

Avaliação de um ambiente computacional  
integrado para desenvolvimento de  
produtos no segmento de bens de  
capital com engenharia sob encomenda

**Moacir Marques Pereira**

Orientador: **Prof. Dr. Henrique Rozenfeld**



**MOACIR MARQUES PEREIRA**

**AVALIAÇÃO DE UM AMBIENTE COMPUTACIONAL  
INTEGRADO PARA DESENVOLVIMENTO DE  
PRODUTOS NO SEGMENTO DE BENS DE CAPITAL  
COM ENGENHARIA SOB ENCOMENDA**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

**Orientador: Prof. Dr. Henrique Rozenfeld**

São Carlos  
2005

Dedico este trabalho a pessoas fundamentais para a minha vida: minha mãe Trindade, meu pai Antenor (*in memoriam*), minha esposa Maria Alice e meus filhos Raul e André. A convivência com estas pessoas, seus exemplos de vida e a diversidade de seus pontos de vista sempre me fizeram acreditar que trilhar novos caminhos e vencer obstáculos em prol do bem comum são opções nas quais se deve persistir.

## **AGRADECIMENTOS**

Estou feliz e primeiramente agradeço a Deus por tudo. Analisando todos os passos, desde a decisão inicial em aderir ao programa de pós-graduação, até este momento, tenho muita satisfação em ter contado com o apoio de verdadeiros amigos, aos quais dirijo meus agradecimentos abaixo:

Aos amigos Adilson Carlos Nagao e Haroldo Thomas Kerry Junior, as primeiras pessoas com quem discuti a idéia inicial da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Henrique Rozenfeld, meu orientador, que me encorajou e ajudou a trilhar o caminho até a conclusão da pesquisa.

Aos professores da EESC da USP São Carlos, que me ajudaram a amadurecer no meio acadêmico, me oferecendo novos pontos de vista.

Aos colegas de aula das disciplinas atendidas. Sem a atuação conjunta e colaboração, o amadurecimento necessário não teria ocorrido.

Ao Dr. Chris Hicks (*Ph.D.*), da *University of Newcastle*, pelo apoio e indicação de referências sobre produção com engenharia sob encomenda.

À Profa. Dra. Márcia Elisa Echeveste, pela contribuição em relação aos instrumentos de coleta e sugestões para a compilação dos resultados.

Aos colegas de trabalho e meus superiores na empresa estudada, sem os quais o estudo prático seria impossível. Em especial ao Eng. Páris Pláton, pelo teste piloto e sugestões finais sobre os instrumentos de coleta de campo.

À empresa estudada, me referindo aos seus diretores e gerentes, que me permitiram conduzir o trabalho, colocando à minha disposição os recursos necessários.

Ao Prof. Dr. Daniel Capaldo Amaral e Prof. Dr. Antonio Carlos dos Santos, por terem aceito o convite para participar da banca examinadora e por terem compartilhado seus pontos de vista sobre a pesquisa executada.

Ao amigo Cássio Augusto Ribeiro, pela motivação, apoio logístico e de infra-estrutura na cidade de São Carlos.

Aos funcionários da pós-graduação e biblioteca da EESC da USP São Carlos, sem os quais os caminhos trilhados teriam sido mais difíceis.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, me incentivaram e contribuíram para esta realização.

*“Nós, cientistas, acreditamos que o que nós e nossos semelhantes fizermos ou deixarmos de fazer nos próximos anos determinará o destino de nossa civilização. E consideramos nossa tarefa explicar incansavelmente essa verdade, ajudar as pessoas a perceber tudo o que está em jogo, e trabalhar, não para contemporizar, mas para aumentar o entendimento e conseguir, finalmente, a harmonia entre os povos e nações de diferentes pontos de vista”.*

*Albert Einstein*

## **RESUMO**

PEREIRA, M. M. (2005). Avaliação de um ambiente computacional integrado para desenvolvimento de produtos no segmento de bens de capital com engenharia sob encomenda. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

Este trabalho avalia o grau em que a integração de sistemas de informação tem atendido ao desenvolvimento de bens de capital com engenharia sob encomenda, com base em objetivos de desempenho para o processo de desenvolvimento de produtos. Descreve uma investigação, realizada por meio de pesquisa-ação, sobre o ambiente de desenvolvimento de produtos em uma indústria de bens de capital, conduzida sob a perspectiva organizacional e da tecnologia da informação. Objetiva aumentar a difusão deste tipo de informação para os profissionais deste ramo de atividade e comunidade científica, bem como servir como base para pesquisas e ações de melhoria para a empresa estudada. Focaliza a relevância da caracterização de um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos que otimize as atividades de tomada de decisão, controle de fluxo de trabalho, armazenamento de informações e documentos e retro-alimentação de informações em ambientes com engenharia sob encomenda. Apresenta os desafios enfrentados pela empresa estudada quanto à estabilização dos seus processos após uma ampla reformulação da aplicação de sistemas de informação, abordando elementos de sua dinâmica organizacional e diagnosticando o comportamento destes elementos diante das integrações executadas. Aborda ainda os aspectos humanos envolvidos neste segmento, considerando-os como fatores críticos para a aplicação e desenvolvimento de soluções.

Palavras-chave: Estrutura de produto; desenvolvimento de produto; manufatura sob encomenda; engenharia sob encomenda; indústria de bens de capital; integração de sistemas.

**ABSTRACT**

PEREIRA, M. M. (2005). Evaluation of an integrated computerized environment for engineered-to-order product development in capital goods segment. M.Sc. Dissertation – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

This work evaluates the support level offered by integrated information systems to engineered-to-order development of capital goods, based on the product development process performance objectives. It describes an investigation, performed by means of an action-research, about the product development environment in a capital goods industry, carried out under the organizational and information technology perspectives. It aims to increase the diffusion of this kind of information among the professionals in this production segment and scientific community, as well to serve as a research and improvement actions base to the studied company. The work focuses on the relevance of a reference model characterization to the product development process in order to optimize the decision making activities, workflow control, document and information storage and feedback in engineering-to-order environments. It presents the challenges faced by the studied company to reach the processes stabilization after a broad changeover of its information systems applications, analyzing its dynamics organizational elements and making a diagnosis of these elements behaviour, considering the achieved integration. It still analyzes the human aspects involved in this industry segment, considering these aspects as critical factors for solutions development and application.

Keywords: product structure; product development; make-to-order; engineer-to-order; capital goods industry, systems integration



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Avaliação do grau de apoio oferecido pelos sistemas de informação (SI) integrados ao processo de desenvolvimento de produtos.....	4
Figura 2 – Diagrama de Wallace – Adaptado de Roesch (1999, p.121) .....	7
Figura 3 – Análise dos quadrantes do diagrama de Wallace – Adaptado de Roesch (1999, p.121) .....	7
Figura 4 – Ciclos de desenvolvimento da pesquisa - Adaptado de Roesch (1999, p.121) .....	8
Figura 5 – Desdobramento da questão de pesquisa e primeira análise para direcionamento dos assuntos para desenvolvimento do trabalho .....	9
Figura 6 – Ciclos da pesquisa-ação – Fonte: Coughlan e Coughlan (2002, p.230) .....	16
Figura 7 – Estruturação do trabalho.....	19
Figura 8 – Tipologia da manufatura orientada ao cliente, com base no conceito do ponto de desacoplamento do pedido do cliente – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.60) .....	25
Figura 9 – Exemplos considerando o modelo produtivo e a orientação dos investimentos para alguns tipos de empresa – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.61) .....	26
Figura 10 – Princípios gerais de projeto em produção – Adaptado de Slack et al. (1999, p.89) .....	28
Figura 11 – Redução do número de alternativas no processo de projeto – Fonte: SLACK et al. (1999, p.96).....	29
Figura 12 – Aumento do volume de informações <i>versus</i> diminuição do risco – Adaptado de Mcmanus e Design (2003, p.21).....	29
Figura 13 – Fluxo de informação para desenvolvimento do produto com engenharia sob encomenda – Fonte: Caron e Fiore (1995, p.314) .....	38
Figura 14 – Relacionamento entre CNPD, modelamento e análise de processos e equipes – Adaptado de Haque (2003, p.206) .....	42
Figura 15 – Modelo de referência proposto para a estruturação do processo de desenvolvimento de produto – Fonte: Buss e Cunha (2002, p.12) .....	45
Figura 16 – Modelo de referência para análise de negócios em produção ETO – Fonte: Hicks et al. (2000a, p.414) .....	47

Figura 17 – Modelo de referência segundo Pugh – Adaptado de Rahim e Baksh (2003a, p.187).....	49
Figura 18 – Modelo de referência segundo Boothroyd et al. – Adaptado de Rahim e Baksh (2003a, p.188).....	50
Figura 19 – Modelo de referência segundo Peters et. al – Adaptado de Rahim e Baksh (2003a, p.189).....	51
Figura 20 – Modelo de referência segundo Ulrich and Eppinger – Adaptado de Rahim e Baksh (2003a, p.189).....	52
Figura 21 – Processos operacionais em uma empresa de manufatura orientada ao cliente – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.45) .....	54
Figura 22 – A manufatura orientada ao cliente vista como uma composição formada pela engenharia e produção – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.46) .....	54
Figura 23 – Modelo de controle, informação e decisão para uma empresa de manufatura – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.47) .....	55
Figura 24 – Modelo Walrasiano – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.48) .....	56
Figura 25 – Gráfico de representação da lista de materiais e rede de atividades – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.50).....	57
Figura 26 – Primeira extensão do modelo Walrasiano – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.53).....	57
Figura 27 – Segunda extensão do modelo Walrasiano – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.48).....	58
Figura 28 – Terceira extensão do modelo Walrasiano – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.48).....	59
Figura 29 – Modelo de dados relacionando os três pontos de vista identificados na abordagem de listas genéricas de materiais – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.320).....	62
Figura 30 – Exemplo hipotético de lista variante de materiais – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.321) .....	62
Figura 31 – Aplicação de listas genéricas de materiais – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.322).....	63
Figura 32 – Relacionamento entre os vários elementos de um <i>workflow</i> – Adaptado de WPMC (2005a, p.7) .....	67
Figura 33 – Projeto de produto e decomposição da produção em produção OKP – Fonte: Tu (1997, p.275) .....	70
Figura 34 – “Quebra” da estrutura de produto - Fonte: Caron e Fiore (1995, p.316).....	71
Figura 35 – Profundidade da EP <i>versus</i> processo de manufatura em empresas ETO verticalmente integradas – Fonte: Hicks et al. (2000b, p.184) .....	72
Figura 36 – Planejamento <i>backwards</i> e controle “empurrado” – Fonte: Caron e Fiore (1995, p.316).....	75

Figura 37 – Visão geral de uma arquitetura de empreendimento – Adaptado de Tarcisius et al. (2002, p.3).....	78
Figura 38 – Disposição dos elementos de uma tecnologia habilitadora – Adaptado de Tarcisius et al. (2002, p.9).....	80
Figura 39 – Modelo de integração considerando a visão dos principais sistemas de informação – Adaptado de Tarcisius et al. (2002, p.8) .....	89
Figura 40 – Relações de integração do sistema PDM – Fonte: Zancul et al. (1999, p.1).....	91
Figura 41 – Sobreposição de funcionalidades entre sistemas PDM, ERP e CAx – Adaptado de Popov et al. (1998, p.47).....	92
Figura 42 – Classificação das abordagens técnicas de integração – Fonte: Zancul et al. (1999, p.5) .....	93
Figura 43 – Modelo de referência para <i>workflow</i> – Adaptado de WFMC (2005b, p.20).....	99
Figura 44 – Interface de intercâmbio, ou exportação e importação, de definições de processo – Fonte: WFMC (2005b, p.29).....	101
Figura 45 – Arquitetura de referência do sistema CAPP em uma empresa OKP virtual – Adaptado de Tu et al. (2000, p.103).....	102
Figura 46 – Estrutura do controle de produção – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.300) .....	105
Figura 47– Posicionamento da descrição retrospectiva em relação às etapas do trabalho.....	111
Figura 48 – Configuração da empresa estudada no início da reformulação dos sistemas – Fonte: empresa estudada .....	112
Figura 49 – Modelo de integração entre os sistemas de informação anteriores à transformação ocorrida – Fonte: Empresa estudada.....	113
Figura 50 – Configuração modular do sistema de informação integrado anterior à transformação ocorrida – Fonte: Empresa estudada.....	114
Figura 51 – Telas extraídas de apresentação de conceitos sobre estruturação de produtos aos envolvidos na reformulação dos sistemas – Fonte: empresa estudada.....	130
Figura 52 – Tela extraída de apresentação de conceitos sobre tecnologia de grupo aos envolvidos na reformulação dos sistemas – Fonte: empresa estudada.....	130
Figura 53 – Esquema de habilitação dos SI futuros para a Internet, via emulação de servidores de terminais (“ <i>terminal servers</i> ”) ou <i>Web enabling</i> – Fonte: empresa estudada.....	132
Figura 54 – Exemplos de <i>gaps</i> administrados pela equipe de implantação dos SI propostos, na fase inicial dos trabalhos – Fonte: empresa estudada .....	133
Figura 55 – Parte de um desenho funcional da customização detectada no item 4 do levantamento de <i>gaps</i> – Fonte: empresa estudada.....	135
Figura 56 – Parte de um desenho funcional para a customização relacionada ao cálculo da massa de subconjuntos – Fonte: empresa estudada .....	136

## X

Figura 57 – Diagrama esquemático do modelo de dados definido para a criação do escopo de funcionamento da interface de migração de dados entre o PDM e o ERP – Fonte: empresa estudada.....	139
Figura 58 – Premissas para o armazenamento das informações do PDP considerando o PDM e o ERP – Fonte: empresa estudada.....	140
Figura 59 – Esquema de funcionamento conjunto do sistema legado, PDM e ERP, na fase de transição da aplicação do sistema legado para os novos sistemas – Fonte: empresa estudada (Plano de desligamento do sistema legado).....	145
Figura 60 – Macro fluxo de atividades da empresa estudada – Fonte: empresa estudada .....	153
Figura 61 – Significado das notas obtidas nos resultados da pesquisa de campo, conforme instrumentos de coleta apresentados aos participantes da pesquisa, mostrados no apêndice 1 .....	213
Figura 62 – Sugestões sumarizadas obtidas em eventos de <i>brainstorming</i> .....	243

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferenças entre ETO / OKP e MTS em termos operacionais .....	43
Tabela 2 – Diferenças entre ETO / OKP e MTS em termos de projeto de produto .....	44
Tabela 3 – Comparação entre modelos de referência de PDP .....	52
Tabela 4 – Atividades definidas para o cronograma de implantação dos SI propostos.....	128
Tabela 5 – Perfil dos participantes da pesquisa. ....	155
Tabela 6 – Revelação de relações entre indicadores de processo (IP <sub>n</sub> ) e indicadores dos SI (IS <sub>n</sub> ) .....	160
Tabela 7 – Visão geral dos resultados da pesquisa .....	165
Tabela 8 – Objetivos das questões e tipo de avaliações correspondentes para a parte 1 dos instrumentos da pesquisa de campo.....	208
Tabela 9 – Objetivos das questões e tipo de avaliações correspondentes para a parte 2 dos instrumentos da pesquisa de campo.....	209
Tabela 10 – Objetivos das questões e tipo de avaliações correspondentes para a parte 3 dos instrumentos da pesquisa de campo.....	210
Tabela 11 – Objetivos das questões e tipo de avaliações correspondentes para a parte 4 dos instrumentos da pesquisa de campo.....	210
Tabela 12 – Objetivos das questões e tipo de avaliações correspondentes para a parte 5 dos instrumentos da pesquisa de campo.....	211
Tabela 13 – Resultado parcial quanto à percepção, por parte dos participantes, do grau de atendimento oferecido pelos SI às principais atividades dos processos pesquisados. ....	214
Tabela 14 – Resultado parcial quanto à percepção, por parte dos participantes, do grau de atendimento oferecido pela integração entre o PDM e ERP, às principais atividades dos processos pesquisados.....	216
Tabela 15 – Resultado parcial qualitativo quanto à percepção, por parte dos participantes, dos indicadores de desempenho preferenciais para seus processos e também para os SI estudados.....	219
Tabela 16 – Resultado parcial quantitativo, baseado na quantidade de indicações quanto à preferência por parte dos participantes, dos indicadores de desempenho. ....	220
Tabela 17 – Visão dos resultados quantitativos da pesquisa para cada processo .....	223
Tabela 18 – Percepção dos pesquisados sobre o relacionamento entre o desempenho do processo e o desempenho dos SI integrados, explicitada por meio dos indicadores de processo (IP <sub>n</sub> ) e indicadores dos SI (IS <sub>n</sub> ) sugeridos. ....	225
Tabela 19 – Visão geral de aspectos qualitativos coletados nas entrevistas.....	231

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Sigla ou abreviatura	Significado, na língua original	Significado, em português
AE		Arquitetura do empreendimento
API	Application Program Interface	Interface dos programas de aplicação
ATO	Assembly-To-Order	Montagem sob encomenda
B2B	Business to Business	Negócios entre empresas ou empreendimentos
B2C	Business to Consumer	Negócios entre empresa e o consumidor
BI	Business Intelligence	Inteligência aplicada aos negócios
BOM	Bill Of Materials	Lista de materiais ou estrutura de produto
CA ou Cax	Computer Aided (Tool)	Auxílio via computador (ferramentas para...)
CAD	Computer Aided Design	Projeto auxiliado por computador
CAE	Computer Aided Engineering	Engenharia auxiliada por computador
CAM	Computer Aided Manufacturing	Manufatura auxiliada por computador
CAPP	Computer Aided Process Planning	Planejamento do processo auxiliado por computador
CE	Concurrent Engineering	Engenharia concorrente ou simultânea
CGI	Common Gateway Interface	Tecnologia utilizada para fazer a "ponte" entre o navegador ("browser") e as aplicações de servidor
CNPD	Concurrent New Product Development	Desenvolvimento simultâneo ou concorrente de novo produto
COBOL	Common Business Oriented Language	Linguagem de programação comum orientada a negócios
CODP	Customer Order Decoupling Point	Ponto de desacoplamento do pedido do cliente
COM	Component Object Model	Modelo de objeto componente
CORBA	Common Object Request Broker Architecture	Gerenciamento de objetos distribuídos e serviços essenciais para a transmissão de requisições e respostas entre objetos
CRM	Customer Relationship Management	Gestão do relacionamento com o cliente
DBMS	Data Base Management Systems	Sistemas de gerenciamento de banco de dados
DCOM	Distributed Component Object Mode	Arquitetura utilizada para aplicações multi-usuário de grande porte
DFA	Design For Assembly	Projeto orientado à montagem
DFMA	Design For Manufacturing or Assembly	Projeto orientado à manufatura ou montagem
DOE	Design Of Experiments	Projeto de experiências
EA	Enterprise Architecture	Arquitetura do empreendimento
e-Business	Electronic Business	Negócio eletrônico
ECM	Engineering Change Management	Gerenciamento de alterações de engenharia
ECO	Engineering Change Order	Ordem de alteração de engenharia

ECR	Engineering Change Request	Requisição de alterações de engenharia
EDM	Engineering Data Management	Gerenciamento de dados de engenharia
EIS	Executive Information System	Sistema de informações executivas
ERP	Enterprise Resource Planning	Sistema de gestão empresarial
ES		Engenharia simultânea
ETO	Engineer-To-Order	Engenharia sob encomenda
FEM	Finite Element Modeling	Modelamento por elementos finitos
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis	Análise do tipo e efeito da falha
FTA	Fault Tree Analysis	Análise da árvore de falhas
ISO	International Organization for Standardization	Organização Internacional de Padronização
J2EE®	Java 2 Platform, Enterprise Edition	Plataforma Java 2, edição para empreendimentos
LM	Logistic Management	Gerenciamento logístico
MRP II	Manufacturing Resource Planning	Planejamento dos recursos de manufatura
MRP, MRP I	Materials Resource Planning	Planejamento dos recursos de materiais
MTO	Make-To-Order	Produção sob encomenda
MTS	Make-To-Stock	Produção para estoque
NGM	Next Generation Manufacturing	Manufatura da próxima geração
NPD	New Product Development	Desenvolvimento de novo produto
ODBC	Open Database Connectivity	Padrão para a troca de informações entre bases de dados
OKP	One-Of-A-Kind Production	Produção de tipo único
OLAP	Online Analytical Processing	processamento analítico "on-line"
OLE	Object Linking and Embedding	Protocolo para a interoperabilidade de aplicativos baseados no sistema operacional <i>Windows</i> ®
PD	Product Design	Projeto do produto
PDM	Product Data Management	Sistema de gestão dos dados do produto
PDP		Processo de desenvolvimento de produto
PLM	Product Lifecycle Management	Gerenciamento do ciclo de vida do produto
PMI	Project Management Institute	Instituto de Gerenciamento de Projetos
PPS	Product Production Structure	Estrutura de produção do produto
PS	Product Specification	Especificação do produto
QFD	Quality Function Deployment	Desdobramento da função qualidade
QFD1	Simple Quality Function Deployment	Desdobramento da função qualidade - tipo simples
®		Marca registrada
RH		Recursos Humanos
SCM	Supply Chain Management	Gestão da cadeia de suprimentos
SDAI	STEP Data Access Interface	Interface para acesso de dados STEP
SI		Sistema(s) de informação
SMS		Saúde, meio ambiente e segurança
STEP	Standard for the Exchange of the Product Data Model	Linguagem de intercâmbio de informações como padrão para modelo de dados do produto
TG		Tecnologia de Grupo
TI		Tecnologia da informação
WIP	Work In Process Inventory	Estoque ou inventário em processo

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	vii
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....	xii
SUMÁRIO.....	xiv
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Contexto e justificativa do trabalho .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 O problema de pesquisa .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Objetivo do trabalho e resultados esperados.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Limitações.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Metodologia de pesquisa .....</b>	<b>5</b>
1.5.1 Decisão sobre a abordagem .....	6
1.5.1.1 <i>Análise e direcionamento do problema .....</i>	<i>6</i>
1.5.1.2 <i>Assuntos selecionados para a pesquisa bibliográfica.....</i>	<i>9</i>
1.5.1.3 <i>Esclarecimentos sobre o objeto de estudo.....</i>	<i>10</i>
1.5.1.4 <i>Definição da abordagem.....</i>	<i>12</i>
1.5.1.5 <i>Instrumentos da coleta de dados.....</i>	<i>16</i>
1.5.2 Plano de pesquisa.....	17
1.5.2.1 <i>Premissas para elaboração da pesquisa.....</i>	<i>18</i>
1.5.2.3 <i>Atividades previstas .....</i>	<i>18</i>
1.5.2.4 <i>Estrutura deste documento.....</i>	<i>19</i>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Características da produção ETO / OKP .....</b>	<b>21</b>
2.1.1 Aspectos organizacionais.....	21
2.1.2 O processo de desenvolvimento de produtos ETO / OKP.....	27
2.1.2.1 <i>Conceitos gerais .....</i>	<i>27</i>
2.1.2.2 <i>Projeto de produtos e serviços em produção ETO / OKP .....</i>	<i>28</i>
2.1.2.3 <i>Projeto de processos em produção ETO / OKP .....</i>	<i>30</i>
2.1.2.4 <i>Particularidades do PDP ETO / OKP.....</i>	<i>36</i>
2.1.3 A simultaneidade nas atividades do PDP .....	38
2.1.4 Diferenças entre as estratégias ETO / OKP e MTS.....	42
2.1.5 Modelos de referência.....	45
2.1.6 Estruturação de produtos ETO / OKP.....	53
2.1.6.1 <i>Conceitos gerais .....</i>	<i>53</i>
2.1.6.2 <i>Gerenciamento de estruturas e configurações de produto .....</i>	<i>63</i>



2.1.6.3	Gerenciamento de alterações .....	64
2.1.6.4	Gerenciamento do fluxo de trabalho .....	66
2.1.6.5	Particularidades da estruturação de produtos ETO / OKP .....	69
2.1.7	Planejamento da produção .....	73
2.1.8	Indicadores de desempenho e o PDP .....	75
<b>2.2</b>	<b>Sistemas de informação integrados .....</b>	<b>77</b>
2.2.1	Conceitos gerais sobre integração .....	77
2.2.2	Visão de integração no âmbito das tecnologias habilitadoras .....	79
2.2.3	Visão de integração no âmbito dos principais SI empresariais .....	84
2.2.3.1	Motivação para utilização de sistemas integrados empresariais .....	84
2.2.3.2	Sistemas para gestão empresarial .....	84
2.2.3.3	Evolução dos sistemas ERP (o ERP II ou ERP/SCM) .....	85
2.2.3.4	Inteligência aplicada aos negócios ("Business Intelligence - BI") .....	85
2.2.3.5	Sistemas para o gerenciamento dos dados de engenharia .....	86
2.2.3.6	Interligação entre os principais SI empresariais .....	88
2.2.3.7	Abordagens de integração entre os principais SI .....	90
2.2.4	Utilização de sistemas integrados em empresas ETO / OKP .....	93
2.2.4.1	Requisitos .....	93
2.2.4.2	Sistemas para estimativa de custos .....	96
2.2.4.3	Sistemas para gerenciamento de dados do produto (PDM) .....	97
2.2.4.4	Sistemas para planejamento do processo .....	101
2.2.4.5	Sistemas para gerenciamento de projetos .....	104
2.2.4.6	Sistemas para gestão da produção .....	106
<b>2.3</b>	<b>Considerações finais acerca da revisão bibliográfica .....</b>	<b>108</b>
<b>3</b>	<b>ESTUDO DESCRITIVO DE UM AMBIENTE COMPUTACIONAL INTEGRADO PARA O DESENVOLVIMENTO DE BENS DE CAPITAL COM ENGENHARIA SOB ENCOMENDA .....</b>	<b>110</b>
<b>3.1</b>	<b>Situação anterior à reformulação dos SI .....</b>	<b>111</b>
3.1.1	Aspectos organizacionais .....	111
3.1.2	Aspectos relacionados aos SI .....	112
<b>3.2</b>	<b>Planejamento da mudança .....</b>	<b>121</b>
3.2.1	Aspectos organizacionais .....	121
3.2.2	Aspectos relacionados aos SI .....	123
3.2.3	Execução do Planejamento .....	126
<b>3.3</b>	<b>Execução da mudança .....</b>	<b>128</b>
3.3.1	Definições conceituais para a empresa - itens, codificação, estruturas de produto e classificação de famílias via tecnologia de grupo .....	129
3.3.2	Desenho do processo corrente de engenharia de produto .....	131
3.3.3	Definição da tecnologia e infra-estrutura de acesso remoto .....	131
3.3.4	Levantamento de lacunas ("gaps") por parte da equipe de implantação .....	132
3.3.5	Detalhamento das customizações a serem executadas .....	134
3.3.6	Elaboração das customizações gerais .....	135
3.3.7	Elaboração das customizações do módulo de orçamentação .....	136
3.3.8	Construção das interfaces entre o sistema legado, o PDM e ERP, e migração de informações entre tais sistemas .....	137
3.3.9	Configuração do Sistema .....	142
3.3.10	Documentação do sistema para a empresa, atualização dos procedimentos e instruções de trabalho e treinamento de usuários dos novos SI .....	146
3.3.11	Melhorias pós-implantação .....	147
<b>3.4</b>	<b>Situação atual da organização .....</b>	<b>149</b>
3.4.1	Aspectos organizacionais .....	149
3.4.2	Aspectos relacionados aos SI .....	149

<b>4 ESTUDO PRÁTICO SOBRE SISTEMAS INTEGRADOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE BENS DE CAPITAL COM ENGENHARIA SOB ENCOMENDA .....</b>	<b>151</b>
4.1 Atividades de preparação para aplicação dos instrumentos definidos para a pesquisa de campo .....	151
4.2 Execução da pesquisa de campo.....	155
4.3 Compilação e análise inicial dos resultados.....	157
4.4 Síntese da compilação e da análise inicial dos resultados.....	158
4.4.1 Avaliação da influência dos SI sobre o processo analisado .....	158
4.4.2 Avaliação da qualidade da integração entre o ERP e o PDM .....	159
4.4.3 Avaliação da influência da integração dos SI sobre os indicadores de desempenho .....	159
4.4.4 Revelação de relações entre indicadores do processo (IP <sub>n</sub> ) e indicadores dos SI (IS <sub>n</sub> ).....	160
4.4.5 Dificuldades e oportunidades de melhoria levantadas para a aplicação dos SI nos processos pesquisados.....	161
4.4.5.1 Processo de liderança .....	161
4.4.5.2 Processo de vendas .....	161
4.4.5.3 Processo de gerenciamento .....	161
4.4.5.4 Processo de engenharia.....	162
4.4.5.5 Processo de suprimentos .....	163
4.4.5.6 Processo de manufatura.....	163
4.4.5.7 Processo de entrega e pós-entrega .....	164
4.4.6 Visão geral dos resultados da avaliação realizada na pesquisa de campo .....	165
<b>5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>166</b>
5.1 O apoio dos SI integrados à produção ETO de bens de capital .....	166
5.1.1 A característica da produção ETO de bens de capital.....	166
5.1.2 O apoio oferecido pela integração entre o PDM e o ERP .....	167
5.1.2.1 O conceito básico de integração .....	167
5.1.2.2 A qualidade dos SI implantados .....	168
5.1.2.3 A percepção do apoio por parte dos participantes da pesquisa .....	168
5.1.3 A influência dos SI estudados sobre os indicadores de desempenho.....	171
5.2 Lições aprendidas e as características dos SI implantados .....	172
5.3 Desenvolvimentos futuros.....	175
5.3.1 Intensificação da pesquisa sobre sistemas ERP e PDM para o PDP ETO .....	176
5.3.2 Verificação da aplicabilidade de sistemas disponíveis no mercado para <i>Business Intelligence</i> .....	176
5.3.3 Estudo para aprimoramento dos cenários de configuração do módulo de MRP II para atendimento ao PDP ETO.....	177
5.4 Considerações Finais .....	178
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>179</b>
3.1 OBRAS CONSULTADAS.....	188

<b>APÊNDICES</b> .....	<b>189</b>
Apêndice 1 – Roteiro para entrevista e questionário – avaliação do grau de apoio oferecido pelos SI ao PDP no segmento de bens de capital, sob o ponto de vista dos participantes do processo.....	190
Apêndice 2 – Objetivos das questões dos instrumentos de pesquisa de campo e tipos de avaliações correspondentes .....	207
Apêndice 3 – Compilação e análise inicial dos resultados.....	212
<b>ANEXOS</b> .....	<b>235</b>
Anexo 1 – Questões de outra pesquisa executada logo após a implantação dos novos sistemas, apresentada aqui para comparação com a presente pesquisa de campo – Fonte: empresa estudada. ....	236
Anexo 2 – Sugestões sumarizadas, obtidas em eventos de <i>brainstorming</i> junto a representantes das áreas afetadas, antes da reformulação dos SI para o PDP – Fonte: empresa estudada.....	241



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto e justificativa do trabalho

O fornecimento de bens de capital sob encomenda incorre, em muitos casos, na utilização do modelo de engenharia sob encomenda (*“Engineer-To-Order – ETO”*) ou de produção de tipo único (*“One-of-a-Kind-Production – OKP”*) para a solução dos problemas de seu ciclo produtivo, conforme Wortmann et al. (1997, p.1-35). Tal ciclo particulariza-se pelos tipos de controle, conjuntos de regras e sistemas empregados, assim como pelo tratamento da demanda e das próprias fases do desenvolvimento do produto. Os produtos considerados são, em geral, altamente customizados e fornecidos em baixa escala ou até mesmo em quantidade unitária e os custos envolvidos são relativamente altos. Diversos autores ressaltam a importância de se considerar tais diferenças no estudo de processos baseados neste modelo (CARON e FIORE, 1995; HAMERI e NIHTILÄ, 1998; RAHIM e BAKSH, 2003; RUSSO, 1997; TU, 1997; WORTMANN, 1995).

O modelo OKP ou ETO de desenvolvimento de produto não é alinhado aos padrões tradicionalmente estabelecidos para a produção seriada ou “em massa”. No modelo de produção em massa os produtos e roteiros são bem conhecidos, mas a precisão quanto ao tempo e quantidade da ocorrência de demanda é incerta. No modelo OKP ou ETO, o tempo e quantidade da ocorrência de demanda são bem conhecidos, mas a precisão da natureza dos produtos e roteiros é incerta, conforme Wortmann et al. (1997, p.344). A quantidade de empresas e organizações preparadas para operar neste contexto é relativamente baixa se comparada com o montante de empresas e organizações que operam na produção seriada ou “em massa”.

O estudo dos aspectos relacionados ao modelo para desenvolvimento de produtos neste contexto se justifica pela importância que a produção de

bens de capital apresenta para o desenvolvimento de infra-estrutura, requisito essencial para a evolução de qualquer sociedade, e fundamento básico para a sustentação dos outros sistemas produtivos e desenvolvimento de tecnologia. Importantes autores da área econômica compartilham este ponto de vista (CHESNAIS, 1991; DOSI, 1982).

Conforme observado por Hicks et al. (2000a, p.414), é pequena a quantidade de pesquisas relacionadas a assuntos deste segmento, o que induz a um número comparativamente reduzido de pesquisas e publicações científicas a respeito.

Rozenfeld e Zancul (2000, p.8) identificaram as funcionalidades de apoio ao desenvolvimento de produtos em sistemas de gestão empresarial (“*Enterprise Resource Planning – ERP*”) e, com base na comparação com modelos de referência, concluíram que 55% das atividades de desenvolvimento de produtos podiam ser apoiadas pelo ERP estudado. Estes autores indicam a necessidade de pesquisa de comparação entre as funcionalidades identificadas com as funcionalidades dos sistemas de engenharia, tal como o sistema de gerenciamento dos dados do produto (“*Product Data Management – PDM*”).

Diversos fornecedores de sistemas de gestão empresarial alegam ser inviável cobrir o processo de produção ETO ou OKP utilizando sistemas de gestão projetados para a produção em massa, e que a tentativa de se utilizar tais sistemas neste ambiente incorre na necessidade de um grande volume de adaptações destes e conseqüentemente em maior investimento para implantação, resultando também em desempenho com qualidade inferior àquela que se observaria com a utilização de um sistema especificamente projetado para cobrir tais particularidades (QUESTICA, 2005; ENCOMPIX, 2005; GLOVIA, 2005).

Tais alegações carecem de confirmação por meio de investigação científica independente, para que possam ser utilizadas em processos de melhoria por empresas ETO ou OKP. A existência de institutos totalmente dedicados à produção com engenharia sob encomenda (ETO-INSTITUTE, 2005; FOR-ETO, 2005) não é suficiente para atestar a alegação dos fornecedores de sistemas de gestão para esse tipo de produção, já que tais institutos congregam boa parte destes fornecedores.

Para certificação destas alegações é necessário então pesquisar sistematicamente e avaliar por meio de estudos práticos o grau de apoio oferecido por sistemas de gestão integrados à produção ETO. Nesta pesquisa as particularidades do processo são consideradas e avaliadas em termos de desempenho, em relação a um ambiente real com as características já mencionadas e as funcionalidades oferecidas pelo ambiente integrado.

Considerando a importância e a escassez de pesquisas relacionadas ao contexto descrito, é justificável o esforço de pesquisa para o aumento do conhecimento neste segmento e apoio ao desenvolvimento de produtos por meio de sistemas integrados.

## **1.2 O problema de pesquisa**

O problema pode ser apresentado por meio da seguinte questão:

*Em que grau os sistemas de informação integrados têm apoiado o processo de desenvolvimento de produtos do segmento de bens de capital com engenharia sob encomenda?*

## **1.3 Objetivo do trabalho e resultados esperados**

O objetivo é tornar explícito, de forma clara e independente, o grau de apoio oferecido por um ambiente integrado ao processo de desenvolvimento de bens de capital com engenharia sob encomenda. Além deste objetivo o trabalho também pretende descrever o processo de mudança ocorrido no ambiente estudado, apresentando a situação anterior à transformação, as principais considerações e ações durante o processo e a situação corrente do ambiente.

Conforme Slack et al. (1999, p.445-447) os processos estudados pela administração da produção podem ser medidos considerando cinco objetivos de desempenho (qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo), com base em comparações com padrões históricos, alvos, da concorrência ou absolutos. Com exceção do custo, que não é considerado por envolver o tratamento de dados cuja origem extrapola o objetivo principal deste trabalho, os objetivos de desempenho considerados são desdobrados em

particularidades mais próximas de cada atividade executada, conforme mostrado na figura 1.

A análise de cada atividade do processo de desenvolvimento de produtos conduz à investigação dos objetivos de desempenho junto aos clientes internos ou externos deste processo, o que faz com que o resultado seja legítimo sob o ponto de vista de quem vivencia as suas particularidades. O fluxo sugerido pela figura 1 propõe que as atividades suportadas por sistemas de informação (SI) sejam avaliadas quanto ao grau de apoio oferecido por estes sistemas. Entretanto, a detecção de atividades críticas ainda não cobertas ou apoiadas por estes sistemas, também pode gerar ações à empresa estudada para a melhoria do apoio a estas atividades.

Portanto, com a medição proposta e a análise dos indicadores pretende-se apresentar argumentos que sugiram ações para o aprimoramento do processo de desenvolvimento de produtos ou dos sistemas integrados de apoio.

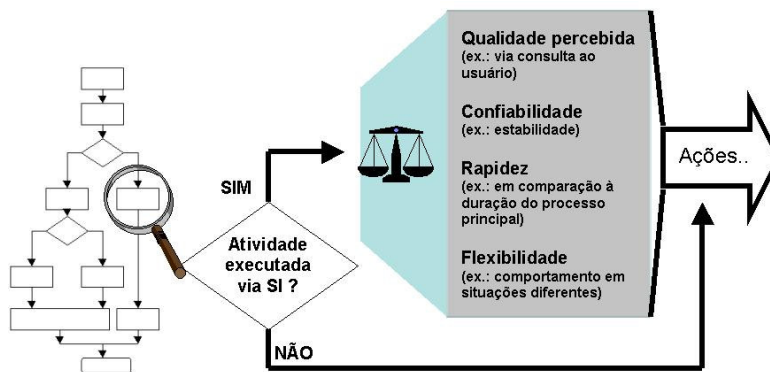


Figura 1 – Avaliação do grau de apoio oferecido pelos sistemas de informação (SI) integrados ao processo de desenvolvimento de produtos.

Pretende-se também enriquecer as visões científicas e tecnológicas correntes sobre as ferramentas e soluções disponíveis para o desenvolvimento de produtos no segmento analisado.

## 1.4 Limitações

Uma limitação do trabalho refere-se ao foco. O foco principal consiste em analisar o apoio que os seguintes sistemas oferecem ao processo de desenvolvimento de produtos: (1) sistema de gestão empresarial (“*Enterprise Resource Planning – ERP*”); (2) sistema de gestão dos dados do produto



(“*Product Data Management – PDM*”) e; (3) a integração entre ambos. Sistemas de informação periféricos não são apresentados com maior aprofundamento.

Além disso, as atividades práticas são desenvolvidas tendo-se como objeto de estudo uma única empresa, o que inviabiliza a proposição de generalizações.

O ERP utilizado pela empresa estudada não é especificamente projetado para a produção ETO, o que leva a investigação à busca de resultados com base na análise de um modelo diferente do modelo ideal defendido por fornecedores de sistemas ERP para ETO, conforme já mencionado.

## **1.5 Metodologia de pesquisa**

Segundo Croom (2002, p.148), apesar do processo de pesquisa ser quase sempre caótico, envolvendo retrocessos entre os seus vários estágios, é possível analisá-lo sob o ponto de vista normativo, examinando os vários elementos de um programa de pesquisa. Bryman<sup>1</sup> (1988 apud Croom, 2002, p.148) apresenta um modelo normativo baseado em sete estágios genéricos:

- (1) Identificação da área de estudo;
- (2) Seleção do tema de pesquisa;
- (3) Decisão sobre a abordagem;
- (4) Formulação do plano de pesquisa;
- (5) Coleta de dados ou de informações;
- (6) Análise e interpretação dos dados;
- (7) Apresentação dos resultados.

Considerando que os estágios (1) e (2) já tenham sido esclarecidos até este ponto do trabalho, os estágios (3) a (7) são os próximos passos a serem desenvolvidos.

O estágio (3) se refere à decisão sobre a abordagem de pesquisa. Esta decisão passa pelos seguintes assuntos:

- Análise e direcionamento do problema;
- Assuntos selecionados para a pesquisa bibliográfica;

---

<sup>1</sup> BRYMAN, A. (1988). *Doing research in organisations*. London: Routledge.

- Esclarecimentos sobre o objeto de estudo;
- Definição da abordagem;
- Instrumentos da metodologia e da coleta de dados.

Considerando todos os assuntos e definições analisadas, o trabalho segue para o estágio (4), que se refere à formulação do plano de pesquisa. Neste plano são estabelecidos os momentos e maneira em que ocorrem as ações referentes aos estágios (5), (6) e (7).

### **1.5.1 Decisão sobre a abordagem**

A decisão sobre a abordagem demanda o direcionamento do problema, seu desdobramento para identificação dos assuntos da pesquisa teórica e prática e a identificação das particularidades do objeto de estudo.

#### **1.5.1.1 Análise e direcionamento do problema**

De acordo com Roesch (1999, p.240), a definição do problema deve passar por sua apresentação, pela sua significância para a teoria, pelo foco da investigação e pela viabilidade do estudo.

Em resumo, por meio de uma discussão da literatura relevante e/ou do levantamento preliminar de dados, esta seção, na proposta de dissertação, busca responder às seguintes questões: Quem tem interesse neste tipo de investigação? O que já se conhece a respeito do tópico? O que ainda não foi respondido adequadamente em pesquisas ou práticas anteriores? Como este estudo contribui para a teoria, políticas ou práticas nesta área? (ROESCH, 1999, p.240).

Roesch (1999, p.121) apresenta o diagrama de Wallace que sistematiza o processo de pesquisa, partindo-se das observações e passando pela generalização empírica, que por sua vez podem ser sintetizadas em teorias por meio da formação de conceitos, de proposições e da identificação das relações entre as proposições. O diagrama pode ser visto na figura 2.

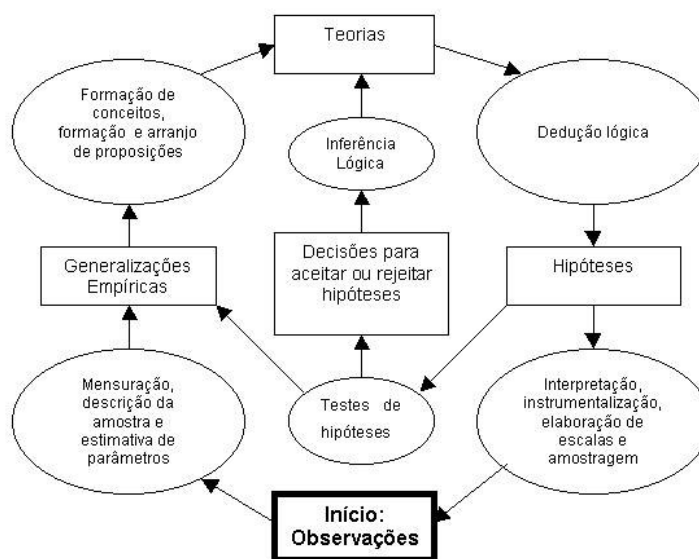


Figura 2 – Diagrama de Wallace – Adaptado de Roesch (1999, p.121)

O diagrama de Wallace pode ser analisado considerando-se quatro regiões ou quadrantes complementares, conforme mostrado na figura 3.

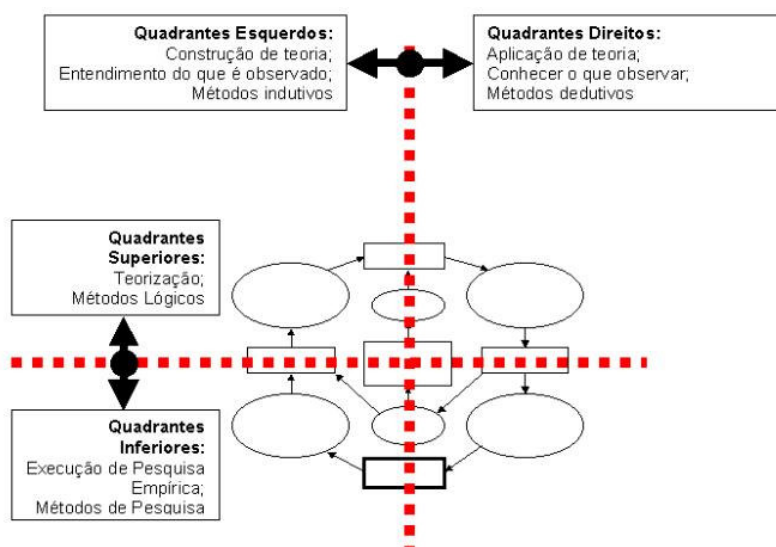


Figura 3 – Análise dos quadrantes do diagrama de Wallace – Adaptado de Roesch (1999, p.121)

Partindo de uma divisão vertical no diagrama, Wallace considera que nos quadrantes esquerdos estão a construção de teoria e o entendimento do que está sendo observado, sendo estes fatores os que constituem os métodos indutivos. Nos quadrantes do lado direito estão a aplicação de teoria e o conhecimento do que deve ser observado, sendo estes fatores os que constituem os métodos dedutivos. Considerando uma divisão horizontal no

diagrama, nos quadrantes inferiores estão a execução da pesquisa empírica e os métodos de pesquisa. Nos quadrantes superiores estão a teorização e os métodos lógicos.

Com base nestas considerações e na natureza do problema, este trabalho se desenrola por meio de ciclos complementares pelos quadrantes esquerdos do diagrama conforme mostrado na figura 4, ou seja, partindo da observação e direcionando argumentos ou proposições para ações e pesquisas futuras. Utilizando, portanto, a metodologia de pesquisa com abordagem indutiva, com posterior análise lógica para preparação destes argumentos ou proposições.

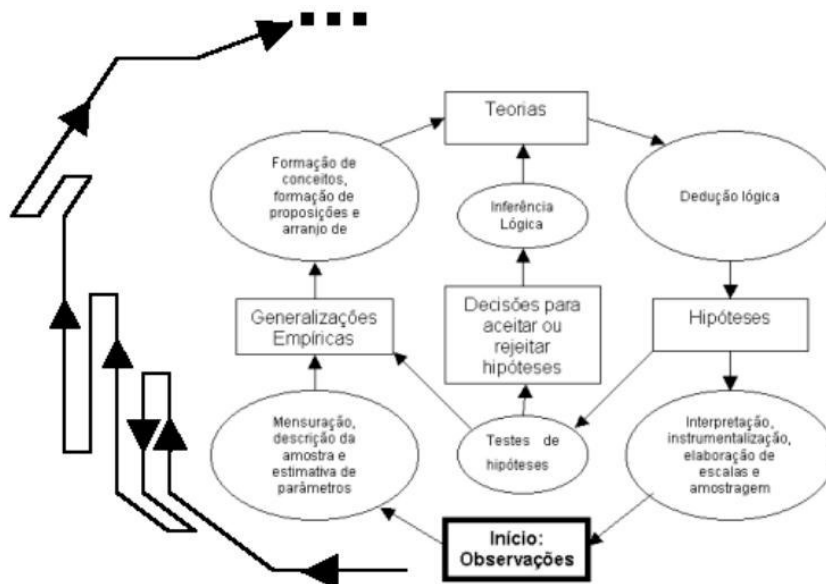


Figura 4 – Ciclos de desenvolvimento da pesquisa - Adaptado de Roesch (1999, p.121)

O primeiro exercício de observação ocorre sobre o ambiente da empresa e remete a análise para alguns elementos mencionados no tema investigado, apresentando-os como condições de partida para o desdobramento da questão de pesquisa. Os principais elementos observados, independentemente da ordem em que aparecem no tema, são os seguintes:

- Processo de desenvolvimento de produtos;
- Bens de capital;
- Engenharia sob encomenda;
- Ambiente computacional integrado.

Considerando as condições de partida mencionadas, a questão do problema pode então ser desdobrada em questões menores, conforme

mostrado na figura 5. Tais questões auxiliam a análise a fim de direcionar os assuntos para o desenvolvimento do trabalho.

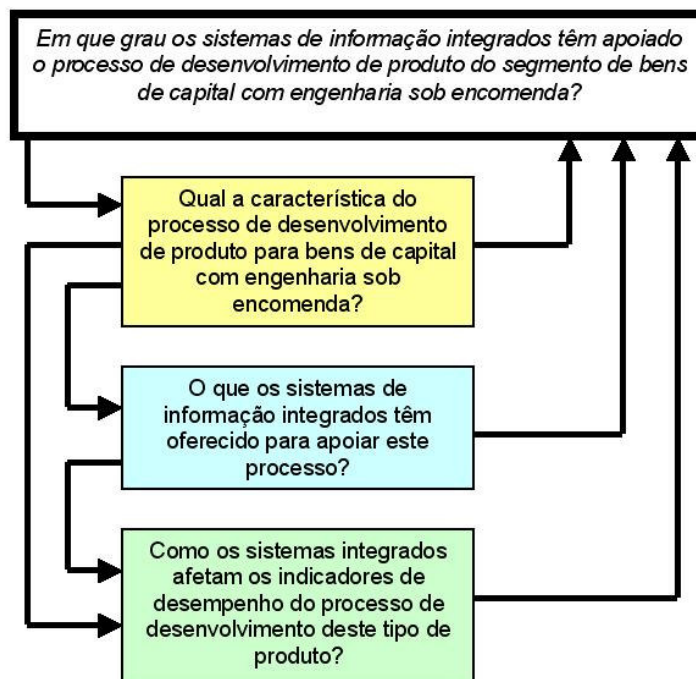


Figura 5 – Desdobramento da questão de pesquisa e primeira análise para direcionamento dos assuntos para desenvolvimento do trabalho

### 1.5.1.2 Assuntos selecionados para a pesquisa bibliográfica

Considerando o desdobramento do problema, sua análise e direcionamento, pode-se inferir que a sua resolução abrange uma caracterização e avaliação, tendo a “visão organizacional” como alicerce, passando sobre particularidades construtivas do “modelo de integração entre os sistemas de informação aplicados” e terminando com uma “investigação por meio de um estudo prático”, destinado à avaliação desejada.

A “visão organizacional” para definição da característica do processo de desenvolvimento de produto sugere uma análise dos principais conceitos e problemas relacionados ao “processo de negócio” do segmento estudado. Segundo Hicks et al. (2000a, p.414), uma das maiores fontes de incertezas neste segmento é a necessidade de sobreposição das atividades de projeto, manufatura e revisões de engenharia, decorrentes de prazos cada vez menores e da influência constante do cliente durante o desenvolvimento. A constatação de sobreposição excessiva de atividades sugere uma análise

sobre os conceitos relacionados à filosofia de “engenharia simultânea”, e também uma análise sobre as características das atividades do “processo de desenvolvimento de produtos” para este segmento.

O “modelo de integração entre os sistemas de informação aplicados” sugere uma análise dos conceitos relacionados aos “sistemas de informação para apoio ao processo de desenvolvimento de produtos”, e também do “modelo de integração” aplicado para o funcionamento conjunto destes sistemas.

Para investigar como os sistemas integrados afetam os indicadores de desempenho do processo, é necessário analisar alguns conceitos relacionados a “indicadores de desempenho”.

Em síntese, a análise após o desdobramento do problema remete a investigação aos seguintes assuntos a serem levantados na pesquisa bibliográfica e tratados durante o desenvolvimento deste trabalho:

- Processo de negócio;
- Processo de desenvolvimento de produtos;
- Engenharia simultânea;
- Sistemas de informação para apoio ao processo de desenvolvimento de produtos;
- Integração entre sistemas de informação;
- Indicadores de desempenho para desenvolvimento de produtos.

### **1.5.1.3 Esclarecimentos sobre o objeto de estudo**

A empresa estudada foi fundada há 94 anos. Trata-se de importante fornecedora de bens de capital para o ramo mecânico, atuando nos segmentos de equipamentos pesados para geração de energia, metalurgia, mineração, movimentação de cargas, montagem e serviços. Sua principal característica é a engenharia sob encomenda, que é atualmente suportada por sistemas computacionais integrados. Tem atuado nos mercados nacional e internacional durante as últimas décadas.

Possui duas instalações fabris, uma delas localizada em uma cidade da grande São Paulo e outra no interior paulista, além de um escritório central na cidade de São Paulo. Faz parte de um grupo que também opera em outras áreas, tais como na produção de barras de aços laminados e trefilados, na

agroindústria, em serviços industriais, administração de bens e corretoras de seguros.

Conta atualmente com 1.225 funcionários, ativos totais de US\$ 105 milhões, tendo obtido um faturamento líquido de US\$ 46 milhões no ano de 2003 (dados de julho de 2004, início desta pesquisa).

A empresa passa pela fase de estabilização e aprimoramento contínuo de seus processos de negócio, após uma alteração revolucionária do seu conjunto de sistemas de informação integrados. Esse modelo híbrido de mudança revolucionária sobreposta por mudança contínua é apresentado por Slack et al. (1999, p.459) como uma das abordagens para melhoria. Além do sistema de gestão empresarial (ERP), a empresa promoveu quase que simultaneamente a substituição de vários sistemas de informação periféricos e integrou ao novo sistema de gestão empresarial um sistema de gerenciamento de dados de produtos (PDM).

De acordo com Wortmann et al. (1997, p.69), os sistemas típicos para o controle da produção em massa baseiam-se na técnica MRP. Esta técnica tem ação sobre o fluxo de produtos e ordens de trabalho anônimas, não diretamente relacionadas com as encomendas dos clientes. O objetivo destes sistemas é gerar automaticamente ordens de trabalho planejadas para a manufatura e expedição de produtos também anônimos. Na manufatura orientada ao cliente, especialmente na produção ETO, o grande objetivo de um sistema de informação não é a geração automática de ordens planejadas, mas o apoio amigável aos profissionais de engenharia para adequação da capacidade da empresa às necessidades de seus clientes.

Como os principais fabricantes de sistemas ERP e PDM assumem e praticam como estratégia de venda a ação de reunir em seus produtos as melhores práticas e soluções do mercado, e o mercado não é, em sua maior parte, constituído por empresas produtoras de bens de capital com engenharia sob encomenda, o esforço para adaptação destes sistemas em empresas como a estudada não é o mesmo observado nos demais tipos de empresa de produção seriada, segundo a empresa estudada.

Essa característica faz com que os profissionais responsáveis pela adoção, implementação e estabilização destas ferramentas neste tipo de empresa, bem como dos processos pertinentes, estejam continuamente

engajados em pesquisas, cuja natureza pode variar entre abordagens mais práticas, com o apoio de empresas especialistas do mercado, até abordagens acadêmicas, com o apoio de especialistas ou pesquisadores de universidades (CRISTÓVÃO, 1994; EBSUI, 1993; FUSARO, 1993; RUSSO, 1997). O responsável por esta pesquisa atua na empresa estudada e está continuamente envolvido em situações como a pesquisada.

#### **1.5.1.4 Definição da abordagem**

Coughlan e Coughlan (2002, p.221) apresentam e defendem em seu trabalho a importância da aplicação dos métodos empíricos de pesquisa em administração da produção. Entretanto esclarecem que nem todas as questões de interesse dos administradores e pesquisadores da administração da produção podem ser respondidas por meio de *surveys*, estudos de caso ou pesquisa-ação com, por exemplo, observação participante.

Considerando o objeto de estudo e os objetivos definidos, a definição quanto à metodologia a ser utilizada deve então passar pela análise dos conceitos que envolvem a aplicação de estudos de caso e de pesquisas-ação, com o objetivo de fundamentar a escolha por uma destas alternativas.

Primeiramente discorrendo sobre a metodologia do estudo de caso, Voss et al. (2002, p.201) apresentam algumas definições importantes para a sua compreensão. Segundo estes autores um estudo de caso é apenas uma unidade de análise dentro da metodologia da pesquisa de casos. É possível utilizar diferentes casos oriundos da mesma empresa para se estudar diferentes assuntos ou pesquisar o mesmo assunto em uma variedade de contextos numa mesma empresa. Estudos de caso podem ser utilizados para diferentes propósitos de pesquisa tais como exploração, construção de teoria, teste, extensão ou refinamento de teoria.

Estes autores ainda esclarecem que quanto menor o número de casos analisados, maior é a oportunidade de aprofundamento na observação. Entretanto destacam que estudos de caso único apresentam limitações quanto à generalização das conclusões, modelos ou teorias desenvolvidas. A adoção de múltiplos casos resolve boa parte destes problemas pela análise cruzada inter casos, porém prejudica o aprofundamento das informações. Portanto, a opção de tratar a situação estudada como um estudo de caso apresenta sérias



restrições, considerando-se o objeto de estudo já apresentado. É necessária então a investigação de outro tipo de abordagem, como por exemplo pesquisa-ação.

Quanto à metodologia de pesquisa-ação, Coughlan e Coughlan (2002, p.220) esclarecem que pesquisa-ação é uma abordagem que objetiva tanto a tomada de ação quanto a criação de conhecimento ou teoria sobre tal ação. Administradores e pesquisadores podem aprender com atividades aplicadas que caracterizem a prática de administração da produção.

Parece haver poucas evidências de pesquisa-ação como metodologia aplicada nas publicações sobre pesquisa empírica em administração da produção. Aí reside então uma oportunidade para a rigorosa aplicação da pesquisa-ação com potencial para contribuir ao conhecimento e prática (COUGHLAN e COGHLAN, 2002, p.221).

Pesquisa-ação é pesquisa em ação, em vez de pesquisa sobre ação. Por ser concorrente com a ação o seu objetivo é simultaneamente fazer que as ações sejam mais efetivas e construir um corpo de conhecimentos científicos. Os membros do sistema estudado participam ativamente nos ciclos da pesquisa (planejamento, tomada de ação, avaliação e planejamento do novo ciclo), o que contrasta com a pesquisa tradicional em que os membros do sistema são os objetos de estudo. Dentre as características e requisitos para o pesquisador destaca-se a capacidade de se adaptar a eventos imprevisíveis e contingências do sistema estudado, o que demanda deste pesquisador a atuação como trabalhador neste sistema. Considerando este contexto, administradores têm aderido a programas acadêmicos e atuado como pesquisadores, somando às suas atividades regulares a atividade de pesquisa-ação (COUGHLAN e COGHLAN, 2002, p.225).

Conforme Coughlan e Coughlan (2002, p.224) os papéis do pesquisador na ciência positivista e na pesquisa-ação são bem diferentes, considerando que no primeiro caso o pesquisador normalmente desempenha uma função de observador apenas, e que na pesquisa-ação se posiciona como um ator e agente de mudança.

Roesch (1999, p.157) apresenta alguns enfoques sob os quais se desenvolve a pesquisa-ação. Segundo esta autora os enfoques se distinguem conforme o tipo de atuação do pesquisador. No enfoque *vivencial* as pessoas

envolvidas são consideradas como co-pesquisadores e a confiança mútua entre os envolvidos é crucial. No enfoque endógeno os pesquisadores atuam como orientadores para os pesquisadores de dentro (endógenos), conceituando dados, selecionando o foco, levantando hipóteses, desenhando a pesquisa e analisando os dados. No enfoque participativo o processo de pesquisa conduz a perspectivas complexas e muitas vezes conflitantes. Neste enfoque não há distinção clara entre ser um consultor e ser um pesquisador, pois o propósito é facilitar para os indivíduos construindo propostas que considerem os valores e crenças sobre a situação estudada, dialogando sempre sem destruir a integridade do processo de pesquisa.

Considerando o problema de pesquisa, o objeto de estudo, os objetivos e resultados esperados, a origem e atuação do pesquisador, e o levantamento bibliográfico apresentado sobre abordagens práticas para pesquisa em administração da produção, a abordagem indicada para o desenrolar prático deste trabalho é a de pesquisa-diagnóstico, com delineamento por pesquisa-ação com enfoque participativo. A abordagem global de pesquisa é qualitativa. As técnicas de análise são a análise de conteúdo e direcionamento dos argumentos ou proposições para a ação em programas de melhoria e para a construção de teoria em pesquisas futuras. Não se pretende com este trabalho construir novas teorias.

Coughlan e Coughlan (2002, p.237-238) apresentam e discutem em seu trabalho as dez características principais da pesquisa-ação para administração da produção, baseando-se na proposição de Gummesson<sup>2</sup>:

- (1) Os pesquisadores entram em ação, trabalhando e fazendo com que as coisas aconteçam;
- (2) A pesquisa-ação sempre envolve duas metas: a resolução de um problema e a contribuição para a ciência;
- (3) A pesquisa-ação é interativa e requer cooperação entre o pesquisador e o pessoal envolvido, além de contínuo ajuste às novas informações e eventos;
- (4) A pesquisa-ação objetiva o entendimento holístico de um projeto ou organização e reconhecimento de sua complexidade;

---

<sup>2</sup> GUMMESSON, E. (2000). *Qualitative methods in management research*, 2nd. ed., Sage, Thousand Oaks, CA. Oaks, CA.

- (5) A pesquisa-ação trata fundamentalmente a mudança, sendo aplicável ao entendimento, planejamento e implementação de mudanças em empresas e outras organizações;
- (6) A pesquisa-ação requer o entendimento da estrutura ética do objeto estudado, considerando valores e normas do contexto;
- (7) A pesquisa-ação considera todos os tipos de coleta de dados da pesquisa tradicional, tais como entrevistas, *surveys* e observação. A análise pode ser qualitativa ou quantitativa.
- (8) A pesquisa-ação requer um amplo pré-entendimento do ambiente corporativo, das condições de negócio, da estrutura e dinâmica dos sistemas operacionais e dos conceitos teóricos que suportam tais sistemas;
- (9) A pesquisa-ação deve ser conduzida em tempo real, embora também seja aceitável pesquisa-ação retrospectiva;
- (10) A pesquisa-ação requer seus próprios critérios de qualidade, não podendo ser julgada pelos critérios da ciência positivista.

Considerando a característica “5” e os esclarecimentos já apresentados sobre o objeto de estudo, em que se relata a ocorrência de um processo de estabilização de processos após uma mudança significativa, faz-se necessária uma descrição detalhada da situação “antes” e “depois” desta mudança, que sirva como ponto de partida para a avaliação pretendida.

De acordo com Coughlan e Coghlan (2002, p.229-230), no projeto da pesquisa-ação é comum existir uma equipe que trabalhe em conjunto com o pesquisador para a estruturação do assunto, planejamento, implementação, avaliação e construção de conhecimento organizacional. Estes autores apresentam uma metodologia de implementação com três fases:

- (1) Entendimento do contexto e propósito;
- (2) Execução dos "seis passos principais", a saber: coleta de dados, retro-alimentação, análise, planejamento da ação, implementação e avaliação;
- (3) Meta-fase de monitoramento, que ocorre interativamente com os seis passos principais mencionados.

Este tipo de pesquisa pode ocorrer por meio da execução de vários ciclos complementares, se necessário. A figura 6 mostra esta interação e também os "seis passos principais" de cada ciclo.

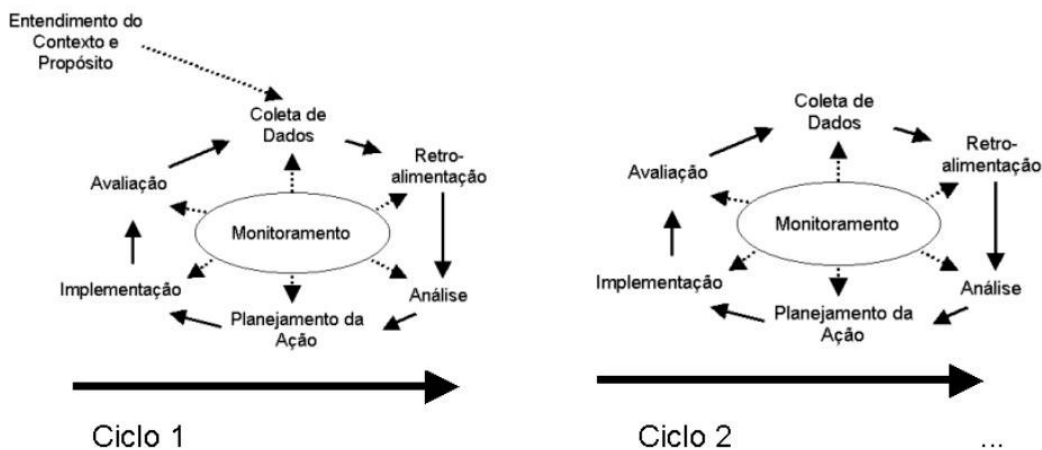


Figura 6 – Ciclos da pesquisa-ação – Fonte: Coughlan e Coughlan (2002, p.230)

### 1.5.1.5 Instrumentos da coleta de dados

O modelo de pesquisa sugerido por Oliveira (1999, p.73) revela a importância dos desdobramentos da preparação das ferramentas de coleta quanto ao planejamento e testes prévios, objetivando a qualidade dos resultados, considerando uma estruturação dividida em seis atividades: elaboração do roteiro e de procedimentos para entrevista; definição dos critérios para seleção de especialistas; seleção dos especialistas; teste piloto e ajustes; entrevistas e preparação dos resultados para análise. Para este trabalho o modelo sugerido é adaptado e utilizado para a estruturação destas ferramentas.

Uma adaptação importante considerada sobre o modelo sugerido por Oliveira (1999, p.73) para este trabalho é a utilização de questionários sobrepostos ou alternativos às atividades de entrevista. De acordo com Omokawa (1999, p.4), um questionário de “respostas fechadas” pode ser utilizado para a verificação dos dados por parte do entrevistado, eliminando desta forma a “pressão” para respostas imediatas em uma entrevista de “respostas abertas”.

Como o processo de desenvolvimento de produtos é constituído de diversos subprocessos, a aplicação do questionário é conduzida particularmente para cada um destes.

O roteiro para questionário e entrevista proposto e as recomendações para abordagem e sua aplicação junto aos entrevistados são apresentados no

apêndice 1 deste trabalho. O seu objetivo global é diagnosticar o “grau de apoio percebido” oferecido pelos SI integrados, considerando o ponto de vista dos usuários selecionados para a participação. Dessa forma, este instrumento contribui então com parte da resposta para a questão principal do problema apresentado.

O roteiro para questionário e entrevista está dividido em cinco partes, cada qual com um objetivo específico. O objetivo da primeira parte do roteiro é aferir o grau percebido de qualidade dos SI integrados. A segunda parte destina-se a avaliar conceitualmente a influência dos SI nas atividades do processo analisado. A terceira parte investiga o relacionamento desta influência com o comportamento dos indicadores objetivos de desempenho de cada atividade analisada no processo. A quarta parte é uma avaliação geral destinada a servir como parâmetro de consistência para as respostas obtidas nas demais partes. Finalmente a quinta parte destina-se à promoção de uma atividade em grupo com alguns participantes da pesquisa, para detecção de possíveis relações entre os indicadores de desempenho dos processos e dos sistemas de informação, investigados na terceira parte.

Além deste instrumento de coleta, nesta pesquisa são consideradas a utilização de análise documental e a observação participante.

Por meio da análise documental é possível resgatar informações valiosas para a descrição da situação passada e atual do objeto de estudo, bem como das principais transformações recentes ocorridas que sejam relevantes para o entendimento dessas situações.

A observação participante sistemática destina-se à captação das informações sobre relevantes transformações em curso durante e, em alguns casos, originadas pelo próprio desenrolar da pesquisa. Também se baseia na análise de documentos, porém não de forma retrospectiva e passiva.

### **1.5.2 Plano de pesquisa**

Este tópico trata do estágio “4” , dentre os estabelecidos<sup>3</sup> para a realização desta pesquisa.

---

<sup>3</sup> Os estágios estão listados na página 5.

### 1.5.2.1 Premissas para elaboração da pesquisa

A execução desta pesquisa procura respeitar quatro premissas básicas:

- (1) Embasamento teórico de cada tópico;
- (2) “Estado da arte” de cada tópico, considerando a tecnologia corrente;
- (3) Confronto dos dados obtidos, em atendimento às premissas (1) e (2), com os dados levantados no estudo prático;
- (4) Aspectos protocolares da metodologia adotada, para alcance da qualidade esperada nos resultados.

### 1.5.2.3 Atividades previstas

Considerando o atendimento às premissas mencionadas, o plano se desenrola por meio de etapas bem definidas. Os passos de execução do trabalho são mostrados abaixo:

- (a) Levantamento da bibliografia e pesquisa dos tópicos generalizados;
- (b) Levantamento das características tecnológicas correntes de sistemas de informação integrados e pesquisa junto a especialistas externos à organização;
- (c) Estudo descritivo do ambiente investigado, considerando a situação anterior ao processo de mudança, as principais considerações e ações durante este processo e a situação corrente do ambiente;
- (d) Estudo prático junto à empresa mencionada, executado por meio dos instrumentos de coleta definidos;
- (e) Compilação dos dados;
- (f) Análise crítica da compilação dos dados ("levantamento bibliográfico + dados secundários" *versus* "dados primários/ medições");
- (g) Elaboração da dissertação;
- (h) Apresentação final (defesa);

A estruturação do trabalho pode ser observada na figura 7.

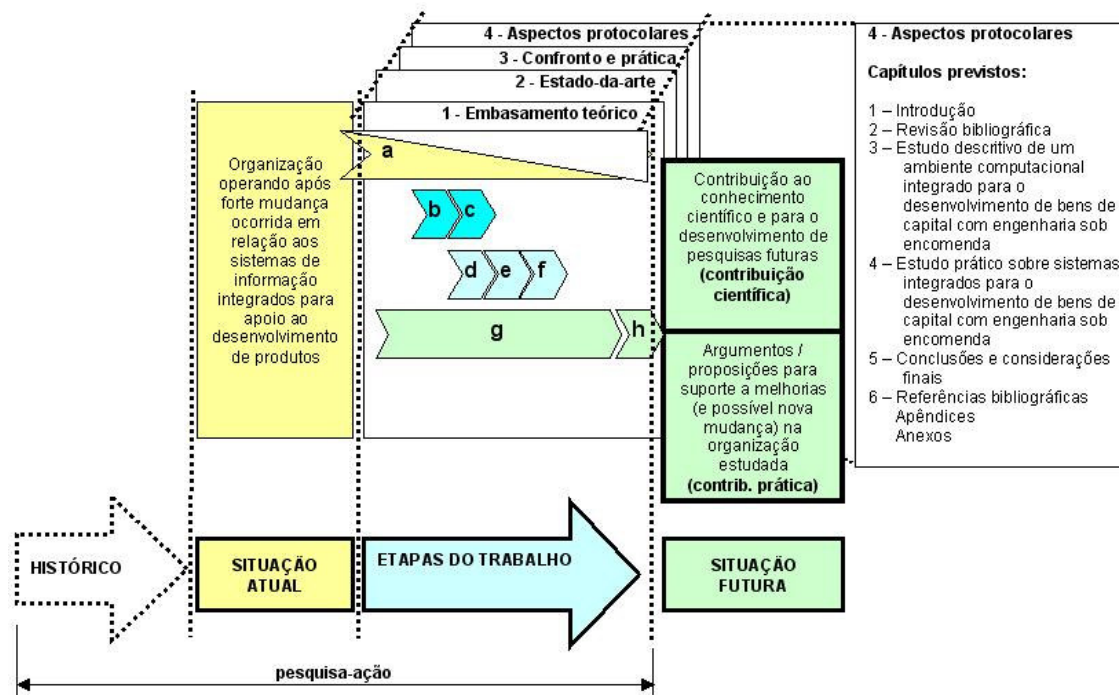


Figura 7 – Estruturação do trabalho

#### 1.5.2.4 Estrutura deste documento

Considerando a premissa relativa aos aspectos protocolares, a seguir apresenta-se sucintamente o conteúdo dos principais capítulos deste documento:

- Capítulo 1 – INTRODUÇÃO: apresenta o contexto em que o trabalho é desenvolvido, o problema de pesquisa, os objetivos e limitações, a metodologia de pesquisa e o plano de atividades;
- Capítulo 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: apresenta o processo de desenvolvimento de produtos, seu posicionamento no processo de negócio, algumas das principais filosofias e ferramentas de suporte a este processo, tal como o apoio dos sistemas de informação integrados, e as suas particularidades considerando a produção com engenharia sob encomenda;
- Capítulo 3 - ESTUDO DESCRITIVO DE UM AMBIENTE COMPUTACIONAL INTEGRADO PARA O DESENVOLVIMENTO DE BENS DE CAPITAL COM ENGENHARIA SOB ENCOMENDA: descreve a situação corrente do objeto

de estudo, partindo da situação anterior e da análise do processo de mudança. Portanto, este capítulo deixa mais clara a noção da situação “antes” e “depois” da mudança, servindo como ponto de partida e de comparação para a avaliação em campo;

- Capítulo 4 - ESTUDO PRÁTICO SOBRE SISTEMAS INTEGRADOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE BENS DE CAPITAL COM ENGENHARIA SOB ENCOMENDA: relata os resultados do trabalho de campo, compilando e apresentando os dados necessários para a análise crítica destes resultados;
- Capítulo 5 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS: apresenta as conclusões extraídas com base nos resultados da análise crítica executada, utilizando as informações relatadas nos capítulos “2, 3 e 4”;



## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Características da produção ETO / OKP**

#### **2.1.1 Aspectos organizacionais**

Os assuntos relacionados à perspectiva organizacional ganham importância para a pesquisa-ação, em que o entendimento do processo de negócio por parte do pesquisador e dos demais envolvidos pode influenciar significativamente os resultados obtidos.

A visão holística do processo de negócio tem sido uma tendência para se obter uma imagem sintética de todos os elementos da empresa, que correspondem às suas estratégias, atividades, informações, recursos e organizações, assim como suas inter-relações (ROZENFELD e BREMER, 2000, p.15).

Para entender a produção com engenharia sob encomenda é necessário antes situar o processo de negócio e seus principais elementos no cenário atual, em que diversas transformações têm ocorrido, alterando significativamente a forma e o entendimento das ferramentas de trabalho utilizadas pelos administradores e *decisores* das organizações.

De acordo com Rozenfeld e Bremer (2000, p.16), um processo de negócio é um fenômeno que ocorre dentro das empresas, representando o conjunto de atividades associadas às informações que manipula e utilizando os recursos e a organização da empresa.

O processo de negócio normalmente está direcionado a um determinado mercado ou cliente e também possui uma gama de fornecedores bem definida. Os processos de negócio típicos de uma empresa de manufatura são o planejamento estratégico, a venda, o desenvolvimento de produtos, a produção, a gestão de recursos humanos e financeiros e o atendimento ao

cliente, entre outros. É cada vez mais necessário identificar claramente os processos praticados na empresa para que seja possível a aplicação de diversas abordagens de melhoria como a reorganização do negócio, a implantação de sistemas de qualidade, controle de custos e gerenciamento baseado em atividades, produção enxuta, *six sigma*, implantação de sistemas integrados de gestão empresarial e *e-Business*. (ROZENFELD e BREMER, 2000, p.16).

Os processos de negócios também podem ser classificados quanto à sua relevância perante toda a cadeia de agregação de valor. Pires e Carpinetti (2000, p.52) classificam os processos de negócio em: primários, pertencentes à cadeia interna de agregação de valor, como vender e produzir e; de suporte, para apoio das funções primárias. Para estes autores os processos atravessam as funções de produção conforme a hierarquia dos recursos envolvidos, o que em geral torna difícil a comunicação, integração e entendimento holístico do negócio.

Além da natureza dos processos e suas diversas classificações, para explicitar os aspectos organizacionais é importante compreender como os arranjos organizacionais são estruturados. Conforme Rozenfeld et al. (2000, p.59) há três tipos básicos de arranjo organizacional para as atividades e equipes de desenvolvimento internas a uma unidade: funcional, matricial e por projeto pura. Para estes autores a estrutura matricial tende a se aperfeiçoar e ser predominante. Para Chiavenato (2000, p.622-623) a adoção de uma estrutura matricial, que é uma espécie de "remendo" na velha estrutura funcional, pode torná-la mais ágil e flexível às mudanças, permitindo ao mesmo tempo o ganho das vantagens da estrutura funcional e da estrutura orientada a produto ou projeto.

As novas possibilidades de gestão apresentadas pelos estudiosos da administração e pelas tecnologias utilizadas nos processos de produção permitem novos pontos de vista sobre o contexto de criação, transformação e localização considerando os processos de negócio e capacitadores tecnológicos e organizacionais (ROZENFELD e BREMER, 2000, p.11-22). Também podem ser consideradas como uma extensão ou aprimoramento da visão tradicional do modelo de administração, baseado na seqüência *input-*

*transformação-output* aproximada, das áreas de atividade da administração da produção (SLACK et al., 1999, p.53).

Neste trabalho há especial interesse no processo de desenvolvimento de produtos (PDP), dentro do processo de negócio de produção de bens de capital com engenharia sob encomenda. Alguns temas relacionados a outros processos como a gestão de recursos humanos, o planejamento estratégico, a venda, a produção e o atendimento ao cliente são sucintamente abordados, com o intuito de alimentar a análise da dinâmica da produção iniciada e controlada sob encomenda. Igualmente importantes são os processos relacionados à gestão financeira, que apesar da forte influência sobre a produção não são abordados neste trabalho.

Se para a produção seriada, em que geralmente o índice de utilização de ferramentas e insumos padronizados é alto, o capital intelectual e a aprendizagem organizacional apresentam-se como elementos muito importantes, para a produção com engenharia sob encomenda apresentam-se como essenciais. Tais elementos precisam estar alinhados à estratégia da organização, e esta precisa considerá-los como propulsores do desenvolvimento dos processos e funções críticas, tal como defendido por Kaplan e Norton (2004, p.52-63).

A produção com engenharia sob encomenda requer um alinhamento estratégico peculiar para o PDP se comparada a outras formas de produção, e este alinhamento estratégico requer, em primeiro plano, o estabelecimento do planejamento estratégico. Segundo Chiavenato (2000, p.280-282), o planejamento estratégico refere-se à maneira pela qual a empresa pretende aplicar determinada estratégia para alcançar os objetivos propostos, tendo um caráter global e de longo prazo. É de extrema importância que os administradores tenham em mente os objetivos de desempenho e prioridades competitivas em médio e longo prazo para o estabelecimento deste planejamento.

Particularmente em relação à função manufatura, Pires e Carpinetti (2000, p.45-50) acreditam que as prioridades competitivas quanto ao custo, qualidade, desempenho de entregas (confiabilidade e rapidez) e flexibilidade devem estar presentes na estratégia da fábrica do futuro.

Uma questão infra-estrutural muito importante apresentada por Pires e Carpinetti (2000, p.45-50), que afeta em especial o desdobramento da estratégia para o planejamento e controle da produção, é a forma de interação entre a manufatura e os clientes, cuja classificação proposta é a seguinte:

- (1) Produção para estoque ("*Make-To-Stock - MTS*"). Caracteriza a produção seriada de produtos planejados por previsão de demanda;
- (2) Montagem sob encomenda ("*Assembly-To-Order - ATO*"). Caracteriza a produção de subconjuntos, cujas partes são armazenadas até o recebimento dos pedidos dos clientes;
- (3) Produção sob encomenda ("*Make-To-Order - MTO*"). Caracteriza a produção que se inicia apenas após o recebimento do pedido formal dos clientes;
- (4) Engenharia sob encomenda ("*Engineering-To-Order - ETO*"). Caracteriza a produção cujo projeto do produto é iniciado apenas após o recebimento do pedido formal dos clientes.

O que Pires e Carpinetti (2000, p.45-50) definem como “interação entre a manufatura e os clientes”, Wortmann et al. (1997, p.59-68) explicam apresentando a noção sobre o “ponto de desacoplamento do pedido do cliente”, ou CODP ("*Customer Order Decoupling Point*"). O CODP refere-se a um ponto, no fluxo de materiais, com base no qual as atividades ou ordens orientadas pelo cliente começam a existir.

As atividades anteriores ao CODP são orientadas por atividades de planejamento baseadas mais em previsão do que em pedidos firmes, declarados por parte dos clientes. Nessas atividades a logística foca os estoques, e os sistemas de informação são baseados primariamente em itens anônimos, ou seja, itens não diretamente relacionados e nem codificados com base nas encomendas.

Considerando o fluxo, nas atividades posteriores ao CODP, a logística é mais focada no tempo. Os sistemas de informação não são baseados apenas em itens anônimos, mas também em itens especificamente codificados e fornecidos com base nas encomendas. A figura 8 mostra a tipologia apresentada por Wortmann et al. (1997, p.59-68) em relação ao CODP, e a classificação correspondente a esta tipologia.

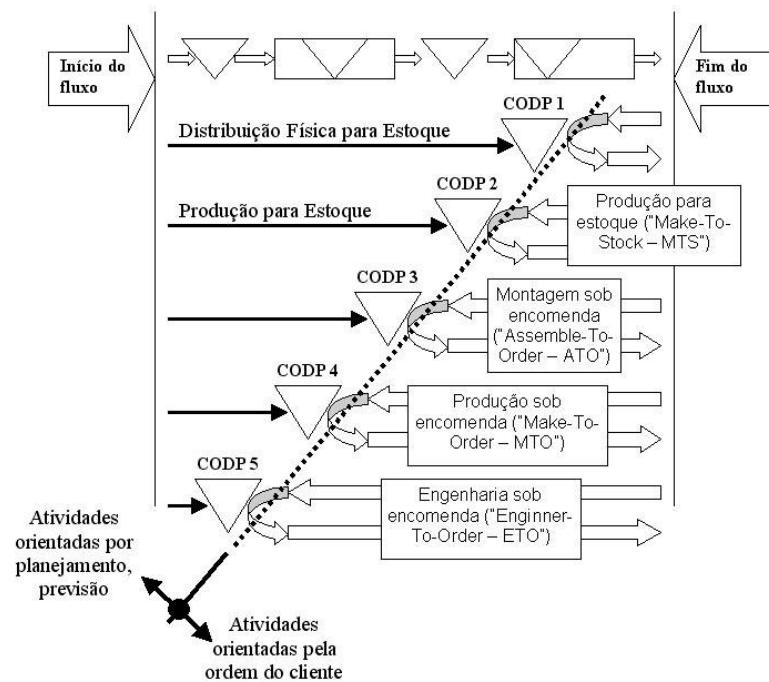


Figura 8 – Tipologia da manufatura orientada ao cliente, com base no conceito do ponto de desacoplamento do pedido do cliente – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.60)

Rahim e Baksh (2003a, p.183) compartilham esta visão, apesar de apresentarem um *continuum* com uma seqüência diferente da apresentada por Pires e Carpinetti. Para Rahim e Baksh a seqüência se inicia com o modelo MTS, passa para o modelo MTO, em seguida pelo modelo ATO e finalmente chega ao modelo ETO.

Wortmann et al. (1997, p.60-61) ainda apresentam um segundo conceito que julgam importante para o entendimento da manufatura orientada ao cliente, que se relaciona com o montante de investimentos realizados para o desenvolvimento de produtos ou para os processos de produção, independentemente da existência de pedidos do cliente:

- Empresa orientada a recursos: investe substancialmente em recursos humanos ou em maquinaria, mas não em processos específicos ou produtos, independentemente da existência de um pedido específico de um cliente;
- Empresa orientada a produtos: investe substancialmente no desenvolvimento de produtos, independentemente da existência de pedidos de clientes;
- Empresa orientada ao fluxo de trabalho ou processo: investe substancialmente em desenvolvimento de processos de produção, independentemente da existência de pedidos de clientes.

A figura 9 mostra exemplos de indústrias e a classificação segundo este conceito.

Modelo de Produção / Orientação	Engenharia sob encomenda (ETO)	Produção sob encomenda (MTO)	Montagem sob encomenda (ATO)	Produção para estoque (MTS)
Orientada ao Produto	Indústria de máquinas para embalagem	Indústria de máquinas ferramenta	Indústria de sistemas médicos	Indústria de <i>Commodities</i>
Orientada ao fluxo de trabalho, processo	Indústrias de impressão	Indústria de papel fino	Indústria de serviços	Subcontratante de concessionárias de carros
Orientada aos recursos	Indústria naval	Oficinas de reparo	Empresas de construção	Subcontratante de montagem manual repetitiva

Figura 9 – Exemplos considerando o modelo produtivo e a orientação dos investimentos para alguns tipos de empresa – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.61)

O conhecimento dos requisitos do cliente é um dos pontos mais importantes no processo de interação com a produção. Ferramentas que facilitem o desdobramento dos requisitos do cliente, tal como o Desdobramento da Função Qualidade (“*Quality Function Deployment – QFD*”), mostram-se fundamentais. Na produção ETO, em que para cada novo produto é necessário executar uma análise minuciosa das especificações do cliente, esse desdobramento e o domínio de sua prática como ferramenta de apoio ao processo, são ainda mais críticos.

Por este motivo acredita-se que o processo de atendimento ao cliente será cada vez mais integrado com os processos de vender e de produzir, o que demandará maior conhecimento das reais necessidades dos clientes e monitoramento dos passos dos competidores. Essa característica está ligada à expansão das práticas gerenciais na área da qualidade (PIRES e MUSETTI, 2000, p.69-72).

Pires e Musetti (2000, p.69-72) destacam os desafios crescentes na relação de venda e atendimento ao cliente, tais como o excesso de capacidade e de oferta, fornecimento em escala global, fornecimento de sistemas e soluções, preços decrescentes e exigências crescentes, antecipação das demandas dos clientes e ruptura em processos. Esses desafios estão presentes na produção ETO de bens de capital, especialmente no que diz

respeito à dispersão geográfica da produção e dos fornecimentos, bem como ao aumento das exigências em relação ao fornecimento de soluções completas (“*turn key*”).

## **2.1.2 O processo de desenvolvimento de produtos ETO / OKP**

### **2.1.2.1 Conceitos gerais**

De acordo com Woodson o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) pode ser entendido da seguinte forma:

A tarefa de desenvolvimento de produtos é uma atividade de tomada de decisão interativa para produzir os planos a partir dos quais os recursos são convertidos, preferencialmente otimizados, em sistemas ou aparelhos para satisfazer as necessidades humanas (WOODSON, 1966, p.3).

Mas para Buss e Cunha (2002, p.3), o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) é ao mesmo tempo interdisciplinar, por depender da aplicação de conhecimentos oriundos de diversas disciplinas e áreas, e interfuncional, por envolver todas as áreas funcionais da empresa, em graus diversos.

No cenário atual o processo de desenvolvimento de produtos é enxergado como de fundamental importância, pois é um processo intimamente ligado ao cliente. Gonçalves (2000a, p.13) apresenta uma categorização constituída por três agrupamentos principais: os processos ligados ao cliente ou de negócio (primários); os processos organizacionais ou de integração (de suporte) e; os processos gerenciais (de suporte). Nesta categorização Gonçalves classifica o desenvolvimento de produtos como um processo primário, confirmando a sua importância.

Algumas das principais atividades indicadas nos modelos de referência para o PDP fazem parte das atividades do processo de projeto de produtos ou serviços e do processo de projeto de processos. Isso ocorre porque estes processos estão contidos no PDP, o que pode ser verificado por meio da análise dos princípios gerais de projeto em produção, propostos por Slack et al. (1999, p.89), conforme mostrado na figura 10. Por este motivo, algumas das características do projeto de produtos e serviços e do projeto de processos são abordadas neste trabalho.

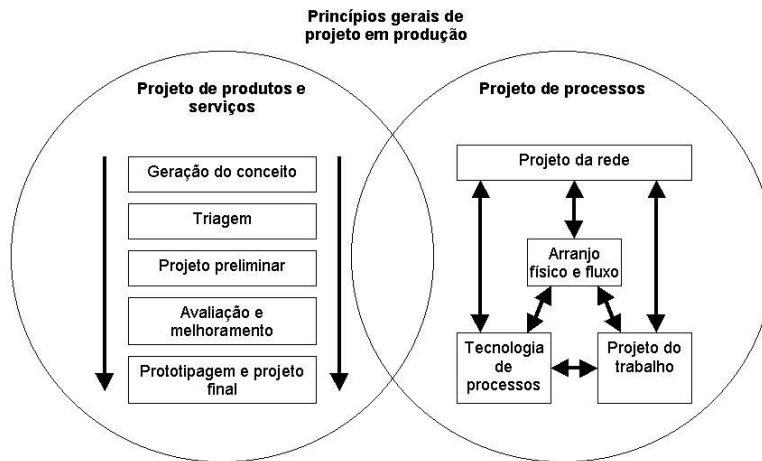


Figura 10 – Princípios gerais de projeto em produção – Adaptado de Slack et al. (1999, p.89)

### 2.1.2.2 Projeto de produtos e serviços em produção ETO / OKP

Com relação ao projeto de produtos e serviços ETO, Rahim e Baksh (2003a, p.182) destacam que a "construção" de qualidade durante o projeto reduz as alterações de engenharia posteriores, o tempo de produção e o custo global, assim como os problemas de qualidade no ciclo de manufatura.

Slack et al. (1999, p.96) destacam que o projeto de produtos ou serviços envolve a redução progressiva do número de alternativas até que o projeto final seja obtido, conforme mostra a figura 11.

À medida que o PDP é executado, cada tarefa realizada aumenta o volume de informações, contribuindo com as saídas do processo e reduzindo a incerteza e riscos sobre tais informações, o que pode ser visto na figura 12 (MCMANUS e DESIGN, 2003, p.21).



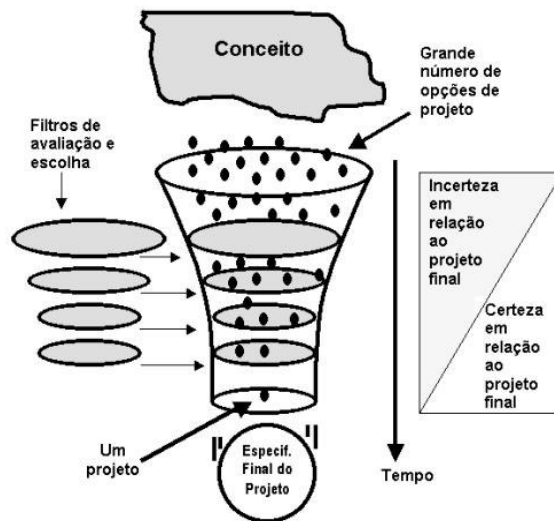


Figura 11 – Redução do número de alternativas no processo de projeto – Fonte: SLACK et al. (1999, p.96)

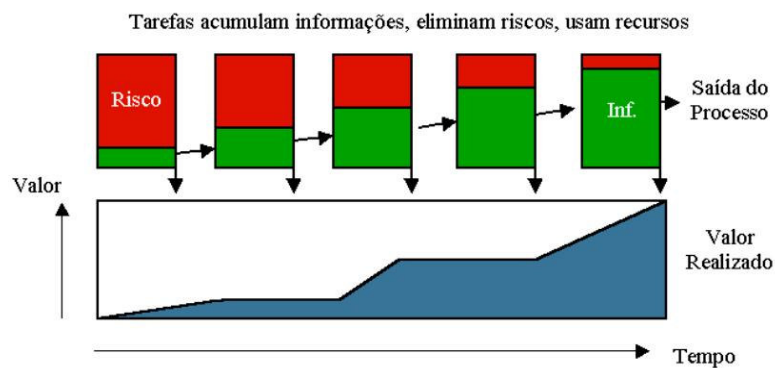


Figura 12 – Aumento do volume de informações *versus* diminuição do risco – Adaptado de Mcmanus e Design (2003, p.21)

É importante que o projeto de produtos ou serviços considere a minimização dos riscos inerentes dessa atividade por meio de estratégias para tratamento das opções e informações relativas a determinados recursos de *input*, tais como a padronização de produtos, o nível de tecnologia e a gestão de *portfólio*.

Para Rozenfeld et al. (2000, p.56) a gestão de *portfólio* trata da gestão integrada de todos os produtos da empresa e deve procurar balancear os projetos variantes com os novos desenvolvimentos, os de alto risco com os de baixo risco, os de alto custo com os de baixo custo, etc., buscando a inovação com o menor risco e investimento possível.

A atividade de pesquisa e desenvolvimento é de suma importância para o projeto de produto. Por este motivo é necessário que a sua condução esteja alinhada às necessidades estratégicas da empresa e que sua essência seja perfeitamente compreendida pelos administradores.

O desenvolvimento de produtos e o desenvolvimento de tecnologia são atividades distintas e, portanto, devem estar alinhados com estratégias que considerem esta distinção. O processo de desenvolvimento de produto deve utilizar apenas tecnologia robusta, já testada e validada pelo processo de desenvolvimento de tecnologia. Uma das estratégias de desenvolvimento de produtos que pode *alavancar* o lançamento de novos produtos é o trabalho com produtos plataforma, que são subconjuntos ou componentes *nucleadores*, com base nos quais são gerados diversos produtos variantes com pequenas diferenças e, por este motivo, são distintos entre si sob o ponto de vista do cliente, mas com um núcleo comum sob o ponto de vista do processo. Desta forma a quantidade de novos produtos lançados pode ser significativamente aumentada (ROZENFELD et al., 2000, p.56).

Para Wortmann et al. (1997, p.41), na produção orientada ao cliente, como a produção ETO, há menos oportunidades de se otimizar o processo de produção por meio de reprodução. Neste caso, quando não há a possibilidade de testar e otimizar o produto e o processo de produção, a reutilização sistemática de conhecimento e dados de produtos desempenha um papel predominante, juntamente com a experiência, na redução dos riscos técnicos e econômicos. Aumentando o uso de componentes padronizados, comprados e previamente utilizados, o nível de incerteza sobre o produto e processo pode ser reduzido dramaticamente.

Por estes motivos o projeto de processos, igualmente importante para o PDP segundo Slack et al., possui também particularidades importantes, que sob a ótica da produção ETO são ainda amplificadas.

### **2.1.2.3 Projeto de processos em produção ETO / OKP**

Segundo Slack et al. (1999, p.89), o projeto do processo envolve a execução das seguintes atividades: projeto da rede de suprimentos (fornecedores e clientes), estudo do arranjo físico, estudo da tecnologia de

processos e projeto do trabalho. As três primeiras atividades são analisadas a seguir.

O projeto da rede de suprimentos está relacionado à gestão da cadeia de suprimentos e à logística integrada, que abrange a logística de abastecimento, a logística interna e a logística de distribuição (PIRES e MUSETTI, 2000, p.65). O Conselho de Gestão Logística ("*Council of Logistics Management*") apresenta duas definições importantes para a compreensão do assunto. A primeira definição diz respeito ao gerenciamento da cadeia de suprimentos ("*Supply Chain Management – SCM*"):

O gerenciamento da cadeia de suprimentos ("supply chain management – SCM") abrange o planejamento e o gerenciamento de todas as atividades envolvidas no processo de obtenção e aquisição, conversão e todas as atividades de gerenciamento logístico. Também inclui, de forma significativa, a coordenação e colaboração com canais de parceiros, que podem ser fornecedores, intermediários, terceiros e clientes. Em essência, o gerenciamento da cadeia de suprimentos integra a gestão da oferta e demanda dentro e através das empresas. (COUNCIL, 2004).

A segunda definição diz respeito ao gerenciamento logístico ("*Logistic Management – LM*"):

Gerenciamento logístico é a parte do gerenciamento da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla eficiente e eficazmente o avanço, fluxo reverso e armazenagem de bens, serviços e informações correlatas entre o ponto de origem e o ponto de consumo, com o objetivo de satisfazer os requisitos dos clientes. Tipicamente inclui atividades de gerenciamento de transporte interno e externo, gerenciamento da frota, armazenamento, manuseio de materiais, atendimento de ordens, projeto da rede logística, gestão de inventário, planejamento da oferta e procura e gerenciamento da logística de serviços de terceiros (COUNCIL, 2004).

A atividade das empresas nas cadeias ou redes de suprimentos é caracterizada pela agregação de valor cadeia acima, e pelos custos incorridos cadeia abaixo. O gerenciamento da cadeia de suprimentos tem como objetivo reduzir custos, riscos e tempos de passagem ("*leadtimes*") associados a essas transações, e desta forma, gerar valor (HICKS et al., 2000b, p.179). Este autor observa ainda que em empresas ETO as relações com fornecedores na cadeia de suprimentos variam consideravelmente em virtude de:

- Diferentes níveis de integração vertical;
- Variações em volume para diferentes tipos de componentes;

- Grau de customização de componentes.

Ainda segundo o mesmo autor esta variabilidade dentro e através das empresas, significa que muito cuidado deve ser tomado na transposição das práticas do SCM das indústrias de produção em massa para a indústria de bens de capital.

Empresas ETO lidam com o gerenciamento da cadeia de suprimentos de forma particular e difícil, já que as relações com os fornecedores e clientes apresentam um caráter transiente, ditado pela especificidade e duração dos projetos (CAMERON e BRAIDEN, 2004, p.3; HICKS et al., 2000b, p.179).

Rahim e Baksh (2003a, p.185) destacam que em empresas de produção em massa o poder de negociação do cliente, tanto em termos de projeto quanto de produção, é relativamente baixo se comparado com o poder do cliente na industrialização ETO de um bem de capital.

De um modo geral, Shi (2003, p.366) destaca que a cadeia de suprimentos e de valor é um dos "blocos básicos" da construção dos futuros sistemas de manufatura, juntamente com a internacionalização da manufatura, as alianças estratégicas e a síntese dos processos.

Focando a evolução dos sistemas de manufatura Conradsen e Lystlund (2003, p.325) identificam a integração e redes como aspectos relevantes para a manufatura da nova geração ("*Next Generation Manufacturing - NGM*"). Para esses autores o estabelecimento de uma rede de colaboração entre os parceiros, para o intercâmbio de conhecimentos, informações, produção e serviços deve ser perseguida como meta para alcance do NGM.

Para a produção ETO, especialmente no caso de bens de capital, a localização geográfica dos recursos de transformação bem como de instalação do produto, podem representar a diferença entre ganhar ou não um pedido, assim como ter ou não ter resultados positivos após a entrega (TU, 1997, p.271; HICKS et al., 2000a, p.421; HICKS, 2003, p.199). O transporte deste tipo de produto pode representar uma parcela significativa, em termos de custo, de seu valor total. A construção ou montagem final *in loco* pode incorrer em diferenças significativas sob o ponto de vista dos custos de mão de obra se, por exemplo, o local de produção situar-se em outros países ou regiões com níveis salariais e tributações diferentes (HICKS et al., 2000a, p.420).

Para uma indústria de bens de capital ETO o local de instalação do produto e os parceiros envolvidos na produção podem estar geograficamente dispersos (TU et al., 2000, p.100). O local de instalação também é conhecido como canteiro de obras e, em geral, pode ser entendido como uma extensão da divisão operacional de montagem. Por este motivo, as considerações sobre o arranjo físico dos recursos são muito importantes.

O estudo do arranjo físico preocupa-se com a localização física dos recursos de transformação. Projetar ou alterar o arranjo físico é uma atividade importante, pois se este se torna inadequado, o fluxo de pessoas e materiais através da operação pode se tornar confuso e de alto custo (SLACK et al., 1999, p.161-162). De acordo com Hicks (2003, p.199) o arranjo físico das instalações de manufatura exerce grande influência na eficiência e eficácia do processo de manufatura ETO, gerando impactos sobre os custos, estoque em processo ("*Work In Process Inventory - WIP*"), tempos de passagem ("*leadtimes*"), produtividade e desempenho de entrega.

As diferenças entre os tipos de recursos empregados na produção ETO e aqueles empregados na produção em massa influencia, até certo ponto, a maneira pela qual tais recursos são localizados. Como a variedade é uma constância na produção ETO, é comum encontrar neste tipo de indústria equipamentos de propósito geral e pessoal altamente especializado, prontos a reagir a diferentes tipos de solicitação, com muita flexibilidade (WORTMANN et al., 1997, p.156). Na produção em massa é comum encontrar equipamentos dedicados operados por pessoal especificamente preparado, ambos prontos a reagir a altos volumes de um mesmo tipo de solicitação, com flexibilidade apenas para atender pequenas variações desse mesmo tipo.

O projeto do processo deve considerar todas as particularidades descritas. As tecnologias de processo são as máquinas, equipamentos e dispositivos para a transformação dos insumos e informações, agregação de valor e alcance dos objetivos estratégicos da produção. O *continuum* volume-variedade tem especial influência sobre as tecnologias aplicadas para a transformação de materiais. Todas as tecnologias podem ser conceituadas em três dimensões: grau de automação, escala de tecnologia (tamanho da capacidade) e grau de integração (SLACK et al., 1999, p.197-198).

Considerando-se a produção ETO, uma particularidade importante no projeto do processo é o tratamento dos recursos humanos.

Wortmann et al. (1997, 209-210) argumentam que em ETO o principal desafio não reside no cálculo das *capabilidades* e capacidades requeridas para a realização de um determinado produto, mas sim na sua antecipação. Estes autores destacam que na produção para estoque (MTS) há uma tendência em se explorar a curva de aprendizado dos recursos humanos por meio da organização da produção como uma seqüência de tarefas repetitivas, lutando pela busca do balanceamento ótimo entre habilidades e tarefas predefinidas. Na produção ETO o confronto contínuo com novos requisitos individuais dos clientes e com lotes de produção muito pequenos ou unitários, o sistema produtivo deve ser baseado mais em habilidades, experiências e criatividade, do que em rotinas predefinidas. Por este motivo a produção ETO, em geral, requer recursos humanos generalistas, para poder lidar com requisitos e especificações diferentes a cada nova encomenda.

Wortmann et al. (1997, p.210-211) apresentam os impactos que estas considerações representam para os vários tipos de recursos aplicáveis na produção ETO. Especialmente para os recursos humanos, a informação sofre um grande impacto. Em vez de ser diretiva, como na produção MTS, ela deve ser instrutiva, para cobrir diversas possibilidades e soluções. Isso, em conseqüência, traz implicações diretas para a aplicação de sistemas de informação e gestão do conhecimento.

O contexto da engenharia sob encomenda gira em torno do conhecimento e do fator humano. Qualquer programa de melhoria atual considera o fator humano como elemento essencial no processo de negócio. Isso é especialmente verdade em produção com engenharia sob encomenda, em que a criação de soluções é praticamente uma rotina para os participantes do processo. De acordo com Wortmann et al. (1997, p.78), em virtude da grande gama de produtos a serem fornecidos neste segmento e à flexibilidade requerida nos processos de produção, há um limite em que uma empresa de manufatura orientada ao cliente pode automatizar sua fabricação.

Nesse sentido ou por este motivo, o recurso humano se torna ainda mais relevante. Wortmann et al. (1997, p.71) acreditam que a reutilização de conhecimento e a capitalização de experiências são assuntos chave para a

produção com engenharia sob encomenda, o que faz com que este modelo produtivo mantenha em alto nível a confiança em pessoas e na gestão de recursos humanos. Esse posicionamento vai ao encontro das considerações apresentadas por Alliprandini e Silva (2000, p.123-124) e Matheus (2003, p.2), quanto aos aspectos ligados às capacidades intelectuais necessárias à operacionalização da produção e criação de vantagem competitiva.

Considerando o projeto de processos, dentre os principais desafios para o gerenciamento dos recursos humanos na produção ETO apresentados por Wortmann et al. (1997, p. 216-220), vale destacar os seguintes:

- Gerenciamento evolucionário dos recursos humanos: o ciclo de transferência de conhecimento e experiência entre trabalhadores oriundos de gerações diferentes é geralmente longo, pela natureza de longo prazo da produção ETO. Isso requer um tratamento cuidadoso das atividades de transferência;
- Modelamento mental simultâneo: a produção ETO baseia-se fortemente em modelos virtuais contidos nas cabeças dos participantes do processo de engenharia, e num grau muito menor em modelos físicos que possam ser tocados, analisados e entendidos. Na maioria dos casos é impossível construir protótipos em escala real para avaliar previamente os resultados planejados para a produção. Isso aumenta o risco de aparecimento de enganos e perspectivas divergentes entre os participantes do processo, o que torna o modelamento mental simultâneo uma filosofia importante para a produção ETO. Nessa situação a atuação coletiva e cooperativa dos recursos humanos é fundamental, para que as visões e conhecimentos sejam compartilhados entre todos os participantes, a fim de aumentar o entendimento sobre as restrições de produção. O campo do compartilhamento da visão e conhecimento representa uma lacuna que pode ser adequadamente preenchida por sistemas de simulação e animação. Além disso, a ciência da administração também oferece técnicas, tais como jogos e dinâmicas, a fim de facilitar o entendimento mútuo e eliminação de barreiras de interação entre os participantes do processo.

Portanto, a tecnologia deve oferecer subsídios para que o fornecimento de bens de capital ETO apresente uma diminuição progressiva dos riscos de produção, permitindo a este segmento que o projeto do processo seja otimizado no futuro.

Considerando o futuro dos processos de fabricação, Coelho e Oliveira (2000, p.77) acreditam que o principal objetivo dos estudos e pesquisas realizados em processos de fabricação deve focar a maior eficiência, traduzida sobretudo em confiabilidade, autonomia, redução de custos e prazos e melhoria da qualidade. Em relação à automação, Oliveira e Coelho (2000, p.88) destacam que o uso intensivo dos sistemas de informação tende a fazer que os sistemas de supervisão de manufatura sejam integrados aos sistemas de controle e execução e também aos sistemas de gestão empresarial. Essa integração tende a permitir o monitoramento da produção à distância e em tempo real, o que é importante para fornecimentos geograficamente dispersos.

#### **2.1.2.4 Particularidades do PDP ETO / OKP**

Para Cameron e Braiden (2004, p.3) as empresas ETO são envolvidas com a produção de produtos complexos, como bens de capital e sistemas. Destacam que estes produtos são geralmente altamente customizados para atender aos requisitos dos clientes, fornecidos em baixo volume e constituídos por componentes que empregam uma grande gama de tecnologias. Para estes autores as principais atividades neste tipo de estratégia de produção são as seguintes:

- Fase do edital (convite, proposta, consolidação do contrato);
- Projeto;
- Manufatura;
- Montagem interna e construção ("*erection*") de obra;
- Comissionamento: essa é a fase que geralmente agrupa os testes finais, colocação em funcionamento, treinamento do cliente, validação e entrega da encomenda;
- Suporte durante o ciclo de vida do produto, incluindo o *descomissionamento* e limpeza.

Hicks et al. (2000b, p.182) acrescentam a atividade de *marketing* e vendas como fases iniciais, apesar de Cameron e Braiden destacarem que estas empresas enfrentam várias dificuldades quanto a essas atividades, já que em geral estão orientadas ao fornecimento a outras empresas intimamente ligadas à área de engenharia, e não ao público geral.



Tu (1997, p.272) define o termo OKP como uma filosofia de produção ou método de produção que converte as idéias ou requisitos de desenvolvimento do cliente por meio de uma abordagem única, sob restrições de data crítica de entrega, custo e qualidade. Para este autor as principais características desta filosofia são:

- (1) Alta customização;
- (2) Abordagem de sucesso "uma única vez" sobre um produto;
- (3) Utilização ótima ou racional de tecnologias e recursos;
- (4) Planejamento e controle adaptativos da produção;
- (5) Influência contínua do cliente durante o processo de produção;
- (6) Caráter evolucionário e simultâneo do desenvolvimento do produto final e da sua produção, e abordagem deste como se fosse um protótipo;
- (7) Controle distribuído e autonomia interorganizacional;
- (8) Estrutura virtual e manufatura global.

A filosofia de produção OKP, assim denominada por Tu (1997, p.272), assemelha-se muito com a estratégia de produção ETO apontada por Pires e Carpinetti (2000, p.50), e por Rahim e Baksh (2003a, p.183), sendo tratadas como equivalentes neste trabalho.

Wortmann (1995, p.267) aborda a engenharia sob encomenda como um processo caracterizado pelos seguintes estágios:

- Proposta;
- Engenharia do produto;
- Planejamento do processo (ou engenharia de fabricação);
- Aquisição;
- Fabricação de componentes;
- Montagem.

Para este autor, em sua essência, a produção com engenharia sob encomenda consiste de uma situação *multi-projeto*, em que a exata natureza do projeto em questão apenas se torna aparente durante a própria atividade de projeto.

Para Hicks e Braiden (2000, p.4786) o fornecimento de produtos ETO é caracterizado por altos níveis de incerteza em termos de especificação, demanda, *leadtimes* intermediários e totais do processo, e que apesar destas

incertezas, as empresas deste setor desenvolvem planos utilizando dados determinísticos.

Empresas ETO são essencialmente orientadas para projeto e envolvidas com vários projetos simultaneamente. Podem ser vistas como integradoras de soluções que envolvem tecnologias de ponta, e por este motivo precisam estar sempre atualizadas em relação às tecnologias empregadas em seus produtos (CAMERON e BRAIDEN, 2004, p.3).

O sucesso deste tipo de empresa está relacionado ao entendimento detalhado das especificações do cliente, o que inclui os requisitos quanto às características técnicas do produto a ser desenvolvido, preço, prazo de entrega e qualidade. O desempenho quanto à entrega pode ser melhorado, dentre outras ações, por redução dos *leadtimes*, pelo aumento da confiabilidade dos *leadtimes*, pelo aumento da sobreposição de atividades, por meio da utilização de técnicas de engenharia simultânea e por modularização e padronização dos produtos (HICKS et al., 2000b, p.182).

Caron e Fiore (1995, p.314-315) consideram que uma empresa ETO se envolve com o projeto, manufatura, instalação e comissionamento de sistemas complexos, de acordo com requisitos altamente especializados especificados pelos clientes. O fluxo aproximado de informações pode ser visto na figura 13.

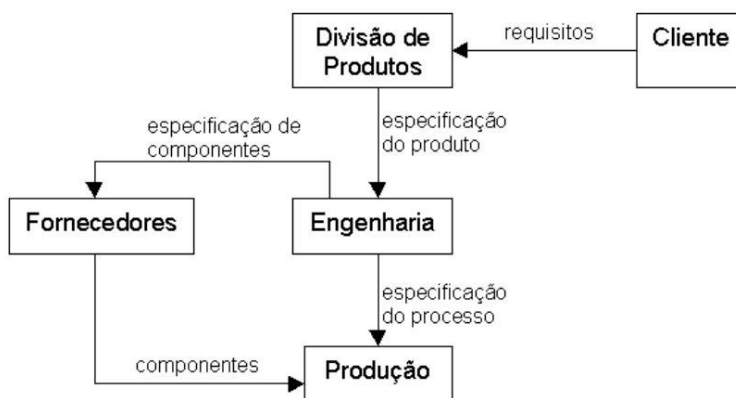


Figura 13 – Fluxo de informação para desenvolvimento do produto com engenharia sob encomenda – Fonte: Caron e Fiore (1995, p.314)

### 2.1.3 A simultaneidade nas atividades do PDP

Segundo Omokawa (1999, P.10), as atividades do processo de desenvolvimento do produto podem ocorrer de forma seqüencial ou simultânea.

Nesta seção do trabalho são abordadas as particularidades de cada uma dessas formas, bem como a sua visão sob a ótica da produção ETO de bens de capital.

A abordagem seqüencial ou tradicional trata o desenvolvimento de produto por meio da conclusão de etapas. Dessa forma, o desenvolvimento pode ser considerado um conjunto de etapas a serem executadas, e uma etapa precisa ser concluída para que a etapa seguinte seja iniciada.

A abordagem simultânea considera que as atividades de projeto de produto e de processo ocorrem simultaneamente por meio da cooperação entre membros de equipes multifuncionais.

A simultaneidade no processo de projeto de produto e projeto de processo, assim como em todas as atividades de engenharia no PDP também é chamada de “Engenharia Simultânea – ES” ou “Engenharia Concorrente” (“*Concurrent Engineering – CE*”).

Paashuis e Boer (1997, p.79) apresentam a seguinte definição para a engenharia simultânea, adaptada de um trabalho<sup>4</sup> publicado pelo Centro de Pesquisas em Engenharia Simultânea:

A ES é uma abordagem sistemática na direção do projeto de produtos e a maneira pela qual estes são manufaturados, montados, armazenados, transportados, distribuídos e reciclados, que objetiva otimizar o projeto do produto em termos tanto da demanda externa (por exemplo, preço, qualidade, tempo e confiabilidade de entrega, gama e *reciclabilidade*) e demanda interna (por exemplo, custos, *leadtime*, *manufaturabilidade* e *montabilidade*).

Na literatura especializada há afirmações de que a engenharia simultânea possibilita um começo o mais cedo possível das atividades relacionadas com o novo produto, reduz a necessidade de re-projeto, via projeto "certo na primeira vez", resulta em custos reduzidos, *manufaturabilidade* e *montabilidade* melhoradas, redução do *leadtime* de projeto e manufatura e outras vantagens predominantemente internas relacionadas ao desenvolvimento de novos produtos (PAASHUIS e BOER, 1997, p.79).

---

<sup>4</sup> Concurrent Engineering Research Center. Process issues in implementing concurrent engineering in DICE. *CERC Technical Report Series CERC-TR-RN-93-003*. West Virginia University, Morgantown, WV, 1992.

Segundo Slack et. al (1999, p.109) os benefícios de reunir as atividades de projeto de produto e processo mantêm-se válidos tanto na produção de produtos como na de serviços.

Segundo Millard<sup>5</sup> (2001 apud Mcmanus e Design, 2003, p.57) o assunto pode ainda ser abordado por meio da seguinte subdivisão: “desenvolvimento integrado de produtos e processos” e “processamento simultâneo”. O “desenvolvimento integrado de produtos e processos” foca a oportunidade de sinergia num ambiente com equipe multidisciplinar. O “processamento simultâneo” envolve a sobreposição dos processos num nível tão alto de simultaneidade ou concorrência quanto o necessário, em situações em que os processos seqüenciais já tenham sido melhorados. Essa idéia serve para reduzir o tempo de ciclo, quando necessário, indo ao encontro de ciclos de negócio relevantes e necessidades dos clientes.

Thomas Jr. (1996, p.574) destaca e denomina como "subsistemas" as seguintes ferramentas para apoio à engenharia simultânea:

- Projeto assistido por computador (“*Computer Aided Design – CAD*”);
- Desdobramento dos requisitos de qualidade (“*Quality Function Deployment – QFD*”), que pode ser entendido como um conjunto de procedimentos formais para identificação dos requisitos críticos do cliente e ligação destes aos parâmetros de projeto (CLARK e WHEELWRIGHT, 1993, p.595);
- Projeto para a manufatura ou montagem (“*Design For Manufacturing or Assembly – DFMA*”), que pode ser entendido como uma filosofia para otimização da manufatura e montagem (THOMAS JR., 1996, p.574);
- Projeto robusto com Método Taguchi, cuja proposta é identificar os parâmetros ótimos de projeto que minimizem ou eliminem as influências dos “fatores ruído”, também conhecidos como perturbações, no desempenho do produto (NUMA, 2004);
- Análise de falhas, conhecida como Análise do Tipo e Efeito da Falha (“*Failure Mode and Effect Analysis – FMEA*”), que é uma técnica utilizada

---

<sup>5</sup> MILLARD, R. L. (2001). *Value Stream Analysis and Mapping for Product Development*, Master's thesis in: Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, June 2001.

para evitar que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo (NUMA, 2004);

- Engenharia do valor, que pode ser entendida como um esforço organizado para atingir o valor ótimo de um produto, sistema ou serviço, promovendo as funções necessárias ao menor custo (NUMA, 2004).

Deve-se considerar que há problemas na implantação de ES em organizações. Paashuis e Boer (1997, p.87) destacam que o sucesso da ES é sobretudo limitado pela falta de co-localização. Outros pontos negativos são: as dificuldades da administração em executar o desdobramento da estratégia para o PDP e para as metas operacionais; a não aplicação de bancos de dados de engenharia; e a falta de aplicação do QFD.

Para Rouibah e Caskey (2003, p.16), entre os requisitos para o projeto concorrente ou simultâneo entre empresas destacam-se: cooperação próxima e precoce entre as empresas, cooperação próxima e precoce entre as disciplinas, rápida resposta às alterações de engenharia e suporte de informação e tecnologia.

Segundo Haque (2003, p.203-206), além dos aspectos relacionados à integração nos âmbitos das lideranças e operacionais, das melhorias em comunicação e colaboração por meio de padronização, reuniões focadas e verificação de projeto, as empresas analisadas em seus estudos necessitam melhorar sua abordagem estruturada em relação ao modelamento e análise dos processos, particularmente quanto aos aspectos organizacionais, uma vez que engenharia simultânea demanda uma organização focada em processos.

Quanto aos aspectos organizacionais, por meio de entrevistas Haque (2003, p.199-200) concluiu que os cinco principais fatores relacionados à eficácia organizacional são:

- Recursos: 78% (ambiente);
- Treinamento: 57% (indivíduo);
- Sistemas de controle: 53% (organização);
- Competição: 46% (ambiente);
- Estrutura administrativa e premiação: 43% (organização).

Para este autor os processos precisam não apenas ser mapeados e entendidos, mas também continuamente verificados por meio de métricas

apropriadas que melhorem a integração em todos os níveis (pessoas, processos e tecnologia) e que acrescentem valor.

Haque (2003, p.206) ainda acrescenta que, apesar do desenvolvimento simultâneo de novos produtos ("*Concurrent New Product Development - CNPD*") não ser considerado como novidade no meio empresarial, a sua implementação não é ainda adequada. Os velhos problemas, tais como a falta de comunicação e de integração de funções, presentes na engenharia seqüencial, são ainda crescentes. A combinação entre mudança organizacional e de processos rumo a times multifuncionais eficazes precisa ser conduzida dentro de um modelo de referência para gerenciamento de processo, suportado por modelamento e análise de processos dos fatores organizacionais, conforme mostrado na figura 14.

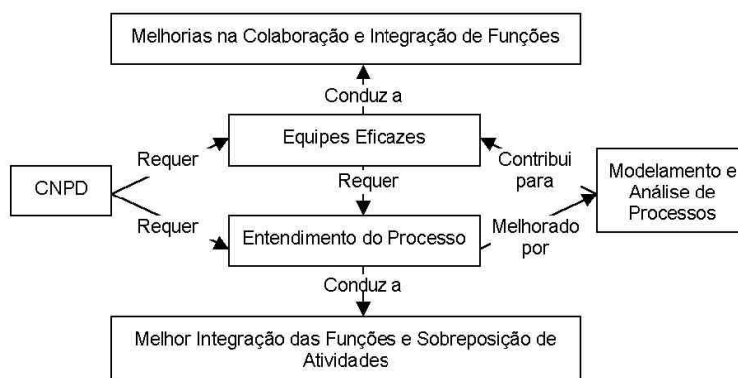


Figura 14 – Relacionamento entre CNPD, modelamento e análise de processos e equipes – Adaptado de Haque (2003, p.206)

### 2.1.4 Diferenças entre as estratégias ETO / OKP e MTS

Segundo Rahim e Baksh (2003a, p.185) há muitas diferenças entre as empresas que operam sob as estratégias ETO e MTS. Em suas pesquisas e estudos de caso levantaram as diferenças existentes em termos operacionais e de projeto de produto. A tabela 1 mostra algumas das diferenças apontadas por estes autores em termos operacionais e a tabela 2, em termos de projeto de produto.

Tabela 1 – Diferenças entre ETO / OKP e MTS em termos operacionais

<b>Critério</b>	<b>ETO / OKP</b>	<b>MTS</b>
Volume de produção	De lote único a volumes muito baixos	De volume médio a altos volumes
Interação com o cliente	Intenso	Pouca ou nenhuma
Estrutura organizacional	Baseada em times ou matriz	Baseada em funções
Competência técnica	Essencial para todos os membros do time	Depende da função
Controle de custos	Durante o projeto	Durante a manufatura
Requisitos do cliente	Muito específicos	Generais para a maioria dos clientes
Montagem	Notadamente manual	Notadamente mecanizada ou automatizada
Métodos de trabalho	Sem rotina	Com rotina e métodos estabelecidos
Tipo de operação	Mão-de-obra intensiva	Capital intensivo
Habilidade para mão-de-obra	Especializada	Pequena ou nenhuma especialização
Flexibilidade para mão-de-obra	Alta	Baixa
Alteração do produto	Freqüente	Bem estável
Estoque	Pequeno	Normalmente alto
Tipo de equipamentos	De propósito geral	Dedicados
Tipo de cliente	Industriais	Usualmente o público
Uso de suporte auxiliar	Sim	Geralmente não
Corrida piloto	Não	Sim
Planejamento da produção	Dinâmico e às vezes caótico	Geralmente estável
Principal atividade de produção	Montagem	Manufatura e montagem
Poder de negociação do cliente (preço, data de entrega e desempenho do produto)	Alto	Baixo
Tipo de inspeção	100%	Amostragem
Uso de controle estatístico do processo e técnicas de amostragem	Não	Sim

Fonte: Rahim e Baksh (2003a, p.185)

Tabela 2 – Diferenças entre ETO / OKP e MTS em termos de projeto de produto

<b>Critério</b>	<b>ETO / OKP</b>	<b>MTS</b>
Projeto	Geralmente exclusivo para um cliente	Mercado geral
Freqüência de projeto	Muito freqüente	De baixa a freqüente
Uso de códigos (normas) de projeto e padrões	Sim	Geralmente não
Esforço e custo em projeto por produto	Alto	Baixo
Chances de retrabalho de projeto e melhorias durante a manufatura	Baixas	Altas
Projeto de protótipo	Não	Sim
Opções de projeto	Poucas	Muitas
Requisitos de ferramentaria	Limitados	Muitos
Restrições no projeto	Limitados à disponibilidade de componentes ou peças "fora de prateleira"	Sem limitação
Envolvimento dos engenheiros da manufatura no projeto	Sempre	Raramente
Dependência do projeto quanto a outros projetos similares	Alta	Baixa
Uso de protótipo	Não	Sim
"Input" do cliente durante o projeto	Geralmente ocorre	Raramente ocorre
Aprovação do projeto por parte do cliente	Sim	Não
Teste e comissionamento do produto	Geralmente na planta do cliente	Na planta de manufatura
Conhecimento técnico do produto por parte do cliente	Alto	Baixo
Certeza quanto ao pedido do cliente	Alta	Baixa
Complexidade do produto	Alta	Baixa
Tamanho do produto	Geralmente grande	Pequeno a médio
Requisitos do cliente	Específicos e técnicos	Vagos e não técnicos
Interpretação dos requisitos do cliente	Direta	Indireta
Envolvimento do fornecedor no projeto	Quase nunca	Raro
Envolvimento do contratante no projeto	Quase nunca	Raro
Corrida seca ou piloto	Não	Sim
Pesquisa de mercado	Mínima	Extensa
Lançamento do produto	Não	Sim
Mercado	Puxa	Empurra
Ciclo de vida do produto	Longo	Curto
Atendimento a requisitos legais	Sempre	Raro
Documentação requerida pelos clientes	Extensa	Mínima

Fonte: Rahim e Baksh (2003a, p.186)



## 2.1.5 Modelos de referência

Considerando a variedade de produtos resultantes do PDP ETO, a disciplina na condução do processo, obedecendo a requisitos e certificações constantemente exigidos pelos clientes e até mesmo pela legislação internacional, é uma das características mais apreciadas pelos administradores deste tipo de organização. Como característica qualificadora em oportunidades de negócio, a existência de um modelo de referência para o PDP nesse tipo de empresa é essencial para diversas fases do ciclo produtivo. Um modelo de referência pode auxiliar a condução do processo desde a atividade de participação do edital de convocação, passando pela elaboração da proposta envolvendo margens de risco menores considerando-se o conhecimento prévio das principais etapas do processo, e oferecendo maior clareza aos participantes quanto aos eventos críticos durante a produção, entrega e comissionamento do produto.

De acordo com Buss e Cunha (2002, p.3) as áreas de *marketing*, gestão organizacional, engenharia e administração da produção tendem a focalizar o PDP apenas sob pontos de vista que consideram os motivos e tipos de decisão relacionados aos seus problemas internos. Estes autores propõem uma alternativa de estruturação do PDP, tentando desta forma generalizar o modelo de referência, que pode ser visto na figura 15.

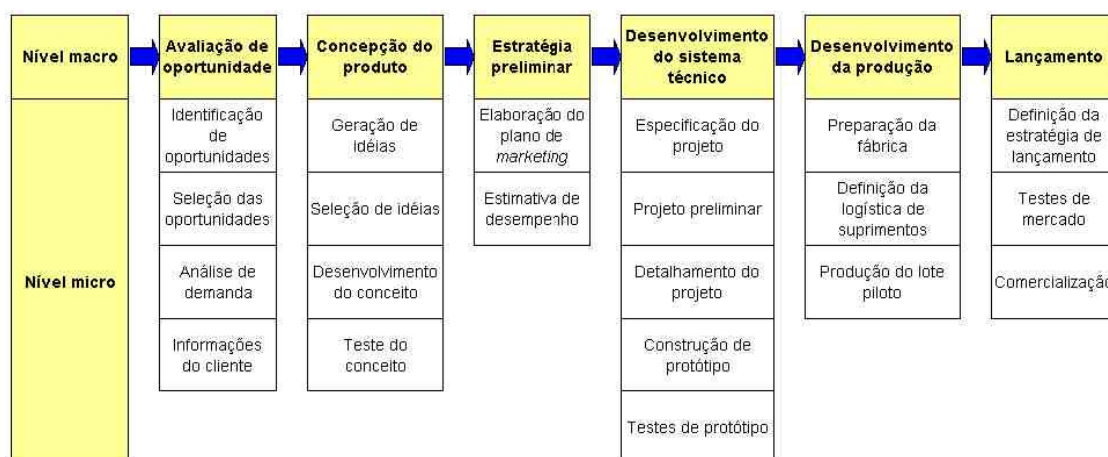


Figura 15 – Modelo de referência proposto para a estruturação do processo de desenvolvimento de produto – Fonte: Buss e Cunha (2002, p.12)

Dentre as tendências evolutivas relacionadas ao PDP e consideradas estratégicas, Rozenfeld et al. (2000, p.58-59) apontam a necessidade de formalização deste processo por meio de modelos de referência, compartilhando o ponto de vista de Buss e Cunha (2002, p.1). Rozenfeld et al. (2000, p.58-59) definem modelos de referência como representações formais do processo, que descrevem suas atividades, responsáveis, recursos disponíveis e informações necessárias ou geradas, servindo como referencial comum para a comunicação entre os integrantes do processo.

A preocupação com o gerenciamento completo do ciclo de vida do produto tem feito com que a visão do PDP seja cada vez mais ampliada para abranger as atividades de planejamento estratégico relacionadas ao mercado, produtos, atividades da produção, lançamento e acompanhamento do produto no mercado, incluindo o seu plano de retirada (ROZENFELD et al., 2000, p.55-56).

Hicks et al. (2000a, p.414) apresentam um modelo de referência para a análise de indústrias de bens de capital, que combina a perspectiva organizacional, de processo e operacional. Este modelo é mostrado na figura 16. Segundo estes autores as poucas pesquisas desenvolvidas sobre este segmento referem-se ao controle da produção, sistemas de informação, sistemas de manufatura e coordenação de *marketing* e manufatura. As pesquisas já executadas não investigam a estrutura da empresa e seu relacionamento com os processos de negócios. De acordo com Rahim e Baksh (2003b, p.26), muito pouca atenção na literatura é dada a empresas ETO, que fornecem produtos em baixos volumes, especialmente quanto ao desenvolvimento de um modelo de referência para o desenvolvimento de novos produtos, o que vai ao encontro do que apresentam Hicks et al. (2000a, p.414).

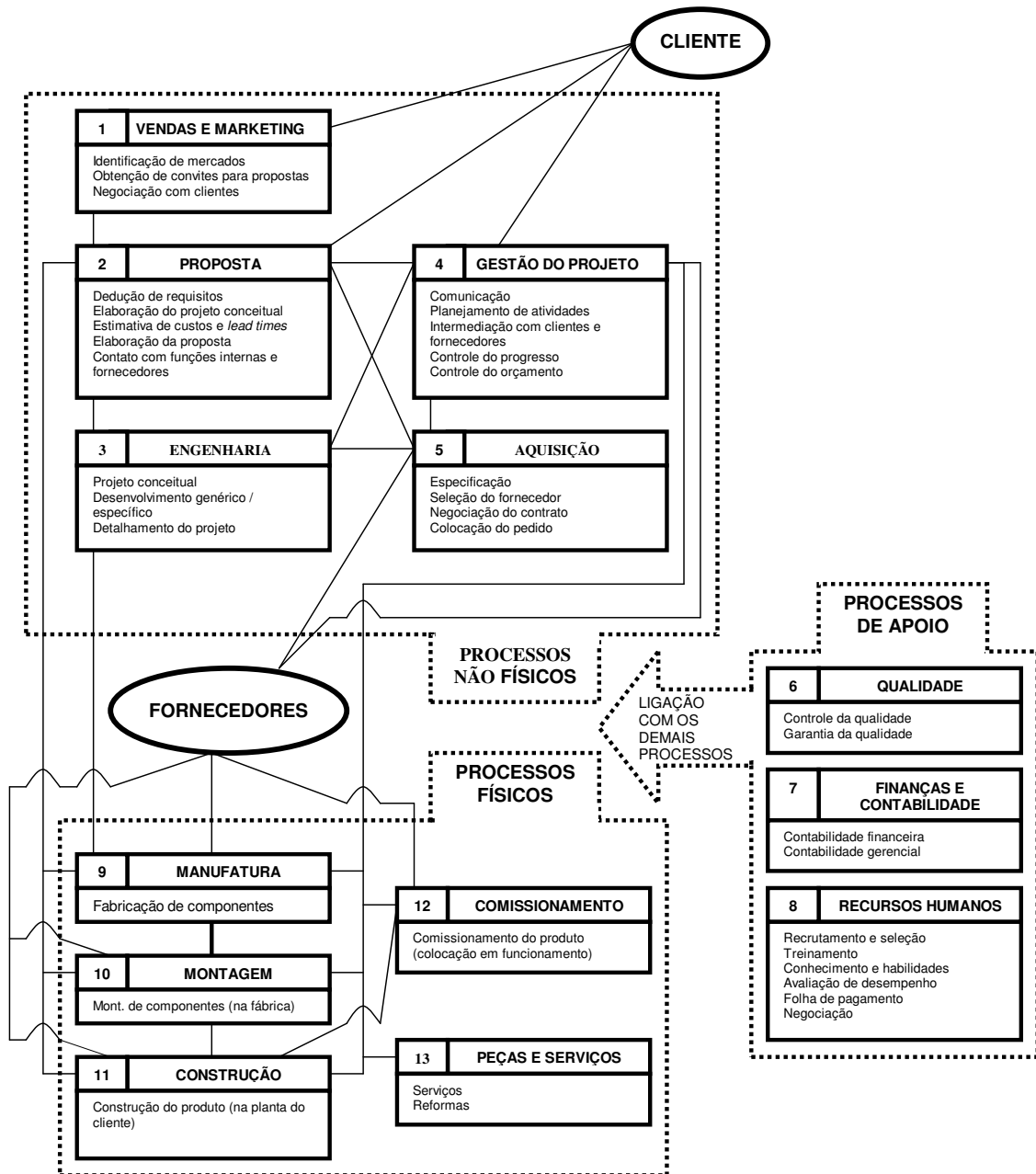


Figura 16 – Modelo de referência para análise de negócios em produção ETO – Fonte: Hicks et al. (2000a, p.414)

O modelo de referência apresentado por Hicks et al. (2000a, p.416) considera três tipos de processo: não-físicos; físicos; e de suporte. Os processos não físicos englobam as atividades de *marketing* e vendas, fase do edital, engenharia, aquisição e gerenciamento do projeto. Os processos físicos englobam a manufatura, montagem, construção, comissionamento e peças de reposição e serviços. Os processos de suporte englobam as atividades da área de qualidade, financeira, contabilidade e gestão de RH. A execução dos

contratos inicia-se pelas atividades não físicas, seguidas pelas atividades físicas, ambas sendo assistidas pelas atividades de suporte. A quantidade de atividades físicas depende do grau de verticalização da empresa.

Hicks et al. (2000a, p.422-423) apresentam cinco conclusões quanto ao seu modelo de referência para análise das empresas de produção de bens de capital com engenharia sob encomenda:

- (a) Características das empresas: podem variar dentro de um *continuum* ETO para MTO. Altos níveis de projetos específicos e genéricos caracterizam as empresas ETO, ao passo que as MTO possuem predominância de projetos genéricos;
- (b) Produtos: podem ser bens de capital relativos a subsistemas para utilização em outros bens de capital ou bens de capital totalmente acabados, prontos para funcionar, característica esta recentemente denominada por “pronto para girar a chave”, como um automóvel, ou *turn key*;
- (c) Processos: são destacadas as principais áreas para integração. Em primeiro lugar a integração entre a fase do edital e os demais processos. Em segundo lugar a integração entre a engenharia e desenvolvimento de produto com o mercado e manufatura, por meio de engenharia simultânea. Em terceiro lugar a integração entre a atividade de aquisição ou suprimentos com os demais processos, sobretudo considerando o aumento da participação de terceiros;
- (d) Mercados: as empresas podem ser classificadas de acordo com os mercados em que operam. Esse aspecto é relevante considerando a importância dos direcionadores e restrições de competição externos, baseados em preços, regulações governamentais e limitações da economia. As barreiras de entrada e de saída são grandes e os clientes geralmente ocupam uma posição exageradamente forte na cadeia de fornecimento, em virtude do excesso de capacidade de oferta em muitos destes mercados;
- (e) Modelo estrutural: pode-se considerar que as empresas, sob o ponto de vista individual, representam sub arranjos do modelo estrutural do processo de negócio em que estão inseridas e de seus relacionamentos. O caráter geral e inclusivo do modelo apresentado possibilita a descrição de diversas empresas deste segmento, bem como a análise de como elas reagem em resposta às condições do mercado.

O modelo apresentado por Hicks et al. (2000a, p.416) pode ser considerado como um modelo de análise do processo de negócio. Entretanto, quanto ao PDP, Rahim e Baksh (2003a, p.190) consideram que ainda não existe um modelo de referência apropriado à produção ETO. Estes autores analisam quatro modelos de referência para o PDP na literatura e concluem que estes não consideram as particularidades das empresas ETO. Os modelos analisados foram os de Pugh, Boothroyd et al., Peters et al. e Ulrich e Eppinger. Estes quatro modelos apresentam as seguintes características:

- Modelo segundo Pugh: conforme mostrado na figura 17, esse modelo apresenta-se técnico por natureza, sendo mais apropriado a projetistas por causa da ênfase ao fluxo do projeto. Começa por identificar as necessidades de mercado e finaliza com o *marketing* e vendas, o que é muito comum para empresas MTS. Não mostra o uso de tecnologia de simultaneidade ou concorrência de atividades, tal como CAD ou manufatura auxiliada por computador (“*Computer Aided Manufacturing – CAM*”), durante o processo, apesar da possibilidade de iteração entre as fases do modelo.

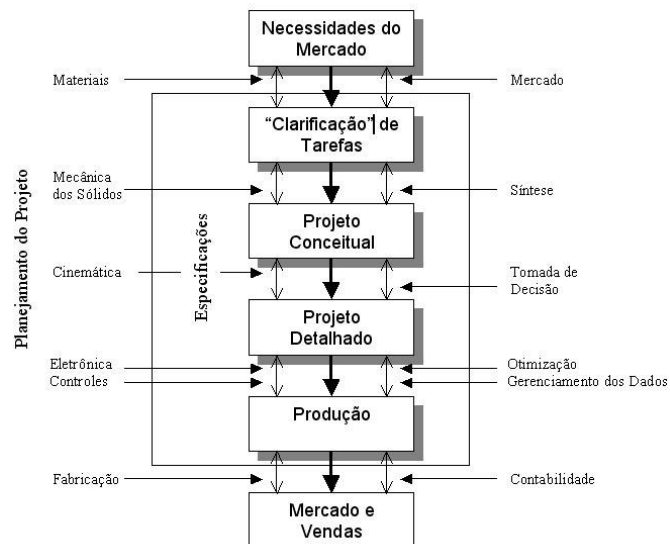


Figura 17 – Modelo de referência segundo Pugh – Adaptado de Rahim e Baksh (2003a, p.187)

- Modelo segundo Boothroyd et al.: conforme mostrado na figura 18, nesse modelo os passos propostos são baseados em técnicas de DFMA, ao passo que o processo de desenvolvimento de novos produtos poderia fazer uso de outras ferramentas como FMEA, QFD, análise da árvore de falhas (“*Fault Tree Analysis – FTA*”), Método Tagushi e outras técnicas. Este modelo é

propenso a MTS porque apresenta um passo relativo à fase de prototipagem imediatamente antes da fase de produção. É fraco em aspectos relacionados à interface humana e técnicas de monitoração do projeto como um todo. Aparentemente direcionado aos projetistas, desconsiderando outras partes envolvidas na produção.

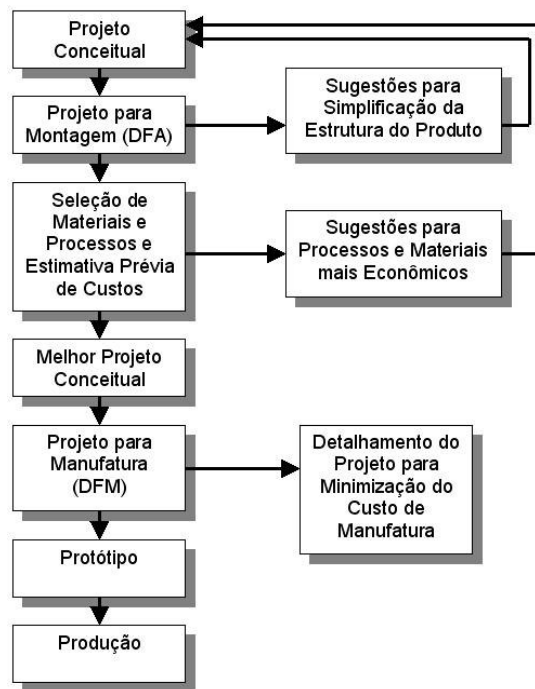


Figura 18 – Modelo de referência segundo Boothroyd et al. – Adaptado de Rahim e Baksh (2003a, p.188)

- Segundo Peters et. al: conforme mostrado na figura 19 este modelo é o mais compreensível atualmente, já que sua cobertura é ampla e inclui ferramentas e técnicas, sumarização do processo assim como aspectos facilitadores. Porém não é adequado a empresas ETO, pois inicia com a geração de idéias durante o estágio de pré-projeto ou desenvolvimento, sem considerar que em empresas ETO o processo se inicia com o requerimento do cliente e oferta na fase do edital e de proposta do projeto. Apresenta apenas a possibilidade de utilização de QFD simples, quando na verdade poderia absorver o QFD das quatro fases, que passa pela casa da qualidade, planejamento dos componentes, planejamento dos processos e planejamento da produção. Como todas as atividades aparecem em série, tal modelo não dá ênfase à simultaneidade ou concorrência de atividades. Também não enfatiza as relações entre a manufatura e outras partes. É o único modelo que propõe o

uso de planejamento de experimentos (“*Desig Of Experiment – DOE*”), o que deve ser aplicado em diferentes fases considerando empresas ETO e MTS. Para empresas ETO o DOE é utilizado, na maior parte dos casos, após o produto ter sido montado, para determinação dos parâmetros ótimos de operação. Também vale ressaltar que para empresas ETO o DOE é executado para produtos, ao passo que em produção MTS é freqüentemente utilizado para determinar parâmetros do processo. Este modelo não inclui as entradas para o desenvolvimento de novos produtos, que são necessárias durante o estágio de projeto. A técnica FMEA pode ser aplicada não apenas durante o desenvolvimento do conceito e projeto, mas também em validação da pré-produção e produção real. Para um produto ETO o modelo deveria começar antes do estágio de concepção e o uso de ferramentas e técnicas ser estendido a fases posteriores para incluir os estágios pós-fornecimento.

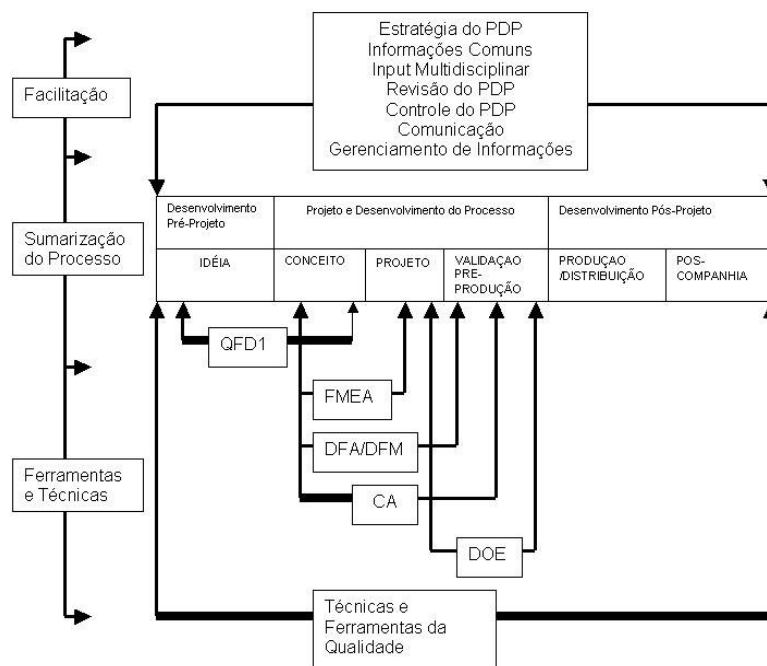


Figura 19 – Modelo de referência segundo Peters et. al – Adaptado de Rahim e Baksh (2003a, p.189)

- Segundo Ulrich and Eppinger: Este modelo é constituído de seis fases e permite que os projetistas planejem e executem suas tarefas apropriadamente, conforme mostrado na figura 20. Mas é mais apropriado para produção MTS, pois a quinta fase apresenta um processo de lançamento (“*ramp-up*”) de produto, que em MTS ocorre após a prototipagem e testes, o que não existe em produção ETO. Este modelo é mais apropriado

às etapas de projeto, pois não destaca outras partes importantes tais como compras, *marketing* ou manutenção. Também não destaca a simultaneidade entre atividades e quais ferramentas devem ser utilizadas de acordo com a atividade em andamento. É bem simples de atender, mas não é adequado a ETO.

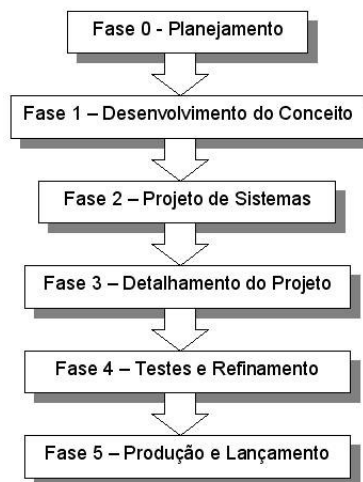


Figura 20 – Modelo de referência segundo Ulrich and Eppinger – Adaptado de Rahim e Baksh (2003a, p.189)

A comparação final entre os modelos analisados por Rahim e Baksh é mostrada na tabela 3.

Tabela 3 – Comparação entre modelos de referência de PDP

<b>Autores</b>	<b>Organização alvo</b>	<b>Audiência alvo</b>	<b>Projeto e processo de desenvolvimento</b>	<b>Ferramentas aplicadas</b>	<b>Assuntos relacionados a projeto</b>
Pugh	MTS	Técnica	Sim	Não	Não
Boothroyd et al.	MTS	Técnica	Sim	DFMA	Não
Peters et al.	MTS	Técnica e gerencial	Sim	QFD, FMEA, DFA/DFM, CA, DOE, ferramentas da qualidade	Sim
Ulrich and Eppinger	MTS	Técnica	Sim	Não	Não

Fonte: Rahim e Baksh (2003a, p.190)

Rahim e Baksh (2003a, p.189) destacam, portanto, as seguintes inadequações destes modelos para aplicação no processo de desenvolvimento de produto ETO:

- (1) Não incluem outras áreas no processo (cliente, fornecedor, contratante);
- (2) Não mostram atividades pós-fabricação ou pós-montagem;



- (3) Não mostram a concorrência entre as atividades;
- (4) Os alvos são projetistas ou fabricantes. Demais partes são sub julgadas;
- (5) Não mostram em detalhe a utilização de ferramentas e técnicas para ES, nas diferentes fases do processo;
- (6) O fluxo de atividades representa operações MTS.

Rahim e Baksh (2003a, p.192) apresentam os requisitos básicos de um modelo de referência alternativo para o PDP em produção ETO:

- (1) Possuir dois níveis básicos: o conceitual e o operacional;
- (2) Ser genérico e não apresentar a prescrição como característica principal;
- (3) Indicar claramente as direções das metas de concepção;
- (4) Possuir uma abordagem fácil de ser acompanhada;
- (5) Ajudar no processo de documentação do projeto e concepção;
- (6) Apresentar as características-chave do processo de concepção;
- (7) Facilitar a comunicação entre as várias funções da organização;
- (8) Apresentar um plano de implementação simples e prático;
- (9) Servir como mecanismo de controle;
- (10) Integrar as ferramentas de ES no processo;
- (11) Incluir as interfaces e fatores humanos.

## **2.1.6 Estruturação de produtos ETO / OKP**

### **2.1.6.1 Conceitos gerais**

De acordo com Wortmann et al. (1997, p.45-46), dentre as atividades fundamentais em uma empresa de manufatura, três merecem destaque:

- (1) Engenharia (ou projeto do produto): responsável pelo fluxo de informações técnicas, usualmente representadas por meio de desenhos ou outros documentos, eletrônicos ou físicos;
- (2) Produção: responsável pelo fluxo de materiais e pela transformação de matérias-primas em produtos acabados;
- (3) Gerenciamento da manufatura: responsável, entre outras coisas, pelo fluxo de informações operacionais, tais como pedidos do cliente, ordens de trabalho ou *status* das atividades *versus* planejamento. Sua principal função

é obter pedidos dos clientes e entregá-los dentro do prazo, orçamento e nível de qualidade acordados.

O relacionamento entre estas atividades pode ser visto na figura 21.

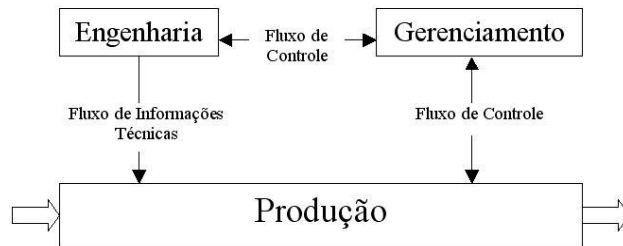


Figura 21 – Processos operacionais em uma empresa de manufatura orientada ao cliente – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.45)

Mas estes autores também destacam que a manufatura orientada ao cliente consiste da junção da atividade de engenharia com a atividade de produção, sendo necessário que ambas sejam equivalentemente gerenciadas. Dessa forma, a atividade de engenharia é considerada como uma tarefa operacional, que produz documentos e outras informações ou dados, que em última análise podem ser comparados a produtos físicos para efeito de controle do fluxo de trabalho. A figura 22 mostra como esta junção ocorre e a atuação do gerenciamento sobre ambas as atividades.

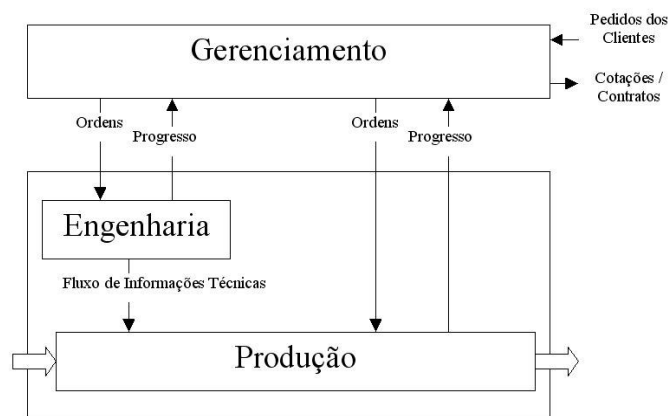


Figura 22 – A manufatura orientada ao cliente vista como uma composição formada pela engenharia e produção – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.46)

Os fluxos de informação são de grande importância para o entendimento do sistema de manufatura. Por razões de clareza, as interações que existem entre cada um dos fluxos de informação não são mostradas na figura 22, como por exemplo a ligação entre os pedidos do cliente e o processo

de projeto do produto, que para a situação de manufatura orientada ao cliente obviamente existe.

Wortmann et al. (1997, p.46) ainda descrevem a atividade de gerenciamento considerando o contexto da estrutura organizacional e a estratégia. Apresentam-na como uma fusão dos seguintes elementos, conforme mostrado na figura 23:

- Um sistema controlado: o sistema de manufatura;
- Uma unidade de controle: os tomadores de decisão humanos ou não humanos, a organização destes tomadores de decisão e as regras para tomada de decisão;
- Um sistema de informação gerencial: o sistema que coleta, processa, armazena e dissemina as informações necessárias para apoiar uma unidade de controle na tomada de decisão.

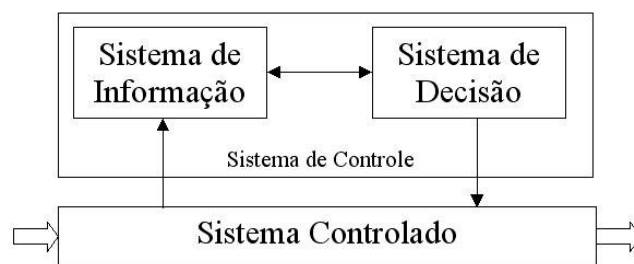


Figura 23 – Modelo de controle, informação e decisão para uma empresa de manufatura –  
Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.47)

Focando ainda a manufatura orientada ao cliente, Wortmann et al. (1997, p.48) apresentam o modelo econômico de produção desenvolvido por Walras, ou modelo Walrasiano. Este modelo representa o processo de transformação com base em recursos e produtos acabados, conforme mostrado na figura 24. O sistema considerado como o processo ou função de produção é representado pela rede no primeiro quadrante. Ele pode ser considerado sob dois pontos de vista:

- Verticalmente, correspondendo a cada recurso, ele define um estágio ou departamento como conexão paralela dos produtos envolvidos com o consumo de um recurso único. Essa visão pode ser denominada de visão de recursos.

- Horizontalmente, correspondendo a cada demanda de produto, ele define uma atividade ou processo como uma série de conexões de recursos envolvidos na produção de um único produto. Essa visão pode ser denominada de visão do fluxo de trabalho.

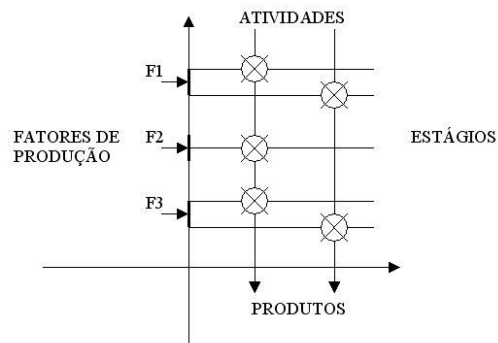


Figura 24 – Modelo Walrasiano – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.48)

A relação entre o montante de recursos e o montante produzido de um certo produto é conhecida como coeficiente técnico, que na figura 24 é simbolizado por uma cruz sobreposta por um círculo. O entendimento desses conceitos também pode ser expresso pela sua funcionalidade: a função dos recursos é “apoiar”, a função das atividades é “executar” e a função das decisões é “controlar”.

Para Wortmann et al. (1997, p.49) o modelo original de Walras não considera a montagem de partes de acordo com uma lista de materiais e nem a seqüência das operações de manufatura de acordo com roteiros, tal como requerido por situações reais de produção. Ou seja, o modelo apresentado pela figura 24 deveria ser estendido para considerar vários níveis, por meio da introdução de objetos intermediários, que seriam denominados de “produtos intermediários”. Também deveria ser estruturado de acordo com uma lista de materiais e roteiros. Neste trabalho os termos “lista de materiais” e “estrutura de produto” são tratados como sinônimos intercambiáveis.

Portanto, o passo na direção desse aprimoramento é a inclusão da visão de lista de materiais e da visão de rede de atividades ou roteiro, conforme mostrado na figura 25. O gráfico que representa a lista de materiais (“*Bill Of Materials – BOM*”) é baseado nas relações “é usado em” ou “onde é usado”. Essas relações permitem que o gráfico possa ser analogamente compreendido como composto por “componentes-filhos” e “componentes, subconjuntos ou

produtos-pais”. O gráfico representa o número de componentes ou submontagens necessárias para produzir uma unidade de um produto final ou intermediário. A rede de atividades ou roteiro é fundamental para o planejamento da produção. Ela pode ser considerada como a segunda estrutura de dados em produção, após a lista de materiais.

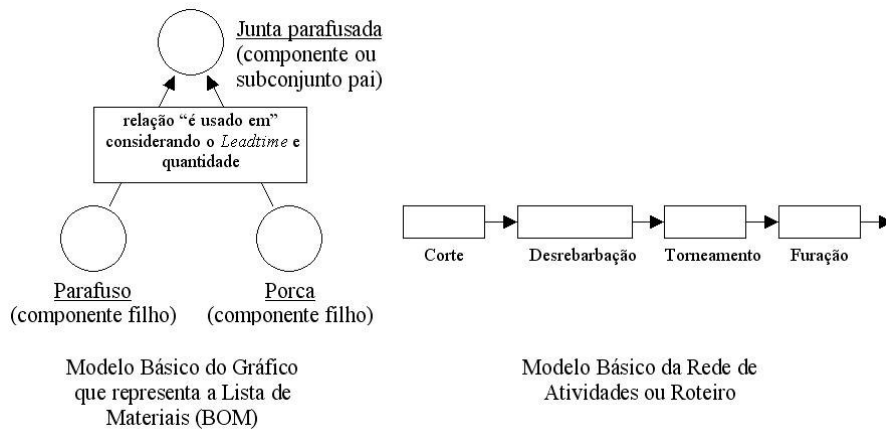


Figura 25 – Gráfico de representação da lista de materiais e rede de atividades – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.50)

Segundo Wortmann et al. (1997, p.53), este aprimoramento é denominado de “primeira extensão do modelo Walrasiano” ou descrição da manufatura sob o ponto de vista do fluxo de trabalho, conforme mostrado na figura 26.

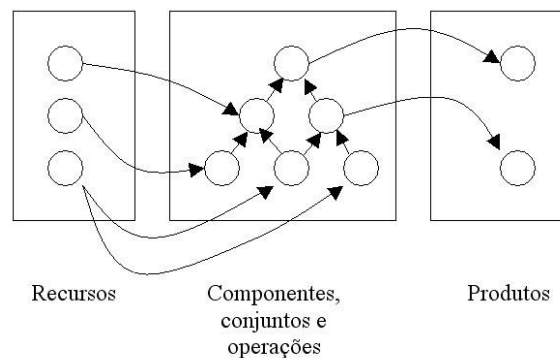


Figura 26 – Primeira extensão do modelo Walrasiano – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.53)

Os autores apresentam também a segunda e terceira extensão do modelo Walrasiano. A segunda extensão, também chamada de descrição da manufatura sob o ponto de vista dos recursos, considera que os recursos produtivos associados também são hierarquizados e que o seu envolvimento

obedece a critérios claros de planejamento em virtude da carga de trabalho de cada recurso, ou seja, da disponibilidade desses recursos no tempo, conforme mostrado na figura 27.

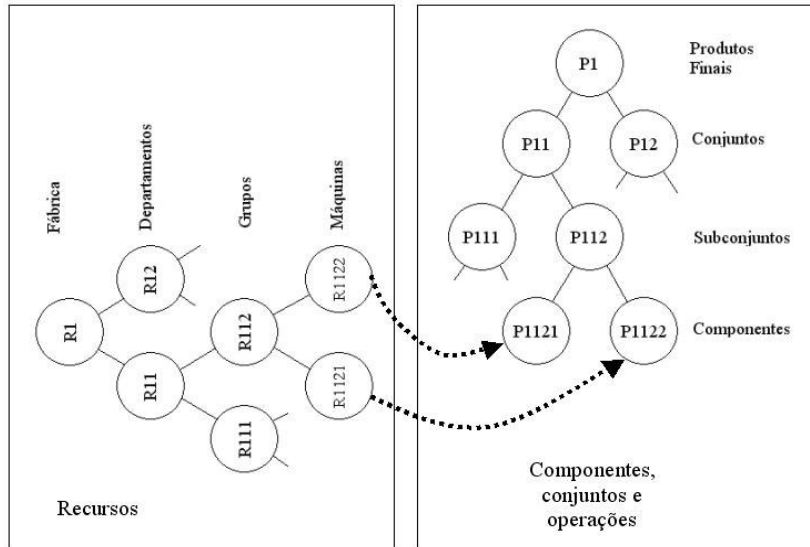


Figura 27 – Segunda extensão do modelo Walrasiano – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.48)

A primeira e segunda extensões do modelo Walrasiano representam bem os interesses produtivos das atividades de engenharia e manufatura. Entretanto não cobrem adequadamente a atividade de gerenciamento, em que os processos de informação e decisão são bastante presentes. A terceira extensão do modelo Walrasiano, também chamada de “descrição da manufatura sob ponto de vista das decisões”, é apresentada com o intuito de suprir essa deficiência, propondo uma estrutura de decisões que representa o aspecto temporal de como as decisões são relacionadas entre si, ou seja, considerando o período de tempo e horizonte, conforme mostrado na figura 28.

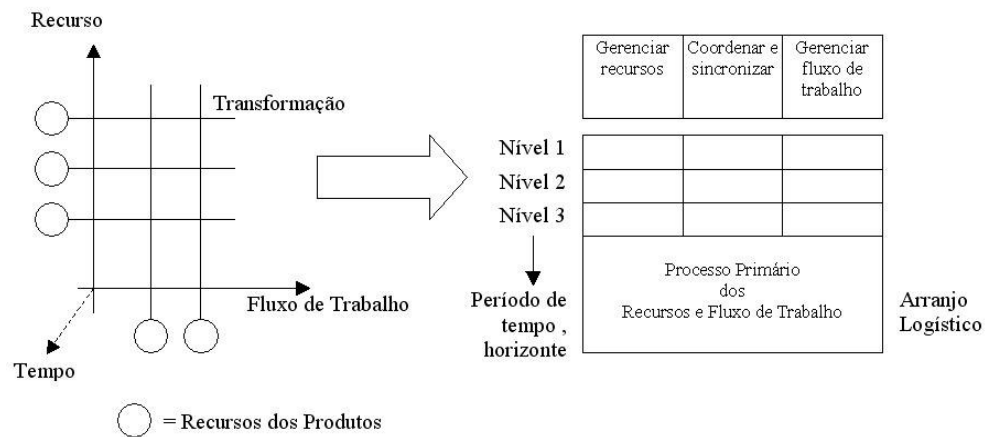


Figura 28 – Terceira extensão do modelo Walrasiano – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.48)

Dessa forma, Wortmann et al. (1997, p.57-58) concluem que a estruturação de produtos em manufatura orientada ao cliente apresenta-se de acordo com as seguintes visões:

- A visão do fluxo de trabalho;
- A visão dos recursos;
- A visão da tomada de decisões.

Estes autores argumentam que o propósito do processo de engenharia é estabelecer a estrutura de produto, que considera portanto a visão do fluxo de trabalho, de recursos e decisões sobre o fornecimento dos produtos considerados. Mas alertam para o fato de que a própria atividade de engenharia deve ser considerada como um processo, cuja única distinção é a natureza dos elementos que estão contidos no fluxo. Essa afirmação também é válida para a atividade de gerenciamento. Afirmam que uma estruturação similar deve ser utilizada para descrever o fluxo de atividades tanto da engenharia quanto do gerenciamento.

Com respeito aos tópicos mais críticos relacionados à atividade de gerenciamento da produção ETO, Wortmann et al. (1997, p.67-68) destacam que essa atividade não pode se restringir ao gerenciamento das operações após a fase de engenharia. Ao contrário, a engenharia de produto é freqüentemente a mais complexa operação a ser gerenciada. Isso induz à conclusão de que a natureza do planejamento de atividades nesse segmento não é primariamente orientada a materiais, como ocorre em montagem sob encomenda (ATO), ou orientada à capacidade, como ocorre em fabricação sob

encomenda (MTO), mas sim primariamente orientada a projetos, ou ao fluxo de trabalho. O gerenciamento do projeto não deveria estar associado com técnicas formais de planejamento, mas em vez disso, com a busca na excelência em relação à compreensão da complexidade das atividades orientadas ao cliente, o que inclui:

- Controle de documentos;
- Controle de alterações;
- Aferição dos riscos associados ao controle de qualidade;
- Reutilização de experiências e utilização ótima das *capabilidades* humanas.

Para Wortmann et al. (1997, p.51) o desenho da estrutura do produto em manufatura orientada ao cliente é desenvolvido gradualmente. Na realidade, a produção deve começar antes que este desenho esteja completamente definido. O montante de detalhes nesse desenho também irá depender do nível de planejamento em que se esteja trabalhando. Essa afirmação é consistente com o fato de que diferentes redes de trabalho e tipos de listas de materiais existirão simultaneamente na empresa, dependendo da fase em que a encomenda esteja sendo considerada. Em manufatura ETO é comum haver um planejamento em nível macro na fase da preparação da proposta, um planejamento em nível macro na fase da subdivisão da encomenda e um planejamento detalhado na fase de detalhamento do produto.

Segundo Wortmann et al. (1997, p.78), um assunto importante em relação à engenharia sob encomenda é a extensão na qual um produto é projetado especificamente como parte de um pedido de cliente ou como um desenvolvimento genérico. No primeiro caso os custos podem ser atribuídos ao cliente, mas o projeto não irá contribuir diretamente para outras encomendas ou clientes. No segundo caso as questões referem-se a como atribuir custos a um cliente específico e que produtos precisam ser desenvolvidos. A complexidade na produção ETO freqüentemente reside na flexibilidade necessária para a produção de baixos volumes e geralmente de produtos de tipo único. Uma técnica importante para o projeto de produtos genéricos baseia-se no conceito de listas genéricas de materiais. Este tipo de lista permite que uma empresa de manufatura desenvolva uma grande gama de famílias de produtos sem ter que especificar todos os detalhes para cada produto em particular.



Considerando a abordagem de listas genéricas de materiais, Wortmann et al. (1997, p.320) identificam três pontos de vista a serem analisados:

- O ponto de vista do cliente ou ponto de vista comercial: nesse ponto de vista são importantes os “parâmetros e os valores dos parâmetros para configuração do produto”. Estes devem ser controlados por meio de restrições de configuração que proibam variantes tecnicamente inaceitáveis. Restrições típicas são, por exemplo, estratégias de mercado, restrições de montagem, requisitos de serviço e até mesmo de legislação;
- O ponto de vista da família de produto: nesse ponto de vista são importantes os produtos genéricos. Cada produto genérico é associado com zero ou mais parâmetros e possui zero ou mais variantes. Além disso, produtos genéricos podem ser compostos de componentes genéricos, além de poderem ser incluídos em estruturas de produto como “componentes-filhos” de outros “produtos-pais” também genéricos;
- O ponto de vista do produto variante: nesse ponto de vista são importantes os produtos específicos variantes, oriundos dos produtos genéricos. Cada produto variante é associado a um produto genérico e é montado com base em outros produtos variantes ou escolhido com base em condições de seleção específicas. Tais condições são apenas utilizadas para os variantes primários, ou seja, aqueles que normalmente independem de pedidos de clientes. Os variantes secundários são sempre montados com base em variantes primários e secundários. As “listas variantes de materiais” (“*Variant BOM*”) são utilizadas para as atividades de manufatura e gerenciamento de configurações de produtos.

A figura 29 apresenta um modelo de dados que mostra como esses pontos de vista são relacionados.

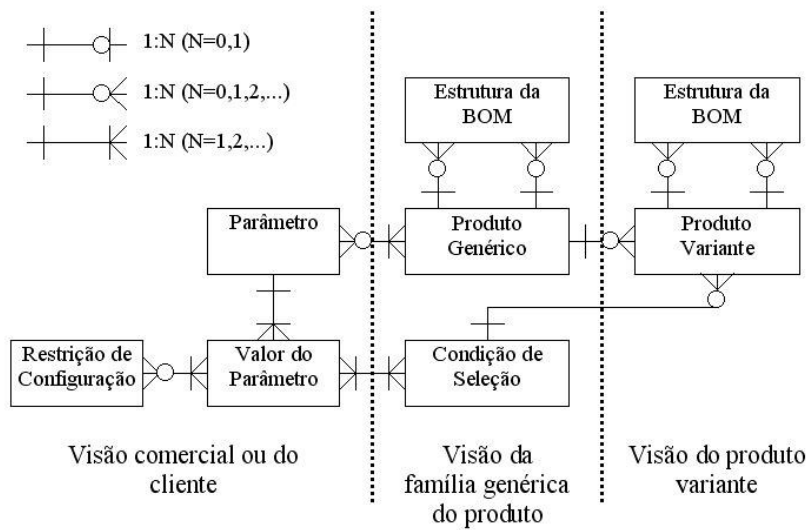


Figura 29 – Modelo de dados relacionando os três pontos de vista identificados na abordagem de listas genéricas de materiais – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.320)

A figura 30 mostra, por meio de um desenho hipotético de lista de materiais de um sistema fornecido para a área médica, a estruturação de produto utilizando a composição de variantes primárias e secundárias. Nesse exemplo pode-se concluir que a estrutura de produto variante é idêntica à estrutura de produto genérica da família a que o produto pertence. Entretanto, no modelo de dados mostrado na figura 29 a estrutura variante e a estrutura genérica são representadas de forma separada, uma vez que a estrutura de um produto variante em particular pode ser “alterada durante a vida do produto”, desde seu nascimento até a sua disposição final, em virtude de serviços, reformas e atualizações. Após a manufatura, a manutenção da estrutura de produto variante fica a critério dos responsáveis pelo “gerenciamento de configurações de produto”.

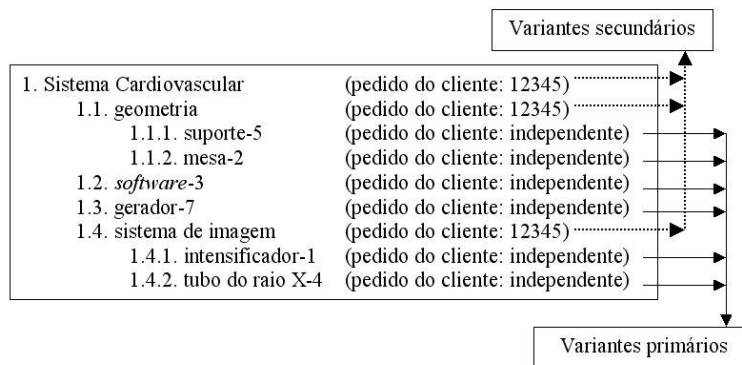


Figura 30 – Exemplo hipotético de lista variante de materiais – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.321)

Considerando os aspectos expostos até este ponto do trabalho, pode-se inferir que, dentre as atividades mais importantes para a produção com engenharia sob encomenda, a estruturação de produtos deve ser cuidadosamente abordada, adaptada e atendida. Em relação a esta atividade pode-se destacar a importância dos seguintes assuntos:

- Gerenciamento de estruturas e configurações de produto;
- Gerenciamento de alterações;
- Gerenciamento do fluxo do trabalho.

### 2.1.6.2 Gerenciamento de estruturas e configurações de produto

O gerenciamento de estruturas e configurações de produto pode ser definido como a habilidade de gerenciar os elementos de um produto ou projeto bem como a estrutura ou relações entre estes elementos, à medida que a estrutura de produto evolui com o tempo ou produz estruturas variantes.

Considerando que as listas genéricas de materiais sejam normalmente estruturadas com base em diferentes pontos de vista, Wortmann et al. (1997, p.322) identificam três elementos distintos na aplicação deste recurso:

- O configurador;
- O gerador;
- O controle de produção.

A relação entre esses elementos é mostrada na figura 31.

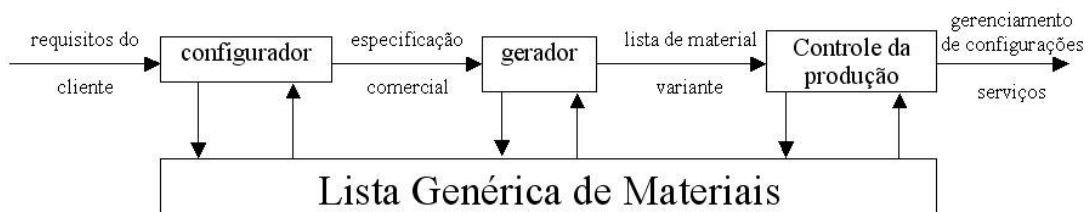


Figura 31 – Aplicação de listas genéricas de materiais – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.322)

Segundo Wortmann et al. (1997, p.322), embora o configurador e gerador sejam destinados ao apoio a grupos bastante distintos, há uma considerável sobreposição de informações entre esses elementos. As principais entidades para o processo de configuração são os parâmetros, valores dos parâmetros e restrições. Uma vez que os parâmetros estejam ligados aos produtos genéricos, o gerador também utiliza a estrutura dos

produtos genéricos, ou seja, os relacionamentos da BOM. Os seguintes passos são executados no processo de configuração:

- (1) Determinação do produto genérico que o cliente deseja configurar: o produto genérico pode ser um produto acabado, um subconjunto ou um componente;
- (2) Atribuição dos valores para todos os parâmetros associados ao produto genérico;
- (3) Verificação do atendimento de todas as restrições associadas ao produto genérico;
- (4) Execução dos dois passos anteriores para todos os níveis hierárquicos inferiores, ou análise *multilevel*, dessa estrutura de produto, assim passando os parâmetros relevantes para todos os subconjuntos e componentes.

A especificação torna-se completa quando toda a estrutura de produto atravessa esse caminho. O resultado da configuração é uma lista de valores de parâmetros para todos os produtos genéricos da estrutura. Essa lista especifica o produto variante de acordo com o ponto de vista do cliente.

O gerador usa os valores de parâmetros definidos para produzir uma lista de materiais específica para o cliente em questão, com base na estrutura de família do produto considerado. Supondo que nenhuma restrição seja violada no processo de configuração, todos os variantes primários necessários podem ser determinados.

Depois da geração, a manipulação das estruturas variantes passa então a ser controlada pela produção e sua manutenção pelo gerenciamento de configurações.

### **2.1.6.3 Gerenciamento de alterações**

As alterações de engenharia são originadas com base em novos contratos com os clientes, projeto e desenvolvimento tecnológico e mudança no processo de produção. De acordo com Hicks et al. (2000a, p.414), a sobreposição das atividades de manufatura e projeto, assim como as revisões de engenharia são complicadores da produção com engenharia sob encomenda. A eliminação total das alterações é uma utopia (ROUIBAH e CASKEY, 2003, p.17).

O gerenciamento de alterações de engenharia (“*Engineering Change Management – ECM*”) é a execução planejada ou sistemática das alterações de engenharia de um produto. Quanto maior o grau de evolução do PDP, mais formal é o processo de alteração. O processo formal de gerenciamento de alterações de engenharia consiste de duas partes principais: a requisição de alteração de engenharia (“*Engineering Change Request – ECR*”) que direciona a solicitação e aprovação; e a ordem de alteração de engenharia (“*Engineering Change Order – ECO*”), que direciona a execução da alteração (ROUIBAH e CASKEY, 2003, p.18).

De acordo com Wortmann et al. (1997, p.360-362), o gerenciamento de alterações preocupa-se em apoiar os participantes do processo mediante todo o processo de modificação, por meio das seguintes atividades:

- Servir como guia para o usuário em relação aos passos a serem seguidos durante o processo de alteração;
- Criar possibilidades de análise de impacto;
- Registrar solicitações, ordens e decisões de alteração;
- Gerenciar alterações de versões e *status*.

De acordo com estes autores, um processo de alteração pode envolver uma alteração menor ou maior, dependendo da importância do que estiver sendo alterado, do tipo de dado envolvido, como por exemplo, dados específicos da encomenda ou independentes da encomenda, e o nível dos dados envolvidos, considerando se esses são operacionais, táticos ou estratégicos. Independentemente do tamanho da alteração, um processo de alteração consiste sempre dos seguintes passos:

- Definição do propósito da alteração: conteúdo, proprietário, data, motivos da alteração;
- Execução da análise de impacto por meio da verificação de que objetos são influenciados pela alteração, tais como documentos, produtos ou processos. Isso pode ser realizado com base na estrutura de documentos e outros fatores;
- Solicitação de aconselhamento por parte de todos os responsáveis por objetos afetados pela alteração proposta;
- Decisão sobre fazer a alteração, documentação e comunicação desta decisão;

- Execução da alteração real com respeito a todos os objetos afetados;
- Revisão e aprovação de todos os documentos alterados, incluindo alterações de versão e *status*.

Wortmann et al. (1997, p.360-362) ressaltam ainda que a situação é diferente quando a alteração deva ocorrer sobre informações que independem de pedidos de clientes, ou seja, informações não específicas de encomendas. Nesse caso a alteração deve ser considerada como uma alteração maior e grupos multidisciplinares devem ser envolvidos.

Omokawa (1999, p.96) revela nas conclusões de sua pesquisa sobre um caso específico, a dificuldade de atendimento às ordens de alteração de engenharia em sistemas de gerenciamento de dados do produto. Em produção com engenharia sob encomenda (ETO) as alterações do produto são freqüentes e na maior parte do tempo há poucos produtos sendo desenvolvidos simultaneamente, em diferentes estágios de produção que vão desde o projeto até a montagem (RAHIM e BAKSH, 2003a, p. 184). Essa constatação torna ainda mais crítica o gerenciamento das alterações na produção ETO, demandando dos envolvidos muita atenção à sistematização desse processo.

#### **2.1.6.4 Gerenciamento do fluxo de trabalho**

Em relação ao fluxo de trabalho também é necessária a definição de alguns conceitos importantes. O gerenciamento do fluxo de trabalho ("*Workflow Management*") lida com a condução e apoio dos participantes do processo de desenvolvimento de produtos, na definição, planejamento, registro e monitoramento de processos com base no ponto de vista do gerenciamento de todos os fluxos de informação envolvidos. Isso conduz à constatação de que o gerenciamento do fluxo de trabalho não é na realidade uma parte integral do gerenciamento de documentos, apesar de estar fortemente relacionado a este (WORTMANN et al., 1997, p.364).

O WFMC ("*The Workflow Management Coalition*") é uma entidade destinada a abordar os assuntos relacionados ao fluxo de trabalho, e a congrega várias partes interessadas nesses assuntos ao redor do mundo, incluindo usuários, fornecedores de sistemas de informação para automação do fluxo de trabalho, consultores e acadêmicos. Para essa entidade o fluxo de trabalho ou "workflow" trata da automação de um processo de negócio, em sua

totalidade ou em parte, sob a qual documentos, informações e tarefas são passadas de um participante do processo para outro para a tomada de ações, de acordo com um arranjo de regras e procedimentos (WFMC, 2005a, p.8).

O WFMC (2005a, p.8) define ainda o escopo de utilização de um “workflow” da seguinte maneira:

- A automação de um processo de negócio é definida dentro da definição do próprio processo, que identifica várias atividades, regras, procedimentos e controle de dados associados para o gerenciamento do fluxo durante a execução do processo;
- Muitas instâncias individuais de processos podem estar operacionais durante a execução do processo, cada uma delas associada com um arranjo específico de dados relevantes àquela instância individual (“*Workflow Case*”);
- Uma leve distinção é algumas vezes feita entre *workflow* de produção, em que a maior parte das regras e procedimentos são previamente definidos, e *workflow* avulso, ou *ad-hoc*, em que as regras e procedimentos podem ser modificados ou criados durante a operação do processo.

O WFMC (2005a, p.7) apresenta a relação entre os vários elementos de um *workflow*, conforme mostra a figura 32.

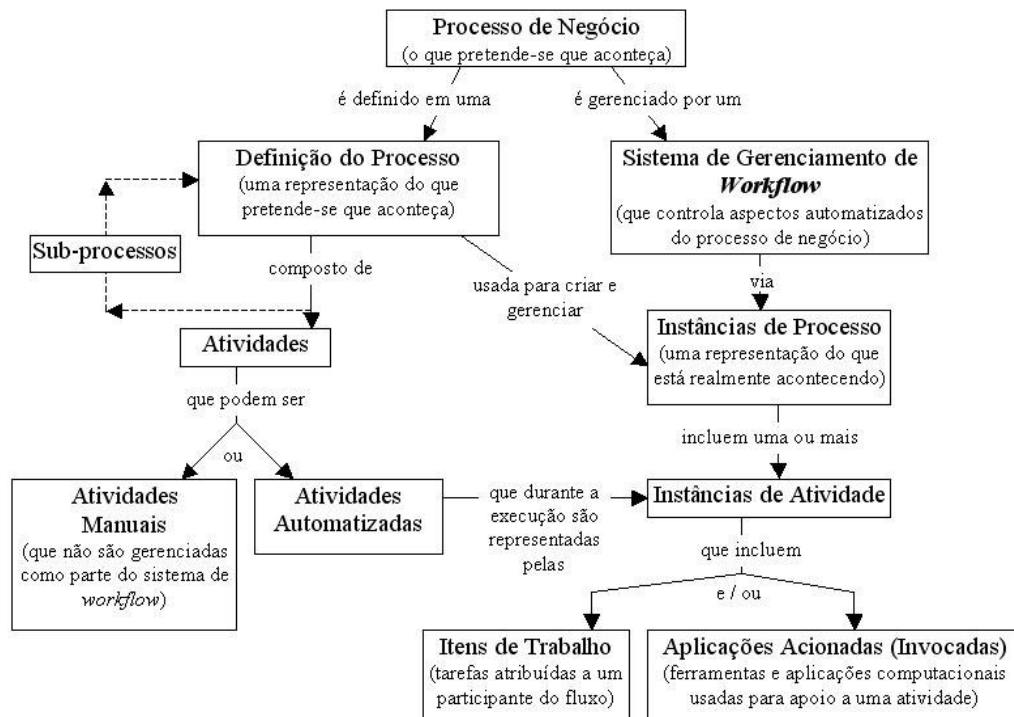


Figura 32 – Relacionamento entre os vários elementos de um *workflow* – Adaptado de WFMC (2005a, p.7)

O WfMC (2005a, p.7-24) apresenta ainda a definição de cada um dos elementos mostrados na figura 32, a saber:

- Processo de negócio: um arranjo de um ou mais procedimentos ou atividades ligadas, que coletivamente respondem por um objetivo do negócio ou de sua política, normalmente dentro do contexto de uma estrutura organizacional, definindo regras funcionais e relacionamentos;
- Definição do processo: representação de um processo de negócio numa forma que suporte manipulação automatizada, tal como modelamento ou execução por um sistema de *workflow*. Uma definição de processo consiste de uma rede de atividades e seus relacionamentos, critérios para indicar o começo e fim do processo, e informações sobre as atividades individuais, tais como participantes, aplicações e dados de tecnologia de informação associados, etc.;
- Sistema de gerenciamento do fluxo de trabalho ("*Workflow Management System*"): sistema que define, cria e gerencia a execução do *workflow* por meio do uso de *software*, sendo executado em um ou mais "motores *workflow*", que sejam aptos a interpretar a definição do processo, interagir com os participantes do fluxo e, quando requerido, invocar o uso de aplicações e ferramentas de tecnologia de informação;
- Atividade: uma descrição de uma parte do trabalho que forma um passo lógico dentro de um processo. Uma atividade pode ser manual, não suportando automação computacional, ou automatizada pelo *workflow*. Uma atividade automatizada pelo *workflow* requer recursos humanos ou não humanos para apoiar a execução do processo. Numa situação em que o recurso humano é requerido, uma atividade é atribuída a um participante do *workflow*.
- Instância de processo: representação de uma única execução de um determinado processo, incluindo seus dados associados. Cada instância de processo representa uma "fibra" de processo, que pode ser controlada e identificada independentemente;
- Instância de atividade: representação de uma única execução de uma determinada atividade dentro de um processo;



- Item de trabalho (“*work item*”): representação do trabalho a ser processado por um participante do *workflow*, no contexto de uma atividade situada dentro de uma instância de processo;
- Aplicação acionada (invocada): aplicação acionada pelo sistema de gerenciamento do *workflow* para a automação de uma atividade, totalmente ou em parte, ou para apoiar o participante no processamento de um item de trabalho.

Para Wortmann et al. (1997, p.370) o tempo e capacidade necessários para a montagem de produtos em empresas que produzem montagens sob encomenda (ATO) são normalmente considerados fatores críticos. O modelamento do fluxo de trabalho prevendo a manipulação e geração da documentação com base em documentos genéricos é a atitude mais usual nessas condições. Para empresas que produzem com engenharia sob encomenda (ETO), a criticidade é ainda agravada, porque o tempo e a capacidade são fatores críticos também durante a fase de projeto. Algumas partes do projeto e atividades de produção podem ser manipuladas por meio dos “genéricos” já mencionados. Nesse caso há apenas uma maneira de lidar com a incerteza: começando por uma descrição geral do fluxo de trabalho e documentação relacionada, que possibilite a diminuição sucessiva do grau de incerteza à medida que cada passo do projeto seja executado e que a emergência dos detalhes comece a ocorrer.

Portanto, a tecnologia de gerenciamento de *workflow* foca o desenvolvimento colaborativo de produtos, o gerenciamento distribuído dos dados do produto e o gerenciamento das alterações de engenharia. A característica dinâmica do processo de desenvolvimento de produto e o grau de incertezas observado no início desse processo demandam alta flexibilidade do modelo e de execução do *workflow* (LI e FAN, 2003, p.985-988).

#### **2.1.6.5 Particularidades da estruturação de produtos ETO / OKP**

Para a estruturação de produtos ETO ou OKP é necessário que algumas adaptações sejam consideradas em relação a determinados conceitos e aspectos.

Tu (1997, p.275) descreve com clareza o caráter evolucionário do processo de estruturação de produtos OKP, baseando-se no modelo de

estrutura de produção do produto ("*Product Production Structure - PPS*"). Conforme mostrado na figura 33, a decomposição do projeto e produção de um produto OKP são modeladas num espaço tridimensional, sendo as dimensões o tempo ("*Time*", eixo  $T$ ), o projeto de produto ("*Product Design*", eixo  $Pd$ ) e a especificação do produto ("*Product Specification*", eixo  $Ps$ ). Ao longo do eixo  $T$  o produto OKP é produzido passo a passo, e os dados de produção tornam-se cada vez mais claros. Ao longo do eixo  $Pd$ , o produto é projetado com base em uma especificação geral em direção ao detalhamento dos componentes. Ao longo do eixo  $Ps$ , o produto é especificado ou decomposto com base em um requisito geral ou direcionamento, em direção a processos detalhados.

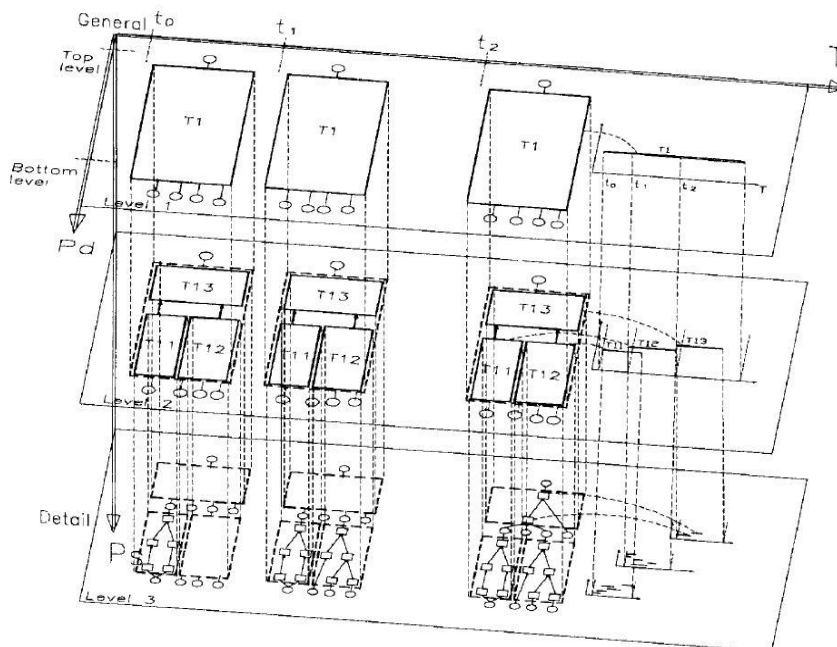


Figura 33 – Projeto de produto e decomposição da produção em produção OKP – Fonte: Tu (1997, p.275)

Os produtos oferecidos por indústrias ETO possuem estrutura de produto complexa e de alta profundidade, contendo alguns tipos de itens em baixo volume e outros em médio ou alto volume, alguns itens altamente customizados e outros padronizados, alguns componentes de tecnologia avançada, tais como sistemas de controle, e outros apenas com fins estruturais, como por exemplo estruturas de aço para sustentação de grandes equipamentos (HICKS et al., 2000a, p.420).

Caron e Fiore (1995, p.315-316) destacam que em estruturação de produtos ETO os pacotes de trabalho planejados dentro do plano mestre

global, relativo ao atendimento de subsistemas caracterizados por uma BOM bem definida, tornam-se *inputs* para o plano mestre de produção. A explosão da BOM e da análise dos *leadtimes* permite a utilização de sistemas para a abordagem do planejamento das necessidades de cada componente, independentemente deste ser produzido internamente ou comprado de sub fornecedores. Estes autores destacam que para obter-se o maior rendimento no gerenciamento desse tipo de produto, é essencial dividir o escopo de projeto em “subsistemas padronizados” e “subsistemas não-padronizados”, conforme mostrado na figura 34. Nessa figura estes autores utilizam o termo “hardware” para designar todos os elementos físicos, sejam mecânicos ou eletrônicos, contidos numa encomenda, e “software” para designar os elementos não físicos, incluindo programas de controle dos produtos fornecidos.

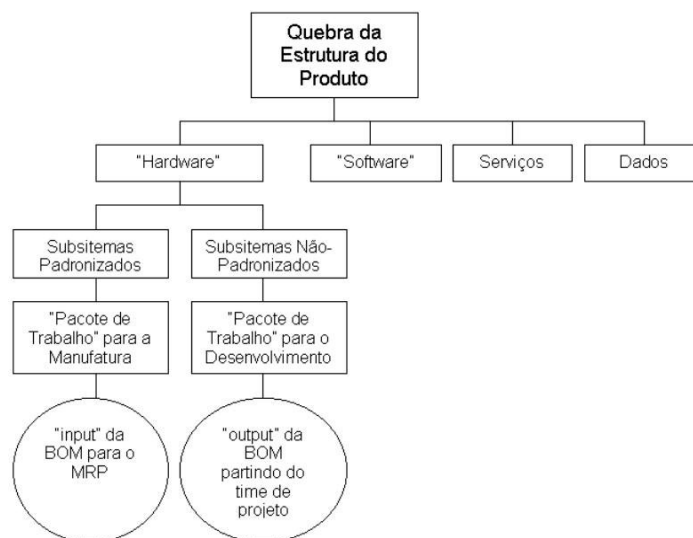


Figura 34 – “Quebra” da estrutura de produto - Fonte: Caron e Fiore (1995, p.316)

Caron e Fiore (1995, p.315-316) apresentam as seguintes definições para os subsistemas sugeridos:

- Subsistemas padronizados: esses subsistemas geram, por meio de suas listas de materiais já existentes, volumes de produção que seguem diretamente para a manufatura, tornando-se um *input* da encomenda na produção, correspondendo a pacotes de trabalho que podem mais eficientemente ser planejados e controlados por meio de técnicas aplicáveis de planejamento e controle da produção, tal como aquelas baseadas na abordagem MRP. Isso requer uma definição completa da lista de materiais de cada subsistema, e os *leadtimes* para o término de cada estágio;

- Subsistemas não-padronizados: nesses casos tais subsistemas apresentam-se como uma saída, ou *output*, da equipe projeto, que precisa ser processada. Isso também ocorre quando esses subsistemas são oriundos de uma revisão de versões definidas durante projetos similares desenvolvidos no passado. Portanto, os volumes de produção não podem ser diretamente gerenciados pelas técnicas tradicionais de seqüenciamento utilizadas em sistemas de manufatura. Dessa forma, o gerenciamento do desenvolvimento destes volumes de trabalho requer não apenas uma abordagem específica e recursos dedicados, mas um esforço de coordenação para garantir a total conformidade com os marcos que governam o progresso do projeto como um todo.

Hicks et al. (2000b, p.184) apresentam uma caracterização quanto à profundidade das estruturas de produto em indústrias verticalmente integradas e a sua relação com os tipos de operação de manufatura, que pode ser vista na figura 35.

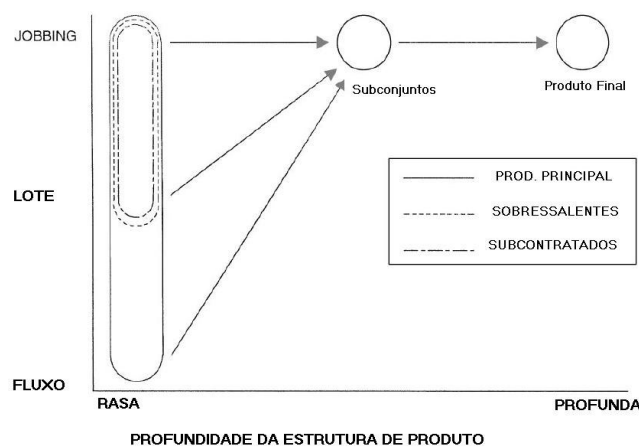


Figura 35 – Profundidade da EP *versus* processo de manufatura em empresas ETO verticalmente integradas – Fonte: Hicks et al. (2000b, p.184)

De acordo com Harhalakis<sup>6</sup> (1986 apud Hicks et al. 2000a, p.420), três itens devem ser considerados na aplicação de sistemas baseados em MRP II para o PDP ETO:

- (1) Sistemas baseados em MRP ou MRP II executam apenas um passe no sentido de “frente para trás” ou *backwards*, que resulta em cronogramas que

<sup>6</sup> G. Harhalakis, “Engineering changes for make-to-order products: How an MRP (II) system should handle them”. Eng. Manage. Int., vol. 4, pp.19-36, 1986.

possuem apenas os últimos tempos ou datas de necessidade. Eles não executam um cronograma de “trás para frente” ou *forward* e nem fornecem informações sobre folgas;

- (2) A descrição hierárquica de listas de materiais é restritiva porque os elementos em uma lista de materiais precisam possuir o conteúdo do material e ser arranjados de forma que a estrutura evolua em cascata a partir do item final. A montagem temporária e a desmontagem são etapas comuns na produção de bens de capital com engenharia sob encomenda, e não podem ser facilmente representadas por meio dessa hierarquização, considerando a evolução gradual da estrutura do produto durante o PDP ETO;
- (3) Tarefas não relacionadas a materiais, tais como inspeção e testes, que freqüentemente são marcos importantes nos cronogramas de atividades do PDP ETO, não podem ser incluídas na listas de materiais e nem planejadas por sistemas baseados em MRP ou MRP II.

### **2.1.7 Planejamento da produção**

Empresas ETO são caracterizadas por riscos financeiros e comerciais significativos e pela incerteza da especificação, da demanda, da duração dos processos internos e dos *leadtimes* externos. A alta incerteza na fase inicial do processo de desenvolvimento de produto faz com que a área de suprimentos e manufatura se comprometam com a obtenção de itens e matérias-primas de longo *leadtime* de aquisição ou fabricação, antes mesmo do projeto destes itens ter sido finalizado. Isso resulta em alterações de engenharia que precisam ser resolvidas com essas áreas e também com os subfornecedores (HICKS et al., 2000a, p.414).

Para a execução do plano mestre global em empresas ETO, uma abordagem de planejamento “de frente para trás” (*backwards*), ou seja, aquela que considera o planejamento partindo da definição da última atividade em direção à atividade inicial, é a mais indicada, assim como ocorre em projetos de engenharia contratada. Portanto, os marcos de início de atividade das unidades das plantas funcionais e os marcos de teste de desempenho, definidos no início do contrato de fornecimento, afetam o planejamento das atividades de

construção, o que por sua vez causa impacto nos planos de aquisição, no desenvolvimento da documentação técnica e assim por diante (CARON e FIORE, 1995, p.316).

Em sua pesquisa, Hicks et al. (2000a, p.418) verificaram que todas as empresas estudadas utilizavam sistemas de gerenciamento de projeto computadorizado, de sofisticação variada, baseados em técnicas como PERT-CPM, uma técnica para avaliação e revisão do que foi programado e para determinação do caminho crítico (*“Program Evaluation and Review Technique – Critical Path Method”*). Todas as empresas baseavam seu planejamento nas estruturas de produto por meio de redes formadas por um conjunto de atividades *seqüenciadas*, relacionadas e interdependentes. As redes permitem a ligação de atividades cujos momentos de início e término não sejam coincidentes com atividades predecessoras ou sucessoras em cada ramificação da rede.

Após a definição da rede, o acompanhamento é executado considerando-se atividade por atividade, focando-se o caminho ou ramificação crítica, partindo-se da atividade inicial para final, tal como mostrado na figura 36 proposta por Caron e Fiore (1995, p.315-316). A revisão da programação, por conta de imprevistos na execução de uma determinada atividade, leva em consideração toda a ramificação em que esta se encontra, podendo afetar todas as atividades interligadas posicionadas à frente desta, “empurrando-as” se houver descumprimento de prazos.

Esta abordagem, que é usualmente baseada no uso de análise de redes, é claramente similar à aplicada pela indústria de produção “em massa”, especialmente quando se considera o uso de sistemas de planejamento da produção. Em ambos os casos, o planejamento *backwards* é seguido por um controle do tipo “empurrado” que objetiva o encontro das metas de produção determinadas durante a fase de planejamento, conforme mostrado na figura 36 (CARON e FIORE, 1995, p.316).

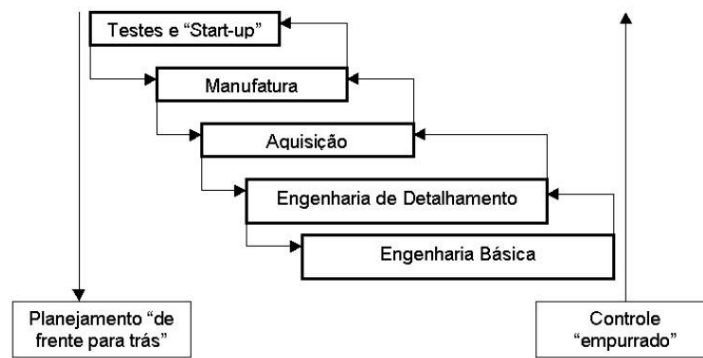


Figura 36 – Planejamento *backwards* e controle “empurrado” – Fonte: Caron e Fiore (1995, p.316)

### 2.1.8 Indicadores de desempenho e o PDP

O desdobramento da questão principal desta pesquisa passa pela análise do comportamento dos indicadores de desempenho do PDP diante da integração de sistemas, o que torna relevante a introdução desse assunto, bem como a apresentação das principais dificuldades na implementação de um sistema de medição de desempenho.

Os objetivos de um sistema de medição de desempenho podem ser apresentados da seguinte forma:

Um sistema de medição de desempenho permite que as decisões e ações sejam tomadas com base em informações, porque ele quantifica a eficiência e eficácia das ações passadas por meio da coleta, exame, classificação, análise, interpretação e disseminação dos dados adequados (NEELY<sup>7</sup>, 1998 apud PRANCIC e MARTINS, 2003, p.4).

Prancic e Martins (2003, p.9) destacam que há necessidade de se mudar o foco das medidas individuais para o sistema de medição de desempenho do PDP, considerando tanto o ambiente interno quanto o externo e procurando atender com qualidade as necessidades dos tomadores de decisão neste processo.

Segundo Perez (2003, p.127), ao longo da era industrial os critérios de desempenho financeiros eram tidos como os mais importantes para monitorar o sucesso das empresas, ao passo que fatores como qualidade, flexibilidade, entre outros, não possuíam unanimidade quanto ao grau de importância. Com

<sup>7</sup> NEELY, A. (1998). *Measuring business excellence*. London: The Economist.

a era da informação as empresas tiveram que rever seus processos produtivos. Entretanto, os sistemas de medição não evoluíram na mesma proporção dos processos produtivos, continuando baseados no monitoramento dos prazos e dos custos envolvidos.

Perez (2003, p.46) apresenta em sua pesquisa a definição de alguns conceitos fundamentais para o entendimento do assunto medição de desempenho:

- Indicador de desempenho: elemento esclarecedor que determina, em termos de eficiência, o rendimento de um processo ou atividade ao qual ele está direcionado, mostrando quais são os fatores que influenciaram na obtenção dos resultados apresentados, baseados em avaliações quantitativas e/ou qualitativas;
- Métrica: elemento utilizado para quantificar por meio de expressões algébricas a eficiência e/ou a eficácia da ação;
- Medição de desempenho: processo que quantifica a eficiência e a eficácia da ação ou do elemento avaliado;
- Sistema de medição de desempenho: conjunto de atividades sistematizadas com o objetivo de avaliar o desempenho de um processo produtivo, suportado por indicadores de desempenho;
- Critério de desempenho: determina a classificação dos indicadores de desempenho em cinco grupos: tempo, custo, qualidade, flexibilidade e recursos.

Segundo este autor, para as organizações industriais a medição de desempenho é considerada como um processo que propicia melhor entendimento para toda a empresa de suas reais posições, podendo abranger um ou todos os processos contidos na organização. O objetivo final da medição de desempenho está geralmente focado na melhoria do desempenho dos aspectos avaliados, contribuindo para o aprimoramento da eficiência e eficácia do objeto estudado.

Perez propõe um sistema de medição de desempenho para aplicação na atividade de projeto (SiMDAP), uma das principais atividades do PDP. No estudo para proposição deste sistema e em sua pesquisa são destacadas algumas importantes conclusões:



- Os indicadores propostos devem ser utilizados e analisados de acordo com sua eficiência, permitindo aos usuários a liberdade de gerar e adaptar novos indicadores ao *portfólio*;
- A medição de desempenho somente se justifica quando existe o interesse em aperfeiçoar o processo analisado, não devendo ser vista como um sistema de avaliação dos envolvidos;
- A medição de desempenho não deve ser encarada apenas como um instrumento do processo de controle e sim como um instrumento de planejamento de futuros projetos, de agregação de valor ao produto, como provedor de informações que, aliado a um sistema de gestão do conhecimento, pode se tornar um diferencial competitivo;
- A medição de desempenho deve ser encarada como um sistema de aprendizagem organizacional e como um instrumento de motivação, se aliado a um sistema de recompensa.

De acordo com Bourne et al. (2003), uma revisão da literatura corrente sobre medição de desempenho revela a existência de diversos problemas e dificuldades na implementação desses sistemas, que estão apenas começando a ser reconhecidas. Segundo estes autores, até o momento o conhecimento levantado está baseado primariamente nas reflexões dos praticantes e, portanto, estudos comparativos sobre o sucesso e falhas de implementação em diferentes tipos de negócio são relevantes para o aumento desse conhecimento.

A implementação de um sistema de medição de desempenho é portanto uma atividade relativamente complexa que exige, sobretudo, conhecimentos específicos sobre o comportamento do processo analisado. Além disso o *portfólio* de indicadores deve ser encarado como mutável, considerando aprimoramentos do processo durante sua evolução.

## **2.2 Sistemas de informação integrados**

### **2.2.1 Conceitos gerais sobre integração**

Com a evolução da Tecnologia da Informação, o conceito de integração evoluiu da integração física entre as máquinas ou equipamentos, por meio de

redes, para a integração dos sistemas aplicativos via compartilhamento de dados e processamento distribuído, e mais recentemente para a integração do negócio como um todo para suporte à decisão e inteligência aplicada aos negócios. Considerando-se essa evolução, o último nível de integração, o dos negócios, só é possível se a integração do nível inferior, o dos aplicativos, tiver sido executada, o que por sua vez depende da integração do primeiro nível, o físico (ZANCUL, 2000, p.47).

Tarcisius et al. (2002, p.2-3) apresentam um modelo que ilustra os mesmos elementos destacados por Zancul (2000, p.47), porém com uma terminologia diferente, mostrando o relacionamento entre os vários níveis envolvidos nos processos de integração. Na apresentação desse modelo destacam que a definição conceitual do termo “Arquitetura do Empreendimento - AE” (“*Enterprise Architecture - EA*”) depende muito do segmento do conhecimento que a utiliza, podendo ser diferente para administradores, arquitetos ou técnicos de informação e implementadores de sistemas, que tendem a descrever apenas uma visão específica. Apresentam uma definição para o termo AE baseando-se numa conjunção das visões de negócio, dos sistemas de informação e das tecnologias habilitadoras da informática, conforme mostrado na figura 37.

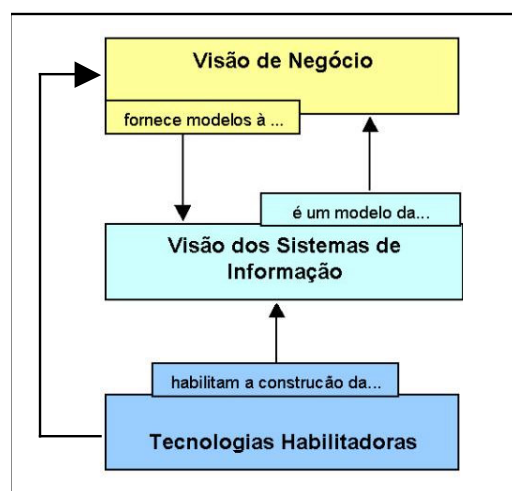


Figura 37 – Visão geral de uma arquitetura de empreendimento – Adaptado de Tarcisius et al. (2002, p.3).

Cada uma das visões apresenta características e elementos distintos. A visão de negócios é essencialmente uma decomposição dos componentes de negócio que formam o empreendimento (TARCISIUS et al., 2002, p.2-17).

Tarcisius et al. (2002, p.2-17) apresentam também os elementos que constituem cada um desses níveis ou visões, definidos com base em uma metodologia iterativa baseada na importância desses elementos para uma determinada arquitetura de empreendimento. Com relação à visão de negócios, os elementos apresentados por estes autores são os seguintes:

- Estratégia;
- Pessoas;
- Estrutura organizacional;
- Funções, que consistem de tarefas e processos;
- Informação;
- Infra-estrutura.

Até este ponto do trabalho alguns aspectos e conceitos de integração na visão do processo de negócio foram apresentados. Nas próximas seções apresentam-se os aspectos de integração na visão das tecnologias habilitadoras dos sistemas de informação, e em seguida na visão da interligação entre os principais sistemas de informação empresariais.

### **2.2.2 Visão de integração no âmbito das tecnologias habilitadoras**

Conforme Tarcisius et al. (2002, p.8) as aplicações destinadas à constituição dos sistemas de informação precisam ser confiáveis, escaláveis, gerenciáveis e seguras e, para alcançar tais metas, cada sistema da AE precisa ser implementado numa plataforma focada em distribuição e *multi-camadas*. A figura 38 mostra essa configuração. Os “clientes” encontram-se na camada da “linha de frente” (*“front-end tier”*), os recursos de informações encontram-se na camada dos “bastidores” (*“back-end tier”*) e uma ou mais “camadas intermediárias” se posicionam entre estes dois primeiros (*“middle tiers”*).

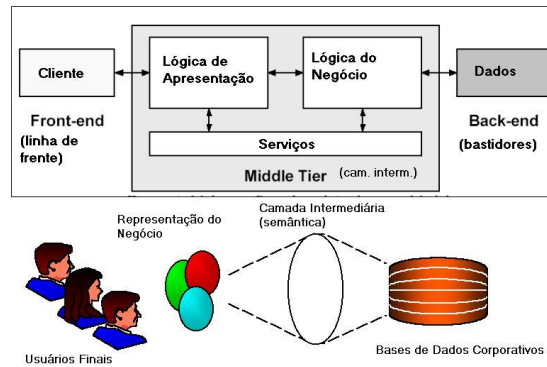


Figura 38 – Disposição dos elementos de uma tecnologia habilitadora – Adaptado de Tarcisius et al. (2002, p.9).

Com relação à visão das tecnologias habilitadoras, os elementos destacados por Tarcisius et al. (2002, p.8-17) como os mais importantes são os seguintes:

- Plataforma *Sun J2EE®* : projetada para suportar a implementação das aplicações do empreendimento, possibilitando a execução de serviços para todas as partes envolvidas tais como clientes, empregados, fornecedores e parceiros. O seu modelo de aplicação define uma arquitetura para implementação de serviços na forma de aplicações *multi-camadas*;
- Plataforma *Microsoft .Net®* (lê-se “dot net”): é também uma plataforma de desenvolvimento de aplicações *multi-camadas*, similar à *J2EE®*;
- Plataforma de serviços *Web* (“*Web Services*”): é uma interface que descreve uma coletânea de operações acessíveis via rede por meio de mensagens da linguagem extensível de formatação (“*eXtensible Markup Language - XML*”). Segundo os autores, o que a *Web* proporcionou para as interações entre usuários e programas, os serviços *Web* podem proporcionar para as interações entre programas, permitindo que aplicações sejam integradas em um alto nível, baseadas mais na semântica de mensagens e menos na semântica de protocolos, dessa forma permitindo ampla integração para as funções do negócio. Essas características a tornam ideal para a conexão de funções do negócio via *Web*, tanto através quanto dentro dos empreendimentos.

Segundo Tarcisius et al. (2002, p.8) a maioria dos trabalhos de desenvolvimento de aplicações encontra-se na camada intermediária. A melhor prática de trabalho é particionar a camada intermediária em termos de “lógica

de negócio” e “lógica de apresentação” e amparar essas lógicas com sistemas de serviços que possibilitem o melhor desempenho de ambas. Como exemplos de sistemas de serviços pode-se citar: gerenciamento de conexões, gerenciamento de transações distribuídas, segurança, serviços de mensagem eletrônica e serviços de identificação/autenticação. Um ponto importante é considerar que, qualquer que seja a tecnologia habilitadora, deve ser capaz de integrar os diversos sistemas da AE, sejam eles internos ou externos, recentes ou legados (TARCISIUS et al., 2002, p.9).

De acordo com Gokhale (1998, p.260), a camada intermediária ou *middleware* é a camada que abriga os *softwares* que interagem entre as aplicações e a rede física, sendo um elemento chave no auxílio para a integração de ambientes heterogêneos de computação.

Mas Zancul (2000, p.48-53), dois anos antes de Tarcisius et al. (2002, p.1-17) e dois anos depois de Gokhale (1998, p.260), apresenta algumas das tecnologias habilitadoras utilizadas para a integração entre sistemas e destaca alguns dos serviços de *middleware*. Dentre as tecnologias apresentadas por Zancul (2000, p.48-53) destacam-se:

- Arquitetura cliente/servidor: arquitetura computacional com armazenamento, processamento e apresentação dos dados distribuídos entre computadores clientes e computadores servidores, ainda muito popular nos ambientes de redes;
- Base de dados: coleção organizada de dados criados e mantidos por sistemas gerenciadores de bases de dados ("*Data Base Management Systems - DBMS*");
- Serviços de *middleware*, tais como: ODBC ("*Open Database Connectivity*") - padrão para a troca de informações entre bases de dados; OLE ("*Object Linking and Embedding*") - protocolo para a interoperabilidade de aplicativos baseados no sistema operacional *Windows®*; e CORBA ("*Common Object Request Broker Architecture*"), que possibilita o gerenciamento de objetos distribuídos e oferece os serviços essenciais para a transmissão de requisições e respostas entre esses objetos. CORBA é uma estrutura aberta, não proprietária e independente da linguagem de programação, e até mesmo da plataforma dos objetos;

- Interface dos programas de aplicação ("*Application Program Interface - API*")
  - são bibliotecas pré-definidas de funções dedicadas de um sistema computacional que podem ser acessadas tanto diretamente quanto por outros sistemas, simplificando o acesso às funcionalidades de um sistema e encobrendo toda a complexidade interna de implantação;
- Linguagem de intercâmbio de informações, como padrão para intercâmbio do modelo de dados do produto ("*Standard for the Exchange of the Product Data Model - STEP*") - O STEP compreende uma série de normas para a apresentação e o intercâmbio de dados de produto entre diferentes sistemas. A linguagem STEP é um padrão emergente elaborado pela ISO para o intercâmbio de informações relacionadas aos produtos. É uma linguagem de alto nível, baseada em características e orientada a objetos (XIE et al., 2003, p.4276-4277).

Xie (2003, p.4272-4277) et al. consideram que, apesar da pesquisa para sistemas de apoio ao desenvolvimento de produtos baseados na Internet estar em andamento há muitos anos, ainda não foi encontrada uma maneira unificada de desenvolver sistemas integrados neste segmento. O desenvolvimento de produtos em ambientes integrados utiliza várias tecnologias habilitadoras atuais. Estes autores analisaram as seguintes:

- Linguagem STEP e SDAI ("*STEP Data Access Interface*");
- Tecnologia de agentes ("*Agent Technology*"); no ambiente integrado de desenvolvimento de produtos um "agente" é definido como um *software* que pode interagir com o ambiente considerado e extrair algum conhecimento dele, se necessário interagindo com outros agentes para a troca de informações e conhecimentos;
- Tecnologia *Microsoft ActiveX®* : permite aos programadores montarem componentes de *software* reutilizáveis dentro de aplicações sofisticadas e serviços na Internet e em Intranet, com o mínimo esforço. Uma de suas características é que os componentes de *software* denominados de componentes *ActiveX* podem ser reutilizados por diferentes plataformas. Os componentes *ActiveX* do lado do computador servidor podem ser utilizados para customizar a criação e recuperação de páginas da Internet, assim como os objetos CGI ("*Common Gateway Interface*");

- DCOM ("*Distributed Component Object Model*"): é uma arquitetura amplamente utilizada para aplicações *multi-usuário* de grande porte. Pode ser utilizada na maior parte dos casos de desenvolvimento de sistemas para o desenvolvimento de produtos baseados na Internet. É a tecnologia ideal para aplicações *multi-camadas* porque habilita os componentes *ActiveX* a trabalharem entre redes, permitindo aos desenvolvedores construir facilmente sistemas que ultrapassam as fronteiras computacionais. A DCOM possui três virtudes que a fazem uma tecnologia muito importante: é baseada nas mais utilizadas tecnologias para componentes; é uma tecnologia de extensão de baixo-nível do Modelo de Objeto Componente ("*Component Object Model - COM*") dentro do *Microsoft ActiveX*; e finalmente é uma tecnologia aberta que funciona em múltiplas plataformas;
- CORBA;
- Tecnologia *Java*: é uma tecnologia originariamente proposta pela *Sun Microsystems*. Sua plataforma de desenvolvimento de *software* pode ser utilizada para desenvolver sistemas baseados na Internet, é portátil, orientada a objetos e distribuída. Possui dois componentes principais: o *Java VM* ("*Java Virtual Machine*") e o *Java API* ("*Java Application Programming Interface*"). Por meio do *Java VM* pode-se criar programas que funcionam em quaisquer sistemas operacionais, o que é importante para a integração de sistemas de manufatura em ambientes heterogêneos.

A análise dos trabalhos mencionados nesta seção denota um grande esforço dos desenvolvedores a fim de criar ou aprimorar tecnologias habilitadoras, objetivando facilitar a construção ou suporte de sistemas de informação que representem com mais fidelidade a visão ou processo de negócio em questão. Observa-se uma forte tendência para o desenvolvimento de tecnologias com afinidade para aplicação via *Web*.

Alguns dos sistemas de informação utilizados para o modelamento da visão de negócios são analisados na próxima seção.

## 2.2.3 Visão de integração no âmbito dos principais SI empresariais

### 2.2.3.1 Motivação para utilização de sistemas integrados empresariais

Sandoe e Saharia<sup>8</sup> (2001 apud Turban e Aronson 2001, p.331) destacam os seguintes benefícios da integração, em ordem de importância:

- (a) Benefícios tangíveis: redução de estoque, redução de pessoal, melhoria de produtividade, melhoria do gerenciamento de ordens, melhoria de proximidade do ciclo financeiro, redução do custo de TI, redução do custo de aquisição, melhoria do gerenciamento de dinheiro, aumento de lucros e renda, redução do custo de logística e transportes, redução de manutenção e melhoria de entregas dentro do prazo.
- (b) Benefícios intangíveis: visibilidade da informação, processos novos ou melhorados, habilidade de resposta do cliente, padronização, flexibilidade, globalização e melhoria de desempenho do negócio.

### 2.2.3.2 Sistemas para gestão empresarial

Para Rozenfeld e Zancul (2000, p.1), os sistemas para gestão empresarial (“*Enterprise Resource Planning – ERP*”) são sistemas caracterizados por abranger um escopo amplo de funcionalidades, pela adaptação a vários tipos de empresas e pela integração dos seus dados. Seus módulos apóiam as atividades de vários processos de negócio, tais como *marketing* e vendas, compras, produção, gestão de recursos humanos, financeiros e físicos. Os dados são mantidos numa base de dados central e manipulados por todos os módulos, garantindo a integridade entre todos os processos assistidos. Estes autores acrescentam que, em geral, o PDP não tem sido amplamente considerado na implantação desses sistemas, não participando dos benefícios de integração num grau elevado.

O ERP tem sido ainda expandido para incluir fornecedores e clientes internos e depois fornecedores e clientes externos, resultando no que então

---

<sup>8</sup> SANDOE, K.; SAHARIA, A. (2001). *Enterprise integration*. New York: Wiley.



passa a ser conhecido como *software* de ERP/SCM estendido (TURBAN e ARONSON, 2001, p.330).

### 2.2.3.3 Evolução dos sistemas ERP (o ERP II ou ERP/SCM)

Turban e Aronson (2001, p.331) definem que as novas formas de relações organizacionais e a revolução da informação, especialmente da Internet e do comércio eletrônico, trouxeram o gerenciamento da cadeia de suprimentos ("*Supply Chain Management - SCM*") para a vanguarda das atenções. A criação de um plano com base em um sistema SCM permite às empresas rapidamente absorver o impacto de suas ações sobre toda a cadeia de suprimentos, incluindo a demanda dos clientes, o que justifica a integração do ERP com o SCM.

Segundo Lummus e Vokurka (2002, p.53), uma abordagem voltada à decisão, que possa endereçar os vários aspectos relacionados às transações eletrônicas via *Web* entre clientes e fornecedores, deve incluir os seguintes tópicos:

- Análise de alternativas considerando os parceiros da cadeia de suprimentos;
- Abordagem analítica de cima para baixo;
- Utilização de uma ferramenta de modelamento baseada em computador;
- Condução sensível de análises de alternativas;
- Consideração de aspectos de implementação.

Modelos que possam avaliar o efeito desse tipo de decisão ao longo de toda a cadeia de fornecimento oferecem informações críticas nas decisões a respeito do atendimento de transações eletrônicas via *Web*. Estes modelos devem ser desenvolvidos com a participação de todas as áreas da organização, como por exemplo a área de vendas, de logística, de manufatura, de compras, de finanças entre outras, e devem incluir requisitos de serviço, restrições e números relativos a custos (LUMMUS e VOKURKA, 2002, p.53).

### 2.2.3.4 Inteligência aplicada aos negócios ("*Business Intelligence - BI*")

No final dos anos 90 os maiores benefícios dos ERP já haviam sido experimentados, mas o movimento final do ERP estava ainda longe de ser alcançado. Uma segunda e mais poderosa geração de desenvolvimento de

ERP começou com o objetivo de *alavancar* sistemas existentes para aumentar a eficiência na manipulação de transações, melhorar a tomada de decisão e além disso transformar a forma de fazer negócios. A tendência em direção à provisão de funcionalidades de inteligência aplicada aos negócios (*"Business Intelligence - BI"*) como suplemento de sistemas ERP tende a amadurecer nos próximos anos, resultando em sistemas totalmente integrados ou sistemas que possam facilmente aceitar produtos adicionais. Vários vendedores de ERP já oferecem o que a SAP, empresa líder em sistemas ERP, denomina de "sistemas de gerenciamento estratégico do empreendimento", que possuem funcionalidades para informações executivas (*"Executive Information Systems - EIS"*). Tal integração tende a *alavancar* as funcionalidades dos sistemas ERP existentes e reduzir o seu custo (TURBAN e ARONSON, 2001, p.331-339).

#### **2.2.3.5 Sistemas para o gerenciamento dos dados de engenharia**

De acordo com Xie et al. (2003, p.4276-4277) o ambiente de desenvolvimento de produtos é suportado por um grande número de aplicativos, tais como os relacionados a projeto auxiliado por computador (*"Computer Aided Design – CAD"*), engenharia auxiliada por computador (*"Computer Aided Engineering – CAE"*), planejamento do processo auxiliado por computador (*"Computer Aided Process Planning – CAPP"*) e manufatura auxiliada por computador (*"Computer Aided Manufacturing – CAM"*). Além dessas e outras ferramentas, a engenharia fica cada vez mais próxima da gestão dos dados transacionais e operacionais relativos ao negócio, como é o caso dos dados tratados pelos ERP. Apesar de toda a integração vertical já ocorrida ou ainda por ocorrer nos ERP, um dos segmentos de maior possibilidade de integração horizontal com estes sistemas é o de engenharia de produtos, por meio dos sistemas PDM.

Sistemas PDM colaborativos oferecem gerenciamento de CAD, integração com o ERP e gerenciamento da cadeia de suprimentos. Sem dúvida, um dos mais críticos tópicos para empresas de manufatura atualmente é a integração entre os sistemas PDM e ERP. Duas tecnologias diferentes mas bastante próximas que representam o coração e a alma do gerenciamento completo das definições do produto e do ciclo de produção. Empresas que forem bem sucedidas no estabelecimento de uma integração efetiva do

ambiente de informações do empreendimento irão prosperar, ao passo que as outras não irão manter sua competitividade (VETSA, 2003, 1-9).

Os sistemas PDM não competem com sistemas de gestão de materiais ou empresariais. Os mais sofisticados oferecem ferramentas para gerenciar toda a complexidade e para automatizar muitos processos, permitindo que os diferentes produtos variantes sejam considerados quanto às alterações, em diferentes estágios de produção ou serviço, ou seja, em diferentes estágios do seu ciclo de vida (POPOV et al., 1998, p.6).

De acordo com Kumar e Midha (2004, p.61) o estado-da-arte corrente de implementação dos sistemas PDM em empresas não apóia todo o ciclo de vida do produto. Estes autores apresentam algumas funcionalidades existentes em sistemas PDM:

- Repositório de dados. Esses repositórios são também conhecidos pelos termos *vault* ou *warehouse*, dependendo da finalidade;
- Interoperabilidade;
- Gerenciamento da estrutura de produtos;
- Pesquisa e recuperação de dados;
- Automação do *workflow*;
- Classificação de produtos;
- Apresentação e visualização de documentos;
- Captura e saída de dados;
- Integração *Web*;
- Modelamento de processos;
- Automação da engenharia de vendas;
- Busca para aquisição ou gerenciamento do fornecedor do componente;
- Suporte para comércio colaborativo de produto;
- Administração do sistema;
- Segurança.

Os sistemas PDM possuem também a sua versão evoluída, denominada de sistemas de gerenciamento do ciclo de vida do produto (“*Product Lifecycle Management - PLM*”). De acordo com o CIMDATA (2002, p.1), o PLM pode ser definido por:

Uma abordagem estratégica de negócio que aplica um conjunto de soluções para o suporte da criação colaborativa, gerenciamento, disseminação e uso de informações de definição do produto mediante toda a extensão do empreendimento, desde a concepção até o final de sua vida útil, integrando pessoas, processos, sistemas de negócio e informações.

O CIMDATA (2002, p.1) considera que as economias diretas, em relação ao uso de sistemas PLM, incluem redução no tempo e custo de projeto de produtos, estoque reduzido e melhor reutilização de componentes, encurtamento do tempo de colocação de novos produtos ou de produtos aperfeiçoados no mercado e redução no tempo para localizar e acessar informações necessárias. Esses e outros impactos proporcionam rendimentos e lucros mais altos, assim como outras iniciativas para o empreendimento, tais como o ERP, o gerenciamento do relacionamento com o cliente (“*Customer Relationship Management - CRM*”) e o SCM.

#### **2.2.3.6 Interligação entre os principais SI empresariais**

Tarcisius et. al (2002, p.6-7) apresentam a interligação (ou integração) dos sistemas de informação considerando o que apresentam como seus principais elementos:

- Sistemas ERP;
- Sistemas de gestão de relacionamento com o cliente (CRM): sistemas que tratam das interações que o empreendimento possui com seus clientes, tanto no relacionamento na fase de vendas quanto na fase de serviços. Facilitam o serviço ao cliente por vários canais como Internet, telefone, quiosques de auto-atendimento, *e-mail*, *fax* e equipamentos de comunicação móvel. O CRM também é suportado por tecnologias tais como resposta interativa por meio de voz, integração “computador-telefone” e automação da central de chamadas (“*Call Center Automation*”);
- Sistemas para negócios eletrônicos (*e-Business*): sistemas que facilitam a acessibilidade do empreendimento para a execução de negócios via Internet,

- tanto para compra e venda de bens e serviços, quanto para prestação de serviços e colaboração com parceiros de negócio. Estes autores apresentam três modalidades de negócios possíveis: negócios com os consumidores (“*Business to Consumer – B2C*”); negócios entre empreendimentos (“*Business to Business – B2B*”); e gestão da cadeia de fornecimento (SCM);;
- Inteligência aplicada aos negócios (*Business Intelligence*): além do exposto sobre estes sistemas, com base no trabalho de Turban e Aronson (2001, p.331-339), Tarcisius et. al (2002, p.6-7) destacam que esta é uma grande categoria de aplicações e tecnologias para o agrupamento, armazenamento, análise e descoberta de relacionamentos ocultos em grandes volumes de dados, cujo objetivo é auxiliar os gestores a tomarem melhores decisões. Esta categoria inclui sistemas de apoio à decisão, processamento analítico “on-line” (“*On-line Analytical Processing – OLAP*”), armazenamento intermediário de dados para análise (“*Datawarehousing*”) e mineração de dados (“*Data Mining*”).

Tarcisius et. al (2002, p.6-7) propõem um modelo de integração que pode ser observado na figura 39. Os sistemas PDM, quando integrados ao leque dos demais sistemas de informação, são especialmente ligados à caixa denominada “produção”, representada na figura no domínio do ERP. Essa ligação é melhor abordada na próxima seção.

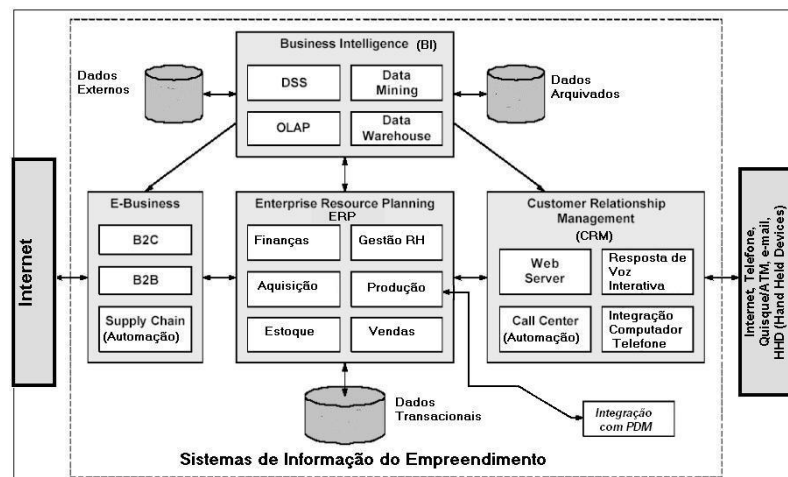


Figura 39 – Modelo de integração considerando a visão dos principais sistemas de informação  
– Adaptado de Tarcisius et al. (2002, p.8)

De acordo com Lee (2003, p.116), a maior parte das empresas de manufatura pode reduzir o ciclo de desenvolvimento de seus produtos focando quatro aspectos básicos num "Sistema de Informação de Manufatura Total":

- Um sistema abrangente de planejamento da linha de produtos que possa gerenciar todo o conteúdo e qualidade desta linha;
- Um calendário de desenvolvimento, necessário para rastrear o tempo e responsabilidade de execução de tarefas;
- Um sistema único de informação e especificação de produto para capturar todas as informações sobre a construção do produto;
- Integração entre esses sistemas.

O planejamento via "Sistema de Informação de Manufatura Total" apresentado por Lee (2003, p.121) muda o foco de atenção, inicialmente apontado para os objetivos individuais de cada sistema, para o funcionamento integrado numa base de dados das áreas de *marketing*, engenharia, manufatura e negócios, considerando o alinhamento destas áreas às estratégias globais da empresa.

### **2.2.3.7 Abordagens de integração entre os principais SI**

A integração entre aplicativos pode ser homogênea ou heterogênea. Na integração homogênea uma base de dados única é compartilhada por todos os aplicativos. Isso geralmente ocorre entre aplicativos criados por um mesmo fabricante ou entre aplicativos criados por meio de associações ou parcerias entre fabricantes. A integração homogênea é mais complexa quando é executada entre aplicativos de diferentes fabricantes. Na integração heterogênea os aplicativos são criados por fabricantes diferentes e utilizam repositórios de dados próprios. Esse tipo de integração pressupõe a existência de um repositório de dados chamado de meta base de dados, baseada em serviços *middleware*, a utilização de interfaces para a comunicação entre os aplicativos (API) e o emprego de padrões de integração, como por exemplo a linguagem STEP. As principais desvantagens da integração heterogênea são o armazenamento redundante e a sobreposição de funcionalidades semelhantes oferecidas por dois ou mais aplicativos (ZANCUL, 2000, p.48).

Vários autores destacam a importância dos sistemas PDM como ferramentas elementares para o sucesso nos processos de desenvolvimento

de produtos (ELORANTA et al., 2001; HAMERI e NIHTILÄ, 1998; KUMAR e MIDHA; 2004; VETSA, 2003) e a importância da integração desses sistemas com os sistemas ERP (LEE, 2003; VETSA, 2003; ZANCUL et al., 1999).

Zancul et al. (1999, p.1) estudaram as abordagens de integração entre os sistemas PDM e ERP. Segundo estes autores o completo gerenciamento das informações do produto ao longo de seu ciclo de vida só é possível por meio de adequada integração entre esses sistemas. O PDM deve ser capaz de integrar-se a outros sistemas, tanto para receber quanto para fornecer informações. Essa abordagem considera que são colocados os sistemas CAD, CAE, e de escritório ("*Office*") de um lado da integração e os sistemas MRP II ou ERP do outro, tendo o sistema PDM como intermediário, conforme mostrado na figura 40.

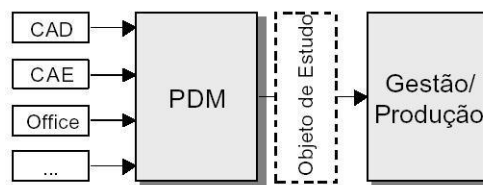


Figura 40 – Relações de integração do sistema PDM – Fonte: Zancul et al. (1999, p.1)

Zancul et al. (1999, p.4) apresentam duas abordagens para integração entre os sistemas PDM e ERP: as de caráter conceitual e as de caráter técnico. Quanto à abordagem conceitual estes autores destacam a sobreposição de funcionalidades entre os sistemas PDM e ERP, em que o principal foco de integração é a estrutura do produto, visão também compartilhada por outros autores, como por exemplo Popov et al. (1998) e Vetsa (2003). A figura 41 apresenta alguns elementos de interface entre estes sistemas.

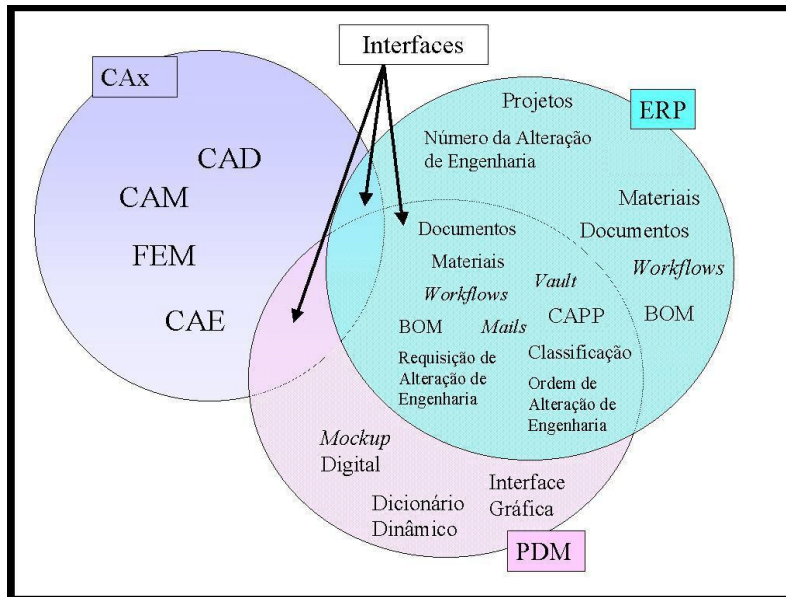


Figura 41 – Sobreposição de funcionalidades entre sistemas PDM, ERP e CAx – Adaptado de Popov et al. (1998, p.47)

Considerando a abordagem técnica, Zancul et al. (1999, p.4-5) classificam-nas quanto ao "Grau de Integração" e "Complexidade de Implantação". O grau de integração é maior quanto maior for a quantidade de dados compartilhados e quanto menor for a redundância de dados. A complexidade de implantação reflete a dificuldade em se implantar a abordagem desejada.

Zancul et al. (1999, p.5-6) apresentam as seguintes possibilidades de integração técnica:

- Transferência de arquivos;
- Integração unidirecional via API;
- Integração bi-direcional via API;
- Acesso direto à base de dados;
- Interface baseada em objetos distribuídos com a utilização de tecnologias como CORBA e DCOM.

Segundo estes autores a interface baseada em objetos distribuídos ainda pode ser considerada de alto grau de complexidade, em virtude do atual estágio de desenvolvimento dessas tecnologias, conforme mostrado na figura 42.



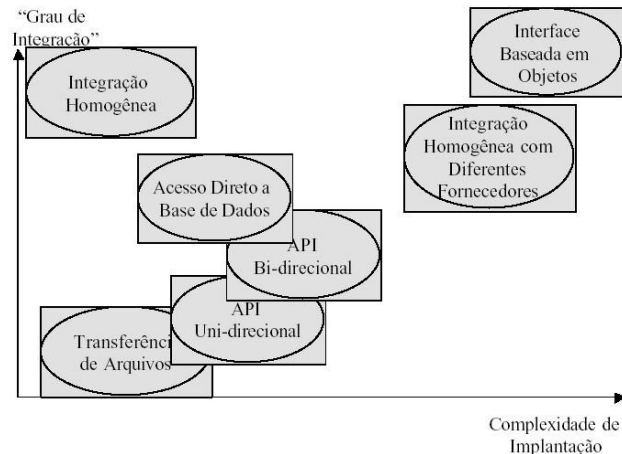


Figura 42 – Classificação das abordagens técnicas de integração – Fonte: Zancul et al. (1999, p.5)

## 2.2.4 Utilização de sistemas integrados em empresas ETO / OKP

### 2.2.4.1 Requisitos

Segundo Xie et al. (2003, p.4263) os requisitos para sistemas empregados em empresas OKP são os seguintes:

- Integrar o empreendimento para o atendimento à competitividade global e rápida resposta ao mercado, permitindo à empresa OKP integrar seu processo de desenvolvimento de produto com seus parceiros via rede;
- Considerar que as organizações são globalmente distribuídas;
- Ser capaz de lidar com ambientes de manufatura heterogêneos e distribuídos;
- Possuir estrutura aberta e dinâmica, sendo capazes de integrar dinamicamente novos subsistemas para aplicações específicas ou permitir que subsistemas sejam removidos sem influenciar a estrutura básica do ambiente de trabalho;
- Suportar cooperação e colaboração;
- Ser ágil e permitir alta customização;
- Ser tecnologicamente avançado, considerando a adoção de tecnologias que sejam especificamente desenvolvidas para fases do desenvolvimento do produto, oferecendo vantagens sobre os sistemas de manufatura existentes;

- Ser compatível com a maioria dos *softwares* existentes para desenvolvimento de produtos;
- Ser estável, considerando a auto-recuperação perante falhas dos subsistemas para minimização do impacto ao usuário, e fácil de usar e manter.

Em empresas ETO os sistemas de gestão da produção devem ser estruturados de modo a considerar o processamento das informações de “estado independente”, de “estado dependente”, e das informações para apoio à tomada de decisão. As informações de “estado independente” são básicas e constituem, por exemplo, o conteúdo para cadastro de itens, tal como a sua identificação, descrição e sua posição na hierarquia da estrutura de produto. As informações de “estado dependente” são relacionadas a dados circunstanciais, tais como o controle das ordens de produção e do estoque e outros recursos (WORTMANN, 1995, p.263-266).

Considerando empresas ETO, nos sistemas para processamento de informação de “estado independente” os dados consistem basicamente de estruturas de produtos, roteiros e projetos propositadamente incompletos, denominados de “referenciais”, em virtude da característica estratégica destas empresas. Os dados apenas são completados no momento em que uma encomenda dispara uma ordem de produção. As bases de dados com informações sobre produtos e processos são muito diferentes entre empresas ETO e MTS. Em empresas MTS essas informações devem ser completas, consistentes e atualizadas ao passo que em empresas ETO deve ser permitido que mesmo a informação básica esteja incompleta, parcialmente inconsistente ou não atualizada, pelo fato dessa informação servir como referência para a criação de soluções customizadas (WORTMAN, 1995, p.268-270).

Segundo Wortmann et al. (1997, p.79-80), o uso de tecnologia de informação (TI) em manufatura é uma forma de alcançar produção efetiva e eficiente, além de controle. Tal uso deve, portanto, ser desenvolvido com base nas características primárias do processo e sistema de controle aplicados. Para estes autores, há cinco áreas na produção orientada ao cliente que precisam de atenção especial em relação ao projeto ou re-projeto de sistemas de informação:

- Modelamento do produto: a maior parte dos processadores de listas de materiais, ou estruturas de produto, foca apenas a produção sob encomenda (MTO) ou montagem sob encomenda (ATO). O tratamento de estruturas genéricas de produto representa um novo e poderoso instrumento para a produção orientada ao cliente;
- Controle do fluxo de trabalho e da engenharia: o mercado de *software* para o controle de produção em manufatura é dominado por sistemas baseados na lógica MRP, notadamente desenvolvidos para a manufatura repetitiva. Wortmann et al. (1997, p.79) afirmam que na produção ETO a engenharia precisa ser controlada quase que da mesma maneira que a fabricação e montagem;
- Monitoramento da qualidade e documentação: na manufatura repetitiva os padrões de qualidade e documentação podem ser mais facilmente definidos porque os resultados podem ser repetidamente observados nos vários lotes de produção. Na manufatura orientada ao cliente, em que os lotes são pequenos ou até mesmo unitários, uma série de dificuldades pode ser encontrada no estabelecimento desses padrões;
- Pacotes de *software*: Wortmann et al. (1997, p.338) destacam a importância do processador de listas de materiais ou estruturas de produto nos sistemas baseados na lógica MRP II, o que inclui os sistemas ERP. Segundo os autores, tais sistemas devem atender aos seguintes requisitos: (1) número de identificação do “componente-pai”. O “componente-pai” pode ser “componente-filho” em outra relação da estrutura, o que demanda a necessidade de um processador *multi-níveis (multilevel)*, também capaz de evitar relacionamentos cruzados, em que um componente apareça como pai de si mesmo; (2) o sistema deve ser capaz de lidar com o fato de que um componente pode ser “filho” de diversos “componentes-pai” numa estrutura; (3) a data de efetividade do relacionamento “pai-filho” desempenha um papel importante no processamento das transações, considerando que a estrutura de produto pode sofrer muitas alterações durante a produção. Essas alterações podem ser de projeto, manufatura ou montagem. Alguns pacotes de *software* incluem o conceito de alteração de engenharia para a estrutura de produto;

- Controle de operações na fábrica (“*Shop-floor Control*”): a ênfase desse tipo de controle reside na automação do planejamento e controle, tentando eliminar os operadores da fábrica, geralmente considerados recursos “caros” e “não confiáveis”. Considerando a necessidade de alta flexibilidade por parte da manufatura orientada ao cliente, o envolvimento dos operadores nestas situações passa a ser indispensável.

Com base nos requisitos apresentados, alguns sistemas de informação são analisados nas próximas seções, a fim de cobrir algumas das principais atividades do processo de desenvolvimento de produtos ETO.

#### **2.2.4.2 Sistemas para estimativa de custos**

Considerando a fase de participação do edital e elaboração da proposta (estimativas de custos e preços após o edital de convite), Kingsman e Souza (1997, p.119) apresentam uma proposta de sistema de apoio à decisão para estimativa de custos e preços nesse tipo de empresa. Destacam que a estimativa de custos e de preços deve ser considerada como um processo único, com elevada complexidade, não requerendo apenas a manipulação de informações conhecidas mas o extensivo uso de experiência e julgamento gerencial. Concluem que os gerentes e orçamentistas envolvidos com essa tarefa desenvolvem uma série de regras heurísticas e que um sistema de apoio às decisões nesse processo deve ser capaz de considerar tais regras na elaboração das estimativas.

Krömker et al. (1997, p.207-208) executaram uma pesquisa utilizando como base um sistema denominado *BID-PREP*. Estes autores destacam na conclusão de sua pesquisa que a eficiência da preparação de propostas e estimativas de custos para produtos complexos pode ser aumentada por meio da implementação da filosofia de engenharia simultânea. Essa implementação requer medidas organizacionais e introdução de tecnologia de informação inovadora. O sistema foi customizado em relação às necessidades individuais dos parceiros industriais envolvidos na pesquisa, cujas expectativas eram as seguintes:

- Aumento nas chances de ganhar concorrências;
- Economia de tempo e dinheiro;
- Retorno sistemático e armazenamento estruturado de informação;

- Amplo apoio a atividades relacionadas às cotações e propostas;
- Encurtamento do tempo médio de resposta ao cliente;
- Melhoria na precisão dos cálculos de custos.

Os autores destacam ainda que, partindo do resultado de sua pesquisa, este sistema seria customizado pelo *Bremen Institute of Industrial Technology* para atender a produção OKP, confirmando a importância da atividade de customização dos sistemas para a produção OKP ou ETO.

#### **2.2.4.3 Sistemas para gerenciamento de dados do produto (PDM)**

De acordo com Hameri e Nihtilä (1998, p.196) as seguintes tendências de desenvolvimento suportam o papel central do gerenciamento da informação:

- A maior parte do trabalho mental relacionado ao projeto e engenharia está acumulada em documentos e no gerenciamento destes, isto é: procura, recuperação, manipulação, mediação e armazenamento;
- Os documentos produzidos por empresas avançadas são armazenados em meio digital;
- Redes de informação e serviços desempenham papel crucial no alcance da real colaboração distribuída suportada por computadores;
- A disseminação de informações em papel tem caído bastante;
- Os produtos têm a sua complexidade tecnológica aumentada, o que por sua vez aumenta a quantidade de documentação necessária.

Estes autores destacam que apesar do papel central do gerenciamento dos dados do produto ser facilmente justificado, pesquisas empíricas neste domínio permanecem limitadas. Isso é especialmente verdade no caso da produção OKP e em gerenciamento de projeto em geral.

As aplicações de PDM e de redes são consideradas ferramentas elementares para o sucesso em empresas que operam sob encomenda. Entretanto, há evidências de que as implementações de PDM em empresas OKP não apóiam completamente o ciclo de vida do produto. As empresas reclamam que o processo de entrega não é integrado e que a ignorância geral a respeito do *status* do projeto do produto e progresso do projeto como um todo causa problemas durante o processo (HAMERI e NIHTILÄ, 1998, p.196).

Considerando o gerenciamento de alterações dos dados do produto, Eloranta et al. (2001, p.239) destacam que o volume de desenhos alterados

após o início da fabricação chega ao impressionante percentual de 12%. Apesar de haver nestas empresas uma pressuposição de que grande parte das alterações é oriunda de influências dos clientes, a maior parte das alterações é na verdade originada dentro dessas empresas. Estes autores concluem que os documentos são, em sua maior parte, gerados eletronicamente e que há ferramentas para gerenciá-los. Apesar disso, o gerenciamento de documentos e informações mostra-se como uma tarefa difícil de implementar e o sucesso dessa tarefa reside na maneira pela qual se processa. Concluem que a analogia entre peças não utilizadas nos estoques em processo (*Work In Process Inventory – WIP*) e documentos aguardando por aprovação resultam no mesmo problema: ambos encobrem trabalho e valor que poderiam ser melhor explorados (ELORANTA et al., 2001, p.242).

Wortmann et al. (1997, p.359-360) definem gerenciamento da documentação como:

Uma coleção de todas as atividades relacionadas à criação, recuperação, entrega, alteração, eliminação e manutenção de documentos, organizada de forma a permitir que o documento certo esteja disponível para a pessoa certa, no momento e local corretos.

Portanto, os sistemas de informação para esta atividade devem ser capazes de atender às seguintes tarefas:

- Controle de documentos;
- Gerenciamento de alterações;
- Apoio à reutilização de documentos;
- Gerenciamento de documentos genéricos;
- Gerenciamento do fluxo de trabalho.

Segundo Wortmann et al. (1997, p.371) a integridade dos documentos apenas pode ser garantida se o acesso a esses documentos for permitido exclusivamente por meio do sistema de informação designado para mantê-los. Por este motivo o sistema de gerenciamento de documentos deve manter rastreabilidade e controle dos usuários que acessam esses objetos, definindo critérios de acessibilidade baseados em tipos de usuários, tipos de documentos, versões e *status* permitidos de acesso. Para isso tais sistemas devem permitir que bases de dados sejam estruturadas para manter a

descrição do conteúdo de cada documento, dados estes que os autores também denominam de meta dados.

Wortmann et al. (1997, p.373) destacam ainda que, por causa dos aspectos do fluxo de trabalho relacionados ao gerenciamento de documentos, os pacotes de *software* disponíveis para o apoio a essas atividades são também conhecidos pelos termos “sistema para gerenciamento dos dados dos produtos” (“*Product Data Management – PDM*”), “sistema para gerenciamento dos dados de engenharia” (“*Engineering Data Management – EDM*”) ou “sistema para gerenciamento do fluxo de trabalho” (“*Workflow Management System*”).

Considerando o fluxo, o WFMC (2005b, p.20) apresenta o modelo de referência para sistemas de *workflow*, desenvolvido com base em uma estrutura de aplicação genérica para a identificação das interfaces que possibilitam que produtos destinados a este fim interoperem em diferentes níveis. Todos os sistemas de *workflow* possuem um certo número de componentes genéricos que interagem em um arranjo operacional definido. Produtos diferentes exibem diferentes níveis de *capabilidade* dentro de cada um destes componentes genéricos. Para alcançar a interoperabilidade desejada entre os diversos produtos encontrados no mercado, um arranjo padronizado de interfaces e formatos de intercâmbio entre esses componentes é requerido. O modelo pode ser visto na figura 43.

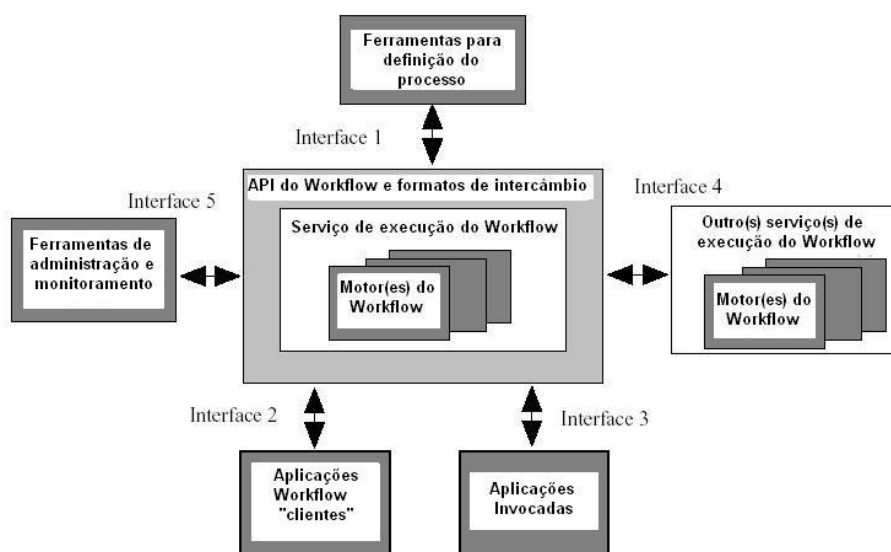


Figura 43 – Modelo de referência para *workflow* – Adaptado de WFMC (2005b, p.20)

A primeira interface apresentada no modelo do WFMC (2005b, p.28) refere-se ao intercâmbio entre as informações das definições do processo e os serviços de execução do *workflow*. Esta interface também é conhecida como interface de importação e exportação. Seu objetivo é suportar o intercâmbio das informações da definição do processo considerando uma grande variedade de meios físicos ou eletrônicos de intercâmbio. Pode suportar o intercâmbio de uma definição completa de processo ou uma parte desta, como por exemplo alterações de um determinado processo ou atributos de uma atividade específica dentro de um processo.

O WFMC (2005b, p.28-29) destaca que para a definição dos processos podem ser utilizadas diversas ferramentas, incluindo aquelas contidas nos sistemas de *workflow*. Destaca ainda que há alguns benefícios na utilização de ferramentas padronizadas para a definição de processos, que permitam a utilização da interface de intercâmbio descrita, a saber:

- Permitem que os usuários de sistemas *workflow* possam escolher, de forma independente, as aplicações responsáveis pela automação do *workflow* e pela definição do processo, aumentando a possibilidade de satisfação destes usuários com cada um dos produtos selecionados;
- Permitem que, em determinadas situações, a definição de um determinado processo possa ser compartilhada por diferentes sistemas de *workflow*, possibilitando a co-operação e distribuição dos serviços entre esses sistemas.

Uma representação da primeira interface descrita pode ser vista na figura 44.



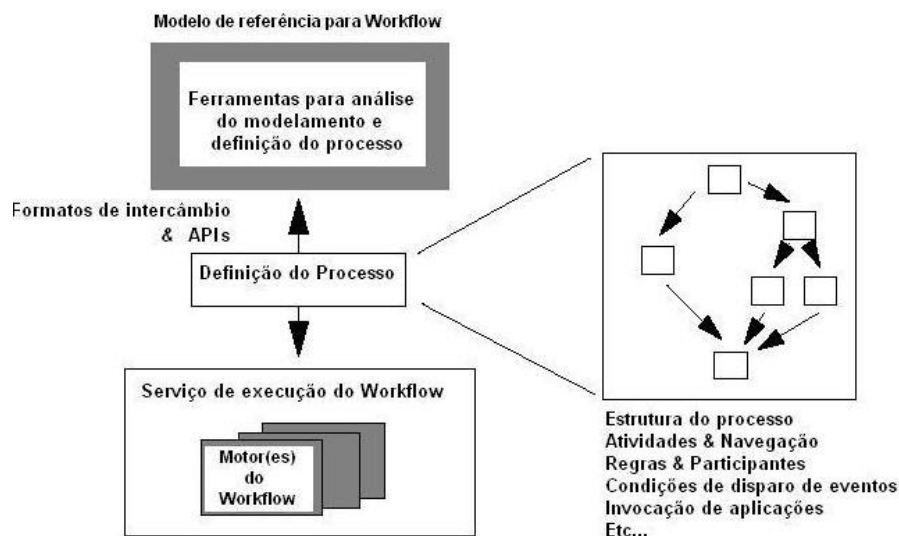


Figura 44 – Interface de intercâmbio, ou exportação e importação, de definições de processo –

Fonte: WfMC (2005b, p.29)

#### 2.2.4.4 Sistemas para planejamento do processo

De acordo com Tu et al. (2000, p.100), o planejamento do processo baseado em sistemas CAPP (*Computer Aided Process Planning*) convencionais torna-se difícil nos ambientes de produção OKP geograficamente dispersos, porque tais sistemas são modelos de processos lineares, e não concorrentes. Por este motivo, os conceitos, métodos e teorias sobre CAPP para apoio à produção OKP nesses ambientes precisam ser desenvolvidos. Os ambientes geograficamente dispersos são também chamados por estes autores de “ambientes virtuais de manufatura”, pois são compostos por redes de empresas geograficamente dispersas e interligadas para a produção dos bens em questão, sendo cada empresa uma “célula” ou “nó” da rede.

Tu et al. (2000, p.100) definem CAPP em produção OKP virtual como uma ferramenta de apoio ao planejamento e tomada de decisão, que objetiva a geração de métodos e estimativas de custos para a conversão das especificações técnicas dos clientes no produto desejado, de uma maneira econômica e competitiva. As especificações técnicas dos requisitos dos clientes são entendidas como o projeto de um produto, que é concebido por meio de ferramentas de modelamento apropriadas.

Estes autores sugerem uma arquitetura de referência para um sistema CAPP que auxilia a produção OKP virtual. O método CAPP proposto é denominado de “planejamento incremental do processo”, com um modelo de análise de custo racional ou ótimo. A existência de uma base com os dados das plantas dos parceiros vai ao encontro da característica de *virtualização* da manufatura OKP. A arquitetura de referência pode ser vista na figura 45.

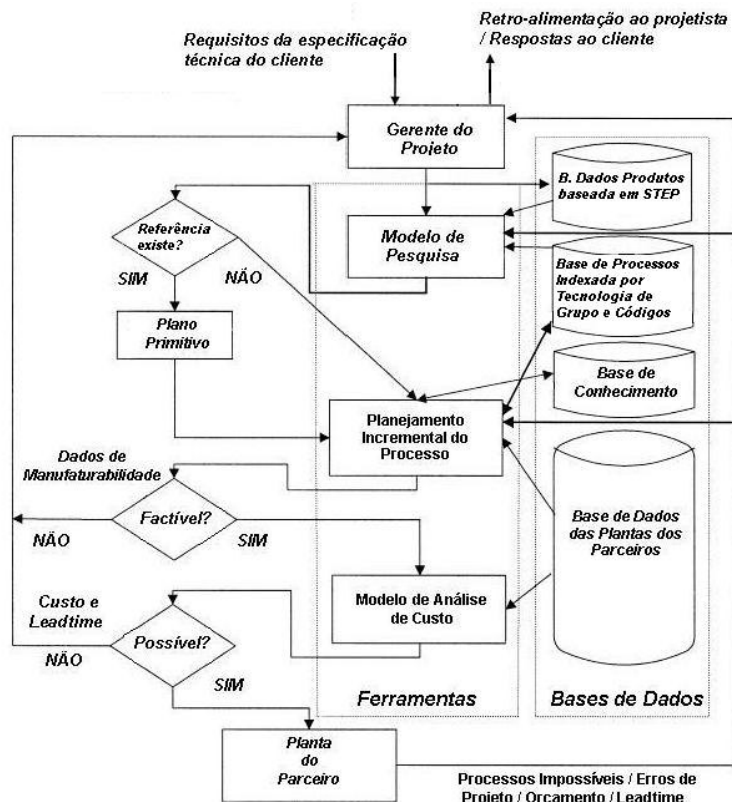


Figura 45 – Arquitetura de referência do sistema CAPP em uma empresa OKP virtual –  
Adaptado de Tu et al. (2000, p.103)

Tu et al. (2000, p.103) destacam que quando as especificações técnicas dos requisitos dos clientes são recebidas pelo gerente do projeto, elas são decompostas em um determinado número de componentes e subconjuntos, de acordo com experiências técnicas previamente acumuladas, e uma estimativa de custos é executada segundo um modelo de análise de custos previamente definido. O planejador do processo pode então utilizar o modelo de pesquisa para buscar soluções similares considerando as características do produto a ser planejado. Essas características também são chamadas de “primitivas” e podem ser pesquisadas no banco de dados de produtos, baseado em STEP. Se uma primitiva é encontrada, o planejador

pode então partir para uma busca posterior de planos de processo para esta, procurando tais planos na base de dados de processos indexada por tecnologia de grupo (TG) e códigos. Os planos localizados são então denominados de “planos primitivos”, que devem ser refinados em direção a um plano de processo factível e racional para o produto em questão. Se nenhuma primitiva é encontrada, os planos de processo primitivos são mantidos vazios. Sejam os planos primitivos oriundos de referências encontradas ou vazios, ambos são considerados planos “macro” ou “esqueletos do processo”, cujo objetivo é agrupar alternativas, considerando a experiência recuperada via bases de dados, ou destacar as incertezas para a execução de um produto com características inéditas ou com possibilidades de alteração do projeto durante a produção.

Segundo Tu et al. (2000, p.104) a produção OKP é iniciada com dados incompletos dos produtos e executada sob influência contínua dos clientes. O desenvolvimento de produtos OKP apresenta uma abordagem concorrente. Os dados dos produtos tornam-se claros durante a própria produção e durante a colaboração consistente entre os fabricantes e clientes. O desenvolvimento evolucionário e concorrente do produto torna difícil, por parte das empresas de manufatura OKP, o ganho de agilidade para alterações dos planos de processo em resposta aos *inputs* dos clientes.

O método do planejamento incremental do processo é utilizado para estender ou alterar os planos primitivos de acordo com as novas características identificadas com base no projeto do produto, ou seja, as especificações técnicas dos requisitos dos clientes, até que novas características não sejam mais encontradas. Deve-se destacar que um plano completo de processo gerado por meio desse método também pode incluir alternativas de processo. Isso significa que uma peça pode ser processada por máquinas alternativas e em seqüências alternativas, ou até mesmo em empresas parceiras na rede de fornecimento. O plano de processo deve então ser refinado considerando-se o modelo de análise de custos aplicado e a duração ou *leadtime* de fornecimento (TU et al., 2000, p.105).

#### 2.2.4.5 Sistemas para gerenciamento de projetos

De acordo com Hameri (1997, p.156), com a combinação de tecnologia moderna em comunicação com *workflows*, de informação e dados bem definidos, o gerenciamento de projeto deve se concentrar em sua tarefa principal: o planejamento, programação e controle do projeto juntamente com a detecção dos riscos de médio prazo.

Wortmann et al. (1997, p.298) destacam um problema geralmente encontrado na expedição de ordens de trabalho no planejamento. Um instrumento utilizado para apoiar o controle deste tipo de atividade é o gráfico de *Gantt*. Trata-se de um gráfico bidimensional em que no eixo horizontal representa-se o horizonte de tempo e no vertical as atividades consideradas. Cada atividade é representada por uma barra, cujo comprimento associa-se à sua duração. A duração está associada à quantidade de recursos destinados ao cumprimento da tarefa. Segundo estes autores atualmente pode-se contar com sistemas computadorizados para o trabalho com este tipo de instrumento de apoio.

Wortmann et al. (1997, p.298) não recomendam a utilização de gráficos do tipo *Gantt* para a tomada de decisão de longo prazo no controle de produção ETO, reservando sua utilização apenas para o apoio à expedição de ordens de trabalho no horizonte de curto prazo. Alegam que um gráfico *Gantt* detalhado apenas faz sentido se as tarefas e capacidade disponíveis forem precisamente conhecidas, e que os distúrbios relativos à disponibilidade de materiais, capacidade, qualidade, tempo de produção, etc., comprometem e limitam a validade dessa ferramenta. Para resolver estes problemas os autores sugerem que um gráfico *Gantt* “interativo” seja utilizado. O termo “interativo” refere-se à manutenção contínua e precisa do gráfico, considerando a expedição das ordens de trabalho em confronto com os distúrbios mencionados.

A figura 46 apresenta um assunto bastante importante para a produção ETO, segundo o ponto de vista de Wortmann et al. (1997, p.300-301). Ela indica que o planejamento da utilização da capacidade é considerado como uma função mais importante que o planejamento detalhado da capacidade. Este último geralmente existe em sistemas com lógica MRP II, o que inclui os

sistemas ERP. A razão para isso resume-se no fato de que o planejamento detalhado nos MRP II é baseado na lógica MRP I, sem a criação de uma relação clara entre o planejamento agregado ou controle da unidade de produção.

A importância aumenta considerando-se o fato de que estes mesmos autores argumentam que a engenharia deve ser controlada quase que da mesma maneira que a fabricação e montagem, na produção ETO (WORTMANN et al., 1997, p.79).

Na figura 46 as caixas escuras representam, ainda segundo Wortmann et al. (1997, p.301), uma considerável extensão do diagrama tradicionalmente utilizado em sistemas baseados na lógica MRP II. Nota-se que o planejamento da utilização da capacidade vai além desta extensão.

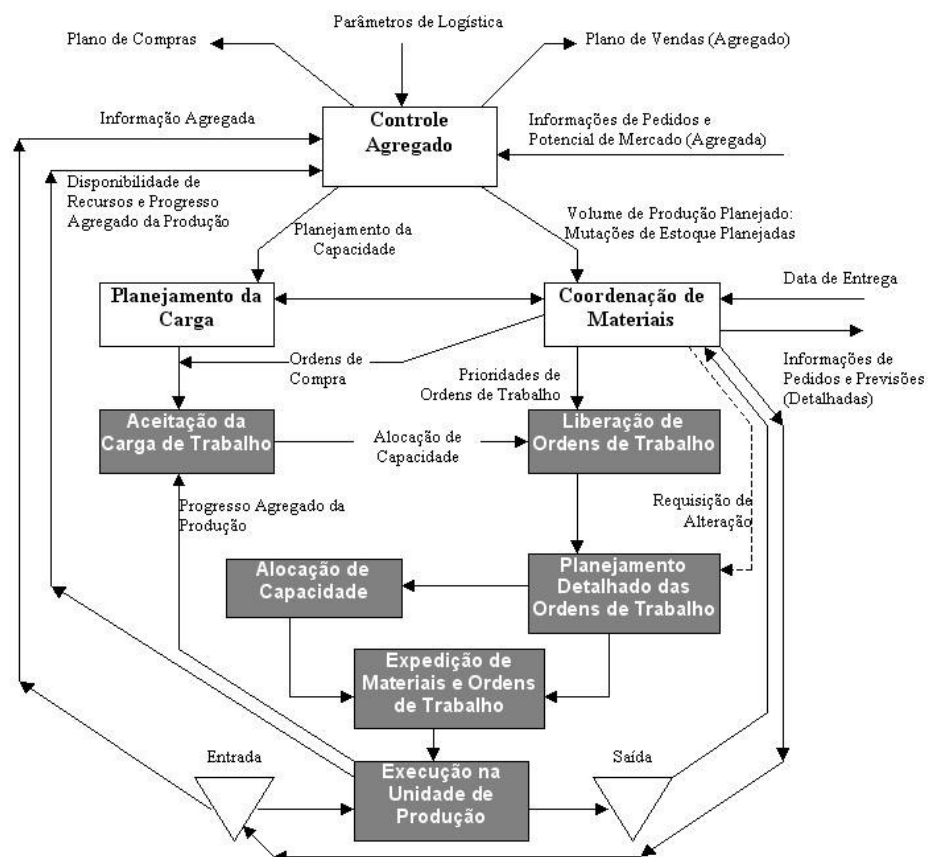


Figura 46 – Estrutura do controle de produção – Adaptado de Wortmann et al. (1997, p.300)

Por causa da aproximação da atividade de controle de engenharia à atividade de controle da fabricação e montagem sugerida por Wortmann et al. (1997, p.79), os assuntos controle de projeto e controle de produção parecem se fundir e os aspectos críticos parecem se tornar comuns. Entretanto, alguns

pesquisadores apresentam seus pontos de vista mais especificamente sobre a gestão da produção, o que é analisado na seção seguinte.

#### 2.2.4.6 Sistemas para gestão da produção

Hicks e Braiden (2000, p.4809) descrevem vários aspectos que influenciam a gestão da produção suportada por computador em empresas ETO produtoras de bens de capital. Dentre tais aspectos incluem-se planejamento de capacidade, planejamento de montagem e estratégias de programação. Seus experimentos, baseados em simulação com modelos, consideram um sistema de apoio à gestão da produção constituído de plano mestre de produção, lista de materiais (BOM), processamento, MRP, planejamento de capacidade, planejamento de montagem, gerenciamento de estoque, planejamento de processos, controle do “chão-de-fábrica” e medição de desempenho. Suas principais conclusões quanto às influências dos aspectos pesquisados sobre o planejamento e controle utilizando esses sistemas são:

- Os resultados com planejamento com capacidade finita (com disputa de recursos) indicam que o desempenho da manufatura não é sensível a tempos de preparação (“*set-up*”) ou tempos de processamento/execução mínimos. Isso sugere que não há necessidade de se fazer estimativas separadas para as atividades de *set-up* ou de calcular a duração de atividades menores;
- A periodicidade de atualização de dados nesse sistema também não apresenta grande influência sobre a manufatura;
- Os *leadtimes* de montagem apresentam grande influência tanto para empresas ETO quanto MTO, o que faz do planejamento de montagem uma atividade importante;
- A programação *backwards* é a preferida para simulações com capacidade finita, particularmente para estruturas de produto com grande profundidade (muitos níveis);
- As restrições de capacidade, quanto a ser considerada finita ou infinita, apresentam grandes efeitos sobre o planejamento, o que faz do planejamento da capacidade uma atividade importante;

- O desempenho das regras de expedição de ordens é diferente quando considera níveis diferentes na estrutura, tal como o nível de itens ou o nível de componentes.

Com suas simulações sobre o planejamento bruto da capacidade (*“rough-cut capacity planning”*), considerando os fatores mencionados, Hicks e Braiden (2000, p.4809) concluem que o atraso de itens é reduzido em 33,16% para itens subcontratados, 78,50% para produtos principais e 41,80% para sobressalentes.

Tu (1997, p.272) destaca que para o planejamento e controle da produção em empresas OKP virtuais alguns problemas devem ser resolvidos, tais como:

- Modelamento do desenvolvimento de produto de forma evolucionária e concorrente, com contínua influência do cliente;
- Monitoramento em tempo real e controle do progresso da produção;
- Controle da infra-estrutura, considerando as incertezas do mercado, por meio de flexibilização ou contratação;
- Desenvolvimento de uma estrutura de programação e algoritmos adaptativos;
- Modelamento dos sistemas de controle e *status* de produção;
- Reengenharia para ganho de agilidade, considerando uma “arquitetura de referência” que precisa ainda ser desenvolvida.

Tu (1997, p.279) acrescenta que para produtos OKP a programação da produção, que é executada bem no começo do desenvolvimento do produto, é parecida com a programação de produção de um protótipo, que precisa ser alterado durante a fabricação. Por este motivo a programação da produção precisa ser adaptativa.

## 2.3 Considerações finais acerca da revisão bibliográfica

Com base na revisão da literatura apresentada pode-se destacar algumas considerações importantes:

- Os modelos de referência para desenvolvimento de produtos normalmente abordados na literatura não são diretamente aplicáveis a empresas com estratégia ETO. Isso demanda maior esforço e flexibilidade na compreensão e controle das atividades deste tipo de empresa, por parte dos profissionais envolvidos com desenvolvimento de produtos e integração de sistemas de apoio. É necessário o desenvolvimento de um modelo de referência genérico que possa endereçar os problemas deste tipo de produção. Apesar disso, pode-se encontrar na literatura os requisitos básicos para a construção do novo modelo ou adaptação de modelos existentes;
- A filosofia de engenharia simultânea ou concorrente pode minimizar os problemas de desenvolvimento de produtos em empresas ETO, se as suas ferramentas forem aplicadas corretamente. Entretanto há poucas evidências, pelos estudos de caso relatados, de que isso esteja ocorrendo neste tipo de empresa. Os principais problemas para a aplicação eficaz destas ferramentas são as falhas de comunicação e a falta de co-localização;
- O grau de incerteza para o desenvolvimento de produtos ETO e o caráter evolucionário das estruturas de produto são complicadores para a aplicação de sistemas de gestão no planejamento da produção, dificultando a utilização de sistemas baseados na lógica MRP II;
- Muitos parâmetros usualmente aplicados para melhoria da gestão do planejamento da produção em empresas MTS não são aplicáveis a empresas ETO (ex.: excesso de cuidado com os tempos de preparação e tempos de atividades menores);



- Há controvérsias quanto à definição da maior fonte de alterações durante esse tipo de produção. Alguns autores acreditam que esta fonte seja, em sua maior parte, formada pelos clientes. Mas outros acreditam que a maior quantidade de alterações de produto nasce dentro destas organizações, e não por interferência dos clientes;
  
- Não há sistemas PDM que cubram todo o ciclo de desenvolvimento de produtos, até o momento. Para empresas ETO essa característica é reforçada pela falta do modelo de referência já mencionado, que poderia ser utilizado como base para os desenvolvedores desse tipo de sistema. Isso demanda adaptações para a utilização dos sistemas existentes. Outros sistemas aplicáveis no desenvolvimento de produtos precisam ser também adaptados, como, por exemplo, os sistemas de planejamento do processo (CAPP).