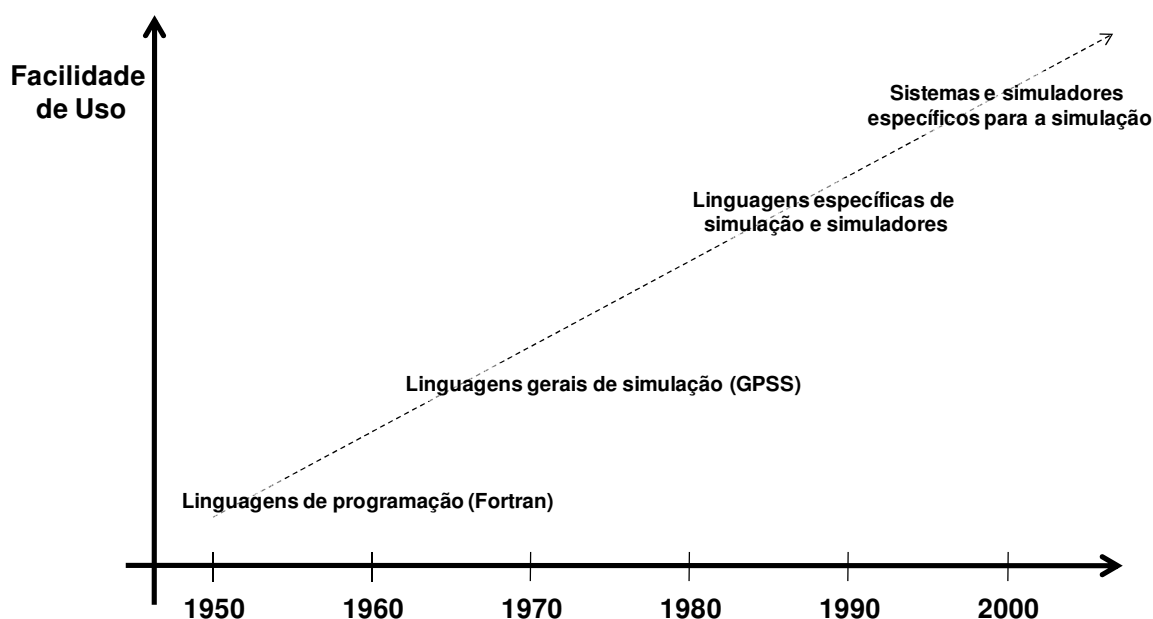


Figura 10 – Evolução dos *Softwares* de Simulação. Fonte: Chwif e Medina (2006).

2.4.1. Aplicações da simulação

Os *softwares* computacionais voltados à simulação são bastante flexíveis, permitindo a construção de modelos e estudos de sistemas variados (FIORONI, 2000). Harrell e Tumay (1995) destacam algumas das áreas aplicáveis:

- *design* de Projetos;
- gerenciamento de sistemas;
- treinamento e educação;
- comunicação e vendas;
- relações públicas.

A aplicação da simulação tem enfoque diferente, dependendo do processo a ser avaliado, e mesmo dos aspectos que serão relevantes à análise. De acordo com Fioroni (2000), as aplicações mais comuns são:

- **estudos de alteração em um sistema existente:** Com um bom conhecimento do sistema em questão, um modelo de simulação pode ser

criado, correspondendo em detalhes à situação real. Sobre esse modelo, são realizadas as alterações desejadas e seus efeitos observados;

- **estudos em sistemas não existentes:** Na inexistência real do sistema a se analisar, há necessidade de estimar os dados ou ainda coletá-los em sistemas similares. A validação do modelo deverá contar com a experiência e bom senso do projetista e, obviamente, certas margens de erro devem ser consideradas;
- **estudos comparativos:** Buscando o entendimento de dois ou mais sistemas equivalentes (independente de conhecê-los ou não), o uso da simulação pode promover a análise comparativa entre eles. Assim, pode-se identificar qual deles obtém os melhores resultados. Nesse contexto, podem ser destacadas algumas das principais aplicações do uso da simulação (BANKS, 1998; CHWIF e MEDINA, 2006):
 - cadeias de suprimentos;
 - manufatura e manejo de materiais;
 - sistemas públicos;
 - sistemas de saúde;
 - sistemas militares;
 - recursos naturais;
 - serviços públicos;
 - logística;
 - transporte terrestre, marítimo e aéreo;
 - desempenho de sistemas de computadores; e
 - sistemas de comunicação.

Dentre essas aplicações pode-se destacar o uso da simulação nas duas primeiras áreas citadas e, dada a sua importância neste trabalho, será detalhado a seguir.

2.4.1.1. Aplicação da simulação na cadeia de suprimentos

Ching (2005) ilustra o uso da simulação em estudos da cadeia de suprimentos como uma possibilidade de avaliar soluções aos problemas de integração dos meios de transporte, desempenho dos centros de distribuição e alinhamento da quantidade demandada e fornecida dos insumos.

Chang e Makatsoris (2001) destacam os seguintes benefícios do uso da simulação em cadeia de suprimentos:

- auxilia no entendimento dos processos da cadeia de suprimentos, caracterizando-a por meio de gráficos e animações;
- possibilita a captura de sistemas dinâmicos: usando distribuições probabilísticas o usuário pode simular a ocorrência de um evento em certa área e entender o seu efeito na cadeia
- possibilita minimizar o risco de mudanças no planejamento dos processos: o usuário pode testar várias alternativas antes de modificar um plano, e medir o desempenho de cada opção.

Entretanto, Vieira e César (2005) destacam que as grandes dificuldades na criação de modelos de simulação para cadeia de suprimentos estão no nível dos detalhes necessários a cada parte da cadeia, dependendo dos objetivos a se alcançar. Por exemplo: quais medidas de desempenho deverão ser incluídas no modelo?

O processo de seleção do nível de abstração do modelo, ou seja, dos fatores que deverão ser incluídos e qual nível de detalhe deverá ser modelado, capturando a essência do sistema real, é, nas palavras de Jain *et al.*, (2001): “a ‘arte’ da simulação”.

2.4.1.2. Aplicação da simulação na manufatura

Diante das fortes exigências de mercado, as empresas estão “reconhecendo a necessidade de ganhar ou manter vantagem competitiva, e para isso fatores como cumprimento de datas de entrega, redução dos prazos de atendimento, aumento da flexibilidade, sem perda dos padrões de qualidade e custo, devem ser monitorados” (FERREIRA *et al.*, 2000).

Taveira (1997) afirma que os “métodos tradicionais de projeto e análise têm simplesmente se mostrado inadequados para o estudo de complexas interações que ocorrem nos sistemas de manufatura”. Em contrapartida, a modelagem e Simulação de Eventos Discretos estão sendo consideradas como as duas grandes descobertas que irão acelerar a resolução dos grandes desafios que serão encontrados na manufatura até o ano 2020 (BANSAL, 2002).

O horizonte potencial da simulação no gerenciamento da manufatura abrange nos dias atuais, o suporte efetivo a decisões a curto, médio e longos períodos de planejamento da manufatura (HARRELL e TUMAY, 1995). Assim, destacam-se as aplicações de acordo com o horizonte de tempo estudado (ver Figura 11):

- **gestão de células:** durante a produção, um modelo de simulação integrado à célula de manufatura provê informações para decisões no chão de fábrica, por exemplo, para a definição da próxima peça a se produzir;
- **seqüenciamento das atividades:** buscando minimizar o tempo de espera e maximizar a ocupação dos recursos, pode-se simular regras de seqüenciamento;
- **carregamento dos recursos:** busca-se determinar qual recurso deverá ser alocado a cada atividade, avaliando-se a capacidade de ocupação da manufatura;
- **programação da produção:** determina (dinamicamente) a ordem que se deve alocar a cada recurso. A simulação não define uma programação, mas provê relatórios dos resultados das programações sugeridas.
- **estudos de mudança de processo:** a simulação pode ser usada para avaliar o impacto da alteração de algum processo, antes da recomendação de implantação da modificação;
- **configuração de sistemas:** consiste na avaliação de qual recurso ou qual tecnologia usar, e quantos recursos serão necessários para prover a capacidade desejada. Essa é uma das mais importantes aplicações da simulação atualmente;

- **avaliação de novas tecnologias:** para horizontes longos, a simulação pode apoiar a avaliação e auxiliar a incorporação de novas tecnologias.

Gestão de Células	Sequenciamento das atividades	Carregamento dos recursos	Programação da Produção	Estudos de Mudança de Processo	Configuração de Sistemas	Avaliação de novas tecnologias	
Segundos	Horas	Dias	Semanas	Meses	1-2 Anos	2-5 anos	

Figura 11 – Horizonte potencial para uso da simulação. Fonte: adaptado de Harrell e Tumay (1995)

2.4.2. Vantagens e desvantagens da Simulação de Eventos Discretos

Devido à facilidade de compreensão, inclusive pelo uso de animações, um modelo de simulação é freqüentemente mais simples de ser explicado e justificado do que um modelo analítico. Além disso, modelos de simulação costumam ter mais credibilidade, devido ao fato de poderem ser comparados com facilidade ao sistema real, ou por que requer pouca simplificação, capturando as características reais do sistema (TAVEIRA, 1997).

Apesar da simulação ser uma excelente ferramenta de análise, é importante conhecer mais profundamente algumas de suas vantagens e desvantagens. As relações de benefícios e malefícios são descritas por vários autores (BANKS, 1998; LAW e KELTON, 1991; PEGDEN *et al.*, 1990) e as principais são listadas a seguir:

Vantagens:

- **facilidade sobre outros métodos:** a simulação é geralmente mais fácil de aplicar do que os métodos analíticos;
- **escolhas corretas:** a simulação permite o teste de várias propostas sob um sistema, sem o comprometimento de recursos;
- **investigação de fenômenos:** comprimindo ou expandindo o tempo por meio do controle de velocidade da rodada de simulação, é possível

investigar fenômenos nos quais, em tempo real, a observação não é factível;

- **compreensão do sistema:** com a simulação é possível responder questões relativas a um fenômeno observado no mundo real, entendendo o “porquê” de tais eventos ocorrerem;
- **exploração de possibilidades:** uma das maiores vantagens da simulação é poder explorar novas políticas, operar procedimentos ou métodos, sem despesas ou interrupções no sistema real;
- **diagnóstico de problemas:** a grande complexidade dos sistemas modernos pode impossibilitar a compreensão de como ocorrem as interações entre as variáveis do problema. A simulação permite um melhor entendimento dessas interações, diagnosticando problemas derivados da alteração em uma dada variável e, portanto, provendo um melhor entendimento da dinâmica do sistema;
- **identificação de restrições:** com a simulação é possível identificar os gargalos do sistema, determinando-se, assim, a causa raiz dos atrasos do processo;
- **visualização de um plano:** o uso de ferramentas de animação associadas aos *softwares* de simulação permitem a visualização (até mesmo tridimensional) do modelo simulado, permitindo-se uma melhor compreensão do sistema por pessoas que desconhecem o seu funcionamento;
- **construção de um consenso:** o uso da simulação para apresentar mudanças em um desenho de um sistema do mundo real tem grande credibilidade, uma vez que é mais fácil aceitar um estudo que já foi modelado, testado e validado e que representa visualmente o que acontecerá para cada proposta desenhada;
- **preparação para mudanças:** a simulação é famosa por responder questões de “o que aconteceria se...” (“*what if... ?*”). Respondendo a questões desse tipo é possível entender o que vai acontecer futuramente

em um sistema em que uma mudança futura é prevista, ou é ainda inevitável;

- **análise de investimentos:** é comum o uso da simulação para se validar um investimento planejado, permitindo, desta forma, a certificação de que os resultados estimados são plausíveis;
- **treinamento:** modelos de simulação podem prover excelentes treinamentos, quando desenhados para esse propósito, e são muito mais baratos que treinamentos *on-the-job*.

Desvantagens:

- **necessidade de treinamento especial:** a construção de modelos requer treinamento. Envolve “arte” e, portanto, o aprendizado se dá ao longo do tempo, com a aquisição de experiência;
- **dificuldades de interpretação dos resultados:** por procurar capturar a variabilidade dos sistemas, é comum encontrarem-se dificuldades para determinar quando uma observação realizada durante uma execução se deve a alguma relação significativa no sistema ou a processos aleatórios construídos e embutidos no modelo;
- **tempo e custo elevados:** a modelagem e experimentação associadas à simulação consomem recursos, principalmente tempo. A tentativa de simplificar a modelagem, com o objetivo de economizar recursos, comumente leva a obtenção de resultados insatisfatórios.

2.4.3. Modelagem de Sistemas

A conceituação e desenvolvimento de modelos são as partes vitais de todo estudo de simulação (PEGDEN *et al.*, 1990). Os autores destacam também que há diferentes maneiras de se modelar um sistema, dependendo dos objetivos a se alcançar, uma vez que definem as abstrações que serão incorporadas no modelo.

Ferreira *et al* (2001) explicam que um modelo de simulação consiste em um conjunto de suposições e aproximações, devidamente quantificadas e estruturadas, com o objetivo de representar o comportamento do sistema real sob determinadas condições.

Dessa forma, em função da quantidade de simplificações impostas ao modelo, influencia-se, em razão direta, a distorção entre os resultados obtidos pelo modelo e pelo sistema real. Entretanto, o uso de métodos matemáticos tradicionais da Pesquisa Operacional, como a Teoria de Filas e Programação Linear, requer uma quantidade de simplificações impostas bem maior do que quando se utiliza a Simulação de Eventos Discretos, o que reforça o valor do uso dessa técnica. Além disso, modelos de simulação também permitem a utilização de variáveis aleatórias, de modo a representar com maior veracidade o comportamento do sistema real. (KELTON *et al.*, 1998).

Quanto a elaboração do modelo, pode-se afirmar que existem várias formas de representar uma condição do sistema real. Para tal, as linguagens de simulação existentes utilizam-se basicamente de três elementos: entidades, atributos e variáveis. Em alguns *softwares* esses elementos são “pré-modelados” (*templates*), recebendo novas nomenclaturas para facilitar a modelagem de elementos específicos dos sistemas reais (por exemplo: máquinas, veículos, esteiras, etc.) (BANKS, 1998; PEGDEN *et al.*, 1990; HARRELL e TUMAY, 1995):

Existem dois tipos de entidades: dinâmicas e estáticas. A primeira pode representar uma pessoa ou objeto, que se move ao longo do sistema, mudando seu estado. Como exemplo, pode-se citar pessoas em um banco ou peças em uma indústria mecânica. O segundo tipo refere-se a elementos estáticos na simulação; são entidades que servirão outras entidades durante o processo. Os recursos (máquinas, estações de trabalho e equipamentos) são típicos exemplos desse tipo de elemento.

Os atributos são informações ou características atribuídas, individualmente, a cada entidade. Para o caso de uma peça mecânica, seus atributos podem ser o diâmetro, o material, o perfil, etc.

As variáveis são informações necessárias para definir o que está acontecendo no sistema como um todo. O termo se refere às características do sistema que se alteram

com o decorrer do tempo. Por exemplo: o número total de entidades de um tipo no sistema.

2.4.4. O método de simulação

Silva (2005) afirma que o método nos trabalhos de simulação tem o propósito de sistematizar os passos do desenvolvimento do estudo, otimizando a integração entre *software*, modelador e usuário, evitando desperdício de tempo, de dinheiro ou resultados frustrantes.

Ao identificar que o método de simulação é o ideal a se aplicar em um estudo, devem ser seguidos certos passos a fim que o estudo de simulação obtenha sucesso. Assim, o desenvolvimento de um projeto de simulação compõe-se basicamente de três etapas (CHWIF e MEDINA, 2006):

- concepção;
- análise e
- implementação.

Diversos autores desmembram essas três etapas em vários passos, apesar de pequenas diferenças na quantidade de passos sugeridos pelos autores, há certa concordância em relação ao que se deve abordar (CHWIF e MEDINA, 2006; HARRELL e TUMAY, 1995; KELTON *et al.*, 1998; PEGDEN *et al.*, 1990; BANKS, 1998):

- **definição do problema:** a definição clara e bem compreendida dos objetivos de um estudo de simulação é fundamental para o seu sucesso, e evita desentendimentos e desapontamentos no final do estudo;
- **conceituação e formulação do problema:** a construção de modelos formais, capazes de descrever o funcionamento do sistema em uma linguagem intermediária, que permita o entendimento de todos os envolvidos no projeto, é crucial para a elaboração do modelo, principalmente porque em muitos casos o projetista não está diretamente envolvido com o sistema, não tendo, portanto, um bom conhecimento do seu funcionamento;

- **coleta de dados:** identificação, especificação, coleta e análise estatística dos dados que irão suportar o modelo;
- **construção do modelo:** a formulação do modelo em uma linguagem de simulação;
- **verificação e validação do modelo:** a confirmação de que o modelo, apesar do nível de abstração imposta à modelagem, apresenta resultados aderentes à realidade;
- **execução dos experimentos e análise dos resultados:** a execução de várias rodadas (com diferentes cenários) de simulação, com o intuito de encontrar uma solução que atenda, da melhor maneira possível, aos objetivos pré-definidos no estudo;
- **implementação e documentação:** o resultado final de um estudo de simulação é a apresentação de recomendações ao sistema avaliado. A documentação dos dados utilizados, do modelo criado e dos experimentos desenvolvidos devem ser incluídos no relatório final.

Chwif e Medina (2006) afirmam que além de ser um método de análise de problemas, a Simulação de Eventos Discretos promove uma melhor compreensão dos sistemas, servindo de meio de comunicação entre analistas, gerentes e pessoas ligadas a sua operação. Os autores ainda destacam que em muitos casos um estudo de simulação é iniciado, mas não é completado, pois a compreensão e o entendimento do sistema, obtidos no desenvolvimento do projeto, fazem com que o problema seja solucionado pelos membros da equipe antes mesmo que o estudo seja encerrado.

3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PROPOSTO

Neste capítulo é realizada uma descrição do Sistema de Apoio à Decisão (SAD) utilizado para a resolução do problema de priorização dos esforços na cadeia de suprimento de uma indústria aeronáutica, visando garantir o fornecimento dos insumos necessários à linha de produção. Será dada ênfase especial à técnica de Simulação de Eventos Discretos, utilizada para modelar o comportamento do sistema.

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Conforme descrito na Seção 1.3, o objetivo desta pesquisa foi criar e validar um sistema de apoio à decisão capaz de prover uma análise gerencial do abastecimento de materiais à produção com uma projeção de falhas no abastecimento planejado que causem impactos na montagem de aeronaves, além de dimensionar esses impactos.

Para tal, houve a necessidade de se integrar três áreas do conhecimento distintas:

- gestão da cadeia de suprimentos;
- planejamento e controle da produção (PCP) (que no caso está associado à Gestão de Projetos); e
- simulação de eventos discretos.

Pode-se afirmar que a grande dificuldade na consecução do objetivo está na criação de um modelo capaz de integrar dois grupos de fatores. O primeiro é relativo ao abastecimento de materiais à produção e o segundo refere-se às restrições da manufatura dos produtos. Assim, os objetivos desta pesquisa podem ser alcançados respondendo a duas perguntas:

- um certo material irá faltar ou atrasar?
- qual o impacto na montagem do produto ocasionado pela falta ou atraso de um certo material?

Para se responder à primeira questão, é necessário compreender o funcionamento da cadeia de suprimento. Baseando-se no levantamento bibliográfico realizado no capítulo anterior, detalha-se essa questão na Seção 3.2.

A segunda pergunta é respondida por meio do uso de ferramentas computacionais, com a capacidade de comparar as informações de abastecimento com as de manufatura, avaliando a sequência lógica de montagem dos materiais, assim como a precedência entre as atividades envolvidas. Esse assunto será explorado na Seção 3.3.

3.2. A ESTRUTURA DE ABASTECIMENTO DE INDÚSTRIAS

AERONÁUTICAS

Segundo Christopher (2002), o embarque, a consolidação, a liberação alfandegária e o próprio transporte, tudo contribui para atrasos e variações nos prazos da cadeia de suprimento. Esse mesmo autor completa afirmando que “a experiência confirma que este é um dos maiores problemas para as companhias que operam globalmente”, e, como consequência, as empresas tendem a compensar essa falta de confiabilidade fazendo pedidos maiores, duplicando os estoques reguladores e exercendo pressão sobre a fabricação e organização da cadeia.

Porém, voltando à realidade das indústrias aeronáuticas, nas quais boa parte dos insumos possui um alto valor agregado ou, ainda, são exclusivos e dedicados a um único produto já encomendado (*make to order*), além do risco de obsolescência do material, torna-se difícil, e por vezes inviável, assumir aumentos nos estoques da empresa, o que fortalece a necessidade de atuar sobre a organização e a agilidade da cadeia de suprimentos, destacando a importância do papel do planejamento de materiais nas indústrias aeronáuticas (Almeida *et al.*, 2006).

Para tal, há a necessidade do entendimento dos processos de aquisição desses materiais. Primeiramente, cabe ressaltar que os componentes utilizados na fabricação de aeronaves são, na maioria, fabricados por empresas européias e norte-americanas,

assim boa parte dos itens aqui tratados é adquirida por meio de um processo de importação que pode ser dividido em três fases: na primeira o fornecedor ainda é responsável pelo material, ou seja, ainda está fabricando o insumo, ou o possui em seus estoques. Nessa etapa as empresas se relacionam por meio de um documento que aciona o fornecimento (ou compra) do material, a PO (*Purchase Order* ou Ordem de Compra – OC); na segunda fase o material já foi transferido a um agente transportador (usualmente chamado de agente embarcador), e uma *Invoice* (documento equivalente a uma nota fiscal) é emitida para o pagamento do insumo. Com a consolidação da carga a ser transportada o agente emite outro documento, o *House*, necessário para o transporte e recebimento da carga no Brasil; por fim, o material é recebido pela empresa, ainda consolidado a outros materiais que foram transportados juntos, e recebe outra identificação (Lote), usada no processo de “inspeção de recebimento”, e só após isso o insumo é efetivamente estocado e fica disponível para uso.

A Figura 12 apresenta as fases desse processo.

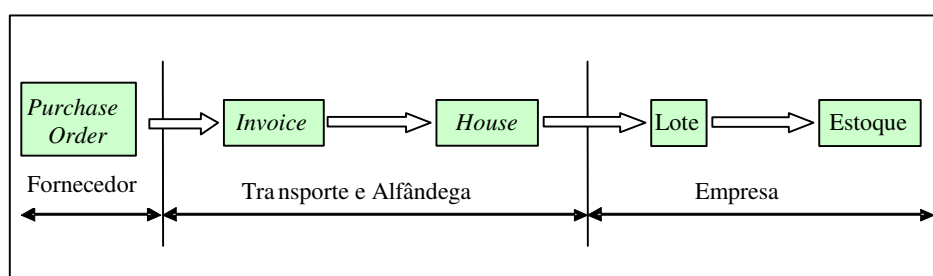


Figura 12 - Fluxo de aquisição de materiais importados

Assim, a Figura 13, diferentemente da Figura 2, destaca os elos da cadeia de suprimentos envolvidos na análise que este estudo se propõe a abordar.

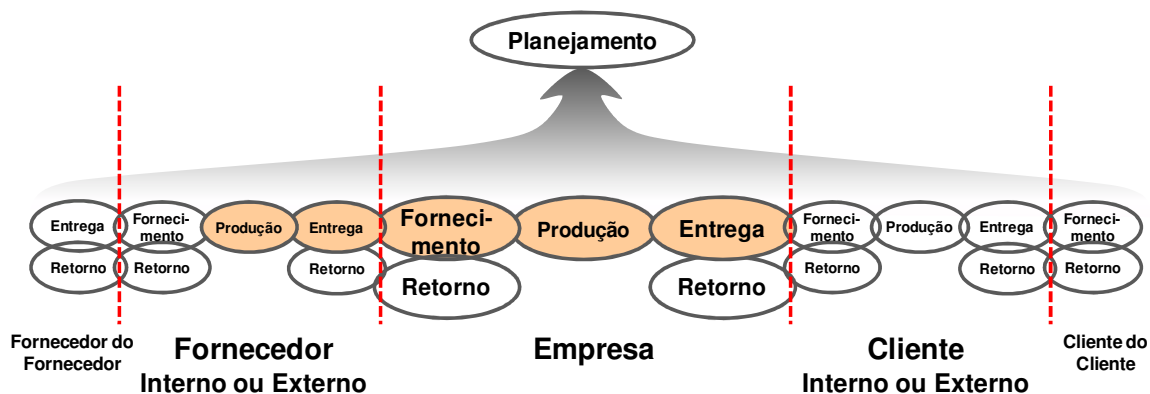


Figura 13 - Elos da Cadeia de Suprimentos envolvidos no estudo. Fonte: adaptado de *Supply Chain Council* (2003)

Um segundo grupo de insumos possui um fluxo similar, mas um pouco mais simples. São materiais adquiridos no mercado nacional, e que, por consequência, não utilizam os processos de importação. É importante ressaltar que itens de produção nacional usualmente possuem um ciclo de aquisição bem menor que produtos importados. A Figura 14 representa o fluxo de aquisição desses insumos.

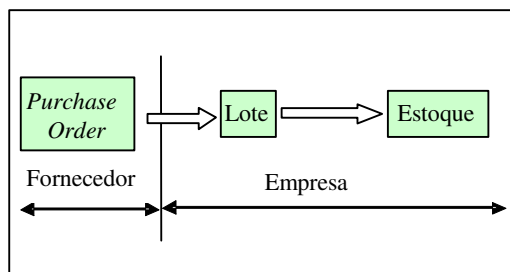


Figura 14 - Fluxo de aquisição de materiais nacionais

O último grupo de insumos refere-se a materiais que a própria empresa produz em suas instalações. Nesse caso, uma ordem de fabricação aciona a produção do item, proporcionando uma agilidade muito superior aos dois primeiros fluxos e, portanto, normalmente os atrasos de tais insumos são pequenos, sendo facilmente absorvidos no processo de montagem das aeronaves. Esse fluxo é apresentado na Figura 15.

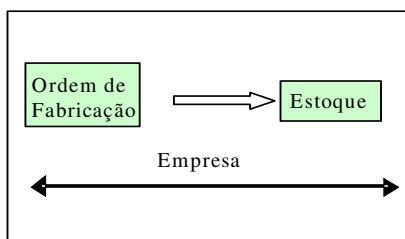


Figura 15 - Fluxo de aquisição de materiais fabricados internamente

Assim, o grande desafio deste trabalho está em ser capaz de acompanhar cada etapa dos três fluxos acima mencionados, avaliando se as datas previstas da disponibilização do insumo nos estoques da empresa são inferiores às datas planejadas (pelo *Material Requirements Planning* - MRP da empresa) de utilização do material na montagem. A análise demanda um grande esforço computacional, uma vez que, tratando-se do relacionamento entre empresas distintas, é comum a existência de vários sistemas de informação distintos que necessitam ser integrados para o acompanhamento do fluxo de informações relativo a tais insumos. A seguir apresenta-se a proposta para tal questão.

3.2.1. Grade de cobertura

“Comprar no momento correto e na quantidade correta pode ter impactos no desempenho da empresa em termos de velocidade de entrega, confiabilidade de entrega e flexibilidade” (Slack *et al.*, 2002). Logo, a identificação da quantidade correta e do momento adequado à entrega dos materiais encomendados devem ser calculados levando em consideração as características do mercado fornecedor, assim como dos níveis atuais de estoque e da previsão de demanda futura. Por exemplo, o processo de compras internacionais quando envolver transportes marítimos pode requerer pedidos realizados com meses de antecedência da entrega, o que pode ser ainda maior quando há restrições de capacidade de fornecimento, seja por restrições do mercado, ciclo de produção do material ou qualquer outra variável.

O grande volume de itens necessários à fabricação de uma aeronave, em suas diferentes etapas no processo de aquisição, cria um universo de informações muito grande para ser tratado com facilidade. Dessa forma, é necessária uma análise prévia

dos dados relativos à aquisição dos materiais, isto é, para cada item demandado é necessária a existência de um abastecimento (evidenciado pela existência de um documento), que atenda a um prazo limite determinado pela demanda. Caso o suprimento não atenda à demanda projetada tem-se então uma lacuna no abastecimento.

O Quadro 3 apresenta um modelo de como esta análise pode ser feita. O modelo consiste de uma grade das demandas e a relativa forma de abastecimento projetada. No Quadro 3, cada célula apresenta o meio pelo qual uma demanda será suprida.

Utilizam-se as seguintes abreviações:

- Pr - Produto
- Stk – Demanda de material atendido por um estoque já disponibilizado na empresa;
- Lot – Demanda de material atendida por um material em processo de inspeção no recebimento da empresa;
- Hou – Demanda de material atendida por uma *House*, documento necessário ao processo de transporte e alfandegário;
- Inv – Demanda de material atendida por uma *Invoice*, documento emitido pelo fornecedor (equivalente à nota fiscal);
- PO – Demanda de material atendida por uma *Purchase Order*, ou ordem de compra;
- OF – Ordem de Fabricação, documento interno à empresa, gerado a partir da ferramenta de MRP da empresa, que determina a fabricação ou montagem de um item;
- ñcob – Demanda de material sem abastecimento que atenda à data de consumo.

	Pr 1	Pr 2	Pr 3	Pr 4	Pr 5	Pr 6	Pr 7	Pr 8	Pr 9
Material A	Stk	Stk	Lot	Lot	Hou	Inv	ñcob	ñcob	PO
Material B	Stk	Stk	Stk	Stk	Stk	Inv	Inv	PO	PO
Material C	Lot	Hou	ñcob	ñcob	ñcob	Inv	PO	ñcob	PO
Material D	Stk	Stk	ñcob	OF	OF	OF	OF	ñcob	OF

Quadro 3 – Grade de Cobertura

No Quadro 3 observam-se as lacunas no abastecimento indicadas pelo termo “ñcob”, indicando, por exemplo, que a demanda do Material A para o produto Pr7 não esta sendo atendida por nenhum abastecimento previsto. Assim, a demanda existente do Material A para o Produto Pr7 somente será suprida pela a PO projetada para atender ao Produto Pr9, ou seja, projeta-se um atraso desse material que poderá ou não ser absorvido pela manufatura, o que será assunto da próxima Seção 3.3. Ressalta-se que o atendimento ao Produto Pr7 pela PO, que antes atendia o Produto Pr9, causa a necessidade de se recalcular a cobertura do Produto Pr9 e possivelmente esse se tornará “ñcob”.

O Quadro 3 fornece uma visão importante para a programação de materiais da empresa, fornecendo-lhe uma imagem de pontos importantes para se atuar com o objetivo de minimizar a quantidade de itens faltantes na produção.

Além disso, a Grade de Cobertura permite, também, observar a possibilidade de uma simplificação nos dados que serão trabalhados na simulação, pois apenas as demandas cujos abastecimentos estejam identificados como “ñcob”, ou seja, não atendem as datas de consumo, serão objeto de preocupação. Assim, há uma redução significativa da quantidade de dados necessários à simulação do sistema, o que melhora bastante o desempenho computacional do modelo, como se verá na Seção 4.5.1.

3.3. CONTROLE DE PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

Os produtos manufaturados na indústria aeronáutica possuem uma característica importante: são únicos (OLIVEIRA, 2005). Isto se destaca à medida que se abordam aviões maiores, dada a grande quantidade de itens opcionais disponíveis para escolha dos clientes. Além disso, o processo de melhoria do produto desenvolvido pelas empresas pertencentes às cadeias de suprimentos aeronáuticas promove modificações de várias peças. Desta maneira, é praticamente impossível produzir dois produtos sem que haja diferenças entre suas peças e, portanto, diferenças no processo produtivo.

Dessa forma, cada aeronave produzida pela empresa é um produto diferenciado, ou melhor, um projeto diferenciado, demandando uma gestão dedicada que por sua vez é realizada por meio de ferramentas de gestão de projetos, capaz de controlar as diversas atividades de montagens, seu sequenciamento e interdependência.

Conforme abordado na Seção 2.3.2, o controle de produção de indústrias aeronáuticas necessita gerenciar a produção de múltiplos projetos, em diferentes etapas de produção, compartilhando recursos, e apesar das similaridades, deve-se manufaturar produtos diferentes. Assim, apoiado por ferramentas de gestão de projetos, o PCP busca a otimização do uso dos recursos compartilhados e a minimização do ciclo de montagem do produto.

Além disso, o controle de produção tem de lidar com falhas do abastecimento. Com a identificação das datas de disponibilidade dos materiais atrasados é possível identificar quais atividades sofrerão diretamente a impossibilidade de execução, conforme planejado. O atraso nessas atividades pode desencadear atrasos em atividades sucessoras, ou seja, naquelas com dependência de tais atividades para serem executadas. O caminho crítico planejado previamente se altera no decorrer da montagem, uma vez que as atividades sofrem alterações em seus ciclos planejados, devido aos atrasos no abastecimento (ALMEIDA *et al.*, 2006). Entretanto, acompanhar cada alteração, em cada atividade, estando ou não ela no caminho crítico da montagem, baseando-se em cada componente necessário à montagem, é um processo

complexo. Além disso, há necessidade de se identificar qual material está efetivamente impactando o término da montagem.

Constata-se que o atraso em uma atividade não é totalmente transferido para as próximas, uma vez que o processo produtivo possui certa capacidade de absorção e isso se deve, basicamente, a dois fatores. O primeiro é a possibilidade de realização de horas-extras. O segundo fator de recuperação refere-se a existência de “folgas” planejadas, ou seja, atividades fictícias inseridas na seqüência produtiva com o propósito da recuperação de atrasos na produção, derivados ou não da falta de insumos. A Figura 16 mostra um exemplo de como estas atividades são inseridas na seqüência produtiva.

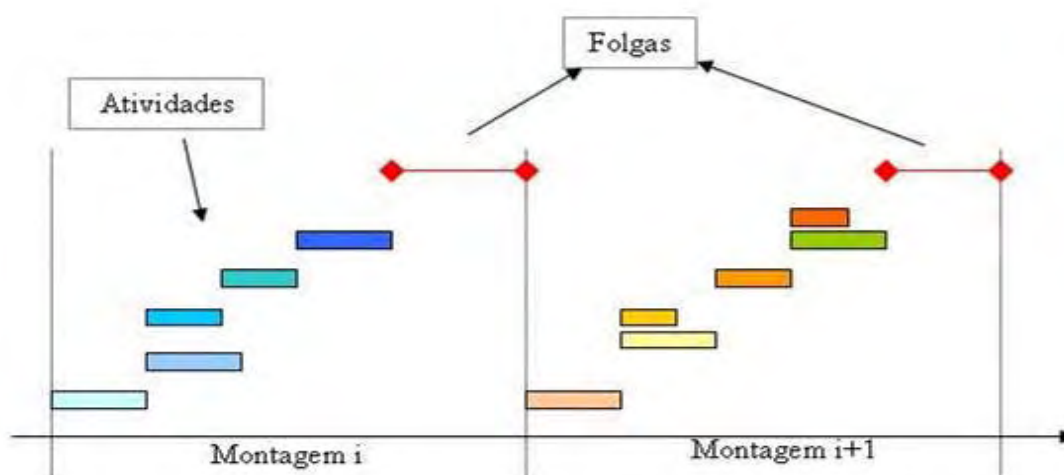


Figura 16 – Folgas na Seqüência de Montagens

Outra característica encontrada no processo produtivo de indústrias aeronáuticas está nas limitações dos recursos necessários à montagem, mais especificamente ao espaço físico necessário à montagem (hangares de montagem, cabines de pintura), uma vez que se refere aos produtos de grandes dimensões. Essa restrição pode, muitas vezes, provocar a necessidade da montagem de componentes atrasados em etapas posteriores à do roteiro de produção original, isto é, existe a necessidade de se finalizar a montagem fora dos recursos previamente determinados para essa função. Na impossibilidade ocorrerão impactos nas atividades produtivas do próximo produto que, segundo o plano de produção, irá ocupar o mesmo recurso (espaço físico) no ambiente de montagem. Ou seja, é possível identificar-se a propagação do atraso de um produto

(NS – número de série) em outro, como se observa na Figura 17, indicado como o “atraso na saída do NS-XXX”, onde o termo ‘XXX’ indica um valor qualquer da sequência de produção.

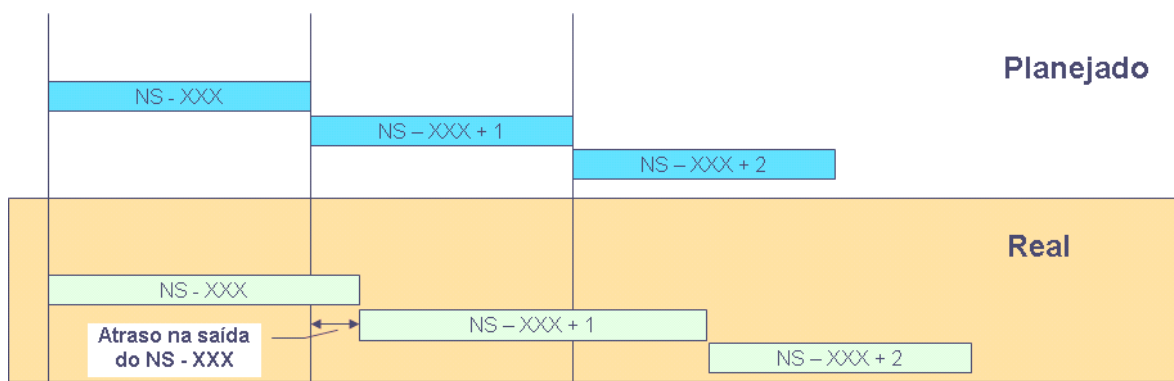


Figura 17 - Propagação do Atraso em um Próximo Produto

3.4. O SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PROPOSTO

Segundo Vieira e César (2005), dada a complexidade geralmente existente em uma cadeia de suprimentos, modelos de Simulação de Eventos Discretos são um dos poucos meios de capturar a natureza dinâmica do sistema de uma forma realista.

Como comentado na Seção 2.4.2, a Simulação de Eventos Discretos oferece vantagens que favorecem a sua aplicação no problema em questão.

Tal problema consiste em avaliar se o atraso na disponibilidade de um dado material pode ser absorvido pela flexibilidade existente na rede de atividades da produção, ou irá resultar em um atraso no término da montagem do produto simulado.

Identificando-se os atrasos de cada item (conforme abordado na Seção 3.2) é possível simular o impacto causado na montagem do produto; para tanto, faz-se necessário um modelo capaz de representar o processo produtivo e a sequência de montagem, além da capacidade de absorção e recuperação dos atrasos de fornecimento pelo sistema produtivo.

O SAD proposto baseia-se em uma adaptação da estrutura desenvolvida para a criação de modelos de Pesquisa Operacional (Law e Kelton, 1991; Simonetto *et al.*,

2004) e do método de simulação abordado na Seção 2.4.4 (Chwif e Medina, 2006; Harrell e Tumay, 1995; Kelton *et al.*, 1998; Pegden *et al.*, 1990; Banks, 1998) e, por se tratar de um estudo aplicado em uma cadeia de suprimentos, foram adotados também alguns procedimentos sugeridos por Chang e Makatsoris (2001), seguindo, então, a seguinte estrutura:

1. **identificação na cadeia de suprimentos** – visa identificar e descrever os elos da cadeia, evidenciando os problemas de abastecimento, suas origens e repercussão no sistema. Aqui se definem os objetivos do estudo;
2. **análise do ambiente na empresa** – identificações das variáveis que realmente influenciam no sistema e como o fazem, avaliando os dados que são necessários à modelagem da cadeia de suprimentos;
3. **construção de modelo de simulação** – representação do sistema, descrevendo os elos da cadeia e as variáveis do sistema em uma linguagem que permita o entendimento do projetista do modelo e de todos participantes do estudo;
4. **implementação computacional da solução** - utilizando-se de ferramentas de modelagem, desenvolver o modelo computacional do sistema;
5. **validação da solução** – por meio da comparação dos resultados obtidos no modelo e o comportamento real do sistema; e
6. **avaliação dos resultados obtidos** – a análise dos resultados da simulação suportará as decisões de ações na cadeia de suprimentos.

O SAD proposto neste estudo demanda o envolvimento dos conceitos apresentados no Capítulo 2. O Quadro 4 apresenta como cada uma das 6 fases propostas no estudo se relaciona aos conceitos relatados.

Etapas	Área de Conhecimento Envolvida
Avaliação da Cadeia de Suprimentos	Gestão da Cadeia de Suprimentos
Análise do Ambiente da Empresa	Planejamento de Controle da Produção Gerenciamento de Projetos
Construção do Modelo Formal	Simulação de Eventos Discretos
Implementação Computacional	Simulação de Eventos Discretos
Validação da Solução	Gestão da Cadeia de Suprimentos Planejamento de Controle da Produção Gerenciamento de Projetos Simulação de Eventos Discretos
Avaliação dos Resultados	Gestão da Cadeia de Suprimentos Planejamento de Controle da Produção Gerenciamento de Projetos Simulação de Eventos Discretos

Quadro 4 – Etapas e áreas de conhecimento envolvidas no SAD

Assim, o SAD proposto requer a integração entre os insumos necessários à manufatura (apresentados pela Grade de Cobertura) com a seqüência de montagem dos produtos (apresenta pela Rede de Precedência), o que é realizado através de um modelo de simulação, que agrega também as limitações apresentadas pelos recursos de montagem disponíveis (Docas). Obtendo-se desta forma a projeção do atraso na montagem e a relação dos materiais causadores deste. A Figura 18 apresenta como se estrutura o sistema.

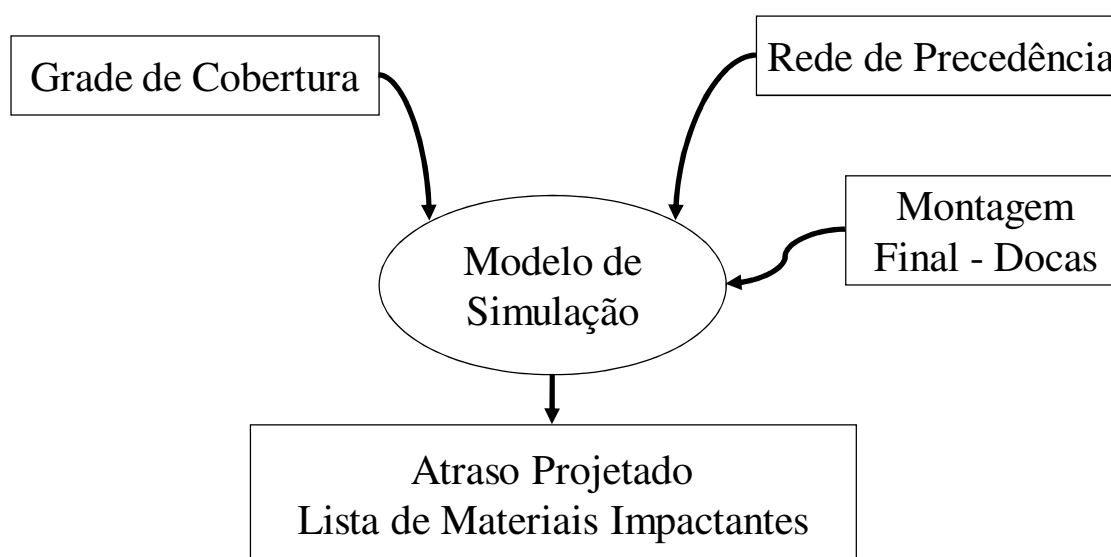


Figura 18 – Estrutura do SAD

4. APLICAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PROPOSTO

Este capítulo faz referência à aplicação do SAD proposto em um caso real. Para isso, contou-se com a estrutura de uma empresa aeronáutica brasileira, na qual o modelo foi desenvolvido e seus resultados avaliados. O desenvolvimento da aplicação perseguiu fielmente as etapas propostas na Seção 3.4; entretanto, este capítulo não buscou apresentar detalhes relativos às lógicas de exploração aos bancos de dados, nem mesmo às lógicas desenvolvidas para a comunicação entre as diferentes ferramentas utilizadas. Por outro lado, o foco foi apresentar a aplicação do SAD em um caso real e como foi realizado o tratamento aos dados do problema.

4.1. DESCRIÇÃO DO CASO

A empresa pesquisada atua no setor aeroespacial brasileiro há mais de 36 anos, é considerada uma das maiores empresas do ramo comercial no mundo. Entretanto, a cadeia de suprimentos da organização tem uma forte participação de empresas internacionais, principalmente americanas e européias.

Dessa forma, é fator vital à empresa um bom desempenho do sistema de abastecimento, uma vez que os ciclos logísticos são grandes e envolvem diversas etapas para a entrega dos insumos à linha de montagem.

O SAD proposto foi aplicado na manufatura de dois produtos diferentes que compartilham os mesmos recursos da empresa estudada, designados Produto A e Produto B. Estes bens contam também com uma identificação que caracteriza cada produto, designada Número de Série (NS).

Conforme discorrido na Seção 3.4, o método utilizado para a resolução deste estudo conta com 6 (seis) etapas, cada qual apresentada a seguir.

4.2. IDENTIFICAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Esta primeira etapa do modelo proposto busca delimitar e esclarecer o ambiente a ser modelado, ou seja, evidenciar quais elos da cadeia de suprimentos estão envolvidos no problema e como contribuem para o resultado do sistema. A Figura 13 apresentada anteriormente destaca de forma global tais elos. Nela podemos destacar o envolvimento do fornecedor direto e da empresa como participantes do processo de abastecimento e manufatura.

Uma visão mais detalhada da cadeia de suprimentos estudada pode ser vista na Figura 19, em que se evidencia o envolvimento do Fornecedor, da Logística e da Empresa.

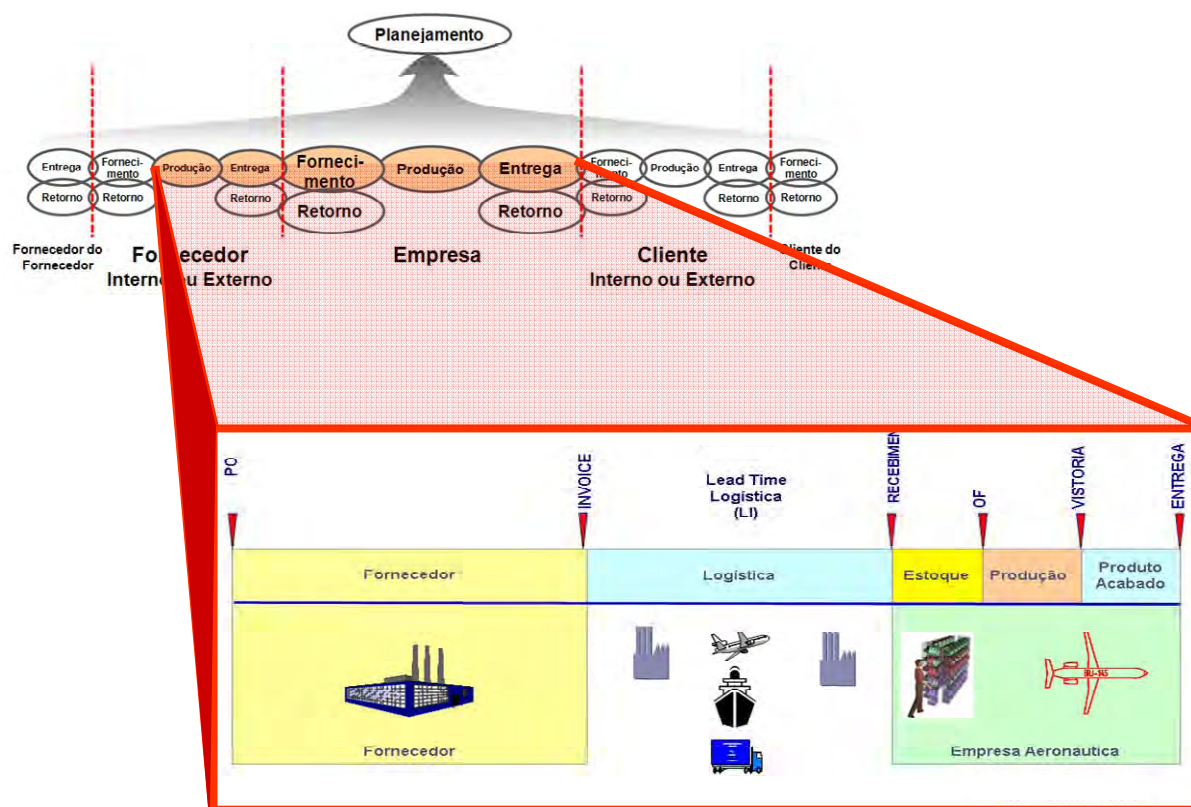


Figura 19 - Detalhamento dos processos simulados

4.3. ANÁLISE DO AMBIENTE DA EMPRESA

O uso de técnicas de Simulação de Eventos Discretos pressupõe certas simplificações da realidade para a construção dos modelos computacionais. Assim, faz-se necessário identificar quais variáveis propiciam alterações nos resultados do sistema para obter-se os dados necessários à modelagem.

Entretanto, nem todas variáveis são facilmente identificáveis, o que demanda experiência dos envolvidos no estudo e, principalmente, o responsável pela construção do modelo de simulação para se determinar quais variáveis podem ser descartadas e quais são fundamentais.

Conforme discorrido na Seção 3.1, esse estudo envolve dois grandes grupos de fatores: o primeiro refere-se ao processo de abastecimento e o segundo ao de manufatura. A seguir apresenta-se o tratamento dado a tais fatores.

4.3.1. Abastecimento

O modelo necessita ser capaz de coletar e tratar os dados relativos à disponibilização dos materiais em estoque. Ou seja, é necessário obter a previsão de fornecimento dos insumos necessário à montagem, e a partir disso prever possíveis falhas no abastecimento futuro (conhecidas como “não coberturas”).

O primeiro fator a ser tratado refere-se aos itens considerados “Não Cobertos”, ou seja, itens cuja previsão de fornecimento não atende às datas projetadas para o consumo ou utilização pela montagem do produto. Esses insumos são tratados por meio de uma grade nomeada “grade de cobertura”. As Figuras 20 e 21 apresentam, respectivamente, exemplos dessa grade para alguns itens comprados e fabricados internamente pela própria empresa.

		NS	100	101	80	102	81	103	82	104	83	105	84	85	106	107
		PROJETO	A	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	B	A	A
CEMB	DESCRIÇÃO	ESTOQUE ATUAL														
1131245	ESPACADOR	12	STK	STK	STK	STK	STK	STK	STK	STK	STK	STK	STK	STK	PO	PO
			11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	2	1
756456	BUCHA FLANGEADA	3	STK	STK	STK	LOT	HOU	HOU	INV	PO	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob
			2	1	0	0	2	1	0	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
7402455	BUCHA	2	STK	STK	LOT	HOU	HOU	INV	PO	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob
			1	0	0	1	0	0	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
556645	PINO	0	LOT	LOT	HOU	HOU	Ñcob	INV	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob
			1	0	1	0	-1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8
658454	BUCHA LISA	3	STK	STK	STK	LOT	LOT	HOU	INV	PO	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob
			2	1	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
321654	BUCHA	2	STK	STK	LOT	LOT	HOU	HOU	Ñcob	PO	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob
			1	0	1	0	1	0	-1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
896654	TAMPA	3	STK	STK	STK	HOU	HOU	HOU	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob
			2	1	0	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8

Figura 20 – Exemplo da Grade de Cobertura de Materiais Comprados.

		NS	100	101	80	102	81	103
		PROJETO	A	A	B	A	B	A
CEMB	DESCRIÇÃO	ESTOQUE ATUAL						
2085023	ESPACADOR	22		STK		OF		Ñcob
			22	5	5	10	10	-5
2291591	BUCHA FLANGEADA	6	STK	STK	STK	STK	STK	STK
			5	4	3	2	1	0
2502422	BUCHA	2	STK	Ñcob		OF		OF
			0	-2	-2	6	6	4
3968084	ESPACADOR	14	STK	STK	STK	Ñcob	OF	OF
			9	4	0	-5	20	15
7288885	TAMPA DE PROTECAO	1	STK	OF	OF	OF	OF	OF
			0	20	19	18	17	16
7301107	SUPORTE CONJ	5	Ñcob	OF	OF	OF	OF	OF
			-5	20	15	10	5	20
7301141	SELO CONJ	1	Ñcob	Ñcob	Ñcob	Ñcob	OF	OF
			-1	-3	-5	-7	15	13
2673991	PINO	4	STK	STK	STK	STK	Ñcob	OF
			3	2	1	0	-1	4
2847603	BUCHA LISA	3	STK	STK	STK	Ñcob	OF	OF
			2	1	0	-1	7	6
319514	BUCHA	2	STK	STK	OF	OF	OF	OF
			1	0	25	24	23	22
3217558	TAMPA	3	STK	STK	STK	Ñcob	OF	OF
			2	1	0	-1	6	12

Figura 21 – Exemplo da Grade de Cobertura de Materiais Fabricados Internamente.

A visão antecipada da falta de materiais à montagem é necessária tanto para materiais comprados de fontes externas à empresa, como de itens de fabricação interna. Para tal, a ferramenta desenvolvida é capaz de realizar várias consultas aos bancos da empresa e confrontar as demandas com o fornecimento de cada material.

Como se observa em ambas as grades, há duas linhas relativas a um mesmo item (CEMB-Código da peça); a primeira linha é relativa à forma de cobertura prevista a cada produto (NS - número de série) e projeto, indicados pelas colunas, enquanto a segunda linha representa o nível de estoque na empresa na respectiva data de necessidade do item para cada número de série e projeto indicados.

Observa-se a existência de “estoques negativos” em alguns aviões, o que indica que uma dada demanda não será atendida em sua data de necessidade; são nesses momentos que surge uma indicação de uma falta provável no futuro e, portanto, pode-se estar diante de um item causador de atrasos à montagem.

Assim, a Grade de Cobertura propicia a obtenção do primeiro resultado esperado pelo estudo: a relação dos insumos com projeção de falhas no abastecimento. Além disso, é a fonte principal de informações para a resposta do segundo resultado esperado, a identificação de quais insumos “não-cobertos” efetivamente não pode ter seus atrasos absorvidos pela montagem, o que veremos na seção a seguir.

4.3.2. Manufatura

Existe uma grande quantidade de versões disponíveis para cada modelo de aeronave, dada a grande quantidade de itens opcionais disponíveis para escolha dos clientes. Contudo, a instalação de alguns itens pode definir grandes diferenças entre as aeronaves definindo, também, materiais específicos. Dessa forma, cada aeronave produzida é um produto diferenciado, ou, melhor ainda, um projeto diferenciado, demandando uma gestão dedicada à sua montagem.

Para se administrar a fabricação de várias aeronaves ao mesmo tempo, ou seja, gerir os múltiplos projetos simultaneamente desenvolvidos, a empresa se apóia em uma ferramenta de gestão de projeto (o *software* Primavera P3e[®]), capaz de controlar as diversas atividades de montagens, seu seqüenciamento e sua interdependência.

O Primavera P3e[®] foi escolhido pela empresa por possuir algoritmos de otimização capaz de minimizar o ciclo de montagem da aeronave. Além disso, é uma ferramenta capaz de se integrar com bancos de dados e, portanto, a montagem do produto pode ser acompanhada sistemicamente.

A rede de precedência utilizada pela empresa possibilita a análise do ciclo de montagem das aeronaves baseando-se no percentual de “completamento”, ou percentual de execução, de cada atividade e da precedência entre tais atividades. Assim pode-se obter uma previsão do término da montagem. Entretanto, por limitações na capacidade de processamento dos servidores da empresa, o Primavera P3e[®] não está preparado para considerar atividades que não possam se concluir devido à falta de materiais necessários à montagem.

A associação dos materiais necessários às atividades poderia ser feita por meio do número da Ordem de Fabricação associado à cada atividade e com consultas ao MRP da empresa, identificando-se cada item necessário à montagem. Este estudo buscou outra abordagem para construção dessa associação, o que será abordado na Seção 4.5.1.

4.4. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Identificando-se os atrasos de cada item é possível prever o atraso total da montagem do produto. Para tanto, é necessário um modelo capaz de representar o processo produtivo e a seqüência de montagem, além da capacidade de absorção e recuperação dos atrasos de fornecimento pelo sistema produtivo.

A Figura 22 apresenta um fluxograma contendo cada etapa necessária à execução do SAD. Nela podem ser identificadas duas etapas de grande carga de processamento (marcadas na cor verde), em que as principais variáveis do sistema são tratadas.

A primeira delas é destinada à avaliação das variáveis de abastecimento, obtendo-se como resultado a identificação dos materiais sem cobertura e a data prevista de suprimento à demanda projetada pelo MRP da empresa.

A segunda etapa refere-se às variáveis de manufatura. Nela, os materiais sem cobertura antes identificados são submetidos à rede de precedência das atividades da montagem. Como resultado dessa análise obtém-se a data de término projetada do produto.

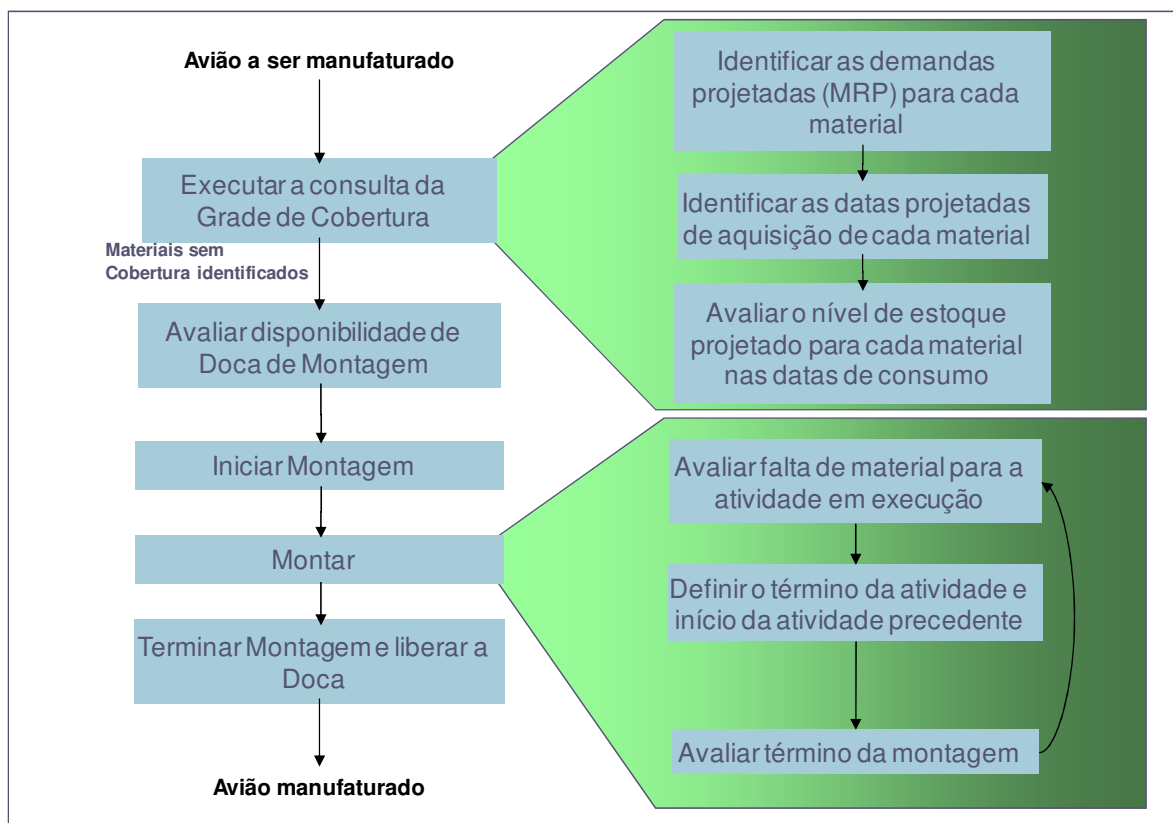


Figura 22 - Fluxograma de execução do modelo

4.5. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DA SOLUÇÃO

O modelo de simulação foi criado utilizando o *software* Arena[®] na versão 3.5, dada a facilidade de sua utilização e capacidade de trocar dados com outras ferramentas do MS Office[®], outros programas poderiam ser utilizados, entretanto a empresa possui o *software* em questão e o disponibilizou para esse estudo.

O uso da Simulação de Eventos Discretos foi adotado graças à facilidade de desenvolvimento do modelo, além disso, o estudo realizado na empresa em questão foi criado sob a perspectiva de aplicação em outras análises, como será abordado na Seção 5.2, o que demandaria o uso de tal ferramenta.

O processamento do modelo proposto requer uma grande quantidade de dados, que, por sua vez, são armazenadas em diversos bancos de dados, cada qual relativo a uma parte da cadeia de suprimentos.

A Figura 23 apresenta a estrutura de funcionamento do modelo apresentando suas entradas (Fluxo de Materiais, Recursos Disponíveis e PCP – Seqüenciamento da Produção) e suas saídas.

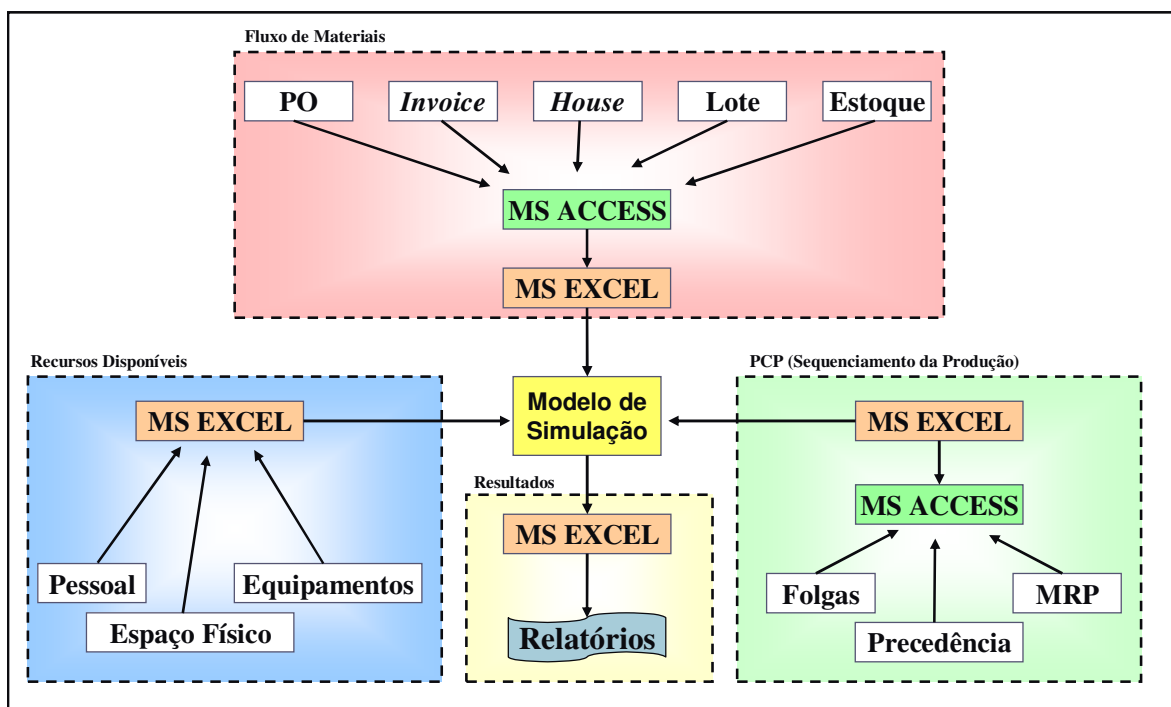


Figura 23 – Estrutura do modelo

A estrutura de funcionamento do modelo está dividida em 4 (quatro) áreas básicas:

- a primeira refere-se ao fluxo de materiais, ou seja, determina-se quando cada material necessário à montagem estará disponível em estoque. Para tal, é necessária a exploração de toda Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*) da empresa de onde se obtém uma data de previsão de chegada de cada material na empresa. A Grade de Cobertura, como abordado na Seção 3.2.1, realiza tal exploração;
- a segunda área diz respeito ao PCP, incluindo a seqüência de produção, folgas, margens planejadas e ciclo de montagem planejado. Essas informações são obtidas por meio do MRP da empresa, da Rede de Precedência e de diretrizes empresariais que definem os limites aceitáveis

de realização de horas extras e, portanto, da capacidade de recuperação de possíveis atrasos na montagem;

- a terceira área está relacionada aos recursos disponíveis, como pessoal, máquinas, equipamentos e espaço físico. Para este estudo, entretanto, apenas o último recurso foi abordado. Considerou-se a disponibilidade de 7 (sete) docas produtivas, ou seja, existe espaço físico que possibilita a montagem de 7 (sete) aeronaves simultaneamente. Ressalta-se que este valor não representa a realidade da empresa simulada para se preservar o sigilo de tal informação;
- por fim, o modelo criado no *software* Arena[®] exporta os resultados da simulação para o Excel[®], no qual são apresentados na forma de relatório para análise.

Entretanto, a quantidade de informações que o modelo necessita tratar é bastante grande, o que torna o tempo de processamento um fator decisivo para o uso da ferramenta. Dessa forma, há necessidade de várias interfaces com bancos de dados distintos, porém seria inviável obter todas essas informações durante a execução do modelo, uma vez que as bases são de uso corporativo.

A seguir apresenta-se como o modelo construído aborda suas 3 (três) entradas de dados.

4.5.1. O Uso da Grade de Cobertura no Modelo

A Grade de Cobertura é a principal fonte de dados do modelo. Ela indica a data de disponibilidade de cada material, que, contraposta com as datas de necessidade, podem apontar quais materiais estarão atrasados, refletindo assim nas montagens.

Entretanto, a montagem final das aeronaves consome mais de 10.000 itens diferentes e, com esse nível de dados a serem analisados, o tempo despendido para a simulação pode se estender por várias horas. Por outro lado, dos aproximados 10.000 itens, apenas cerca de 500 representam os principais itens que historicamente têm causado atraso nas montagens.

Dessa forma, uma simulação que considere esses itens principais já é de grande representação, tal fato foi comprovado mediante várias análises simuladas, as quais serão abordadas na Seção 4.7.

Como maneira de se assegurar que itens secundários não sejam indevidamente descartados, as simulações realizadas consideraram cerca de 1.000 itens, selecionados considerando, além do histórico, a sua relevância na montagem.

Simulações considerando todos os itens da grade de cobertura podem levar mais de 10 horas para simular cerca de 4 (quatro) meses de produção, por outro lado, considerando-se apenas os 1.000 itens selecionados, a simulação demanda aproximadamente 1 hora para ser executada em um computador Pentium 4 com 1Gb de memória RAM.

4.5.2. A Utilização da Rede de Precedência no Modelo

Com a informação acerca de quais materiais irão apresentar atraso no fornecimento e as respectivas datas de disponibilização, pode-se identificar quais montagens na rede de precedência não poderão ser executadas conforme planejado pela falta de um certo material.

Assim, cada atividade identificada que necessitará de um material não disponível passa a ter uma data projetada de início na data de chegada do mesmo na empresa. Dessa forma, todas as atividades que sucedem à atividade atrasada também irão se atrasar. Entretanto, isso não significa que o produto terá o término de sua montagem atrasada, porque as atividades envolvidas podem não fazer parte do “caminho crítico” de montagem, ou seja, da seqüência de atividades que definem a data final de montagem.

Um fator importante é a existência, na própria rede de precedências da empresa, atividades denominadas “folgas”, que são atividades planejadas como uma margem de segurança para absorver atrasos da montagem provenientes ou não da falta de materiais. Assim, as atividades que se encontrarem atrasadas poderão ter seu atraso absorvidos pelas atividades de folga e logo a montagem não sofrerá atrasos. A Figura

16, apresentada na Seção 3.3, mostra como essas folgas são embutidas na sequência de montagem.

A Figura 24 apresenta a sequência de ações necessárias para a definição da data de término da montagem das aeronaves baseando-se na Rede de Precedência; na data de início da montagem; no calendário produtivo e na capacidade de absorção de atrasos. Nela, a Data de Início da Montagem na Doca é definida por meio da comparação entre o Calendário de Produção e a definição de disponibilidade de doca definida pela simulação (através do Excel[®] e do Arena[®]). Desta forma, é definida a data de início da primeira atividade da rede de precedência.

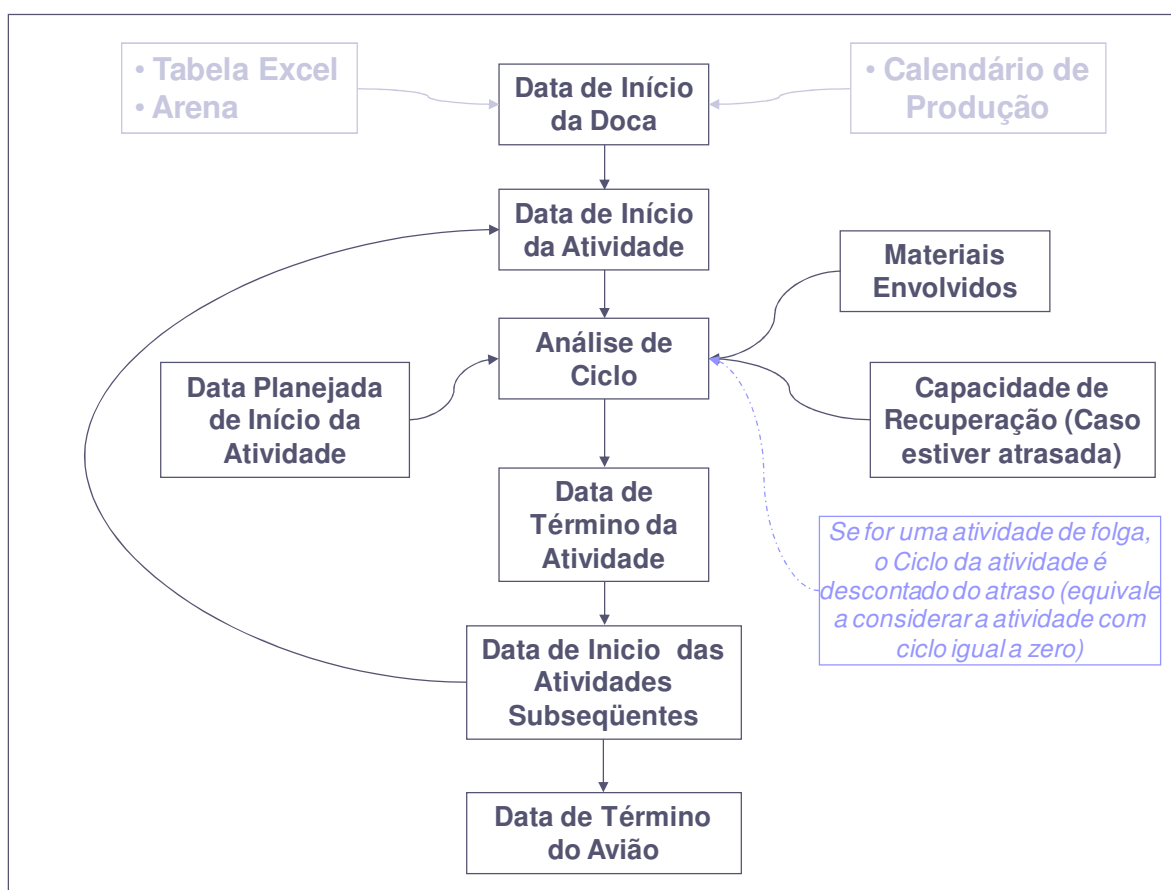


Figura 24 – Fluxograma da Análise da Rede de Precedência

Neste momento é realizada a Análise de Ciclo de cada atividade. Para tal, é necessário identificar se há falta de materiais, e, caso haja, quando o material será disponibilizado. Além disso, é necessário avaliar se a data planejada no início da

montagem está no passado, ou seja, a atividade está atrasada, e, neste caso, é necessário considerar a capacidade de recuperação desse atraso.

Dessa forma, é definida a Data de Término da Atividade, e a Data de início das Atividades Subseqüentes. Por meio da análise contínua é definida, também, a data de Término da Montagem do Produto.

4.5.3. Restrições de Recursos

A Simulação de Eventos Discretos foi utilizada neste estudo por duas razões principais. Primeiro, pela facilidade em seu uso, dada a capacidade de interação com as ferramentas de manipulação dos dados (Access[®] e Excel[®]). Segundo, pela possibilidade de se considerar o uso de recursos que limitam o processo e que podem sofrer variações futuras. Esse modelo considera 2 (dois) recursos disponíveis: docas e horas extras.

A disponibilidade de horas extras é usada pela ferramenta no cálculo de ciclo de montagem dos produtos, executado através do Excel[®] e Access[®].

Por outro lado, a quantidade de recursos docas é limitado, o que é representado no Arena[®] pela consideração da disponibilidade de 7 (sete) docas, entretanto destaca-se a capacidade do modelo criado de simular a disponibilidade de mais recursos, caso houver o interesse em simular outros cenários. Dessa forma, o modelo é capaz de considerar a impossibilidade de uma aeronave iniciar suas atividades até que haja disponibilidade de docas para a montagem. Entretanto, como a empresa considera a possibilidade de expansão de seus hangares, o modelo foi desenhado de forma a permitir variações de quantidade nos recursos.

4.5.4. O modelo no Arena

O modelo lógico implementado no Arena[®], apresentado na Figura 25, tem como principal função sincronizar as consultas necessárias de cada aeronave.

Inicialmente uma única entidade (produto) é criada (no bloco *Arrive*), e verifica-se a disponibilidade do recurso Doca para montagem (bloco *Scan*). Então é definida a

data de início planejado de montagem do produto (bloco *Assign*) e a lógica aciona um código Visual Basic® (bloco *VBA*) que, por sua vez, acessa uma planilha Excel® de controle que define a data de início simulado da montagem, conforme a comparação com as datas planejadas já abordadas. A planilha Excel®, ainda por meio do Visual Basic®, aciona uma consulta no Access® que devolve a data de término de montagem da aeronave, o que é atribuído à entidade pelo bloco *Assign* subsequente. A seguir um bloco *Delay* faz a entidade aguardar o momento correto de início da montagem na Doca e, então, ocupa o recurso (bloco *Server*); em paralelo uma nova entidade é criada (bloco *Duplicate*) e reinicia-se a lógica para uma aeronave seguinte. Por fim, o bloco *Depart* elimina a entidade da simulação.

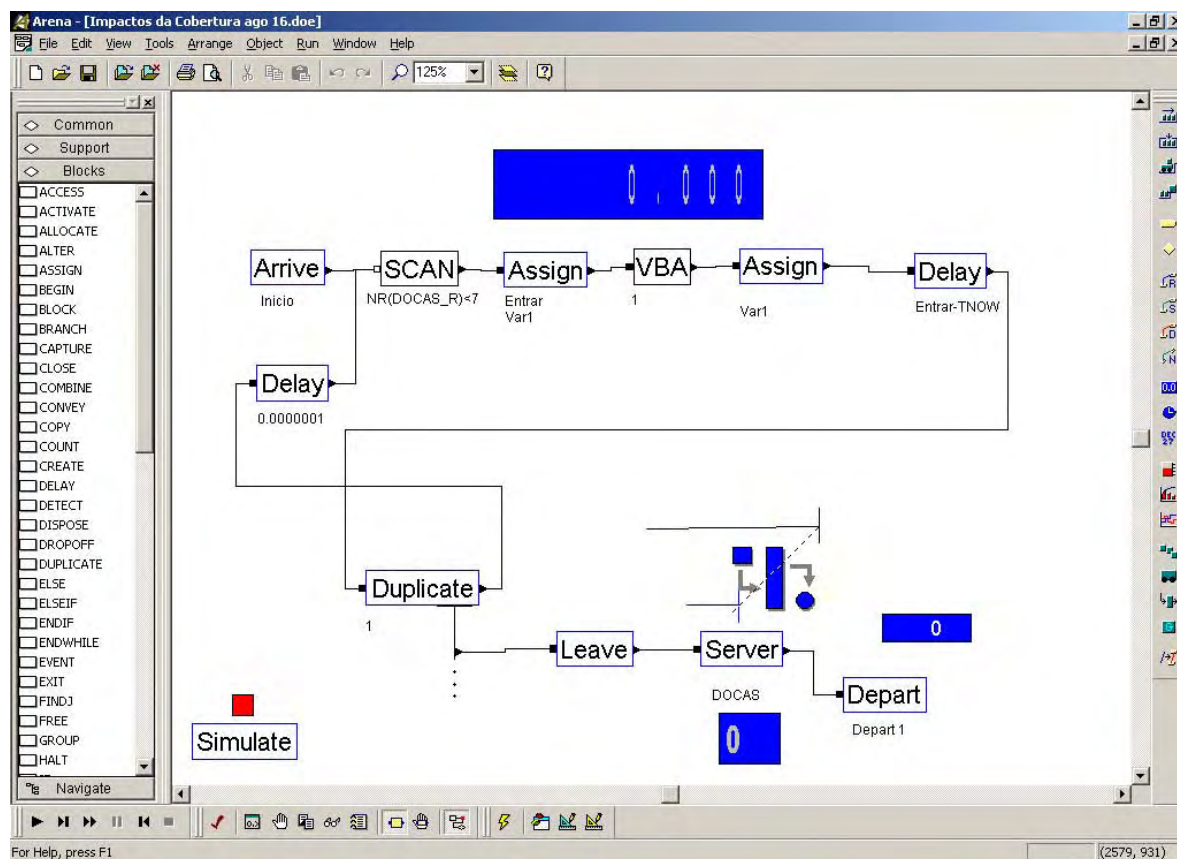


Figura 25 - Modelo Lógico

4.5.5. Execução do Modelo

A execução do modelo necessita da definição de alguns parâmetros inerentes ao cenário que se deseja simular. Para tal, o modelo foi desenvolvido de forma a solicitar ao usuário as definições dos parâmetros. A Figura 26 apresenta a janela de comunicação desenvolvida com esse intuito.

O primeiro parâmetro define a quantidade de horas de produção planejadas. A priori o valor não se altera, mantendo-se no valor padrão de 80 horas semanais.

A questão a seguir refere-se à quantidade de horas extras disponíveis durante a semana, excluindo-se as relativas aos sábados e domingos, que serão definidas nos próximos campos. Essa distinção é apenas funcional, ou seja, tem o propósito de deixar explícito ao usuário o cenário simulado; entretanto, para os cálculos de capacidade de recuperação, esses valores se somam.

A seguir é definido um fator de desempenho durante as horas extras, o que se faz necessário, uma vez que é de conhecimento que os montadores não têm o mesmo desempenho em suas atividades durante uma hora extra. Atribui-se a isso o cansaço dos funcionários. Historicamente, a empresa tem adotado um fator de 70% do desempenho normal, porém a ferramenta permite alterações nesse valor.

Desta forma, a capacidade de recuperação é calculada pela razão entre a quantidade de horas semanais de trabalho disponíveis e a soma das horas extras disponíveis no mesmo período, corrigidos pelo fator de desempenho considerado durante as horas extras.

A capacidade de recuperação não é um valor preciso, pois depende de fatores empíricos e, portanto, depende da experiência do usuário. Entretanto, o cálculo tem mostrado ser condizente com os valores estimados pelos gestores do processo na empresa. Numa atividade cujo ciclo de montagem é de 10 horas, em uma situação de necessidade de recuperação pode ser realizada em 6,7 horas, ou seja esse valor aproxima-se de 43%.

A execução do modelo requer a prévia identificação dos itens não cobertos. Entretanto, o desempenho da ferramenta pode ser otimizado caso atente-se apenas para os itens que apresentam um histórico de não abastecimento (itens críticos). Ainda

assim, o modelo possibilita a simulação com a consideração de todos os itens; para isso basta acionar a respectiva seleção apresentada na Figura 26.

Dados de Capacidade

Frame1

Quantidade de Hs semanais de trabalho : 80

Quantidade de HEs disponíveis na semanais (sem sab e dom) : 25

Quantidade de HEs disponíveis aos Sabados : 12

Quantidade de HEs disponíveis aos Domingos : 12

Fator de Desempenho durante a HE : 0,7

☐ Executar Simulação com Grade de Cobertura Completa?
Desligado vai analisar somente itens criticos

☒ Considerar Data de Inicio baseado no Arena?
Desligado vai considerar a Data predefinida no DATAS.

Capacidade de Recuperação: 43%

OK Padrão Atualizar Base

Figura 26 – Definições Básicas do Cenário Simulado

A simulação é passível de análise sob duas diferentes abordagens. A que considera o impacto do atraso de uma aeronave sob a próxima a utilizar o mesmo recurso (Docas) e a que considera o início das atividades conforme as datas planejadas. No primeiro caso, o atraso na entrada da aeronave seguinte pode sobrepor-se ao atraso de certos materiais, podendo ocultar um material de alta criticidade.

Por tal motivo, a segunda abordagem mostra sua importância, uma vez que considerar-se o início das atividades de montagem conforme as datas planejadas (desligando o último *flag* apresentado na Figura 26) equivale a desconsiderar a restrição de limitação de recursos Docas. Por essa ótica, todo material gerador de atrasos será identificado. A Figura 27 apresenta as duas abordagens citadas; nela as barras em azul mostram como seria a sequência entre os aviões (NS – número de série

da aeronave). Observa-se, no Cenário 1, que o atraso na saída do NS – XXX repercute na entrada do NS – XXX+1, o que não ocorre no Cenário 2.

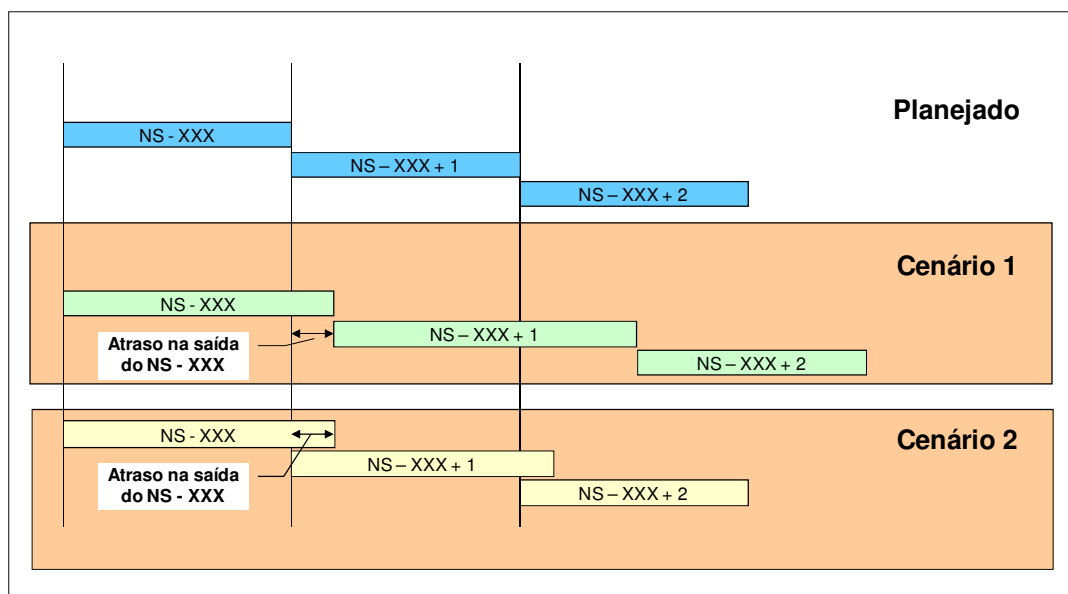


Figura 27 – Formas de simulação admitidas

4.6. VALIDAÇÃO DO SAD PROPOSTO

O objetivo desta seção é mostrar como foi realizada a comparação entre os resultados obtidos pelo SAD e o comportamento real do sistema.

Tais resultados são gerados, principalmente, a partir de dois grupos de dados: a Grade de Cobertura e a Rede de Precedência. Assim como forma de assegurar que os dados trabalhados são confiáveis, a validação deste estudo conta com duas sub-etapas dedicadas a esses dois grupos de dados.

Por outro lado, o modelo de Simulação de Eventos Discretos (criado no Arena[®]) é o responsável pelo tratamento dos dados, e, desta forma, falhas no processamento poderiam resultar em resultados errôneos, assim o modelo foi validado como será visto na Seção 4.6.3.

Por fim, os resultados obtidos com o SAD foram comparados com o sistema real. Portanto, o processo de validação do SAD conta com 4 fases:

- grade de cobertura;
- rede de precedência;

- modelo de simulação;
- resultados obtidos.,

4.6.1. Validação da Grade de Cobertura

A Grade de Cobertura é uma ferramenta que vem sendo utilizada pelo departamento de planejamento e programação de materiais da empresa desde a sua criação. Ela tem fornecido uma visão do nível de fornecimento da cadeia de suprimentos, apontando os itens (e seus relativos fornecedores) em que ações devem ser tomadas no sentido de reprogramar as datas de aquisição dos materiais, minimizando assim a falta dos insumos necessários à manufatura.

Dessa maneira, o processo de validação da grade de cobertura foi realizado por meio de cerca de 30 programadores de materiais da empresa, por um período de 3 meses. Certas correções foram efetuadas durante o desenvolvimento do estudo, e hoje a ferramenta tem se mostrado robusta e se tornou um veículo de comunicação fundamental entre os departamentos de Compras e Programação.

4.6.2. Validação do Uso da Rede de Precedência

A rede de precedência da empresa foi desenvolvida há cerca de 9 (nove) anos e, desde então, tem sido atualizada rotineiramente à medida que os processos são melhorados. Este estudo não buscou a validação da Rede de Precedência, uma vez que seu uso na empresa já é suficiente para considerá-la válida. Por outro lado, a sua utilização no estudo necessita de validação para se evitar erros na análise das informações contidas na rede, o que foi efetuado por meio de consultas e avaliações nos bancos de dados da empresa.

Nesse caso, a validação necessária é relativa ao processo de obtenção e tratamento dos dados relativos às atividades e as precedências entre elas. A validação desse processo foi realizada por meio de diversas consultas, quando de atividade a atividade verificou-se o que acontecia nas datas, no ciclo produtivo e nas precedências

envolvidas na seqüência da rede, mediante alterações no fornecimento dos materiais e, conseqüentemente, no início das atividades.

A Figura 28 mostra o funcionamento do processo de análise da rede de precedência e também como foi realizada a validação do processo. Na figura observam-se duas atividades seqüenciadas com seus ciclos de execução planejados. Entretanto, a simulação indica o atraso no início da 1ª atividade, causado pela falta de um insumo (Passo 1 da análise da rede); esse atraso repercute no início e término da atividade subsequente.

Em um segundo passo, o atraso identificado foi reduzido devido a realização de horas extras, conforme abordado na Seção 4.5.5, resultando no passo 2 da Figura 28.

Assim, a validação do processo de análise da rede de precedência foi realizada por meio da observação do ocorrido na simulação e do cálculo manual do processo, atividade por atividade.

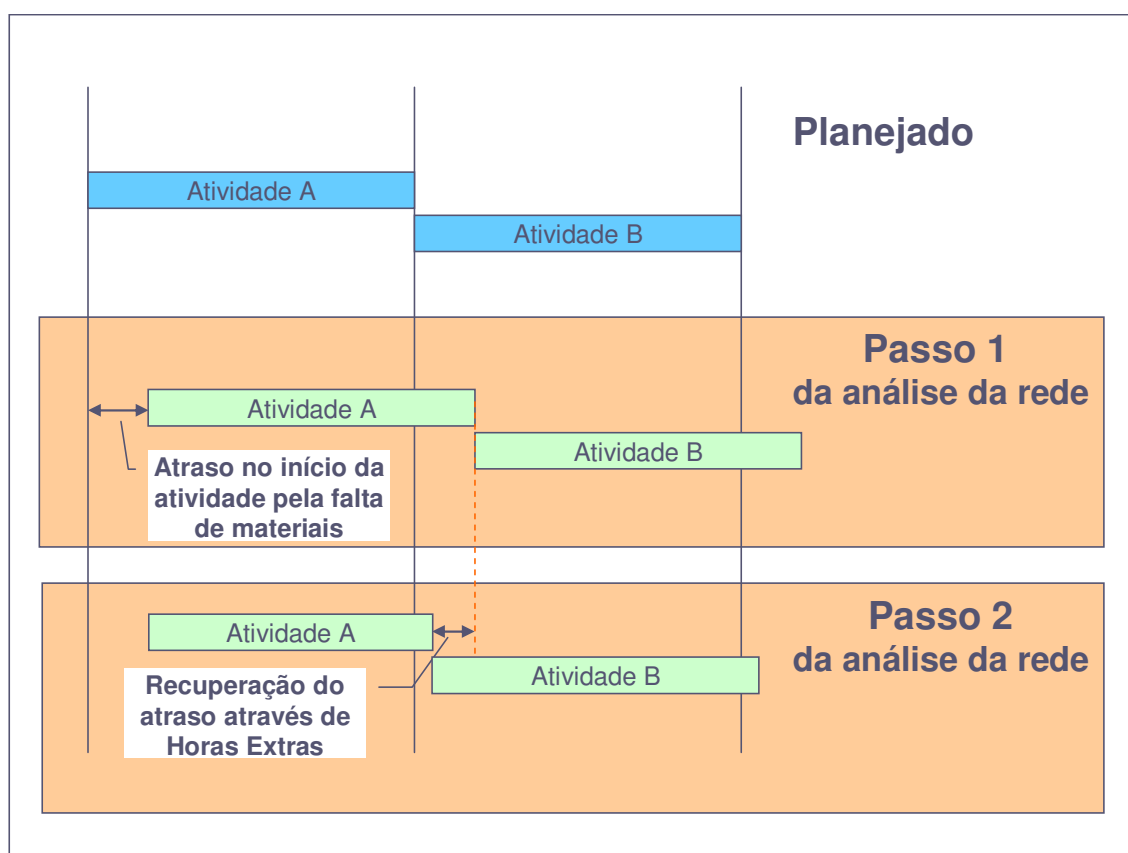


Figura 28 – Lógica da análise da rede de precedência

4.6.3. Validação do Modelo no Arena

A lógica desenvolvida na ferramenta de simulação tornou-se relativamente simples; sua maior complexidade está na efetivação das trocas de dados entre o Arena®, o Excel® e o Access®. Para tal, foi desenvolvida uma interface em Visual Basic® capaz de integrar as ferramentas.

Cada dado trocado entre os *softwares* foi conferido no intuito de se validar o processo de troca de dados entre ferramentas, sendo, para isto, necessária a criação de alguns atributos e variáveis no modelo do Arena® sem função para o estudo, e que após cumprirem o papel de validação do modelo foram eliminados com o intuito de melhorar o desempenho da simulação (ainda que sensivelmente).

O modelo considera, também, a utilização de recursos (docas) que restringem o processo. O modelo foi validado quanto à consistência dos resultados obtidos mediante variações na disponibilidade desse recurso e avaliação dos resultados obtidos com gestores de planejamento. Para tanto, considerou-se o aumento de 1 a 3 docas na simulação, e os resultados obtidos foram comparados com estudos de expansão em andamento na empresa, mostrando consistência nos valores obtidos.

Devido à restrição de recurso (Docas), o modelo reconsidera a data planejada de entrada na Doca em função de sua disponibilidade. Assim, a data de entrada pode ser limitada pela saída de um produto anterior. A

Início Arena	Data Início Doca Plan	N/S	PROJ	Atraso na entrada	Data Saída Plan	Data de Saída Simulado	Atraso na Saída	Dia da Semana	Ciclo (dias)	DOCA
12-set	12-set	104	B	0,00	29/set	29-set	0,00	2	17	6
23-set	23-set	108	B	0,00	9/out	13-out	4,81	6	21	1
3-out	2-out	106	B	1,00	15/out	22-out	7,38	2	19	2
20-set	19-set	107	B	1,50	10/out	13-out	3,40	3	23	5
29-set	22-set	105	B	7,00	13/out	15-out	2,89	5	17	6
29-set	29-set	13	A	0,00	25/out	28-out	3,50	5	30	3
11-out	30-set	109	B	11,48	20/out	24-out	4,38	3	13	7
12-out	3-out	14	A	9,73	1/nov	7-nov	6,33	4	26	4
13-out	4-out	110	B	9,81	27/out	1-nov	5,50	5	19	1
17-out	7-out	111	B	10,00	1-nov	7-nov	6,39	2	21	5
14-out	14-out	16	A	0,00	11/nov	18-nov	7,77	6	36	6
18-out	18-out	112	B	0,00	9/nov	12-nov	3,38	3	25	2
24-out	21-out	113	B	3,38	11/nov	16-nov	5,56	2	23	7
28-out	25-out	17	A	3,50	25/nov	30-nov	5,88	6	33	3
1-nov	28-out	114	B	4,50	22/nov	25-nov	3,39	3	24	1
7-nov	1-nov	15	A	6,33	2/dez	10-dez	8,64	2	33	4
7-nov	7-nov	115	B	0,39	29/nov	2-dez	3,67	2	25	5

Tabela 1 mostra como isso pode acontecer; nela o Produto B de número 114 tem planejado seu início de doca no dia 28/out, mas a entrada somente ocorre no dia 1/nov, uma vez que a Doca 1(um) somente estará disponível nesse dia.

Início Arena	Data Início Doca Plan	N/S	PROJ	Atraso na entrada	Data Saída Plan	Data de Saída Simulado	Atraso na Saída	Dia da Semana	Ciclo (dias)	DOCA
12-set	12-set	104	B	0,00	29/set	29-set	0,00	2	17	6
23-set	23-set	108	B	0,00	9/out	13-out	4,81	6	21	1
3-out	2-out	106	B	1,00	15/out	22-out	7,38	2	19	2
20-set	19-set	107	B	1,50	10/out	13-out	3,40	3	23	5
29-set	22-set	105	B	7,00	13/out	15-out	2,89	5	17	6
29-set	29-set	13	A	0,00	25/out	28-out	3,50	5	30	3
11-out	30-set	109	B	11,48	20/out	24-out	4,38	3	13	7
12-out	3-out	14	A	9,73	1/nov	7-nov	6,33	4	26	4
13-out	4-out	110	B	9,81	27/out	1-nov	5,50	5	19	1
17-out	7-out	111	B	10,00	1/nov	7-nov	6,39	2	21	5
14-out	14-out	16	A	0,00	11/nov	18-nov	7,77	6	36	6
18-out	18-out	112	B	0,00	9/nov	12-nov	3,38	3	25	2
24-out	21-out	113	B	3,38	11/nov	16-nov	5,56	2	23	7
28-out	25-out	17	A	3,50	25/nov	30-nov	5,88	6	33	3
1-nov	28-out	114	B	4,50	22/nov	25-nov	3,39	3	24	1
7-nov	1-nov	15	A	6,33	2/dez	10-dez	8,64	2	33	4
7-nov	7-nov	115	B	0,39	29/nov	2-dez	3,67	2	25	5

Tabela 1 – Sequência de Montagem dos Produtos

4.6.4. Validação dos Resultados Obtidos

Os dois principais resultados esperados deste estudo são a identificação do nível de atraso de cada produto e a listagem dos itens que causaram tais atrasos.

Para validação do nível de atraso de cada produto foi realizada a comparação com o nível de atraso real praticado pela montagem final dos produtos. Entretanto, como forma de assegurar o sigilo de tal informação da empresa estudada, nesta pesquisa se apresenta níveis fictícios, diferentes dos praticados pela empresa. Contudo, os valores encontrados pela simulação mostraram-se de grande consistência com os valores reais, salvo casos excepcionais, quando a montagem real do produto foi afetada por outros fatores que não a falta de materiais, como, por exemplo, problemas

de qualidade encontrados nos testes e inspeções realizadas na manufatura, geradores de re-trabalhos no produto.

Por outro lado, a validação da lista de materiais identificados como os responsáveis pelos atrasos é mais simples, uma vez que são de conhecimento da organização. Os materiais encontrados pela simulação foram totalmente aderentes à relação de itens que geralmente têm causado atrasos nos produtos. A comprovação do efeito causado por alguns dos itens encontrados foi observada e acompanhada em alguns produtos, nos quais as ações preventivas não foram suficientemente eficazes e a montagem realmente sofreu atrasos derivados dos materiais identificados pela simulação.

4.7. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados do SAD desenvolvido, explicitando que os objetivos específicos foram alcançados, não obstante, os valores apresentados garantem o sigilo das informações da empresa.

A grade de cobertura teve, inicialmente, a pretensão de servir como uma ferramenta de trabalho para os programadores de materiais, conforme já abordado. Entretanto, com o desenvolver da pesquisa, outras oportunidades foram observadas, como, por exemplo, a identificação dos fornecedores que demonstram uma tendência de piora no desempenho quanto ao fornecimento ou, ainda, os que têm se mantido em níveis críticos de fornecimento. Com essa informação pode-se antecipadamente tomar ações corretivas junto aos fornecedores. A Tabela 2 apresenta um resumo que quantifica o fornecimento previsto para os próximos 38 aviões a serem produzidos; o equivalente a aproximadamente 5 meses de produção na cadência atual (horizonte usualmente trabalhado pelos programadores de materiais). Nessa tabela, os nomes dos fornecedores foram omitidos dado o sigilo da informação.

FORNECEDORES	Ñcob	PO	INV	HOU	DES	LOT	STK	Total geral
Fornecedor 1	1596	290	411	321	234	242	2243	5337
Fornecedor 2	1501	235	1307	761	190	522	1422	5938
Fornecedor 3	923	147	166	96	32	57	379	1800
Fornecedor 4	430	79	25	25	169	63	3133	3924
Fornecedor 5	417	293	183	29	65	138	1829	2954
Fornecedor 6	387	192	65	134	454	72	1680	2984
Fornecedor 7	262	206	225	25	9	95	1450	2272
Fornecedor 8	255	268	91	38	20	37	1023	1732
Fornecedor 9	252	81	73	31	410	534	1849	3230
Fornecedor 10	175	272	254	14	59	54	1510	2338
Fornecedor 11	149	197					237	583
Fornecedor 12	115	55					1014	1184
Fornecedor 13	102						23	125
Fornecedor 14	98	202	26	1	12	40	312	691
Fornecedor 15	83	185	34	22	19	46	364	753
Fornecedor 16	78	95	18	24	2	20	292	529
Fornecedor 17	71		2				11	84
Fornecedor 18	70						31	101
Fornecedor 19	49	2					163	214
Fornecedor 20	48	28	13	12			100	201

Tabela 2 – Resumo do fornecimento previsto – quantidade de itens versus *status* do fornecimento

Além disso, outra visão gerencial muito útil é a identificação do nível de “Não Cobertura” de um produto no futuro, assim aviões com uma importância comercial mais relevante para a empresa podem ser acompanhados e priorizados quando necessário. A Tabela 3 mostra uma visão do nível de não cobertura por fornecedor para cada número de série a ser fabricado.

Quadro 5 – Lista de Ma

Com a Lista de Ma
exatamente quais itens
suprimento, sob pena d
processo fabril seja capaz

A obtenção da r
identificação dos atrasos
com a simulação, para ca

Nessa tabela as col
extraídos do Arena® e da
da montagem final (Col
Dia da Semana, que apre
(este não pode ser 1 ou '
ser um feriado, nesse cas

Início Arena	Data Início Doca Plan	N/S	PROJ	Atraso na entrada	Data Saída Plan	Data de Saída Simulado	Atraso na Saída	Dia da Semana	Ciclo (dias)	DOCA
2-ago	2-ago	96	B	0,00	25/ago	25-ago	0,00	3	23	1
8-ago	8-ago	98	B	0,00	31/ago	31-ago	0,00	2	23	2
10-ago	10-ago	10	A	0,00	23/set	29-set	6,42	4	50	3
11-ago	11-ago	97	B	0,00	2/set	2-set	0,00	5	22	4
22-ago	22-ago	99	B	0,00	7/set	7-set	0,00	2	16	5
24-ago	24-ago	100	B	0,00	12/set	12-set	0,00	4	19	6
29-ago	29-ago	11	A	0,00	3/out	11-out	8,48	2	43	7
30-ago	30-ago	101	B	0,00	19/set	20-set	1,50	3	22	1
2-set	2-set	102	B	0,00	19/set	20-set	1,50	6	19	2
2-set	2-set	12	A	0,00	7/out	12-out	5,73	6	41	4
8-set	8-set	103	B	0,00	30/set	1-out	1,50	5	24	5
12-set	12-set	104	B	0,00	29/set	29-set	0,00	2	17	6
23-set	23-set	108	B	0,00	9/out	13-out	4,81	6	21	1
3-out	2-out	106	B	1,00	15/out	22-out	7,38	2	19	2
20-set	19-set	107	B	1,50	10/out	13-out	3,40	3	23	5
29-set	22-set	105	B	7,00	13/out	15-out	2,89	5	17	6
29-set	29-set	13	A	0,00	25/out	28-out	3,50	5	30	3
11-out	30-set	109	B	11,48	20/out	24-out	4,38	3	13	7
12-out	3-out	14	A	9,73	1/nov	7-nov	6,33	4	26	4
13-out	4-out	110	B	9,81	27/out	1-nov	5,50	5	19	1
17-out	7-out	111	B	10,00	1/nov	7-nov	6,39	2	21	5
14-out	14-out	16	A	0,00	11/nov	18-nov	7,77	6	36	6
18-out	18-out	112	B	0,00	9/nov	12-nov	3,38	3	25	2
24-out	21-out	113	B	3,38	11/nov	16-nov	5,56	2	23	7
28-out	25-out	17	A	3,50	25/nov	30-nov	5,88	6	33	3
1-nov	28-out	114	B	4,50	22/nov	25-nov	3,39	3	24	1
7-nov	1-nov	15	A	6,33	2/dez	10-dez	8,64	2	33	4
7-nov	7-nov	115	B	0,39	29/nov	2-dez	3,67	2	25	5
14-nov	9-nov	18	A	5,00	9/dez	15-dez	6,52	2	32	2
16-nov	16-nov	116	B	0,56	6/dez	9-dez	3,30	4	23	7

Tabela 4 - Resultados encontrados na simulação

As colunas com fundo azul apresentam os dados de planejamento, ou seja, as datas de início e término da montagem das docas relativas a cada produto (Produto A, Produto B e Número de Série - NS) e as colunas com fundo laranja mostram os atrasos relativos às datas de entrada de saída das docas.

A Figura 29 apresenta o atraso identificado em cada produto no início de sua montagem. Nota-se uma tendência de crescimento do atraso, devido ao impacto causado pelo atraso na saída dos produtos impedindo a entrada do próximo na doca.

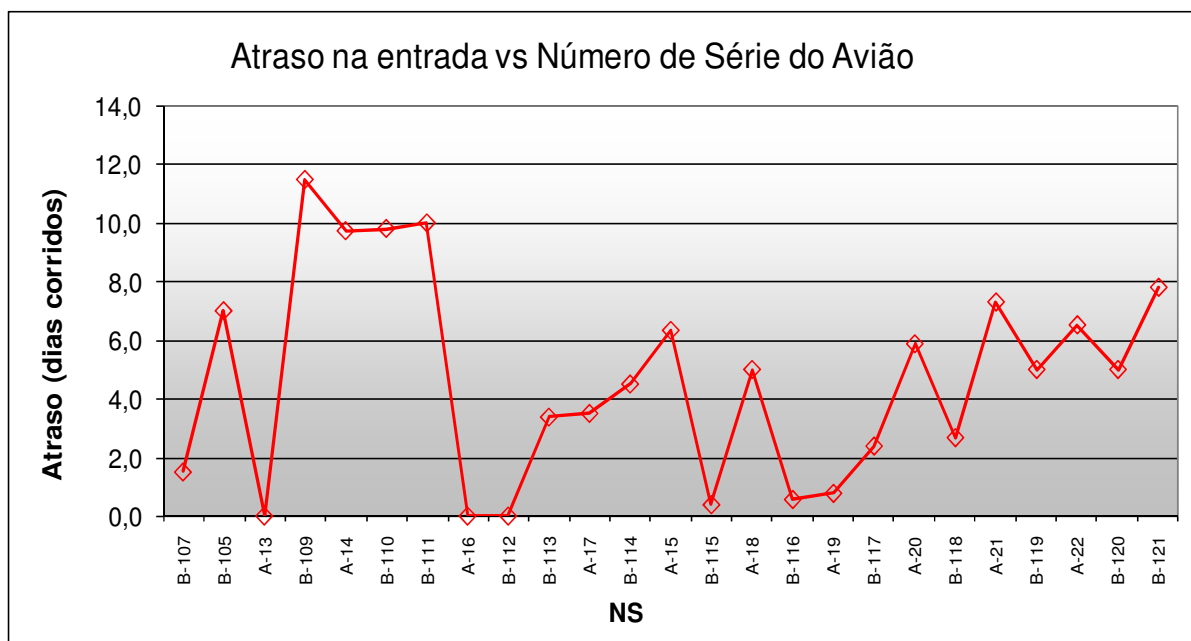


Figura 29 – Atraso na entrada da doca por número de série

A Figura 30 apresenta o atraso identificado em cada produto no término da montagem. Observa-se que os Produtos A apresentam um nível de atraso bem superior aos Produtos B. Atribui-se a isso o fato de o programa estar ainda em fase inicial de aprendizado (produtos de NS 13 a 22) e, portanto, ainda não estabilizado, por outro lado, o Produtos B encontram-se com uma maior maturidade e, conseqüentemente, apresentam um nível menor de atrasos.

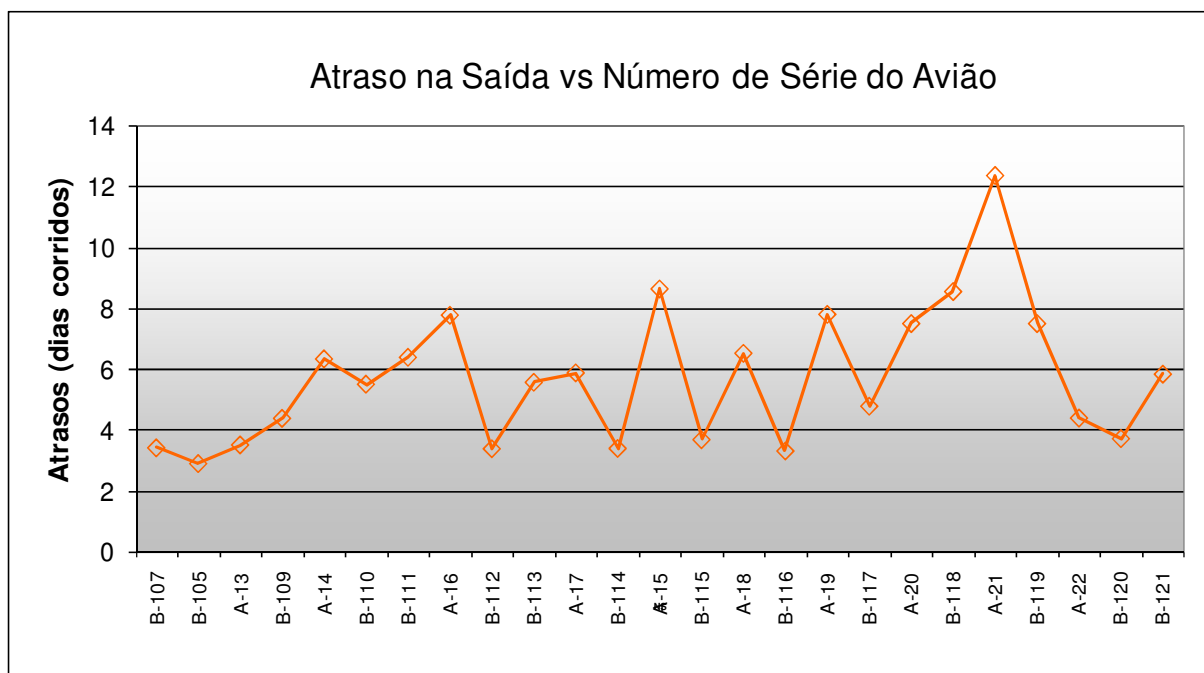


Figura 30 - Atraso na saída da doca por número de série

A Figura 31 apresenta a ocupação dos recursos (docas) durante o tempo. Como observado, a ocupação das docas é quase total, refletindo-se na baixa capacidade de recuperação dos atrasos, observada nas Figuras 29 e 30. Essa análise pode servir para prever o comportamento do sistema mediante variações na disponibilidade do recurso Doca.

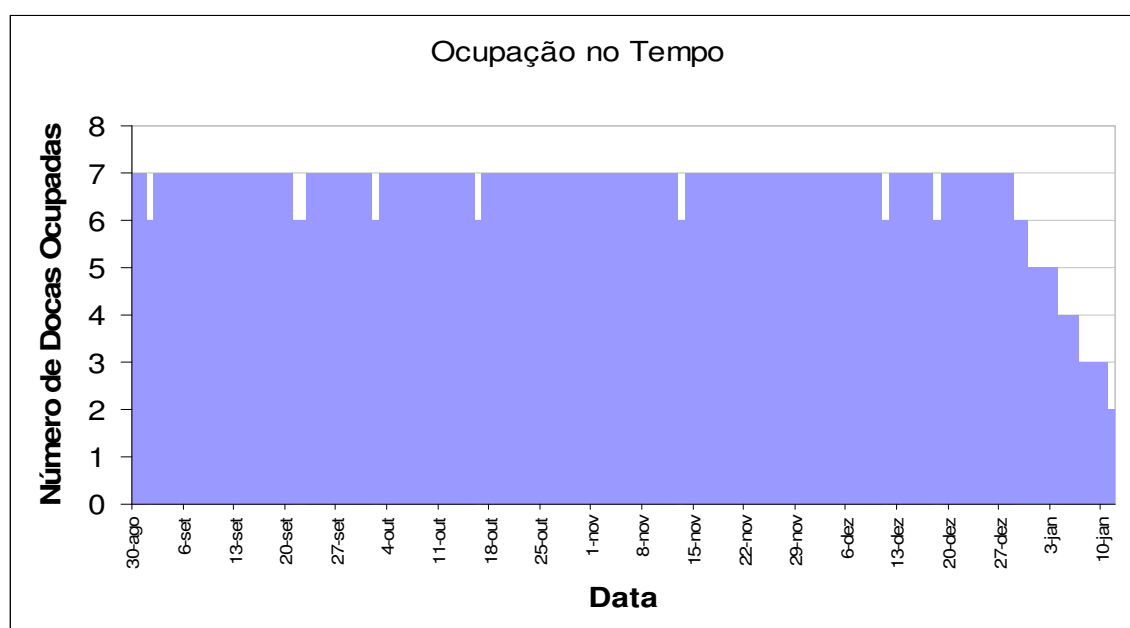


Figura 31 – Ocupação das docas no tempo

Os resultados apresentados nesta seção propiciaram ao usuário as informações necessárias ao cumprimento dos objetivos específicos deste estudo. Sendo capaz de suportar uma análise gerencial dos itens impactantes na montagem e provendo meios para analisar tais impactos.

5. CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões obtidas e algumas considerações referentes ao uso da ferramenta criada na cadeia de suprimentos e à solução computacional desenvolvida, comentando as contribuições fornecidas com a elaboração deste trabalho e propondo sugestões para futuros trabalhos.

Neste trabalho foi desenvolvido um Sistema de Apoio à Decisão baseado no uso da Simulação de Eventos Discretos, em uma Cadeia de Suprimentos. O desenvolvimento da pesquisa mostrou que apesar da complexidade existente nas grandes Cadeias de Suprimento, e das dificuldades em se administrar o grande volume de informações necessárias para uma gestão eficiente, a Simulação de Sistema é um meio eficiente para orientação dos gestores na tomada de decisão. Entretanto, cabe ressaltar que o uso de tal técnica necessita ser aliado a um bom entendimento do sistema estudado, das considerações adotadas e, principalmente, dos resultados esperados.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os novos conceitos que norteiam o gerenciamento da cadeia de suprimentos representam mudanças fundamentais no pensamento clássico do PCP. Vollmann e Berry (2006) afirmam que tem ocorrido uma evolução contínua nas abordagens do PCP, à medida que se muda de ferramentas razoavelmente simples de controle de estoques para um alto nível de integração, por meio das funções inseridas em sistemas ERP.

Nessa ótica, este estudo fez uso de técnicas de Simulação de Eventos Discretos aliadas aos conceitos de PCP, Gestão da Cadeia de Suprimentos e Gestão de Projetos, obtendo dessa união uma visão fornecida aos gestores da empresa estudada como um Sistema de Apoio à Decisão.

O SAD desenvolvido foi capaz de definir uma seqüência de prioridades sob os insumos necessários à montagem, para atuação dos membros da Cadeia de Suprimentos, viabilizando, dessa forma, uma visão clara do problema, e propiciando uma previsão do processo produtivo, um meio pelo qual os gestores podem agir no sentido de minimizar os riscos de interrupção da linha de produção pela falta de insumos, e, conseqüentemente, reduzindo os atrasos nos prazos de entrega dos produtos evitando a possibilidade de multas por esse motivo.

Logo, pode-se afirmar que os objetivos inicialmente traçados para este trabalho foram plenamente atingidos. O SAD desenvolvido é capaz de:

- gerar uma relação dos insumos, a serem consumidos em médio prazo, cujas datas atualmente projetadas não atendem as necessidades da manufatura;
- apresentar uma relação dos insumos críticos ao abastecimento, fornecendo uma visão clara da projeção de atraso na montagem derivada de tais materiais;
- identificar o atraso causado na entrega dos produtos, conseqüente da falta dos insumos no momento necessário;
- projetar o desencadeamento do atraso nos demais produtos; uma vez que há limitações dos recursos necessários à montagem; e
- apresentar uma visão da ocupação dos recursos disponíveis à manufatura dos produtos.

A utilização do SAD permitiu também a confirmação de duas conjecturas da empresa. A primeira refere-se ao melhor desempenho da cadeia de suprimentos dos Produtos B em relação ao Produtos A, uma vez que o primeiro apresenta uma maior maturidade devido ao fato de sua produção ser mais antiga que o Produto A. A segunda refere-se ao limite da capacidade dos recursos, que não são suficientes para absorver o atraso de um produto sem impactar no subsequente, o que pode ser observado pelas análises das Figuras 29, 30 e 31.

Em relação à aplicação realizada, a empresa estudada já possuía, há alguns anos, a cultura de utilização de ferramentas de simulação para melhoria no seu processo

produtivo. Assim, o desenvolvimento do SAD proposto foi facilitado sob os aspectos de obtenção das informações necessárias e acesso aos dados de entrada requeridos.

Ressalta-se que o uso da técnica de Simulação de Eventos Discretos na cadeia de suprimentos estudada, como ferramenta de análise, permitiu o desenvolvimento do SAD, provendo aos gestores meios mais confiáveis para ação junto aos fornecedores de insumos para a montagem do produto.

Em relação à avaliação dos próprios gestores da empresa, o SAD desenvolvido trouxe vantagens significativas, proporcionando uma visão antes inexistente e, portanto, possibilitando a redução de riscos e dos custos financeiros resultantes do material em processo (WIP - *Work in Process*).

A principal contribuição deste trabalho foi a realização de um Sistema de Apoio à Decisão envolvendo conceitos e técnicas de diferentes áreas de conhecimento (Gestão da Cadeia de Suprimentos, Planejamento e Controle da Produção, Gestão de Projetos e Simulação), disponibilizando, aos interessados, um meio que possibilita a previsão do comportamento de uma complexa cadeia de suprimentos sem a necessidade de interferência no sistema real.

Partindo deste trabalho, torna-se viável o desenvolvimento de estudos de simulação capaz de analisar o comportamento do sistema diante de variações nas políticas de compras, disponibilidade de horas-extras, políticas de estoque, etc.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Novas perspectivas do estudo se encontram na ampliação da abrangência do modelo para tratativas de outros subsistemas (ou submontagens) como, por exemplo, a fabricação das asas e da fuselagem das aeronaves, ainda não considerados no SAD desenvolvido. Outra sugestão seria a aplicação do SAD em outras empresas que também produzam sob encomenda, uma vez que as similaridades entre os processos permitiriam tal aplicação.

Entretanto, novas ampliações da ferramenta poderiam demandar algumas horas de processamento, e, por esse motivo, enfrentaria um grande desafio: a identificação

de meios mais eficientes de obter e tratar as informações armazenadas nos bancos de dados da empresa.

Outras possibilidades de melhoria se encontram na assimilação de algumas variáveis não consideradas inicialmente no estudo, dadas as considerações feitas na Seção 1.4. Assim, poderiam ser inseridas, com o intuito de uma maior precisão dos resultados:

- a análise de materiais cuja fabricação é realizada na empresa ou em empresas nacionais. Não haveria grande dificuldade na inclusão de novos materiais, somente o tempo necessário para realização da simulação;
- uso de distribuições de probabilidade relativas à execução das atividades de montagem dos produtos. A grande dificuldade será a obtenção das informações, porém a lógica estruturada absorveria sem dificuldades tais variações;
- uso de distribuições de probabilidade no ciclo logístico de aquisição de materiais; e
- inclusão de limitações relativas à mão-de-obra necessária à montagem ou de outros recursos, como, por exemplo, pontes rolantes ou bancadas de teste.

Como sugestões para trabalhos futuros seguindo a mesma linha desta dissertação propõem-se:

- integração com ERP, possibilitando o desenvolvimento de um SAD sem a necessidade de sistemas paralelos de tratamento dos dados;
- realização de estudos de análise de sensibilidade de fatores como: políticas de compras, disponibilidade de horas-extras, políticas de estoque, etc;
- aplicação do SAD em outras variáveis causadoras de atraso, como, por exemplo, problemas de qualidade encontrados na montagem;
- fazer uma avaliação do impacto financeiro causado pelo atraso dos insumos;

- aplicação do SAD em outras áreas da empresa, como, por exemplo, a montagem das asas das aeronaves; e
- aplicação do SAD em outros setores, como, por exemplo, a indústria naval.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, F. C., Avaliação do *supply-chain operations reference-model* (SCOR) como um modelo de referência de processos voltado para o gerenciamento de cadeias de suprimentos: aplicação em um estudo de caso no setor de óleo & gás, Rio de Janeiro, 2004. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ.

ALMEIDA, R., BATISTA, E. D. J., MARINS, F. A. S., Um sistema de apoio à tomada de decisão utilizado no planejamento e controle da produção de uma indústria aeronáutica. In: XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Fortaleza - CE, 09/10 a 11/10 de 2006.

ALVES, S. G. F.; CERRA, A. L.; MAIA, J. L.; SACOMANO, M. N.; BONADIO, P. V. G., Pressupostos da gestão da cadeia de suprimentos: evidências de estudos sobre a indústria automobilística, Revista Gestão e Produção, v.11, n.3, p.275-288, set.-dez. 2004.

BANKS, J. *Handbook of simulation*. Atlanta: EMP Books, 1998.

BANSAL, S. *Promise and problems of simulation technology in SCM domains. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, pg. 1831-1837, 2002.

BERG, C., COLENZO, K., *Work breakdown structure practice standard project—WBS vs activities* – PM Network, Abril 2000. Disponível na Internet via WWW URL: http://www.pmi.org/info/PP_ArticlesWBS.pdf. Arquivo consultado em 03 de janeiro de 2007.

CARMO, L. F. R. S. e HAMACHER, S., A evolução da cadeia de suprimentos da indústria automobilística no Brasil [http://www.ind.puc-rio.br/artigos/RAC - A Evolução da Cadeia de Suprimentos da Indústria Automobilística no Brasil.pdf](http://www.ind.puc-rio.br/artigos/RAC_-_A_Evolucao_da_Cadeia_de_Suprimentos_da_Industria_Automobilistica_no_Brasil.pdf), Revista de Administração Contemporânea - RAC, v.5, n.2, p.201 - 220, 2001.

CHANG, Y.; MAKATSORIS, H. *Supply chain modeling using simulation. I.J. of Simulation, University of Cambridge - Institute for Manufacturing*, 2001, Vol.2, No.1, pg. 24-30.

- CHING, S. Y., Simulação do processo de retirada de itens em CDP: Um estudo de caso em empresa do ramo automotivo. São Carlos, 2005. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CHOPRA, S. e MEINDL, P., *Supply chain management: strategy, planning, and operation*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 2003.
- CHRISTOPHER, M., Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos – 1ª ed., São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C., Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria & prática, Ed. Bravarte, São Paulo, 2006.
- DEPARTMENT OF DEFENSE HANDBOOK – *Work breakdown structures for defense material itens*, 2005. Disponível na Internet via WWW URL: http://www.acq.osd.mil/pm/currentpolicy/wbs/MIL_HDBK-881A/MILHDBK881A/WebHelp3/MILHDBK881A.htm. Arquivo consultado em 03 de janeiro de 2007.
- DIAS, R. M.; PITASSI, C.; JOIA, L. A., Gestão integrada da cadeia de suprimento: modelo para uma arquitetura de tecnologia da informação - o caso CVRD Manganês. In: 3ª Ibero-American Academy of Management Conference, EAESP, São Paulo, 2003.
- DIAS, M. V. B., Um novo enfoque para o gerenciamento de projetos de desenvolvimento de *software*, São Paulo, 2005. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo.
- DINSMORE, P. G., Gerência de programas e projetos, PINI Editora, São Paulo – SP, 1992
- FERREIRA, J. C. E., MOURA, E. B., RIBEIRO, L. P. G., O uso da simulação para aumentar a competência da indústria junto ao mercado externo, In: XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), São Paulo, SP, 29/10 a 01/11 de 2000
- FERREIRA, J. C. E. ; RIBEIRO, L. P. G. ; MOURA, E. B. . O uso da simulação para estimar os custos de fabricação considerando planos de processos alternativos, 1º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação - COBEF, Curitiba - PR, 2001.
- FLEMING, Q. W., KOPPELMAN, J. M., *Earned value project management*. 2ª ed. – Project Management Institute (PMI). PA, USA, 2000.

FREITAS, D. P. T., PAMPLONA, E. O., Uso da cadeia de valor para definição das atividades do PERT. , In: XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Rio de Janeiro, RJ, 1999.

FREITAS, P. J. F.; Introdução à modelagem e simulação de sistemas – com aplicações em Arena. Florianópolis: Visual Book, 2001.

FERREIRA, A. B. H., Novo dicionário aurélio da língua portuguesa Versão 5.0. Edição eletrônica autorizada à POSITIVO INFORMÁTICA LTDA. 2004

FIORONI, M. M. Estudo e análise comparativa de algumas características de arquitetura entre os sistemas holônicos de manufatura e a manufatura ágil. Campinas, 2000. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas.

GOMES, M. L. B., Um modelo de nivelamento da produção à demanda para a indústria de confecção do vestuário de acordo com os novos paradigmas da melhoria dos fluxos de processos. Florianópolis, 2002. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

GUPTA, J. N. D., *An excursion in scheduling theory: an overview of scheduling research in the twentieth century. Production Planning & Control, London*, v.13, n.2, p.105-116, mar.2002.

HARRELL, C.; TUMAY, K., *Simulation made easy, a manager's guide*, Georgia – USA, Ellen Snodgrass, 1995.

HICKS, D. A., *The manager's guide to supply chain and logistics problem-solving tools and techniques, III E Solutions*, Vol. 29, Iss.10, p. 24-29, 1997

HYPOLITO, C. M.; PAMPLONA, E. O., Sistemas de gestão integrada: conceitos e considerações em uma implantação. In: XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Rio de Janeiro, RJ, 1999.

HYDRA Development Corporation Limited. *Multi project scheduling and management [on line]*. Disponível na Internet via WWW URL: http://www.e-programme.com/articles/multi_proj.htm. Arquivo consultado em 03 de agosto de 2006a.

HYDRA Development Corporation Limited. *Programme management definitions [on line]*. Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.e-programme.com/articles/proj_def.htm. Arquivo consultado em 03 de agosto de 2006b.

- HOLLOCKS, B., *Assessing simulation learning in higher education, proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, 2005, pp. 2297-2303.
- ICHIHARA, J. A., Um método de solução heurístico para a programação de edifícios dotados de múltiplos pavimentos. Florianópolis, 1998. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.
- JAIN, S.; WORKMAN, R.; COLLINS, L.M.; ERVIN, E. *Development of a high-level supply chain simulation model. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*; U.S.A., 2001, pg. 1129-1137.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; SADOWSKI, D. A., *Simulation with arena*, WCB/McGraw-Hill, 1998.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A., Metodologia científica, São Paulo, Editora Atlas S.A. – 2004 – 4a edição
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A., Fundamentos de metodologia científica, São Paulo, Editora Atlas S.A. – 2005 – 6a edição
- LAW, A. M.; KELTON, W. D., *Simulations modeling and analysis*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1991
- LIMER, CARL V. Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1997.
- MARTINS, R. A., Flexibilidade e integração no novo paradigma produtivo mundial : estudos de casos. São Carlos, 1993. 137p. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos – USP.
- MOELLMANN, A. H., ALBUQUERQUE, A. S., CONTADOR, J. L., MARINS, F. A. S., Aplicação da teoria das restrições e do indicador de eficiência global do equipamento para melhoria de produtividade em uma linha de fabricação. Revista Gestão Industrial, v.02, n.01, p.89-105, jan.-mar. 2006
- MOURA, A. N. C. J., Novas tecnologias e sistemas de administração da produção – análise do grau de integração e informatização nas empresas catarinenses. Florianópolis, 1996. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

OLIVEIRA, L. G., A cadeia de produção aeronáutica no Brasil: uma análise sobre os fornecedores da Embraer. Campinas, 2005. Tese de doutorado – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

PEGDEN, C. D.; SHANNON, R. E. SADOWSKI, R. P., *Introduction to simulation using SIMAN*, McGraw-Hill, Inc, 1990.

PERALTA, A. C., Um modelo do processo de projeto de edificações, baseado na engenharia simultânea, em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte. Florianópolis, 2002. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

PEREIRA FILHO, G. ; HAMACHER, S.; Modelo para avaliação dos ganhos do gerenciamento da cadeia de suprimentos, XXIV ENANPAD - Encontro da Associação Nacional dos Programas de Pós-graduação em Administração Florianópolis, Brasil - Setembro de 2000.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE - PMI MG, Tradução livre do PMBOK 2000, V 1.0, disponibilizada através da Internet em janeiro de 2002

QUELHAS, O., BARCAUI A., A Teoria das restrições aplicada à corrente crítica. PM Tech Newsletter, março/2005. Disponível na Internet via WWW URL: http://www.pmtech.com.br/newsletter/Marco_2005/Marco_2005.html. Arquivo consultado em 03 de janeiro de 2007.

QUEZADO, P. C. A. M., Programação do fluxo produtivo máquinas e equipamentos para moinhos sob encomenda utilizando PERT/CPM e heurísticas. Florianópolis, 1999. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

REISS, G., Programme planning and control. [on line]. Disponível na Internet via WWW. URL : http://www.e-programme.com/articles_site.htm. Arquivo consultado em 03 de agosto de 2006; Outubro, 2000.

ROGERS, R. V.; ZIDA, M.; MYKYTKA, E.; BARTLETT, D.; BATHE, M., *Modeling and simulation education: is there a need for graduate degrees in modeling and simulation? Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference*, 1996, pp. 1401-1406.

- SATO, C. E. Y., Gestão corporativa de projetos para instituições de pesquisa tecnológica: caso Lactec. Curitiba, 2004. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CFETP.
- SILVA, A. A.; Planejamento e controle de múltiplos empreendimentos em edificações, Florianópolis, 2001. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M., Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação, 4ª ed. – UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- SILVA, W. A., Otimização de parâmetros da gestão baseada em atividades aplicada em uma célula de manufatura, Itajubá, 2005. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá.
- SIMONETTO, E. O.; BORESTEIN, D., SCOLDSS - Sistema de apoio à decisão aplicado ao planejamento e distribuição da coleta seletiva de resíduos sólidos. XXIV ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Florianópolis, SC, 2004.
- SLACK, N., CHAMBERS, S., HARLAND, C., HARRISON, A., JOHNSTON, R. Administração da produção, São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- STAIR, R. M. Princípios de sistemas de informação, Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1998.
- STRANGE, G., *Understanding programme management*. Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.e-programme.com/articles/understand_pm.htm. Arquivo consultado em 03 de agosto de 2006; Julho, 1998.
- SUPPLY CHAIN COUNCIL (SCC), *Supply-chain operations reference model: SCOR* versão 6.0. Pittsburg, 2003. Disponível em: www.supply-chain.org.
- TAVEIRA, R. A., Uma metodologia para aperfeiçoamento da mudança para um sistema de produção *Just-in-Time* em uma indústria Metalúrgica, usando simulação discreta e técnicas de projeto de experimentos de Taguchi, Florianópolis, 1997. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.
- TOSO, E. A. V., MORABITO, R., Otimização no dimensionamento seqüenciamento de lotes de produção: estudo de caso numa fábrica de rações, Revista Gestão e Produção, v.12, n.2, p.203-217, mai.-ago. 2005.

VIEIRA, G. E.; CESAR, O. J., *A conceptual model for the creation of supply chain simulation models*, *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, 2005, pp. 2619-2627.

VOLLMANN, T. E., *Manufacturing planning and control systems*, McGraw-Hill, c1997.

VOLLMANN, T. E.; BERRY W. L., *Sistemas de planejamento & controle da produção para o gerenciamento da cadeia de suprimentos*, 5 ed, Porto Alegre: Bookman, 2006.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BALLOU, R. H.. Gerenciamento da cadeia de suprimentos : planejamento, organização e logística empresarial, Bookman, 2001.
- BARRÔNIO, S. Desenvolvimento de modelos de simulação computacional para análise e melhoria de sistemas produtivos. Porto Alegre, 2000. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.
- BERTRAND, J. W. M., FRANSOO, J. C., *Modeling and simulation. Operations management research methodologies using quantitative modeling. International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22 No. 2, 2002, pp. 241-264.
- BERTRAND, W. M. e FRANSOO, J. C. *Operations management research methodologies using quantitative modeling. International Journal of Operations & Production Management*, v22, p. 241-264, 2002.
- CAVALHEIRO, D., Método de previsão de demanda aplicada ao planejamento da produção de indústrias de alimentos, Florianópolis, 2003. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.
- DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. Fundamentos da administração da produção. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- MATWIJEC. T. *Using simulation in supply chain management. 8th European Simulation Symposium & Exhibition* 1999.
- MONTEVECHI, J. A. B.; DUARTE, R.; NILSSON, G. V. O uso da simulação para análise do layout de uma célula de manufatura. *Revista Pesquisa e Desenvolvimento de Engenharia de Produção*. n1, p15-29, 2003.
- O’KANE, J. F.; SPENCELEY, J. R.; TAYLOR, R. (2000) *Simulation as essential tool for advanced manufacturing technology problems. Journal of Material Processing Technology*. 107. p. 412-424
- OLIVEIRA, D. P. R., Planejamento estratégico: conceitos, metodologia e práticas, Atlas, ; 2003

PEREIRA, I. C. Proposta de sistematização da simulação para fabricação em lotes. Itajubá, 2000. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá.

PIDD, M., Modelagem empresarial: ferramentas para a tomada de decisão, Bookman Cia Ed., 1997.

RATHMILL, K., GREENWOOD, N., HOUSMANN, M. *Computer simulation of FMS, in: Proceedings of the Second International Conference on Flexible Manufacturing Systems*, pp. 251-280, Outubro, 1983.

SCHULTHEIS, R. A.. *Management information systems : the manager's view*, McGraw Hill, 1998

THOMAS, A.; CHARPENTIER, P. *Reducing simulation models for scheduling manufacturing facilities. European Journal of Operational Research*. 161. p.111-125, 2003.

TUBINO, D. F. Manual de planejamento e controle da produção. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2000.