RAFAEL SAIA

Proposta de classificação para a tipologia de produção *Engineer to Order* e definição das melhores práticas de manufatura em tais ambientes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (EESC-USP), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gerenciamento da Mudança e Melhoria Organizacional

Orientador: Prof. Dr. Antonio Freitas Rentes

SÃO CARLOS

NOVEMBRO DE 2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Saia, Rafael
S132p Proposta de classificação para a tipologia de produção Engineer to Order e definição das melhores práticas de manufatura em tais ambientes / Rafael Saia; orientador Antonio Freitas Rentes. São Carlos, 2013.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

1. Engineer to Order. 2. Customização. 3. Manufatura Enxuta. 4. Manufatura Ágil. 5. Customização em massa. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **RAFAEL SAIA**.

Título da dissertação: "Proposta de classificação para a tipologia de produção Engineer to Order e definição das melhores práticas de manufatura em tais ambientes".

Data da defesa: 30/08/2013

Comissão Julgadora: **Resultado:**

Prof. Associado **Antonio Freitas Rentes (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. **Kleber Francisco Espôsto**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. **Moacir Godinho Filho**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção:
Prof. Titular **Luiz César Ribeiro Carpinetti**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e acima de tudo, agradeço a Deus pela benção e ajuda na realização deste trabalho. Sem Ele, nenhuma conquista em minha vida seria possível.

Em seguida, gostaria de agradecer à minha família por todo o amor, apoio, ajuda, força e compreensão em todos os momentos da minha vida. Em especial quero agradecer à minha mãe Izabel Cristina Nunes Saia pelo incondicional amor dedicado a mim, ao meu pai José Renato Saia pelos ensinamentos de vida e pela minha formação pessoal, e à minha irmã Renata Cristina Saia pelas orações, apoio e incentivo em minha vida pessoal e profissional. Agradeço também aos meus avós, à minha irmã Karina Cristina Saia, ao meu cunhado Reinaldo Herker e aos meus sobrinhos João Victor Saia Herker e Beatriz Saia Herker.

Agradeço especialmente à Marina Wanner, fonte inesgotável de inspiração, pelo apoio, carinho e incentivo, mesmo distante.

Agradeço ao meu orientador, Professor Antonio Freitas Rentes, pela amizade e por todo o apoio técnico e direcionamento na realização deste trabalho.

Agradeço aos professores Moacir Godinho Filho e Kleber Francisco Esposto pela valiosa contribuição e enriquecimento deste trabalho.

Agradeço aos meus grandes amigos Vinicius Menezes Dermínio, Flávio Menezes Dermínio, Jean Amaral, Daniel Barberato, Ruy Victor Barbosa de Souza, Roberto Chimionato, Thiago Silva e Thiago Moreno Bertani pela amizade sincera e por me inspirarem a ser como vocês.

Agradeço também a todos os colaboradores e amigos da empresa Hominiss, os grandes responsáveis por todo o meu conhecimento utilizado na realização deste trabalho. Em especial, agradeço aos amigos: Thiago Francischi Silva, Paola Stefanelli, José Geraldo, Leandro Antonelli, Lucas Goulart, Danilo Bezerra, Heitor Martins, Gustavo Rasteiro, Fábio Oliveira, Mauricio Contadini, Pedro Anacleto, Bruno Fabri, Felipe Cattani, Leandro Calvo, Roberta Uliana, Carlos Soto, Tiago Bresciani, Artur Boschi, Celso Endres, Juliana Schnetzler, Lais Gonçalves, Pedro Paro, Ricardo Nazareno, Cesar Araujo, Ronaldo Mardegan, Rogerio Megna, Andrey Brugnera, Silvana Eugenio, Adriana Pereira e Flavia Bruno.

Ao meu avô Sebastião Ferreira Nunes,

pelo enorme ensinamento de vida.

RESUMO

SAIA, R. *Proposta de classificação para a tipologia de produção Engineer to Order e definição das melhores práticas de manufatura em tais ambientes*. Dissertação de Mestrado (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

A capacidade de customização de produtos é considerada atualmente um fator de competitividade muito importante para a sobrevivência das empresas. A interferência dos clientes na concepção e na fabricação dos produtos está cada vez mais intensa. Dentre as várias estratégias de customização, a tipologia de produção *Engineer to Order* (ETO), na qual o cliente é envolvido nas fases de design e desenvolvimento do produto, é considerada a mais complexa e ineficiente. Embora o número de organizações classificadas como ETO seja bastante elevado e os problemas associados a esta tipologia sejam bem conhecidos, não existem registros consolidados na literatura sobre qual é a melhor abordagem de gestão das cadeias produtivas destes ambientes. Além disso, as práticas de gestão sugeridas por alguns pesquisadores consideram a tipologia ETO um sistema homogêneo, no qual todas as empresas recebem as mesmas abordagens. No entanto, dentro do universo ETO existem empresas com diferentes tipos de customização. Algumas empresas fabricam produtos completamente novos, desenvolvidos para clientes específicos. Outras empresas fornecem produtos com estrutura híbrida, na qual alguns componentes são padronizados e outros são customizados. A grande diferença entre os sistemas produtivos ETO exige que cada ambiente receba uma abordagem específica para o seu modelo de negócio. Com o intuito de preencher esta lacuna, o presente trabalho propõe uma classificação da tipologia ETO com recomendações das melhores práticas de manufatura para cada subtipologia ETO definida. A classificação proposta foi baseada em estudos de caso com implementações de projetos de melhoria em diferentes ambientes ETO.

Palavras-chave: *Engineer to Order*, customização, manufatura enxuta, manufatura ágil, customização em massa.

ABSTRACT

SAIA, R. *A proposal of a classification for the Engineer to Order typology and the definition of the best manufacturing practices in such environments*. Master's Thesis (MA) – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2013.

The ability of customizing products is considered a very important competitive factor for the survival of nowadays companies. The power of customers influence on products conception and manufacturing is increasing. Among the various customization strategies, the Engineer to Order (ETO) production typology, in which customers are involved at product design and development stages, is considered the most complex and inefficient. Although there are many organizations classified as ETO and the problems associated with this typology are very known, there is a lack of agreement in literature about the best practices for the value chain management of these environments. Furthermore, the practices suggested by some researchers consider the ETO typology as a homogeneous system where all the companies receive the same approach. However, the companies of the ETO universe show different customization approaches. Some companies produce products completely new and designed for specific customers. Other companies provide products with a hybrid structure which is formed by standardized and customized components. The big difference found between all kinds of ETO production systems implies that specific approaches have to be applied for each business model. In order to fill this gap, this work offers a classification for the ETO typology with some recommendations of the best manufacturing practices for each ETO sub typology defined. The proposed classification was based on cases of improvement projects implemented in different ETO environments.

Keywords: Engineer to Order, customization, lean manufacturing, agile manufacturing, mass customization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A mudança da organização industrial 23
Figura 2 - Etapas de desenvolvimento da pesquisa.....30
Figura 3 - Divisão de atividades pelo CODP 35
Figura 4 - Determinação das tipologias de produção pelo posicionamento do CODP 36
Figura 5 - Dimensão Engenharia das tipologias do CODP 38
Figura 6 - Exemplo das fases do ciclo de vida de uma produção ETO 45
Figura 7 - Ordem dos principais processos de negócios na produção ETO 46
Figura 8 - Tempo de produção vs *Lead time* de entrega na Produção ETO 47
Figura 9 - Superposição de fases na produção ETO 53
Figura 10 - Tipos de empresas ETO 57
Figura 11 - O enfoque da Produção Enxuta.....74
Figura 12 - A casa da Toyota 76
Figura 13 - Tipos de customização em massa.....80
Figura 14 - Diferenças entre as produções em massa, enxuta e ágil.....90
Figura 15 - O mecanismo tambor-pulmão-corda da TOC 92
Figura 16 - Sistemática de controle POLCA da QRM 93
Figura 17 - Fluxo macro de processos da Empresa A 98
Figura 18 - Fluxo macro de processos da Empresa B 100
Figura 19 - Fluxo macro de processos da Empresa C 101
Figura 20 - Fluxo macro de processos da Empresa D 104
Figura 21 - Fluxo macro de processos da Empresa E 106
Figura 22 - Fluxo macro de processos da Empresa F.....108
Figura 23 - Fluxo macro de processos da Empresa G 110
Figura 24 - Fluxo macro de processos da Empresa H 112
Figura 25 - Fluxo macro de processos da Empresa I.....114
Figura 26 - Metodologia DMAIC adaptada pela *Hominiss Consulting*.....118
Figura 27 - Classificação das subtipologias ETO propostas 128
Figura 28 - Estrutura de produtos ETO - Curto ciclo com repetibilidade para a manufatura 130

Figura 29 - Estrutura de produtos ETO - Customização de módulos 131
Figura 30 - Estrutura de produtos ETO - Alterações de parâmetros..... 133
Figura 31 - Estrutura de produtos ETO - One-of-a-kind..... 134
Figura 32 - Legenda de ícones do mapa de fluxo de valor 138
Figura 33 – Modelo de referência recomendado para fluxos ETO - Curto Ciclo com repetibilidade 141
Figura 34 – Modelo de referência recomendado para fluxos ETO - Customização de módulos 144
Figura 35 – Modelo de referência recomendado para fluxos ETO - Alterações de parâmetros..... 147
Figura 36 – Modelo de referência recomendado para fluxos ETO - One-of-a-Kind 150
Figura 37 - Ferramentas de melhoria para diagnóstico da situação atual 152

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação do método de pesquisa 28
Quadro 2 - CODP´s tradicionais em relação aos CODP´s das dimensões Produção e Engenharia 39
Quadro 3 - Cadeia de suprimentos eficiente e responsiva 43
Quadro 4 - Características de cada tipo de empresa ETO 58
Quadro 5 - A transição de empresas ETO para a customização em massa 84
Quadro 6 - Caracterização ETO do estudo multicaso 116
Quadro 7 - Ferramentas Lean aplicadas nas empresas do grupo 1 120
Quadro 8 - Ferramentas Lean aplicadas nas empresas do grupo 2 121
Quadro 9 - Ferramentas Lean aplicadas nas empresas do grupo 3 122
Quadro 10 - Ferramentas Lean aplicadas nas empresas do grupo 4 124
Quadro 11 – Relações entre critérios e tipologias ETO 135
Quadro 12 - Ferramentas Lean aplicáveis em ambientes ETO 154

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- **ATO – A**ssembly **t**o **O**rder
- **ATO(ED) – A**dapt **t**o **O**rder in **E**ngineering **D**imension
- **AV –** Atividade que **A**grega **V**alor
- **BPR - B**usiness **P**rocess **R**e-engineering
- **BSE - B**usiness **S**ystems **E**ngineering
- **CAD – C**omputer **A**ided **D**esign
- **CEP - C**ontrole **E**statístico dos **P**rocessos
- **CM – C**ustomização em **M**assa
- **CODP – C**ustomer **O**rder **D**ecoupling **P**oint
- **CONWIP – Con**stant **W**ork **i**n **P**rocess
- **DBR – D**rum **B**uffer **r**ope
- **DMAIC – D**efine, **M**easure, **A**nalyze, **I**mprove, **C**ontrol
- **DMS – D**edicated **M**anufacturing **S**ystems
- **DTO – D**esign **t**o **O**rder
- **ETO – Engineer to Order**
- **ETO(ADP) – Engineer to Order** com **A**lterações de **P**arâmetros
- **ETO(CCR) – Engineer to Order** com **C**urto **C**iclo com **R**epetibilidade
- **ETO(CDM) – Engineer to Order** com **C**ustomização de **M**ódulos
- **ETO(ED) – Engineer to Order** in **E**ngineering **D**imension
- **ETO(OKP) – Engineer to Order** com **O**ne of a **k**ind **P**roduction
- **ETS(ED) – E**ngineer **t**o **S**tock in **E**ngineering **D**imension
- **FIFO – F**irst **i**n **F**irst **O**ut
- **FMS – F**lexible **M**anufacturing **S**ystems
- **IGLC – I**nternational **G**roup of **L**ean **C**onstruction
- **JIT – J**ust **i**n **t**ime
- **MFV – M**apa de **F**luxo de **V**alor
- **MP – M**atéria-**p**rima
- **MRP – M**aterial **R**equirements **P**lanning
- **MTO – M**ake **t**o **O**rder
- **MTS – M**ake **t**o **S**tock

- **NAV –** Atividade que **N**ão **A**grega **V**alor
- **OF – O**rdem de **F**abricação
- **OKP – O**ne of a **K**ind **P**roduction
- **OS – O**rdem de **S**erviço
- **PCP – P**lanejamento e **C**ontrole da **P**rodução
- **POLCA – P**aired cell **O**verlapping **L**oops of **C**ards with **A**uthorization
- **QFD – Q**uality **F**unction **D**eployment
- **QRM – Q**uick **R**esponse **M**anufacturing
- **RMS – R**econfigurable **M**anufacturing **S**ystems
- **SCM – S**upply **C**hain **M**anagement
- **SCOR – S**upply **C**hain **O**perations **R**eference
- **SMED – S**ingle **M**inute **E**xchange of **D**ie
- **STP – S**istema **T**oyota de **P**rodução
- **TOC – T**heory **o**f **C**onstraints
- **TPM – T**otal **P**roductive **M**aintenance
- **TQC – T**otal **Q**uality **C**ontrol

SUMÁRIO

RESUMO....7
ABSTRACT....9
LISTA DE FIGURAS....11
LISTA DE QUADROS....13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS....15
SUMÁRIO....17
1. INTRODUÇÃO....21
1.1. Contextualização....21
1.2. Justificativa....24
1.3. Objetivos....25
1.4. Metodologia e classificação da pesquisa....26
1.5. Etapas de desenvolvimento da pesquisa....28
1.6. Organização do texto....30
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA....33
2.1. A evolução da customização de produtos....33
2.2. O conceito do *Customer Order Decoupling Point* (CODP)....34
2.2.1. Tipologias de produção....34
2.2.2. Implicações do posicionamento do CODP....39
2.2.3. Eficiência e Responsividade....42
2.3. A tipologia de produção *Engineer to Order*....43
2.3.1. Contextualização da tipologia ETO....44
2.3.2. Definições da tipologia ETO....45
2.3.3. O ciclo de produção ETO....51
2.3.4. Superposição de fases na produção ETO....53
2.3.5. Tipos de produção ETO....55
2.3.6. Principais dificuldades referentes à produção ETO....63
2.4. Práticas de melhoria em ambientes ETO....66
2.4.1. Estratégias para a cadeia de suprimentos ETO....67
2.4.2. A Produção Enxuta....72
2.4.3. Customização em Massa....78

2.4.4. Manufatura ágil 86
2.4.5. Teoria das restrições 91
2.4.6. Quick Response Manufacturing 93
3. ESTUDO MULTICASO EM AMBIENTES ETO 95
3.1. Estudo de caso 1 – Empresa A 95
3.1.1. Descrição da empresa A 95
3.1.2. Fluxo macro de processos da empresa A 97
3.2. Estudo de caso 2 – Empresa B 98
3.2.1. Descrição da empresa B 98
3.2.2. Fluxo macro de processos da empresa B 99
3.3. Estudo de caso 3 – Empresa C 100
3.3.1. Descrição da empresa C 100
3.3.2. Fluxo macro de processos da empresa C 101
3.4. Estudo de caso 4 – Empresa D 102
3.4.1. Descrição da empresa D 102
3.4.2. Fluxo macro de processos da empresa D 103
3.5. Estudo de caso 5 – Empresa E 104
3.5.1. Descrição da empresa E 104
3.5.2. Fluxo macro de processos da empresa E 105
3.6. Estudo de caso 6 – Empresa F 106
3.6.1. Descrição da empresa F 106
3.6.2. Fluxo macro de processos da empresa F 107
3.7. Estudo de caso 7 – Empresa G 108
3.7.1. Descrição da empresa G 108
3.7.2. Fluxo macro de processos da empresa G 109
3.8. Estudo de caso 8 – Empresa H 110
3.8.1. Descrição da empresa H 110
3.8.2. Fluxo macro de processos da empresa H 111
3.9. Estudo de caso 9 – Empresa I 112
3.9.1. Descrição da empresa I 112
3.9.2. Fluxo macro de processos da empresa I 113
3.10. Análise crítica do estudo multicaso 114
3.11. Ferramentas *Lean* aplicadas 117
4. PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DA TIPOLOGIA ETO 125

4.1. Bases de conhecimento para a classificação 125
4.2. Critérios de classificação da tipologia ETO 126
4.3. Definição dos tipos de produção ETO 127
4.3.1. ETO – Curto ciclo com repetibilidade (CCR) 128
4.3.2. ETO – Customização de módulos (CDM) 130
4.3.3. ETO – Alterações de parâmetros (ADP) 131
4.3.4. ETO – One-of-a-Kind (OKP) 133
5. MELHORES PRÁTICAS DE MANUFATURA EM AMBIENTES ETO 137
5.1. Recomendações para o fluxo de valor 137
5.2. Recomendações de ferramentas e conceitos aplicáveis 151
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 155
6.1. Questão de pesquisa e objetivos 155
6.2. Conclusões da pesquisa 157
6.3. Trabalhos futuros 160
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 161

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O sucesso e até mesmo a sobrevivência das empresas estão se tornando cada vez mais difíceis de serem alcançados (ZHANG; SHARIFI, 2000). O nível de competição está se intensificando de uma escala nacional para uma escala global e os ciclos de vida dos produtos estão cada vez mais curtos enquanto o nível de exigência do mercado cresce cada vez mais rápido. A avaliação do sucesso de uma organização evoluiu da habilidade de fabricar um produto com o menor custo possível para a capacidade de abastecer o mercado de forma ágil, flexível e versátil. Isto significa produzir em ambientes em constante mudança, melhorando continuamente.

O principal dos fatores críticos de sucesso em processos de manufatura corresponde à adaptação às mudanças do mercado, dos requisitos dos clientes e da tecnologia (BHANDARKAR; NAGI, 2000). Tais mudanças estão forçando as empresas a melhorar sua performance para que tenham condições de operar em ambientes com crescentes níveis de incertezas (CHRISTOPHER, 2000). Além disso, as mudanças estão acontecendo de uma forma mais rápida e inesperada, como nunca havia acontecido antes.

A pressão exercida pela competição nos mercados tem forçado os responsáveis pelas gerências das empresas a desenvolverem novas abordagens, conceitos e metodologias. Como consequência, os sistemas de negócios estão evoluindo rapidamente e novas filosofias de gerenciamento e de manufatura estão surgindo (CHRISTIAN; ZIMMERS, 1999; MONTREUIL *et al*., 2000). Em sistemas produtivos, nota-se que há uma migração dos sistemas de manufatura rígidos para sistemas de manufatura flexíveis a fim de aperfeiçoar sua habilidade de responder às necessidades dos clientes.

O principal fator que provoca as mudanças no cenário atual é a competição, também conhecida como concorrência. Contudo, uma análise histórica mostra que a competição é um processo evolutivo, ou seja, a vantagem competitiva do ano ou da década passados pode não ser mais significativa atualmente. Logo após a Segunda Guerra Mundial, houve um período de grande demanda e de ineficiência em suprir os produtos para o mercado. Neste contexto, o fator crucial para ser competitivo era representado pela capacidade de produzir rapidamente com baixos custos

(DRAAIJER, 1992). Consequentemente, os processos de fabricação foram cada vez mais automatizados, resultando em produção em massa.

Durante os anos 80, em resposta ao crescente nível de exigência dos clientes, as empresas focaram a sua atenção na gestão da qualidade. Conceitos como o *Total Quality Control* (TQC), Controle Estatístico dos Processos (CEP) e *Quality Function Deployment* (QFD) foram desenvolvidos e aplicados. Simultaneamente, filosofias e conceitos como a Produção Enxuta, a manufatura flexível e o "*world-class manufacturing*" foram incorporados aos sistemas de produção (LINDBERG, 1990). Em 1991, o Instituto Iacocca da Universidade de Lehigh, nos Estados Unidos, apresentou um relatório com as novas bases para a competição. Neste estudo foram identificados como fatores críticos para a competição a mudança contínua, respostas rápidas, melhorias de qualidade e responsabilidade social. Neste contexto, foi cunhado o termo "Agilidade" como um conceito de manufatura (JIN-HAI *et al*., 2003).

Além da capacidade de fornecer produtos e serviços com agilidade e qualidade frente às constantes mudanças nos mercados consumidores, um outro fator estratégico que tem interferência crescente nas organizações atuais é a customização. Cada vez mais os produtos são customizados para atender as necessidades específicas dos clientes, diferentemente do paradigma tradicional de algumas décadas atrás quando os produtos eram praticamente "empurrados" para o mercado. O foco das organizações foi transferido da produção para os clientes, como mostra a Figura 1. O modelo de negócios das organizações do século 20 era caracterizado pela produção em massa, "empurrada", com altos níveis de estoques intermediários e de produtos acabados, com foco na eficiência da produção e com pouca interferência do cliente nas especificações do produto. As organizações modernas do século 21 apresentam um modelo de negócios com características opostas ao das organizações do século anterior. O novo contexto foca na produção puxada pelo cliente, na entrega direta de produtos customizados com grande interferência do cliente na concepção do produto e na eficácia em suprir os mercados consumidores, ou seja, em agilidade, qualidade e boa performance de entrega (MEANS; SCHNEIDER, 2000).

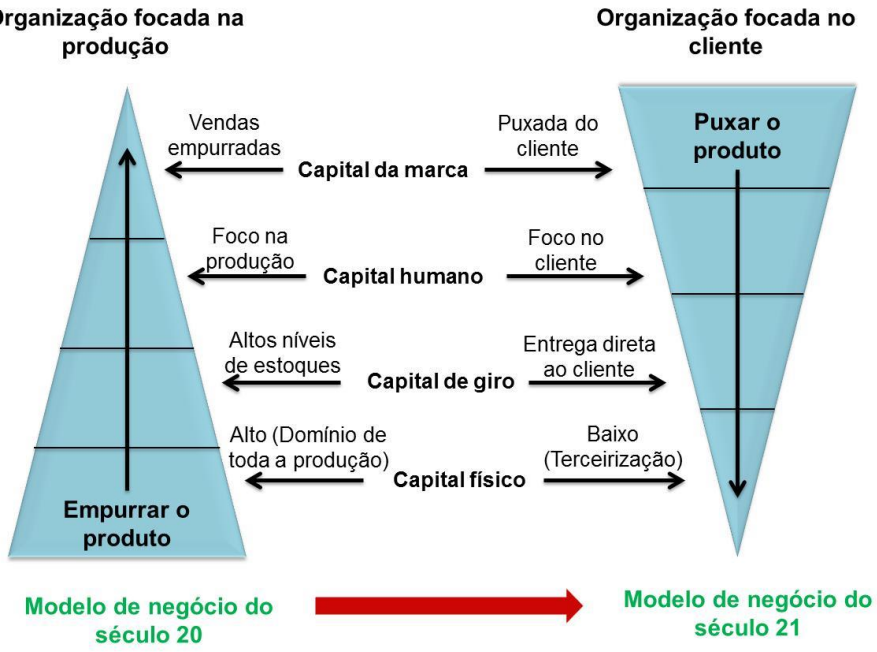

Figura 1 - A mudança da organização industrial
Fonte: adaptado de Means e Schneider (2000)

O crescente nível de customização em cadeias de suprimento, que antes forneciam produtos padronizados, foi gerado a partir do crescente desejo dos clientes em receber um grau de individualismo nos produtos ou na maneira com que estes são entregues a eles. Contudo, a customização pode ser classificada em diferentes níveis e pode afetar o fluxo de valor de uma empresa de diferentes formas. Basicamente, o nível de customização depende da sua complexidade, ou seja, da quantidade de esforço necessária para modificar o produto de acordo com a informação do cliente e do momento em que esta interferência é realizada, se ela acontece no início, no meio ou no final do fluxo de valor. Um produto pode ser customizado apenas nos processos de acabamento ou de pintura, sendo que todos os seus componentes são fabricados e montados de forma padronizada. Outros produtos dependem de informações do cliente para serem desenvolvidos e praticamente não possuem nenhuma peça padronizada (MEANS; SCHNEIDER, 2000).

Quanto mais cedo acontece a interferência do cliente, maior será o nível de customização do produto ou do serviço. Em ambientes de produção cuja tipologia é definida como *Engineer to Order*, os pedidos dos clientes definem parâmetros de desenvolvimento do produto, ou seja, todo o projeto e a engenharia dependem de especificações do comprador, antes de ser iniciada a etapa de fabricação de todos os

componentes. Desta forma, esta tipologia de produção é a que mais está sujeita à customização, pois nela o cliente tem grande autonomia para definir o design e as funcionalidades do produto que está comprando, de acordo com as suas necessidades (PIRES, 2004).

1.2. Justificativa

O foco das organizações está cada vez mais direcionado para o cliente. O conceito de qualidade evoluiu, e atualmente engloba questões como performance de entrega, agilidade e capacidade de customização. Os desejos dos clientes se tornaram mais peculiares e as organizações devem se adaptar a este modelo de negócio para sobreviver nos mercados altamente competitivos. Os sistemas produtivos, antes fornecendo “produtos de prateleira”, tendem a se transformarem em sistemas capazes de customizar os seus produtos.

A tipologia de produção denominada *Engineer to Order* (ETO) tem se tornado o foco de muitas discussões na literatura, visto que o número de empresas com tais atributos têm crescido significativamente. Muitos artigos, dissertações e teses foram elaborados abordando o tema em questão com o intuito de encontrar as melhores práticas, metodologias e ferramentas para melhorar o desempenho de sistemas produtivos com grande influência da customização.

Alguns autores ainda defendem a Produção Enxuta como uma grande oportunidade para redução de desperdícios, redução de *lead times* e melhorias de qualidade em tais ambientes. Outros autores afirmam que os conceitos da Produção Enxuta são aplicáveis apenas em fluxos de valor com processos e produtos padronizados e que sistemas de manufatura customizados devem recorrer aos conceitos da Customização em Massa e da Manufatura Ágil para serem bem sucedidos. Ainda existem os que acreditam em um sistema híbrido, no qual podem coexistir todas as metodologias e que cada uma traz uma vantagem competitiva importante. Porém, não há registros de um modelo completamente aceito e aplicado em casos práticos que defina as melhores práticas de melhorias organizacionais para este tipo de empresa.

O crescimento do número de empresas com características *Engineer to Order* ou com grande necessidade de customizar seus produtos e serviços traz à tona um grande *trade off* contemporâneo. À medida que os sistemas produtivos tendem a ser

altamente customizados a fim de atender às necessidades específicas do mercado, muitas ineficiências produtivas emergem causadas pela falta de padronização de peças e de processos. De maneira oposta, o desejo pela padronização e baixa variedade de componentes, objetivando altos índices de eficiência e produtividade, engessa a produção e limita a capacidade de customização. Tendo em vista tal conflito, as organizações buscam o equilíbrio ideal entre dois fatores: a customização e a padronização. De uma outra perspectiva, é possível afirmar que este conflito pode ser traduzido como uma relação entre eficiência e eficácia.

A pesquisa literária realizada por este trabalho mostra que, apesar de ser um assunto bastante discutido e abordado, não existem muitos estudos aprofundados sobre técnicas, metodologias ou ferramentas que auxiliem empresas *Engineer to Order* a conseguir produzir com customização e eficiência ao mesmo tempo. Paralelamente, não existe um consenso na literatura sobre classificações da produção *Engineer to Order*. A grande quantidade de empresas com tais características no cenário atual evidencia que muitos podem ser os tipos de produção customizada dentro desta tipologia. O estudo a ser apresentado neste trabalho também mostrará casos práticos de organizações, cujos setores de design e projeto trabalham sob encomenda, com diferentes níveis de complexidade na customização de seus produtos. Contudo, não existe um modelo consolidado que classifica os tipos de sistemas de manufatura de acordo com a variação da complexidade em desenvolver produtos sob encomenda. Consequentemente, não existem modelos que tragam as melhores práticas, as ferramentas e as metodologias de melhoria em diferentes ambientes de produção *Engineer to Order*.

As questões que motivaram a elaboração desta pesquisa com o intuito de tentar preencher as lacunas citadas anteriormente são:

- Como consolidar as classificações da tipologia ETO já realizadas na literatura e estabelecer critérios que classifiquem cada tipo de sistema?
- Quais são as ferramentas, conceitos e metodologias mais indicados para cada subtipologia ETO definida?

1.3. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é a proposição de uma classificação da tipologia de produção *Engineer to Order* (ETO) e a identificação das ferramentas e dos

conceitos de melhoria de desempenho na manufatura mais adequados para cada tipo definido. O processo de estruturação desta classificação será baseado em um estudo multicaso de projetos de consultoria cuja atuação foi direcionada à melhoria de processos de manufatura em ambientes ETO.

A pesquisa tem como objetivos secundários:

- Identificar as classificações da tipologia ETO já realizadas na literatura;
- Definir as melhores práticas em processos de manufatura em ambientes ETO recomendadas pelos principais autores do tema;
- Analisar a eficácia das principais ferramentas de melhoria de processos de manufatura utilizadas atualmente em cada subtipologia ETO identificada.

1.4. Metodologia e classificação da pesquisa

Este tópico traz uma apresentação resumida de como está estruturada a pesquisa para se atingir os objetivos propostos.

A pesquisa sempre começa com um questionamento ou definição de um problema, e o seu objetivo é descobrir respostas e soluções para estas perguntas e problemas por meio de processos científicos (SELLTIZ *et al*., 1974).

Para Gil (1991), uma pesquisa é importante quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou na situação em que a desordem da informação impossibilita a relação direta com o problema estudado. Segundo Silva e Menezes (2005), uma pesquisa deve ser classificada de acordo com quatro critérios, os quais são detalhados a seguir:

1. Natureza da pesquisa: a pesquisa pode ser classificada como básica ou aplicada. A pesquisa básica tem como objetivo gerar novos conhecimentos úteis para a ciência e envolve assuntos universais. A pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para serem aplicados na prática e envolve assuntos locais;
2. Abordagem do problema: o problema a ser solucionado classifica a pesquisa como quantitativa ou qualitativa. A pesquisa quantitativa considera o que pode ser quantificado e requer o uso de técnicas estatísticas. A pesquisa qualitativa considera uma relação entre o mundo real e o sujeito, não requer o uso de técnicas estatísticas e coloca o pesquisador como elemento chave, já que este tende a analisar os resultados de uma forma subjetiva;

3. Objetivo da pesquisa: o propósito da pesquisa define se esta será exploratória, descritiva ou explicativa. A pesquisa exploratória torna explícito um problema ou constrói hipóteses sobre o mesmo (geralmente envolve pesquisa bibliográfica e estudo de caso). Nos casos em que a pesquisa objetiva estabelecer relações entre variáveis e descrição de características, ela é classificada como descritiva. Este tipo envolve o uso de técnicas de coleta de dados que geralmente se configuram em um levantamento. Por fim, a pesquisa também pode ser chamada de pesquisa explicativa, a qual visa identificar fatores que acarretam na ocorrência de fenômenos e explicar a razão das coisas;
4. Procedimentos técnicos: Uma pesquisa pode ser bibliográfica, quando se baseia em material já publicado; documental, quando baseada em material que não recebeu tratamento analítico; experimental, a qual é baseada na escolha de um objeto de estudo e monitoramento das variáveis capazes de influenciá-lo; de levantamento, quando baseada em questionamento de pessoas cujo comportamento é objeto de conhecimento; estudo de caso, quando a pesquisa procura estudar um ou poucos elementos para permitir o detalhamento do conhecimento; pesquisa *expost-facto*, quando baseada em experimentos realizados depois dos fatos; pesquisa ação, baseada em uma ação ou resolução de um problema coletivo, na qual os pesquisadores são participantes do processo; ou pesquisa participante, quando há envolvimento do pesquisador com as pessoas da situação investigada.

A pesquisa realizada neste trabalho está classificada no Quadro 1, de acordo com os critérios detalhados anteriormente. A natureza da pesquisa se enquadra na classe “pesquisa aplicada”, visto que a classificação a ser desenvolvida foi estruturada a partir de estudos práticos realizados em empresas *Engineer to Order*. O critério de abordagem classifica a pesquisa como qualitativa, pois toda a análise crítica e comparativa dos resultados encontrados foi realizada a partir da visão particular do pesquisador e não será baseada em dados estatísticos. De acordo com os objetivos da pesquisa, é possível classificar a etapa de construção da proposta de classificação como exploratória por possuir o objetivo de proporcionar familiaridade com o problema de modo a torná-lo mais explícito, construir hipóteses ou, ainda, aprimorar ideias. A etapa de validação da classificação proposta pode ser classificada como descritiva,

pois visa estabelecer relações entre variáveis e descrição de características dos ambientes *Engineer to Order*. Este trabalho objetiva explicitar um problema comum em determinados segmentos da indústria e apresentar estudos de caso nos quais as soluções propostas podem ser aplicadas. O critério de procedimentos técnicos classifica o trabalho como a junção de uma pesquisa bibliográfica com estudos de caso. Visto que as conclusões da pesquisa são baseadas em análises de implementações previamente realizadas, a pesquisa também é classificada como *expost-facto*. Além disso, o pesquisador participou de modo cooperativo e participativo no desenvolvimento das soluções propostas para um problema coletivo, classificando a pesquisa como pesquisa-ação.

Quadro 1 - Classificação do método de pesquisa

Natureza da pesquisa	Abordagem do problema	Objetivo da pesquisa	Procedimentos técnicos
Básica	Quantitativa	Exploratória	Bibliográfica
Aplicada	Qualitativa	Descritiva	Documental
		Explicativa	Experimental
			Levantamento
			Estudo de caso
			Pesquisa Expost-facto
			Pesquisa-ação
			Pesquisa participante

1.5. Etapas de desenvolvimento da pesquisa

A pesquisa realizada neste trabalho foi motivada, principalmente, pela dificuldade relatada por algumas empresas classificadas como ETO em desenvolver técnicas e metodologias para melhoria de desempenho de seus processos (Etapa 1). Embora muitas discussões e proposições tenham sido registradas na literatura, não existe um modelo consolidado de melhores práticas para melhoria de desempenho em tais ambientes. Isto se deve ao fato de que esta tipologia de produção pode abranger inúmeros tipos e classificações, desde os casos mais simples até os mais complexos. Consequentemente, as soluções para os problemas de cada uma destas organizações podem ser muito diferentes.

Foi identificado que abordagens distintas devem ser tomadas para problemas específicos de cada empresa. No entanto, antes da definição das possíveis soluções, é necessário que se conheça quais são os tipos existentes e quais são as diferenças

entre eles. Seguindo esta linha de raciocínio, a pesquisa objetiva propor uma classificação para a tipologia ETO para, em seguida, propor soluções adequadas para os problemas mais comuns de cada tipo deste gênero (Etapa 2).

Depois de estruturados o problema e os objetivos da pesquisa, será apresentada a etapa de revisão bibliográfica que contém os principais assuntos relacionados ao tema da pesquisa, tais como: customização de produtos, critérios para classificação das tipologias, caracterização da tipologia ETO, metodologias e ferramentas para melhoria de processos em ambientes ETO, avaliação de desempenho de sistemas produtivos, classificação da produção ETO, dentre outros (Etapa 3).

Em seguida, o presente trabalho apresentará estudos de caso de projetos de consultoria em melhoria de processos de manufatura em variados ambientes ETO, desde os mais simples até os mais complexos e com elevados graus de customização. O propósito desta etapa, em primeiro lugar, é identificar as principais dificuldades das empresas ETO em promover melhorias de processo em seus sistemas produtivos. Em segundo lugar, pretende-se identificar as diferenças entre cada sistema produtivo, com o intuito de destacar as diferentes características que a tipologia ETO pode assumir, de acordo com alguns critérios (Etapa 4).

Posteriormente, uma proposta de classificação da tipologia ETO será apresentada. Esta classificação será desenvolvida com base nos seguintes aspectos (Etapa 5):

- Estudo multicaso em empresas ETO. Foram selecionados alguns projetos desenvolvidos pela Consultoria *Hominiss Consulting* em empresas ETO com características distintas;
- Experiência do autor em projetos de consultoria em empresas ETO com diferentes níveis de customização de produtos;
- Pesquisa bibliográfica sobre a classificação da tipologia ETO.

Na etapa 6, o trabalho identifica as ferramentas e conceitos de melhoria de processos de manufatura mais adequados para cada tipo de produção ETO classificado. Neste momento, o autor realiza uma análise crítica das implementações dos projetos de melhoria nas empresas ETO apresentadas na etapa anterior.

Na etapa 7 foram realizadas as análises, discussões e conclusões finais sobre a pesquisa e sobre a classificação proposta a partir da análise crítica do autor. Neste momento é também apresentada uma proposta de continuidade do estudo com base nos resultados obtidos e nas conclusões da pesquisa.

A Figura 2 mostra a sequência das etapas do desenvolvimento deste trabalho.

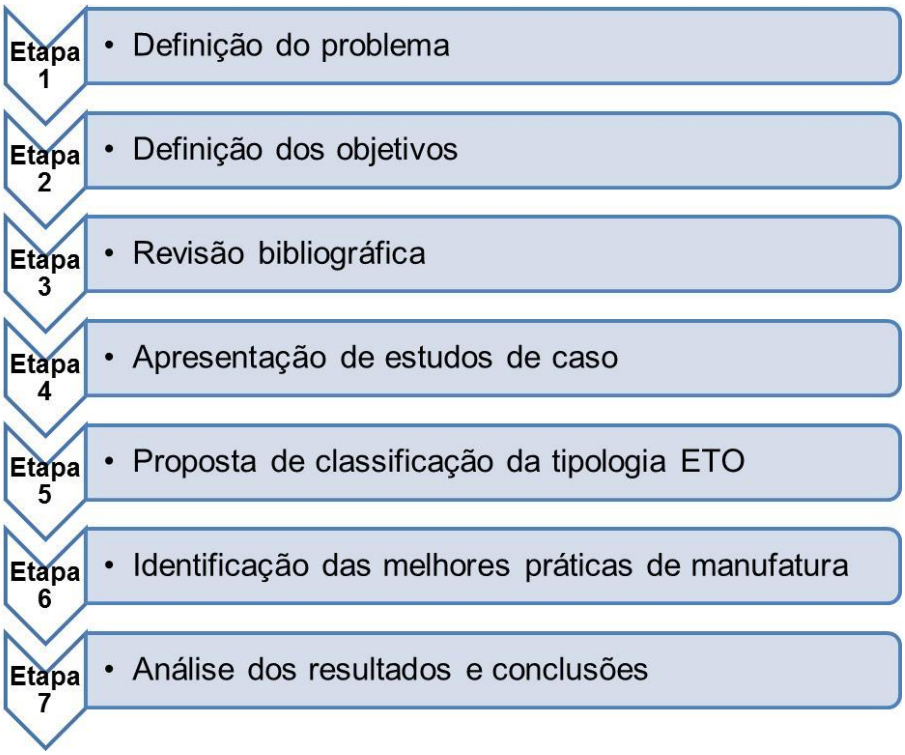

Figura 2 - Etapas de desenvolvimento da pesquisa

1.6. Organização do texto

O texto do trabalho aqui apresentado está estruturado e organizado da seguinte forma:

No Capítulo 1 foi apresentada a introdução da pesquisa proposta, contextualizando o problema e justificando a importância da pesquisa. Neste momento também foram definidos os principais objetivos do trabalho. Em seguida, foi apresentada a caracterização da pesquisa e do desenvolvimento do trabalho.

O Capítulo 2 tem como foco o detalhamento da revisão bibliográfica dos principais conceitos relacionados ao tema da pesquisa. O trabalho a ser desenvolvido terá como base os conceitos encontrados na literatura contemporânea e as conclusões obtidas através das aplicações práticas serão comparadas com os estudos já desenvolvidos por outros pesquisadores. Na revisão bibliográfica, são abordados os seguintes temas: evolução da customização de produtos, definição das tipologias de produção, caracterização da tipologia ETO, classificação da tipologia ETO, ferramentas e metodologias para melhoria de processos em ambientes ETO e em ambientes

altamente customizados (Produção Enxuta, Manufatura Ágil, Customização em Massa), dentre outros conceitos relevantes à pesquisa.

O Capítulo 3 apresentará estudos de caso que abordarão projetos de melhoria de processos de manufatura em empresas ETO com características de customização distintas. Os estudos de caso foram selecionados da carteira de projetos da empresa *Hominiss Consulting.*

O Capítulo 4 traz alguns critérios para classificar a tipologia de produção *Engineer to Order*. A classificação foi realizada com base na análise crítica do autor a respeito dos estudos de caso descritos no Capítulo 3 e nas propostas de classificação ETO que a bibliografia sugere.

No Capítulo 5, as subtipologias ETO sugeridas pela classificação foram confrontadas com algumas ferramentas de melhoria de processos de manufatura. O objetivo desta etapa é identificar quais ferramentas são mais adequadas para cada tipo de produção ETO classificado.

O Capítulo 6 traz as principais análises, discussões e conclusões da pesquisa. Uma proposta de estudos futuros para a continuidade da pesquisa é também mencionada neste Capítulo.

As referências bibliográficas utilizadas como embasamento teórico para o desenvolvimento da pesquisa estão detalhadas no Capítulo 7.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica deste trabalho apresentará os principais conceitos relevantes ao desenvolvimento da pesquisa. Além de servir como base para a estruturação da classificação ETO, que representa o principal objetivo do trabalho, este Capítulo pretende trazer os principais estudos e análises já desenvolvidos e aplicados a respeito do tema para serem comparados com os estudos de caso que este trabalho detalhará no Capítulo 3. Além disso, o estudo da literatura pretende responder às questões da pesquisa referentes à produção ETO.

2.1. A evolução da customização de produtos

O projeto de uma cadeia de suprimentos eficiente e eficaz depende, principalmente, do bom entendimento dos principais requisitos do cliente e de suas implicações em todo o sistema de manufatura da organização. Se o cliente valoriza produtos com baixo custo, a estratégia da organização deve reconhecer que o seu principal objetivo é atingir eficiência em produzir com baixos custos.

Durante as décadas de 70 e 80, a qualidade foi introduzida como um importante fator de competitividade, o que gerou um grande impacto em como os clientes valorizavam os produtos. Consequentemente, o fator de diferenciação “custo” foi sendo substituído aos poucos pelo fator “qualidade”, e este se tornou o grande foco de atenção para os produtores (WIKNER; RUDBERG, 2005).

Á medida que as empresas aprenderam a se preocupar com a qualidade dos produtos fornecidos ao mercado, houve um grande questionamento, por parte de alguns estudiosos, sobre como o conceito “qualidade” poderia ser interpretado. O que antes era entendido como “qualidade do produto” passou a ser reconhecido como “qualidade do serviço”. Neste sentido, o conceito de qualidade passou a abranger muitos outros fatores, não apenas relacionados diretamente ao produto, tais como desempenho, design e durabilidade, mas também relacionados à performance de todo o serviço, tais como tempo de entrega, pontualidade e customização (WIKNER; RUDBERG, 2005).

No que diz respeito ao tempo de entrega, nota-se que o foco da organização se dirige ao gerenciamento das operações (STALK, 1988). Se o tempo de produção deve

ser o menor possível e não pode ser desperdiçado, é necessário que o fluxo de processos do produto seja o mais otimizado possível, com a distribuição correta e mínima de estoques ao longo da cadeia produtiva.

Simultaneamente, o fator “customização” exige que a organização tenha um equilíbrio entre duas forças: fornecer produtos com especificações definidas pelo cliente para atender as suas necessidades específicas e produzir com eficiência, deixando o mínimo de atividades para serem realizadas a partir do momento em que o cliente faz o pedido. Fabricar produtos únicos somente é possível se o cliente tiver influência nas suas propriedades e especificações, ou seja, na concepção dos produtos. Isto significa que os produtos serão desenvolvidos e projetados sob ordem dos clientes. Consequentemente, a customização de produtos únicos afeta todas as atividades do seu processo produtivo. O sucesso da organização em fornecer produtos customizados depende da sua capacidade de tradução das informações do cliente para o projeto e fabricação do produto de forma rápida e eficiente (WIKNER; RUDBERG, 2005).

2.2. O conceito do *Customer Order Decoupling Point* (CODP)

2.2.1. Tipologias de produção

Em qualquer sistema produtivo existem dois grandes grupos de atividades: as que são realizadas antes da chegada da ordem do cliente e as que são realizadas depois da chegada da ordem do cliente. As primeiras são realizadas com base em especulações e previsões, pois não são conhecidas informações precisas de o que, quando e quanto será vendido. As segundas são realizadas com informações recebidas diretamente do cliente, o qual será o direcionador do fluxo produtivo a partir deste momento. Esta divisão se faz necessária devido ao fato de que o *lead time* de produção é maior do que o *lead time* que o cliente está disposto a esperar pelo recebimento do produto (RUDBERG; WIKNER, 2004). O ponto do fluxo de produção no qual há a interferência do cliente e onde acontece esta divisão de atividades é chamado de “*Customer order decoupling point*” (CODP), também conhecido como ponto de dissociação ou ponto de penetração da ordem (GIESBERTS; van den TANG, 1992; WORTMANN *et al*., 1997). A Figura 3 ilustra a separação das atividades pelo CODP.

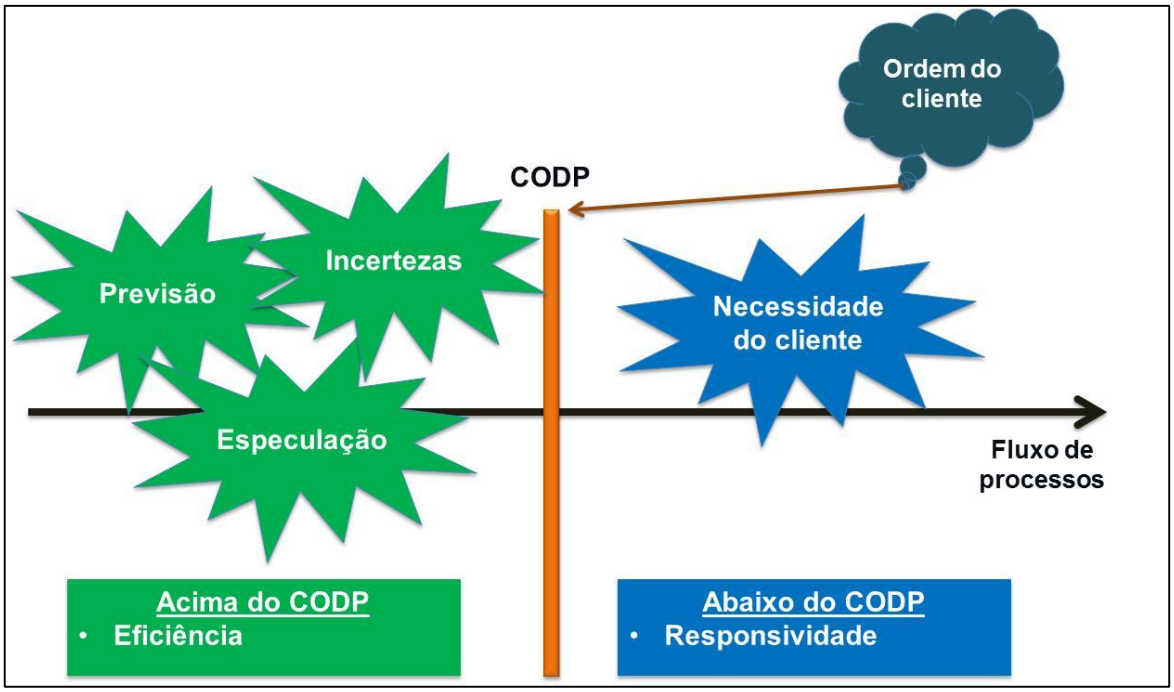

Figura 3 - Divisão de atividades pelo CODP
Fonte: adaptado de Giesberts e van den Tang (1992); Wortmann *et al*. (1997)

Shingo (1981) introduziu o conceito da razão P/D, a qual serviu de base para o conceito do CODP. Na razão P/D, o “P” representa o *lead time* de produção e o “D” representa o *lead time* de entrega. O valor de “P” dividido por “D” determina a quantidade de trabalho e planejamento que precisa ser realizada sob especulação e a quantidade de trabalho que pode ser realizada baseada nas ordens dos clientes. Assim, o valor da razão P/D é também influenciado pela posição do CODP no fluxo de produção, como mostra Figura 4.

O posicionamento do CODP define também a tipologia de produção de um sistema produtivo (Figura 4). Observa-se que cada tipologia é caracterizada pelo momento em que a ordem do cliente entra no fluxo, representada pelos triângulos da Figura 4 e, consequentemente, pelo grau de influência que o cliente tem sobre a especificação do produto e sobre o próprio fluxo de processos.

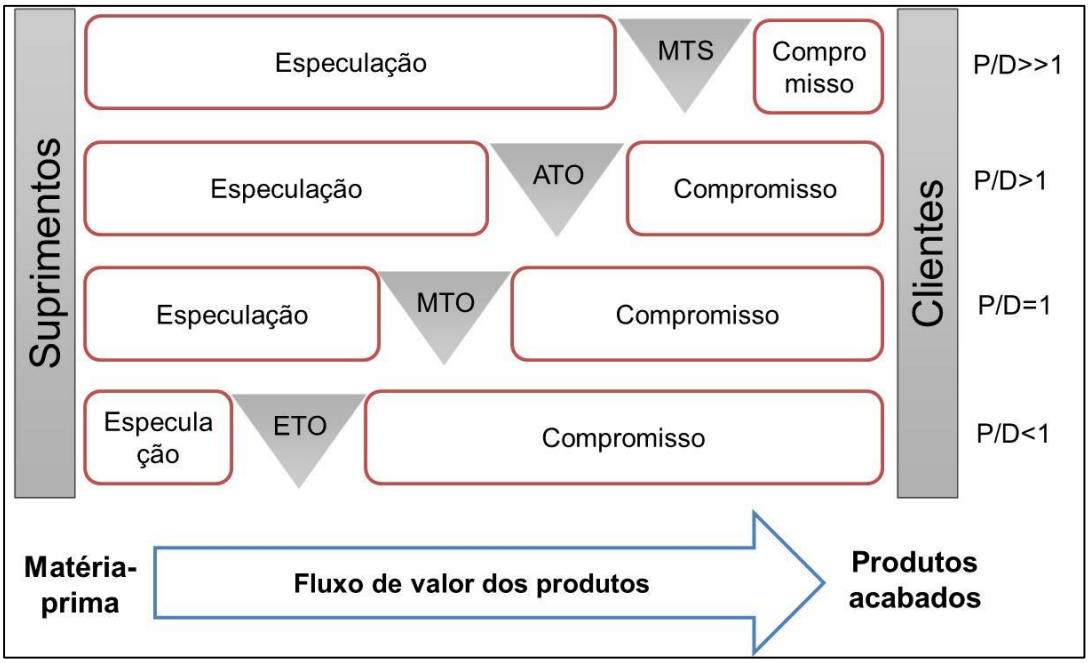

Figura 4 - Determinação das tipologias de produção pelo posicionamento do CODP
Fonte: adaptado de Wikner e Rudberg (2005)

Segundo Pires (1995), existem quatro tipologias básicas de produção:

- Produção para estoque (MTS – *Make to Stock*): caracteriza os sistemas que produzem produtos padronizados, baseados principalmente em previsões de demanda. Nesse caso, nenhum produto é customizado, pois o pedido é feito com base no estoque de produtos acabados. Isso significa que a interação direta dos clientes com o projeto dos produtos é muito pequena ou inexistente. Os sistemas MTS têm como principal vantagem a rapidez na entrega dos produtos, mas os custos com estoques tendem a ser grandes e os clientes não têm como expressar diretamente suas necessidades a respeito dos produtos. Nesses sistemas, os ciclos de vida dos produtos tendem a ser relativamente longos e previsíveis;
- Montagem sob encomenda (ATO – *Assembly to Order*): caracteriza os sistemas em que os subconjuntos, grandes componentes e materiais diversos são armazenados até o recebimento dos pedidos dos clientes contendo as especificações dos produtos finais. Desta forma, a ordem do cliente chega à produção no processo de montagem, determinando a configuração de componentes que serão utilizados no produto final. A interação dos clientes com o projeto dos produtos é limitada. Nos sistemas ATO as entregas dos produtos tendem a ser de médio prazo e as incertezas da demanda (quanto ao

mix e volume dos produtos) são gerenciadas pelo excesso no dimensionamento do estoque de subconjuntos e capacidade das áreas de montagem;

- Produção sob Encomenda (MTO – *Make to Order*): o projeto básico pode ser desenvolvido a partir dos contatos iniciais com o cliente, mas a etapa de produção só se inicia após o recebimento formal do pedido. A interação com o cliente costuma a ser extensiva e o produto está sujeito a algumas modificações, mesmo durante a fase de produção. Em um sistema MTO, os produtos geralmente não são únicos (um de cada tipo), porque usualmente os produtos são projetados a partir de especificações básicas. Os tempos de entrega tendem a ser de médio a longo prazo e as listas de materiais são usualmente únicas para cada produto;
- Engenharia sob Encomenda (ETO – *Engineer to Order*): trata-se de uma extensão do MTO, com o projeto do produto sendo feito quase que totalmente baseado nas especificações do cliente. Desta forma, a ordem do cliente é disparada nas atividades de Engenharia, interferindo diretamente nas fases de design e projeto do produto. Os produtos são altamente customizados e o nível de interação com o cliente é muito grande. Elevados custos de fabricação são gerados pela dificuldade de padronização dos processos.

Muitas técnicas foram desenvolvidas para tentar relacionar algumas variáveis às mudanças que ocorrem no sistema de manufatura. Tais técnicas focam na combinação entre a produção e o mercado sob a perspectiva de processos. Em outras palavras, o objetivo é escolher o processo de manufatura que combina com as necessidades do mercado (HILL, 2000). A escolha do processo de manufatura está diretamente relacionada com a posição do CODP no fluxo (BERRY; HILL, 1992; OLHAGER, 2003). Portanto, as técnicas podem ser selecionadas com base na análise do CODP. Contudo, a maioria das técnicas que já foram desenvolvidas para relacionar as necessidades do mercado com o processo de manufatura foca apenas na Produção. A crescente pressão para redução de *lead times* e aumento dos níveis de customização reforça a necessidade do envolvimento de atividades relacionadas à Engenharia juntamente com as atividades relacionadas à Produção. Em alguns casos, estas duas funções tendem a se sobrepor. No entanto, a função Engenharia não tem tido muito impacto no momento da definição do CODP em um sistema de manufatura, que tradicionalmente foi orientado apenas pela função Produção.

Wikner e Rudberg (2005) mostram que é necessário integrar as perspectivas do CODP de Produção e de Engenharia para promover um modelo operacional de grande aplicabilidade em diferentes estratégias de operação. Normalmente, as tipologias de produção são analisadas em apenas uma dimensão: a Produção. A segunda dimensão do CODP, a qual engloba a Engenharia, oferece uma divisão da tipologia ETO em duas novas tipologias: *Engineer to Order* e *Engineer to Stock* na dimensão Engenharia, definidas como ETO(ED) e ETS(ED) respectivamente. Nos casos em que um novo produto é projetado e "engenheirado" utiliza-se o termo ETO(ED). Por outro lado, quando um produto é projetado antes que a empresa receba a ordem do cliente, entende-se que a Engenharia desenvolve projetos para estoque (ETS(ED)). Uma tipologia intermediária na dimensão Engenharia, na qual modificações de engenharia em produtos já projetados poderiam ser realizadas, é definida como *Adapt to Order* (ATO(ED)), e é similar ao *Assembly to Order* da dimensão Produção (ATO(PD)).

A Figura 5 exibe a classificação das tipologias nas duas dimensões citadas. A dimensão Produção contém as tipologias típicas: MTS(PD), ATO(PD) e MTO(PD). Através do Quadro 2 é possível analisar a equivalência entre a classificação das tipologias tradicionalmente utilizadas e a classificação que divide as tipologias em duas dimensões.

	Dimensão Produção			
Dimensão Engenharia		MTO(PD)	ATO(PD)	MTS(PD)
	ETS(ED)			
	ATO(ED)			
	ETO(ED)			

Figura 5 - Dimensão Engenharia das tipologias do CODP
Fonte: adaptado de Wikner e Rudberg (2005)

Quadro 2 - CODP´s tradicionais em relação aos CODP´s das dimensões Produção e Engenharia
Fonte: adaptado de Wikner e Rudberg (2005)

CODP´s tradicionais	CODP´s Dimensão Engenharia	CODP´s Dimensão Produção
ETO	ETO(ED)	MTO(PD)
-	ATO(ED)	MTO(PD)
MTO	ETS(ED)	MTO(PD)
-	ATO(ED)	ATO(PD)
ATO	ETS(ED)	ATO(PD)
MTS	ETS(ED)	MTS(PD)

Alguns autores estudaram o refinamento da tipologia ETO e utilizaram o termo *Design to Order* (DTO). Porter *et al*. (1999) e Hill (2000) definiram o DTO como um ambiente de produção onde as empresas projetam e produzem um produto completamente novo para atender as necessidades específicas dos clientes. Nesta linha de pesquisa, o termo ETO é utilizado quando mudanças são feitas em produtos padronizados já desenvolvidos anteriormente. Nestes casos, são realizadas, na fase de engenharia, alterações em produtos existentes. Outros autores, como Scott (1994), classificam como DTO sistemas produtivos com longos *lead times* e fornecedores de produtos altamente complexos.

2.2.2. Implicações do posicionamento do CODP

A gestão da cadeia de suprimentos envolve, dentre outros fatores, o balanceamento entre a disponibilidade dos produtos e o custo necessário para garantir a disponibilidade. A variabilidade da demanda se tornou uma das grandes dificuldades enfrentadas pelos gestores das cadeias e atualmente é tratada como um fator natural que deve ser administrado internamente da melhor forma possível. A principal prática de defesa que o sistema de manufatura utiliza contra a variabilidade da demanda é a formação de estoques em pontos estratégicos do fluxo de fabricação. O principal ponto de estoque do fluxo é o CODP, o qual representa a divisão entre as atividades realizadas sob previsão e as atividades realizadas com a informação do pedido do cliente (HEDENSTIERNA; NG, 2011).

Pesquisas anteriores sugerem que o CODP deve estar localizado o mais próximo possível dos primeiros processos do fluxo, sendo que o *lead time* total de entrega seja

o maior que o cliente possa esperar (CHRISTOPHER, 2005; HARRISON; van HOEK, 2008). Esta afirmação é baseada nas seguintes suposições:

- Altos índices de eficiência podem ser conseguidos com a consolidação do estoque de segurança;
- A acuracidade das previsões aumenta à medida que o *lead time* da produção para estoque diminui.

O foco das pesquisas que envolvem o conceito do CODP considera principalmente os requisitos impostos pelas cadeias de suprimento que utilizam ou deslocam o CODP. Olhager (2003) considera que a localização do CODP é uma forma de balancear os níveis de estoque com a eficiência da produção. O CODP localizado próximo ao início do fluxo provoca uma redução de estoque, enquanto que o CODP localizado próximo ao fim do fluxo proporciona uma produção mais estável. Desta forma, nota-se que a localização do CODP depende da complexidade da estrutura do produto; conforme a complexidade aumenta, é preferível que o ponto de penetração da ordem esteja localizado próximo ao início do fluxo de fabricação (VOLLMAN *et al*., 2005).

O entendimento dos efeitos do posicionamento do CODP depende da compreensão de algumas propriedades fundamentais dos processos e de como elas se relacionam com o CODP. O processo de gestão da cadeia de suprimentos contém três tipos tradicionais de estoques: inventário, capacidade e tempo. O inventário é representado pelo estoque de segurança para garantir disponibilidade quando a demanda é maior do que o esperado. A capacidade permite que os estoques sejam devidamente repostos enquanto que o tempo reduz a variabilidade da demanda, espalhando-os ao longo do tempo (HOPP; SPEARMAN, 2000; JAMMERNEGG; REINER, 2007). Tais estoques explicam a diferença entre os dois grandes tipos de produção que existem em qualquer cadeia produtiva: a produção MTS (*Make to Stock*) e a produção MTO (*Make to Order*) (VOLLMAN *et al*., 2005).

A parte da produção chamada de MTS garante a disponibilidade entregando diretamente de um estoque que é reposto por um fluxo de materiais. Os lotes de reposição são determinados por cálculos de previsões somados aos cálculos de correções e desvios. Nesta parte, não existe o estoque de tempo, visto que a variabilidade da demanda acontece apenas entre o inventário e a saída do produto (HEDENSTIERNA; NG, 2011).

A parte da produção chamada de MTO não oferece a entrega instantânea, porém proporciona a habilidade de usar o tempo como estoque. O intervalo de tempo que o cliente pode esperar entre o recebimento da ordem e a entrega do produto (td) deve ser o menor possível. O tempo esperado que a ordem de fabricação permanece no PCP (Planejamento e Controle da Produção) (tplan), antes de ser enviada à produção, pode ser calculado conforme a equação 1 abaixo, sendo que tmto é o tempo de produção do produto depois da chegada da ordem:

$tplan = td - tmto$.....Equação 1

A utilização do tempo em que a ordem permanece no PCP (tplan) como um estoque pulmão garante a suavização da demanda na produção. Isto se deve ao fato de que várias ordens de produção podem ser combinadas de forma a otimizar o lote de produtos que serão enviados à produção, reduzindo o efeito da variabilidade (HEDENSTIERNA; NG, 2011).

Se o tempo de espera aceitável pelo ciente (td) é menor do que o tempo de produção total (tp), torna-se necessária a dissociação do fluxo de fabricação para que os clientes consigam receber os produtos dentro do tempo combinado. Dissociar o fluxo de fabricação significa dividir o fluxo em duas partes: MTS (produção antecipada sob previsão) e MTO (produção com o recebimento da ordem do cliente). As equações 2 e 3 abaixo relacionam os tempos supracitados:

$tp = tmto + tmts$.....Equação 2

$tmts = tp + tplan - td$.....Equação 3

Uma relação entre tmts e tplan pode ser estabelecida, considerando-se que tp e td são constantes. Desta forma, o deslocamento do CODP afeta o tempo disponível para a suavização da variabilidade da demanda; quanto mais próximo do início do fluxo estiver localizado o CODP, mais instável será a parte MTO da produção, enquanto que o seu deslocamento para o fim do fluxo resulta em uma produção MTS mais longa e, consequentemente, em altos níveis de estoque. A estabilidade da programação também afeta a retirada de materiais no estoque do CODP, visto que

quanto maior é o tempo de planejamento da produção (tplan), mais estáveis serão os níveis de estoque (HEDENSTIERNA; NG, 2011).

2.2.3. Eficiência e Responsividade

A divisão da cadeia de suprimentos em duas partes pelo CODP traz um questionamento em relação ao desempenho do fluxo de valor. Trata-se da diferenciação entre o conceito de eficiência e de responsividade. Fisher (1997) introduziu a abordagem destes conceitos e questionou a relação entre o tipo de produto e o tipo de cadeia produtiva. Ele classificou os produtos em dois grandes grupos: os funcionais, cuja demanda é previsível e o ciclo de vida é longo, e os inovadores, cuja demanda é variável e o ciclo de vida é curto. Para cada tipo de produto é recomendada a elaboração do projeto da cadeia de suprimentos que combina com as características do produto. Segundo Fisher (1997), os produtos funcionais necessitam de cadeias de suprimentos eficientes projetadas para fabricar produtos com baixos custos. Por outro lado, os produtos inovadores precisam de cadeias de suprimentos responsivas e com grande capacidade de interface com o mercado.

Tais definições foram posteriormente desenvolvidas por Chopra e Meindl (2001) que estruturaram um modelo para consolidar as duas funções. O modelo destaca que as propriedades de eficiência e responsividade devem ser balanceadas para que a cadeia de suprimentos se torne competitiva. Identificar o equilíbrio entre eficiência e responsividade é o ponto chave para se alcançar o bom desempenho de toda a cadeia, desde que sejam claramente identificados os diferentes aspectos que o gerenciamento da cadeia de suprimentos pode assumir, conforme mostra o Quadro 3. O CODP foi introduzido como um separador com o intuito de criar uma cadeia híbrida na qual todos os processos devem ser responsivos com eficiência.

Olhager *et al.* (2006) analisou este modelo e observou que o equilíbrio entre eficiência e responsividade oferece uma excelente combinação com as propriedades da cadeia de suprimentos baseadas no conceito do CODP. Este trabalho está alinhado com o conceito do *Leagility* proposto por Mason-Jones *et al*. (2000). A parte da cadeia baseada em previsões e especulações normalmente direciona o foco para a eficiência dos processos, enquanto que a parte da cadeia que é guiada pelas ordens dos clientes necessita de responsividade. Em resumo, a análise do CODP se tornou

um importante conceito sob uma perspectiva estrutural à medida que ela fornece as diretrizes para o projeto da cadeia de suprimentos (WIKNER; TANG, 2008).

Quadro 3 - Cadeia de suprimentos eficiente e responsiva
Fonte: adaptado de Wikner e Tang (2008)

	Cadeia de suprimentos eficiente	**Cadeia de suprimentos responsiva**
Principal meta	Atender a demanda com o menor custo	Responder rapidamente à demanda
Projeto estratégico do produto	Maximizar o desempenho com o custo mínimo do produto	Criar modularidade para permitir a postergação da diferenciação do produto
Estratégia de preço	Preço baixo (valor para o cliente)	Altas margens (preço não é o valor principal para o cliente)
Estratégia de manufatura	Baixos custos com alta utilização	Manter a flexibilidade da capacidade para atender demandas inesperadas
Estratégia de estoques	Estoques mínimos (custo baixo)	Manter o pulmão de estoques para atender demandas inesperadas
Estratégia do Lead time	Lead time mínimo sem aumentar os custos	Redução agressiva mesmo que os custos sejam significantes
Estratégia de suprimentos	Baseada em custo e qualidade	Baseada em velocidade, flexibilidade e custo
Estratégia de transporte	Priorização de tipos de transporte com baixo custo	Priorização de tipos de transporte com responsividade

2.3. A tipologia de produção *Engineer to Order*

Este tópico abordará os principais conceitos e as principais características da tipologia de produção *Engineer to Order* para servir como base para a classificação destes ambientes produtivos. A pesquisa bibliográfica a ser apresentada a seguir traz uma consolidação de como os principais autores definem a produção ETO e de quais são as principais dificuldades e os potenciais de melhoria encontrados nestes ambientes. Ainda neste tópico, o autor deste trabalho pretende identificar as propostas de classificação da tipologia ETO já realizadas na literatura.

2.3.1. Contextualização da tipologia ETO

A busca pela fabricação de produtos cada vez mais customizados tem aumentado significativamente nos últimos anos. Isto se deve ao fato de que os clientes estão considerando a possibilidade de customização como um critério importante na escolha dos produtos. Portanto, a interferência que os clientes vêm exercendo sobre a configuração dos produtos é cada vez maior, tornando a customização um fator crucial de competitividade para as empresas.

Silveira *et al*. (2001) identificaram oito diferentes aspectos de customização:

1. Padronização
2. Uso
3. Embalagem e distribuição
4. Serviços adicionais
5. Trabalho customizado adicional
6. Montagem
7. Fabricação
8. Design

As estratégias de negócios atuais podem conter mais de um nível de customização para atender as necessidades da demanda dos clientes. A padronização, nível mais baixo de customização, é utilizada por fabricantes de produtos padronizados, principalmente nos sistemas de produção em massa. Nos níveis mais altos de customização, os clientes participam do design e do desenvolvimento dos produtos.

Um caso especial de alto nível de customização, no qual o cliente está envolvido no design e no desenvolvimento dos produtos é a produção *Engineer to Order*. A customização na fase de design é consideravelmente mais complicada em indústrias como as de fabricação de aviões, de navios e de bens de capital. Em tais sistemas produtivos, o *lead time* de desenvolvimento e fabricação dos produtos pode variar de alguns meses a anos (LU; PETERSEN; STORCH, 2009).

Os processos de negócios variam significativamente entre as empresas ETO. Desde a concepção inicial do produto até a estabilidade da manufatura, os processos de negócios têm diferentes focos e responsabilidades organizacionais. Além disso, a interação da empresa com os clientes e com os fornecedores pode variar bastante, sendo que a troca de informações nas fases iniciais pode ser intensa e demorada. Para demonstrar as características dos processos em um ciclo de vida de produção

ETO, um sistema produtivo pode ser categorizado pelo tempo de determinadas atividades em quatro estágios, os quais são mostrados na Figura 6 e detalhados a seguir (LU; PETERSEN; STORCH, 2009):

Figura 6 - Exemplo das fases do ciclo de vida de uma produção ETO
Fonte: adaptado de Lu, Petersen e Storch (2009)

1. Estágio de design conceitual do produto: neste estágio, diferentes conceitos de produtos são estudados. As principais características dos produtos são colocadas no escopo e os potenciais parceiros são analisados. As especificações chave dos produtos podem incluir o tamanho, o peso, o alcance de operação e os segmentos de mercado. A análise de potenciais parceiros pode considerar questões políticas entre nações e continentes, além do estudo de suas capacidades em realizar o trabalho;
2. Estágio de lançamento do produto: neste estágio, o design e a configuração chaves do produto são determinados, finalizados e desenvolvidos. As responsabilidades detalhadas do design e da produção por parte dos principais fornecedores e parceiros também são definidas;
3. Estágio de detalhamento do design do produto e início da produção: neste momento, estão em andamento, simultaneamente, os processos de desenvolvimento, design e produção do produto. As responsabilidades de produção dos principais fornecedores de componentes são definidas. Os parceiros são envolvidos no design e na produção de suas partes;
4. Estágio de produção estável do produto: neste estágio, todas as atividades de produção estão estabilizadas. Os parceiros e fornecedores iniciaram a produção repetitiva de suas respectivas partes.

2.3.2. Definições da tipologia ETO

Como mencionado anteriormente, a produção ETO é uma extensão da produção MTO. Na tipologia de produção ETO, além do processo produtivo, a etapa de projeto

do produto é realizada também sob encomenda, ou seja, com base nas necessidades dos clientes. Os produtos tendem a ser altamente customizados (“um de cada tipo”) e o nível de interação com os clientes costuma ser muito grande (PIRES, 2004). A ordem dos principais processos de negócios é semelhante à tipologia MTO, com a inclusão do processo “projetar produto” logo após o processo “vender”, como está ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Ordem dos principais processos de negócios na produção ETO
Fonte: adaptado de Pires (2004)

Na produção ETO o *lead time* de entrega é igual ou bastante próximo do tempo total de produção do produto. Isto evidencia a intensa participação do cliente na concepção do produto, ao contrário do que acontece na produção MTS (*Make to Stock)* na qual praticamente não existe participação do cliente no ciclo produtivo (SLACK *et al.*, 2002). A Figura 8 compara o tempo total de produção do produto ou de realização do serviço com o *lead time* de entrega, que corresponde ao tempo de espera do cliente entre a colocação do pedido e o recebimento do produto, para as tipologias de produção tradicionais.

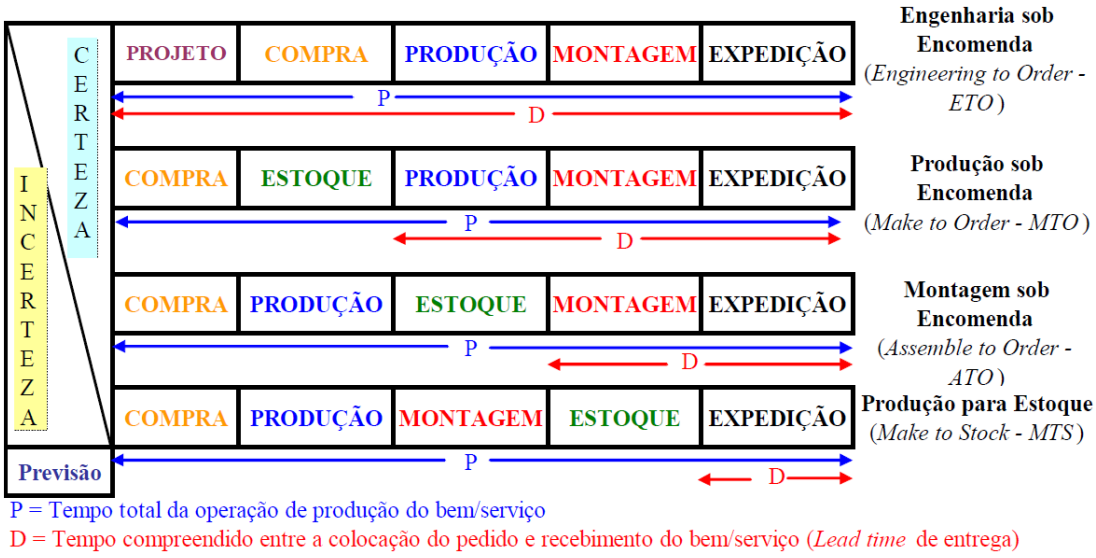

Figura 8 - Tempo de produção vs *Lead time* de entrega na Produção ETO
Fonte: adaptado de Slack *et al*. (2002)

De acordo com Bertrand e Muntslag (1993) a cadeia de suprimentos ETO engloba um estágio físico e outro não físico. O estágio não físico contém os processos de licitação, de engenharia, de design e de planejamento dos processos. O estágio físico contém os processos de fabricação dos componentes, de montagem e de instalação. Gosling e Naim (2009) mencionaram que muitos autores afirmam que todas as dimensões da Produção são customizadas para cada ordem em uma cadeia de suprimentos ETO e que o CODP está localizado na fase de design do produto. No entanto, ainda não existe um consenso entre os principais autores do assunto sobre a diferença entre a definição da produção ETO para a customização de designs já existentes e para o desenvolvimento de designs completamente novos para cada ordem.

O ambiente de produção ETO é caracterizado por muitos aspectos importantes, os quais estão listados a seguir (BERKEL, 2010):

- CODP localizado na fase de design (projeto do produto);
- Baixos volumes de produção;
- Incertezas;
- Flutuações de mix e de volume;
- Rota do produto não padronizada;
- Previsão de demanda com baixa acuracidade;
- Alto nível de customização;

- Flexibilidade e dinamismo;
- Complexidade;
- Requisitos em constante mudança;
- Longos *lead times*.

Algumas das principais características dos ambientes de produção ETO são detalhadas a seguir:

- **Alto nível de customização e baixos volumes de produção:** Uma das mais importantes características destes ambientes é o nível de customização. Stevenson *et al*. (2005) e Gosling e Naim (2009) analisaram os altos níveis de customização da produção ETO. O cliente é envolvido na fase de design do produto e o fluxo de produção é totalmente direcionado pelas ordens dos clientes. Os produtos ETO são produzidos e montados em baixos volumes para satisfazer as especificações individuais dos clientes. Stevenson *et al.* (2005) descreve o volume de produção como um lote unitário ou muito pequeno;
- **Flexibilidade e dinamismo:** Bertrand e Muntslag (1993) descrevem as características de controle da produção ETO através de três aspectos: dinamismo, incerteza e complexidade. Os autores também afirmam que “A situação da produção é definida como dinâmica quando é necessário antecipar flutuações consideráveis como, por exemplo, volume de vendas”. As empresas ETO lidam com fortes flutuações de mix e de volume a curto e a médio prazo. A formação de estoques intermediários ou de produtos acabados para tentar suavizar tais flutuações é impossível de ser realizada, pois a produção é direcionada pelos requisitos dos clientes. Este mercado dinâmico exige que as empresas tenham flexibilidade para lidar com as flutuações. Gosling e Naim (2009) mencionam a flexibilidade como um fator crucial para as empresas ETO. Little *et al*. (2000) também descreve a flexibilidade como uma condição de sucesso e requisito de sobrevivência para estas empresas;
- **Incertezas:** Incerteza é definida como a diferença entre o conjunto de informações necessárias para realizar uma tarefa e o conjunto de informações já disponíveis na organização (BERKEL, 2010). Em ambientes ETO, o nível de incertezas é bastante elevado, tanto para os produtos quanto para os processos, e atinge questões como especificação, demanda, *lead times* e

duração dos processos (HICKS; BRAIDEN, 2000b). De acordo com Bertrand e Muntslag (1993) existem três tipos de incertezas, os quais estão presentes na produção ETO: incerteza de especificação do produto, incerteza dos processos e incerteza de mix e volume;

- **Incerteza de especificação do produto:** Especialmente no início do projeto, no estágio não físico, parte do produto ainda é desconhecida, o que implica em altos níveis de incertezas. As decisões sobre capacidade, *lead time* e preço são tomadas sob incertezas. Durante as atividades de engenharia, design e planejamento dos processos o conteúdo de trabalho e de material do projeto gradualmente se torna conhecido. A disponibilidade das informações detalhadas do produto vai aumentando cada vez mais. De qualquer forma, o processo de design é por si só incerto. As atividades de engenharia e design de um projeto específico chegam a custar o dobro do valor estimado no orçamento, implicando em grandes aumentos de *lead times*. O sistema de controle da produção deve tentar estimar futuros acontecimentos para a tomada de decisão à medida que as informações detalhadas estão disponíveis;
- **Incerteza dos processos:** No início do projeto pouco se conhece a respeito dos processos que estarão envolvidos na fabricação do produto. Neste momento, a estimativa da quantidade e do tipo de recursos que serão necessários é difícil de ser realizada. Na prática, existem diferentes tipos de recursos necessários para diferentes tipos de operações do produto na produção dos componentes. Como resultado desta variação, a ocupação da capacidade produtiva se torna desbalanceada. Isto exige que os processos tenham flexibilidade para lidar com o desbalanceamento;
- **Incerteza de mix e volume:** A previsão detalhada da demanda em ambientes ETO é difícil de ser realizada devido à necessidade específica de cada cliente. O volume e os tipos de produtos dos pedidos podem variar significativamente ao longo do tempo. Outro importante elemento de incerteza é o momento em que a ordem do cliente entra no fluxo de valor. Devido à intensa competição e ao reduzido tempo disponível, as atividades de cotação e orçamento chegam a ser concluídas após a entrada da ordem do cliente. Geralmente não se sabe ao certo quando

o cliente insere a ordem, tornando ainda mais complicado o planejamento da capacidade produtiva e a programação da produção.

- **Complexidade:** Braiden *et al*. (1993) e Alderman *et al*. (1998) concluíram que os processos de negócio, o design e os sistemas de manufatura envolvidos são complexos e dinâmicos. Little *et al.* (2000) também menciona que as altas complexidade e incerteza são típicas dos ambientes ETO. A complexidade no planejamento da manufatura existe porque a informação é desconhecida e sofre mudanças ao longo do tempo. Little *et al.* (2000) destaca que uma característica comum nestes ambientes é a mudança constante de requisitos do cliente depois de já iniciada a fase de manufatura. Bertrand e Muntslag (1993) definem o controle da produção como complexo devido à ocorrência de três fatores: a estrutura do fluxo dos produtos, a situação de multi-projeto e a estrutura do produto;
    - **A estrutura do fluxo dos produtos:** Os processos criativos de design no estágio não físico dificultam a formalização do trabalho. Nestes processos, a distinção entre as fases de produção e de operações não é simples de ser realizada, como acontece no estágio de produção físico. Isto significa que o progresso de uma determinada quantidade de trabalho no departamento de Engenharia não é fácil de ser quantificado. Além disso, a Engenharia deve reservar uma parte da sua capacidade para realizar os processos de orçamento e cotação. Esta fração da capacidade ocupa boa parte das horas disponíveis de trabalho dos engenheiros, interferindo no tempo necessário para que eles processem as ordens já inseridas no departamento (“pedidos firmes”). O estágio físico da produção ETO também é complexo. A estrutura interna dos setores de fabricação de componentes e de montagem é considerada complexa. A fabricação de componentes pode ser caracterizada como *job shop*. Isto significa que o controle da capacidade é complexo, com diferentes rotas para os produtos e grande variação dos tempos de operação. As operações de montagem são realizadas em locais equipados especificamente para o tipo de produto e são responsáveis pela junção de muitas partes trazidas de diferentes setores, tornando o controle de capacidade e de material bastante complexo;

- **A situação de multi-projeto:** Toda ordem do cliente é composta por uma rede de atividades que podem ser desconhecidas na fase inicial do projeto. Em um mesmo departamento, podem coexistir vários projetos em andamento, em diferentes estágios e com complexidades diferentes. Os gargalos que aparecem em um projeto, resultantes de incertezas, podem afetar os outros projetos em andamento. Nestes casos, a coordenação e o planejamento de todos os projetos ao mesmo tempo são uma atividade complexa;
- **A estrutura do produto:** A estrutura de um produto ETO pode conter milhares de partes e componentes. Deste total, muitas delas são especificadas de acordo com a necessidade do cliente, sendo projetadas desde o início (*One-of-a-Kind*). Isto significa que materiais especiais devem ser adquiridos para um projeto específico o mais cedo possível devido aos longos *lead times*, sem o conhecimento detalhado da estrutura do produto.

- **Rotas não padronizadas, longos *lead times*, previsão de demanda com baixa acuracidade:** O alto nível de customização causa a despadronização de rotas para os produtos no chão-de-fábrica em muitas empresas (STEVENSON *et al*., 2005). Além disso, a inexistência de estoques de produtos acabados ou semi-acabados aumenta os *lead times* significativamente, ao contrário do que acontece em ambientes de produção MTS e ATO. Soman (2004) e Kingsman *et al*. (1996) afirmam que a prioridade de competitividade para as empresas ETO é a redução dos *lead times* de entrega, com preços aceitáveis para os clientes. A previsão de demanda é difícil de ser realizada, pois pouco se conhece sobre as necessidades individuais de cada cliente e o volume de vendas não é estável.

2.3.3. O ciclo de produção ETO

O ciclo de produção em empresas que trabalham com engenharia sob encomenda, ou *Engineer to Order* (ETO), possui muitas diferenças em relação a uma situação de produção com engenharia padronizada. Empresas que trabalham com a engenharia padronizada fabricam produtos ou componentes para estoque,

mediante projetos existentes, em lotes fabricados de acordo com planejamentos realizados com antecedência (BERNARDI; WALTER, 1998).

Em uma situação típica de produção ETO, primeiro ocorre a venda do produto, que, em seguida, é projetado e fabricado. O processo de produção é iniciado com a solicitação de um produto por parte de um cliente. Geralmente um cliente faz uma solicitação para vários fornecedores, e de acordo com as propostas recebidas ele faz a sua escolha. Se a empresa verifica que é possível cumprir o pedido, a solicitação é repassada para um responsável que realiza a engenharia simplificada, na qual são gerados os custos, datas de entrega e uma estrutura de produto simplificada. Uma engenharia detalhada é então realizada se este pedido se tornar um contrato. As datas para cada tarefa ligadas à Engenharia são geradas e a especificação técnica do produto é encaminhada para um engenheiro calculista que detalha a estrutura de produto e realiza todos os cálculos necessários quanto à quantidade de itens, preços, entre outros cálculos. Em seguida, os projetistas fazem os desenhos necessários e as compras de materiais e ferramentas podem ser disparadas. Então, inicia-se a fase de fabricação, ensaios e testes, até finalmente o transporte e a entrega do produto final (BERNARDI; WALTER, 1998).

Durante as fases de projeto e de especificações, muitas vezes é necessária a aprovação do cliente, o que é considerada uma fase crítica, pois as fases seguintes, como a compra de materiais e fabricação, dependem da qualidade e da rapidez das informações geradas nesta etapa (WALTER; RIES, 1996).

Na etapa de produção, cada produto final é fabricado através de um conjunto de ordens de fabricação (OF's), sendo que a OF de um item consome outros itens, de nível imediatamente inferior na estrutura de produto. Cada OF é formada por uma sequência de atividades, ou operações. A produção MTS de bens de consumo é relativamente rápida: pode-se assumir que as atividades de uma OF são consecutivas, e que todos os insumos de uma ordem de fabricação estão presentes no início da sua primeira atividade. Na produção ETO de bens de capital, as atividades de uma OF podem não ser consecutivas, mas constituir uma rede de atividades similar às utilizadas na gestão de projetos, e uma atividade pode durar semanas. Para fins de planejamento de compras e de produção, portanto, é interessante que se possa indicar em que atividade da OF é consumido cada insumo. Isto permite compras e produção mais sincronizadas, ou seja, não é necessário

adquirir ou fabricar um insumo que será consumido bem mais tarde, mesmo considerando-se as folgas de segurança, permitindo uma produção mais enxuta (MAXIPROD WEBSITE, b).

Na produção ETO é necessário desenvolver a produtividade e a qualidade dos serviços relacionados às atividades indiretas do ciclo de produção, tais como o orçamento, o projeto, o planejamento e o controle de qualidade. Quando o pedido do cliente envolve um novo projeto há o aumento de uma parcela significativa de tempo no ciclo da produção. A engenharia de um produto absorve muito tempo e custo para ser executada, o que pode resultar em atrasos nos prazos de entrega, gastos imprevistos e até mesmo produtos não fabricados de forma adequada (WALTER; RIES, 1996).

2.3.4. Superposição de fases na produção ETO

Os elevados *lead times* e custos, e as consequências resultantes para o fluxo de caixa, estimulam a superposição entre as diferentes fases de produção de um produto ETO (Figura 9), o que pode ser provido por mecanismos de ordenamento e comunicação *(workflow*) entre a Engenharia, o Planejamento, Compras e a Produção. Esta prática também é conhecida como engenharia simultânea ou engenharia concorrente. Pode ser desejável a elaboração de uma lista avançada de materiais críticos, de longo prazo de aquisição, mesmo antes de a Engenharia elaborar a estrutura de produto detalhada.

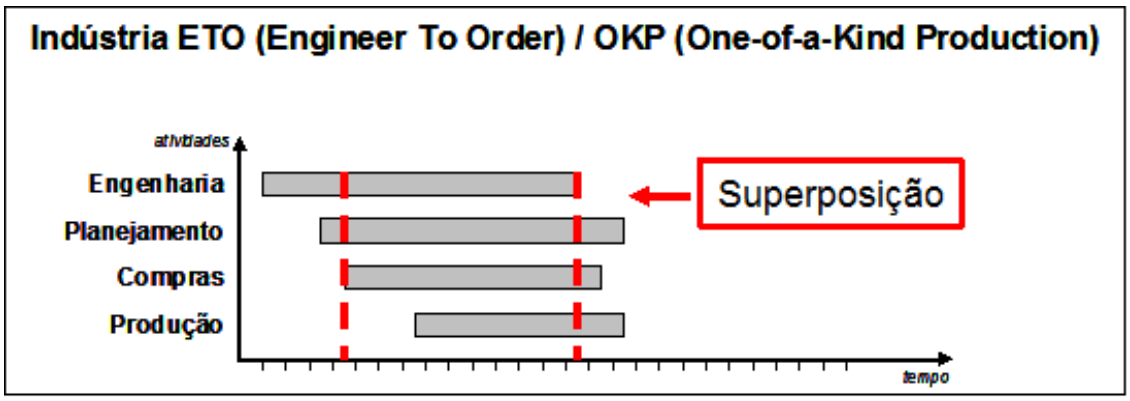

Figura 9 - Superposição de fases na produção ETO
Fonte: Maxiprod Website (a)

Na indústria MTS (M*ake to Stock*) a engenharia claramente precede as demais etapas (planejamento, compras e produção). Na realidade, antes do início da produção propriamente dita, são fabricadas séries "piloto", cuja finalidade é aperfeiçoar e estabilizar a engenharia de produto e as técnicas de produção (MAXIPROD WEBSITE, a).

A indústria ETO (*Engineer to Order*), pelo contrário, se caracteriza por séries pequenas ou unitárias, e por *lead times* de produção longos, às vezes de meses ou mesmo anos. Como consequência, o fluxo de caixa é essencialmente desfavorável, independentemente se o custo for absorvido pelo fabricante ou pelo cliente (MAXIPROD WEBSITE, a).

Para não alongar este processo além do mínimo necessário, é usual uma forte superposição entre as diferentes etapas: Engenharia, Planejamento, Compras e a Produção propriamente dita. Esta superposição impõe a necessidade de um ordenamento parcial entre essas etapas (MAXIPROD WEBSITE, a).

De acordo com Kovacs, Mezgar, Szelke e Girnt (1992), uma definição para o conceito de engenharia concorrente pode ser dada como um processo sistemático de integração do processo de desenvolvimento de produtos com os processos com os quais possuem relação direta, incluindo os processos de manufatura e os de suporte. Ainda segundo os autores, este conceito proporciona aos desenvolvedores a necessidade de se levar em consideração todos os elementos do ciclo de vida do produto desde a concepção à entrega, incluindo a qualidade, custos, planejamento e os requisitos do cliente.

Segundo Paashuis e Boer (1997) o conceito de engenharia simultânea possibilita o início mais cedo possível das atividades de desenvolvimento do novo produto, reduz a necessidade de retrabalho, resultando na redução do *lead time* e consequentemente na redução dos custos de desenvolvimento.

Durante o nascimento de um novo produto existem três ciclos que ocorrem simultaneamente:

- Desenvolvimento conceitual levando em consideração os processos de manufatura;
- Definição dos processos de fabricação considerando o planejamento da produção, seleção de equipamentos, arranjo físico, dentre outros;

- Desenvolvimento do sistema de serviços e suporte ao produto (*marketing*, distribuição, assistência técnica, etc).

A abordagem de engenharia concorrente necessita de uma equipe que atue de maneira cooperativa, com interações constantes e executando atividades em paralelo, diferente do sistema tradicional de desenvolvimento de produtos que representa um modelo sequencial e sem integração entre os setores.

Para Rouibah e Caskey (2003), alguns requisitos básicos para o sucesso da engenharia concorrente são: cooperação próxima entre as empresas, cooperação entre os setores ou áreas e rápida resposta às modificações de projeto. Outro aspecto que deve ser levado em consideração diz respeito à estrutura organizacional, que deve ser voltada aos fluxos ou aos processos, facilitando o desenvolvimento simultâneo.

O produto ETO muitas vezes apresenta soluções inovadoras, o que o torna um "protótipo único" nesses aspectos. No entanto, a combinação protótipo com superposição gera instabilidades. Iniciam-se compras e produção sem que a engenharia tenha sido completamente concluída; à medida que a produção evolui, pode haver a necessidade de alterações na engenharia, que por sua vez geram alterações nas compras e na produção (MAXIPROD WEBSITE, a).

2.3.5. Tipos de produção ETO

A definição da tipologia ETO usada até o momento pode ser resumida em um único tipo: produtos cujos componentes são projetados pela Engenharia desde o início, sob ordem das especificações individuais dos clientes. No entanto, os ambientes ETO podem apresentar diferentes fluxos de processos e estrutura organizacional, de acordo com o nível de customização que se deseja obter. Dentro da tipologia ETO podem existir produtos menos complexos que são gerados a partir de modificações em projetos já existentes e produtos altamente customizados cujos componentes são todos desenvolvidos e projetados somente após o recebimento da ordem do cliente.

Este tópico procura apresentar as diferentes classificações da tipologia ETO encontradas na literatura e servirá como embasamento teórico para a elaboração da classificação a ser proposta neste trabalho.

Segundo Gosling e Naim (2009) existem vários tipos de produção ETO na literatura. Amaro *et al.* (1999) diferenciaram o “setor de manufatura versátil”, o qual está inserido em uma situação de licitação para cada ordem, do “customização de negócios repetitivos”, que pode receber ordens similares de clientes particulares. O autor ainda sugere quatro tipos de produção ETO, os quais têm em comum o grau de customização – um novo design é gerado a cada ordem. O que diferencia um tipo do outro é a quantidade de responsabilidade que é gerenciada internamente antes da chegada da ordem, em processos como design e compras, e a quantidade e os tipos de atividades que são realizadas depois do recebimento da ordem, em processos de design, estabelecimento de rotas e compras.

Hicks *et al.* (2001) classificaram as empresas ETO em quatro tipos através de duas variáveis: a profundidade da estrutura do produto, que indica a complexidade do produto, e o volume de produção, dividido em produção contínua, em lotes ou *jobbing* (unitária). Os quatro tipos de empresas ETO sugeridos pelo autor são: verticalmente integrada, design e montagem, design e contrato e gerenciamento de projeto. Hicks *et al.* (2001) denomina as empresas verticalmente integradas de “Tipo I” e as empresas de design e montagem de “Tipo II”. Estas terceirizam a manufatura dos componentes e mantém internamente a montagem e os processos de acabamento. As empresas que terceirizam todos os processos físicos são classificadas como “Tipo III”. Dentro do “Tipo III” existem duas classes: as empresas de design e contrato, que mantém o design e o gerenciamento de projetos internamente e as empresas de gerenciamento de projetos, as quais terceirizam o processo de design. Através da Figura 10, é possível observar que todos os tipos apresentam produtos acabados com uma profunda estrutura de produto e são obtidos a partir de montagens com níveis médios de profundidade da estrutura do produto que por sua vez são produzidos em baixos volumes. Os componentes necessários em baixo volume são produzidos via produção *jobbing*. Outros componentes, necessários em médio volume, são produzidos em lotes e os componentes de alto volume deverão ser produzidos através de sistemas contínuos de produção. Os vários processos envolvidos na produção de componentes e na montagem devem ser coordenados a fim de minimizar os níveis de estoques e permitir a entrega dos produtos em tempo hábil. O Quadro 4 traz o detalhamento das principais características de cada um dos quatro tipos.

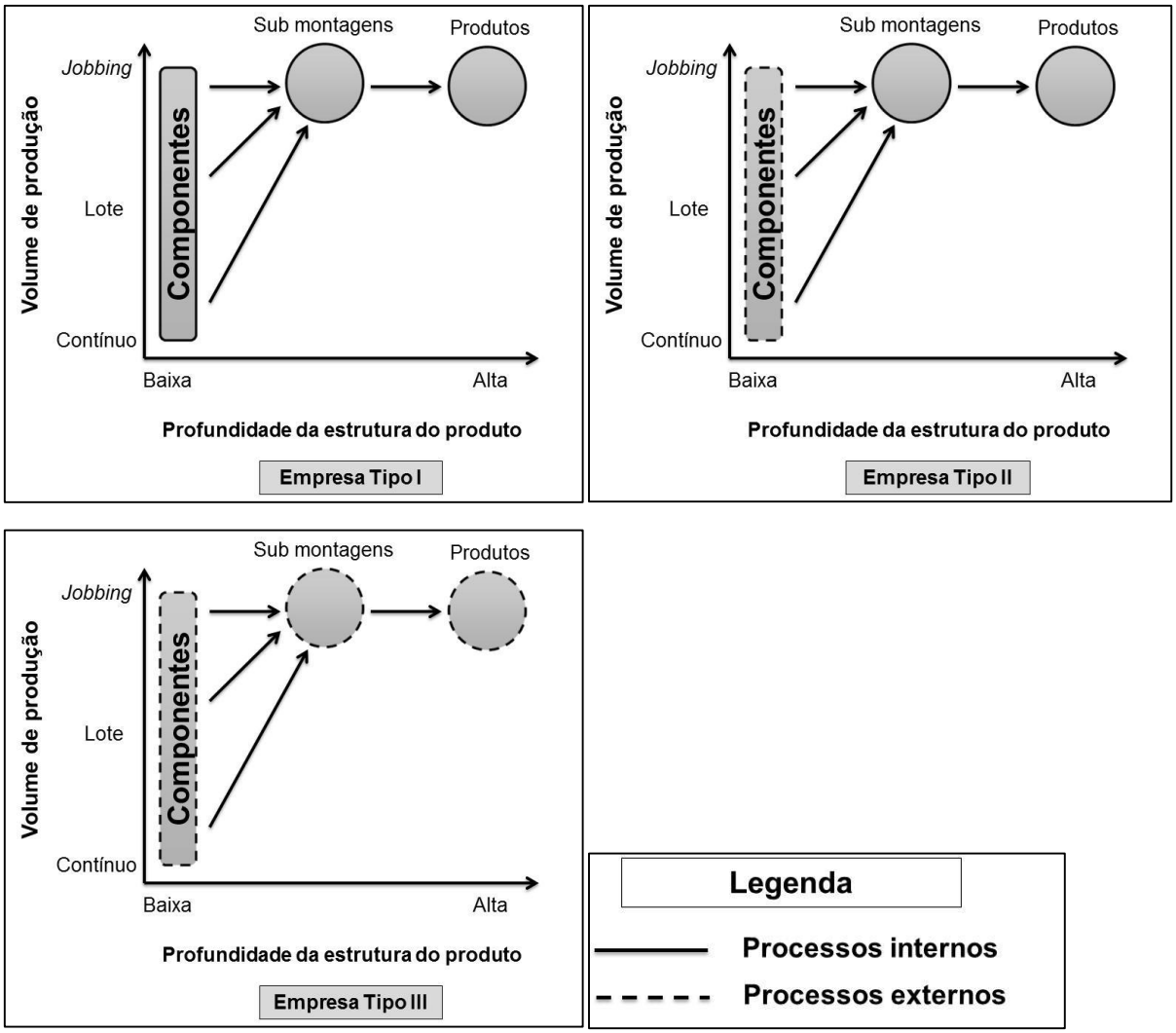

Figura 10 - Tipos de empresas ETO
Fonte: adaptado de Hicks *et al.* (2001)

Quadro 4 - Características de cada tipo de empresa ETO
Fonte: adaptado de Hicks et al. (2001)

	Tipo I	Tipo II	Tipo III(i)	Tipo III(ii)
Definição	Integrada verticalmente	Design e montagem	Design e contrato	Gerenciamento de projeto
Competências essenciais	Design, manufatura, montagem, gerenciamento de projeto	Design, montagem, gerenciamento de projeto	Design, gerenciamento de projeto, logística	Gerenciamento de projeto, engenharia, logística
Vantagem competitiva	Conhecimento do produto e dos processos; integração dos processos internos	Integração de sistemas; coordenação de processos internos e externos	Integração de sistemas; coordenação de processos internos e externos	Reputação; conhecimento de engenharia
Integração vertical	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
Relacionamento com fornecedores	Concorrência	Parceria	Parceria	Contratual
Ambiente	Estável	Incerto	Dinâmico	Dinâmico
Tipos de riscos	Utilização da capacidade, retorno sobre o capital, recuperação de despesas gerais	A ausência da manufatura enfraquece a capabilidade de design. O compartilhamento do conhecimento com os fornecedores traz potencial competitivo	Riscos contratuais, dependência da capabilidade e performance dos fornecedores	Perda de reputação

Tipo I: Empresas integradas verticalmente:

Segundo Hicks *et al.* (2001), as empresas Tipo I possuem grandes competências em design, manufatura, montagem e gerenciamento de projeto. A vantagem competitiva destas empresas vem do seu conhecimento sobre os produtos e os processos e da integração dos processos internos. As pessoas possuem um grande

conhecimento de várias áreas do fluxo de valor e a mobilidade interna de cargos gera flexibilidade para a organização.

A proximidade entre os departamentos facilita a comunicação e a troca de informações durante o desenvolvimento do produto. As especificações realizadas durante o processo de design são baseadas na capabilidade dos processos de manufatura. Desta forma, o trabalho da produção de componentes e da montagem é facilitado, pois as suas restrições são consideradas no processo de design. As especificações técnicas podem ser inapropriadas para os itens comprados devido às limitações que elas impõem sobre as escolhas de design disponíveis para o fornecedor. Isto pode restringir a inovação e resultar em atividades de design e aquisição desnecessárias, aumentando os custos e os *lead times* (McGOVERN *et al.*, 1999).

A integração facilita a engenharia simultânea ou concorrente, permitindo a superposição das fases de design e produção para reduzir os *lead times*. As relações com os fornecedores estão subordinadas ao gerenciamento dos processos internos. Em empresas do Tipo I, uma estratégia comum para reduzir as incertezas no processo de compras e aquisição é a do fornecimento através de múltiplas fontes (HICKS *et al.*, 2000a). Compras de alto valor em negócios com itens repetitivos favorecem o comprador, enquanto que as compras com valor baixo de itens esporádicos aumentam o poder de negociação do fornecedor. Este fato incentiva as empresas ETO a introduzirem a modularização de design com componentes e sistemas compartilhados.

Uma cadeia produtiva fortemente integrada aumenta o seu potencial de agregação de valor. Contudo, este tipo de configuração organizacional exige grandes investimentos e muitas despesas. É necessário utilizar o máximo da capacidade produtiva para justificar os investimentos de capital e recuperar os custos operacionais. Empresas classificadas como Tipo I podem correr o risco de não conseguir gerar ordens suficientes para ocupar a sua capacidade produtiva de forma adequada, resultando em um pobre retorno sobre investimento. Esta estrutura foi adotada principalmente por empresas fabricantes de bens de capital, cujo mercado é considerado amplo e forte economicamente (HICKS *et al.*, 2001).

Tipo II: Empresas de design e montagem:

As empresas ETO do Tipo II possuem grandes competências nos processos de design, montagem e gerenciamento de projeto. Sua grande vantagem competitiva vem da integração de sistemas e da coordenação de processos internos e externos. A manufatura dos componentes é terceirizada, o que gera menos despesas e menores investimentos de capital do que nas empresas Tipo I. No entanto, o processo de montagem, realizado internamente, agrega muito valor ao produto.

Alguns ambientes de produção ETO podem apresentar características intermediárias entre os tipos I e II. Tais empresas mantém a produção de componentes críticos internamente ou em outra unidade de negócio. A produção destes itens é classificada como complexa e de alta agregação de valor. Para Hicks *et al.* (2001) estas empresas se enquadram no Tipo II.

Quanto à flexibilidade de volume, as empresas Tipo II apresentam um melhor desempenho do que as empresas Tipo I. Contudo, a redução de *lead time* depende do processo de aquisição concorrente (simultânea) que exige o estabelecimento de parcerias com os fornecedores. Segundo Hicks *et al.* (2001), na prática, em empresas de bens de capital, esta abordagem tem obtido menor sucesso do que a engenharia concorrente (simultânea) praticada por empresas Tipo I.

O processo de design deve fornecer especificações funcionais do produto, não havendo necessidade de produzir especificações técnicas. As relações com os fornecedores são baseadas em parcerias a fim de facilitar o compartilhamento do conhecimento do produto e dos processos. O equilíbrio entre o poder do comprador e do fornecedor depende de uma série de fatores: volume de demanda dos itens, nível de agregação de valor, número de fornecedores disponíveis, custos e preferências dos clientes.

O risco de não utilização total da capacidade é menor do que o das empresas Tipo I, como consequência da terceirização da produção de componentes. O aumento da quantidade de processos realizados externamente exige um maior compartilhamento do conhecimento com os fornecedores. A habilidade de projetar de acordo com a capabilidade da manufatura é perdida ou se torna limitada em tais ambientes. Além disso, existe o grande risco de alguns fornecedores se tornarem potenciais concorrentes à medida que a troca de informações entre os dois lados aumenta (HICKS *et al.*, 2001).

Tipo III(i): Empresas de design e contrato:

As empresas do Tipo III(i) apresentam as seguintes competências: design, gerenciamento de projeto e logística. Todos os processos físicos, incluindo a manufatura de componentes, a montagem e os processos de fabricação subsequentes são terceirizados. A grande vantagem competitiva destas empresas está baseada na integração de sistemas e na coordenação de processos internos e externos. É frequente o uso de componentes e sistemas padronizados que podem reduzir os custos e os *lead times*. As especificações funcionais dos produtos permitem que os fornecedores desenvolvam os seus próprios designs, introduzindo inovação e maximizando a agregação de valor.

O controle do processo de design é realizado através da retenção do conhecimento (*expertise*) para integrar o desempenho de especificações dos subsistemas para atingir os requisitos dos clientes (McGOVERN *et al.*, 1999). O compartilhamento de informações e de conhecimento com os fornecedores pode dificultar a retenção da liderança sobre o produto, visto que potenciais concorrentes podem ter acesso a informações detalhadas a respeito do produto.

A terceirização das atividades físicas reduz o investimento de capital e as despesas operacionais. Os componentes, os subsistemas e a mão-de-obra podem ser conseguidos com baixos custos em países do terceiro mundo. O uso de recursos externos proporciona flexibilidade na configuração, no volume e na entrega dos produtos. No entanto, a ausência da manufatura interna limita a habilidade de projetar respeitando as restrições da manufatura dos componentes e da montagem. Como integradores de sistemas, as empresas Tipo III(i) podem sofrer grandes riscos contratuais. As relações com os fornecedores são baseadas em acordos de parceria (HICKS *et al.*, 2001).

Tipo III(ii): Empresas de gerenciamento de projeto:

Este tipo de empresa opera como uma consultoria que gerencia os contratos a favor do cliente. Todos os processos físicos e o design são terceirizados. Suas principais competências são: gerenciamento de projetos, engenharia e logística. A competitividade destas empresas depende de sua reputação, do desempenho alcançado em contratos já finalizados e do *expertise* e conhecimento de engenharia. Os investimentos de capital são muito baixos. A reputação da empresa depende

fortemente da sua Engenharia. A sua grande responsabilidade é a especificação inicial e a avaliação das propostas de design, dos fornecedores e de todos os envolvidos no projeto. Em seguida, recomendações são dadas aos clientes a partir da avaliação realizada. Isto pode tanto favorecer quanto inibir a inovação.

O consultor é o responsável pelo gerenciamento de todo o projeto. Através de sua ampla rede de contatos, ele procura estabelecer relações dinâmicas com vários clientes e fornecedores ao mesmo tempo. Tais relações são protegidas por contratos de confiança entre todas as partes. Os serviços prestados pelos consultores são precificados através de várias formas: porcentagem do valor do contrato, taxa por hora de trabalho ou valor fixo pré-combinado. O risco financeiro do projeto é sustentado pelos clientes e fornecedores. As empresas Tipo III(ii) não sofrem grandes riscos (HICKS *et al.*, 2001).

A tipologia ETO também foi segmentada por Wikner e Rudberg (2005), conforme explicado no tópico 2.2.1 deste trabalho. Os autores propuseram a criação de uma nova dimensão para a classificação das tipologias: a engenharia. Até então as cadeias produtivas eram classificadas sob uma abordagem linear que considerava apenas a dimensão da produção. Desta forma, eles consideram que novas tipologias podem existir dentro da dimensão engenharia, segmentando a tipologia ETO em *Engineer to Order* (ETO(ED)) e *Engineer to stock* (ETS(ED)). Quando um produto completamente novo é projetado e desenvolvido, ele é classificado como ETO(ED). Se as atividades de desenvolvimento de produto foram concluídas antes da chegada da ordem do cliente, o produto é classificado como ETS(ED). Produtos com características intermediárias entre ETO(ED) e ETS(ED), cujo design é gerado a partir de modificações de designs já existentes, podem ser classificados como ATO(ED) ou *Adapt to Order*.

Porter *et al*. (1999) e Hill (2000) definiram o DTO (*Design to order*) como um ambiente de produção onde as empresas projetam e produzem um produto completamente novo para atender as necessidades específicas dos clientes. Nesta linha de pesquisa, o termo ETO é utilizado quando mudanças são feitas em produtos padronizados já desenvolvidos anteriormente. Scott (1994) classifica como DTO sistemas produtivos com longos *lead times* e fornecedores de produtos altamente complexos.

2.3.6. Principais dificuldades referentes à produção ETO

A Engenharia exerce um papel muito importante no fluxo de valor da produção ETO. É nesta etapa que as principais decisões a respeito do produto são tomadas e a definição das atividades posteriores, tais como projeto de processos e a produção, é realizada. Em outras palavras, a Engenharia é a base da tipologia ETO, definindo a "rota" que o produto percorrerá pelo fluxo de processos. A maior parte do *lead time* de fabricação está concentrada nesta etapa, quando a maioria dos problemas acontece.

Segundo Walter e Ries (1996) a Engenharia pode ser considerada uma atividade quase que artesanal, sendo uma das maiores responsáveis pela qualidade do produto e pela rapidez no ciclo de desenvolvimento e posterior produção. Ainda segundo os autores, por se tratar de uma atividade muito particular para cada projeto desenvolvido, o processo de engenharia torna-se altamente ineficiente. Frequentemente sua automação se restringe a aspectos isolados, tais como o desenho (CAD) ou rotinas de cálculo específicas de aplicações. No caso de produção em quantidades elevadas, a ineficiência é suportável, pois ela antecede a fabricação, sem problemas de superposição de tarefas.

Wortmann *et al.* (1997) destaca o alto grau de dependência humana ligada à produção ETO e OKP (*One-of-a-Kind Production*), visto que as soluções para os problemas dependem fortemente da experiência dos profissionais envolvidos.

A superposição entre as fases de desenvolvimento e projeto faz com que Engenharia e Planejamento trabalhem simultaneamente. Esta situação, como já foi descrita anteriormente, é utilizada para otimizar o tempo de desenvolvimento e produção, atuando com atividades em paralelo. Porém, trata-se de uma estratégia muito arriscada visto que o processo de engenharia está em constantes modificações, gerando mudanças em todos os processos à jusante. Falhas nesta comunicação geram atrasos na compra de materiais ou compras desnecessárias, fabricações em atrasos ou perda de trabalho caso um projeto tenha sido modificado e cujo cancelamento não tenha sido informado, entre outros graves problemas. Assim, é interessante que exista um mecanismo que assegure a qualidade desta comunicação (WALTER; RIES, 1996).

Normalmente empresas OKP/ETO são especializadas em uma ou poucas linhas de produtos, sendo que estes produtos podem apresentar grandes semelhanças entre si. O aproveitamento destas semelhanças de forma a otimizar o

trabalho da Engenharia traria grandes vantagens. Além disso, com a individualidade de cada produto há o excesso de especificações de novos itens, sem a busca pelo aperfeiçoamento dos padrões já estabelecidos. Existe a necessidade de uma limitação das alternativas de projeto, reduzindo assim a grande variedade de processos (BERNARDI; WALTER, 1998).

Blevins (2004) cita alguns pontos críticos da tipologia de produção ETO divididos em algumas atividades chave do processo de desenvolvimento e produção. Os pontos críticos levantados estão relacionados aos seguintes processos: Engenharia de aplicação (ou pré-desenvolvimento) e orçamento, Engenharia detalhada, Gerenciamento de projetos, Manufatura e Suprimentos.

- **Engenharia de aplicação e orçamento:** Este processo contém duas grandes atividades: definição clara dos objetivos e requisitos do cliente e também a definição de uma estratégia de entregas e custeio que satisfaça as necessidades do cliente. Este processo possui alta interface com os departamentos de engenharia do produto, gerenciamento dos projetos e contratos. Os principais contratempos enfrentados nesta fase podem ser definidos como a geração de cronogramas falhos ou irreais bem como a falta de disponibilidade de recursos essenciais para a definição do escopo a ser apresentado ao cliente final, visto que em empresas com tipologia ETO são os recursos humanos que acumulam a experiência necessária para a definição de alguns critérios do projeto;
- **Engenharia detalhada:** Neste momento, os engenheiros de projeto fazem um detalhamento dos requisitos e especificações transformando a proposta inicial em um projeto detalhado. Segundo Rozenfeld (2006), o projeto detalhado tem como objetivo desenvolver e finalizar todas as especificações do produto para, em seguida, encaminhá-los à aprovação do cliente, à manufatura e às outras fases de desenvolvimento. Blevins (2004) cita que o ponto crítico para esta fase está no nível de detalhe e acuracidade dos dados obtidos no projeto preliminar e também na disponibilidade dos recursos para o desenvolvimento de fases do projeto. No que diz respeito à acuracidade dos dados, surge o problema de refluxo de informação e de interações desnecessárias com clientes e com outros departamentos em busca de informações faltantes. Este ponto crítico também impacta nos processos a jusante da engenharia detalhada: manufatura

e compras. Com relação à limitação de disponibilidade dos recursos, Blevins (2004) cita o desenvolvimento simultâneo de vários projetos na Engenharia e a necessidade de realização de atividades em paralelo com outros departamentos como sendo os fatores críticos a serem administrados;

- **Gerenciamento de projetos:** Esta fase consiste na definição, em linguagem contratual, dos equipamentos a serem entregues, do cronograma das entregas e dos eventos de pagamento referentes ao produto. Como pontos críticos desta fase é possível destacar o gerenciamento dos "*gates"* de projeto, muitas vezes envolvendo multas pesadas quando não cumprida a atividade. O gerenciador de contratos é o responsável pelas negociações com o cliente bem como pela passagem de informação aos processos relacionados àquela entrega. Como o desenvolvimento e fabricação de um produto ETO estão ligados a diversos setores trabalhando em paralelo, o gerenciador deve ter consigo a concentração de todas as informações relativas ao projeto em questão. Segundo Blevins (2004) são criadas "ilhas de informação" entre os departamentos envolvidos, o que dificulta uma visão sistêmica do projeto. Outro ponto crítico da fase de gerenciamento de projetos diz respeito às frequentes mudanças de requisitos e especificações durante as fases de desenvolvimento do produto. Estas mudanças geram custos e alterações nos cronogramas, o que implica na necessidade de alta flexibilidade do gerenciador para alterações de contrato quando as mudanças dos requisitos impactam em eventos de pagamento e multas contratuais. Blevins (2004) ainda cita que o gerenciamento destas mudanças está ligado a vários departamentos, o que dificulta a coleta das informações para as mudanças necessárias;
- **Manufatura e suprimentos:** Segundo Blevins (2004), nesta fase ocorrem vários "descobrimentos". Nota-se que algumas definições da Engenharia são incompatíveis com a fabricação do produto. Os pontos críticos foram definidos pelo autor como: mudanças frequentes no planejamento e no cronograma de entregas, cronogramas pouco confiáveis, pobre detalhamento das listas de materiais e especificações do produto, baixa acuracidade do inventário existente, muitas mudanças de projeto oriundos da Engenharia e baixa acuracidade no estabelecimento dos custos do projeto.

De uma forma geral, as grandes ineficiências produtivas que as empresas ETO sofrem atualmente são decorrentes de um fluxo de informação ineficiente e da falta

de um portfólio de produtos que sirvam como base para o desenvolvimento de novos produtos (plataforma de produtos), ou seja, de um planejamento estratégico dos produtos da empresa. Esses fatores fazem com que a Engenharia e o desenvolvimento de produto sejam processos lentos e artesanais, sendo em muitos casos os grandes gargalos da cadeia produtiva. Como decorrência desses problemas, são gerados altos *lead times*, baixo nível de padronização provocando baixos níveis de qualidade e baixa performance de entrega para o cliente (SAIA, 2009).

O estudo realizado por Little *et al.* (2000) a respeito de empresas ETO na Europa identificou uma variedade de questões que podem ser encontradas nestas organizações, dentre elas:

- Especificação ou configuração ineficiente na fase de vendas;
- Fraco planejamento da fase de design;
- Programação da montagem e do chão-de-fábrica ineficazes.

As áreas citadas acima geralmente são as que mais necessitam de melhorias em ambientes ETO. Um importante passo para a promoção de melhorias na performance dos processos de engenharia e produção é o entendimento do dinamismo dos processos a fim de melhorar a programação de suas atividades (LU; PETERSEN; STORCH, 2009).

As dificuldades encontradas pelas indústrias ETO fortalecem a ideia de que é necessário um controle específico para este tipo de produção, diferente dos sistemas atualmente existentes, que auxilie a automação das atividades em situações normais de produção (BERNARDI; WALTER, 1998).

2.4. Práticas de melhoria em ambientes ETO

Este tópico abordará as principais técnicas, ferramentas, metodologias e filosofias que podem ser utilizadas para a promoção de melhorias em ambientes *Engineer to Order*. O autor deste trabalho procurou selecionar as principais práticas de melhoria discutidas na literatura com o objetivo de analisar as vantagens e desvantagens de suas aplicações em sistemas produtivos classificados como ETO. A partir desta revisão bibliográfica será possível concluir o principal objetivo do trabalho: a classificação da tipologia ETO com indicações das melhores práticas de manufatura para cada situação.

2.4.1. Estratégias para a cadeia de suprimentos ETO

Gosling e Naim (2009) citaram sete estratégias que podem auxiliar empresas *Engineer to Order* a promoverem melhorias de desempenho estratégicas para a cadeia de suprimentos, reduzindo a incidência de problemas comuns a esta tipologia de produção. Seguem abaixo as descrições de cada estratégia proposta.

- **Alteração da estrutura da cadeia de suprimentos:**

A transição de uma cadeia de suprimentos da estratégia MTS para MTO ou ETO, com o intuito de aumentar sua competitividade no mercado, é fortemente discutida na literatura (HICKS *et al.*, 2001). No entanto, não existem muitos registros na literatura que explorem a transição de cadeias que operam em regime ETO para outras estratégias de produção. Amaro *et al.* (1999) reforça que a habilidade de customizar produtos nem sempre é a solução para ganhar vantagem competitiva. Em mercados altamente customizados, esta habilidade garante apenas a qualificação mínima necessária para atuar em tais mercados.

Uma possível estratégia a ser adotada pelas empresas ETO com o objetivo de melhorar o gerenciamento da alta variedade de produtos é a transição da estrutura de sua cadeia de suprimentos em direção às tipologias menos customizadas, através do conceito de modularização. No mercado da construção civil há registros de mudanças na cadeia de suprimentos através da adoção de designs modulares e da padronização dos processos do fluxo de valor (VOORDIJK *et al*., 2006). A pesquisa de Hicks *et al.* (2000a) sobre o mercado de bens de capital concluiu que as configurações modulares e a padronização de itens podem reduzir os custos e os *lead times* significativamente. A modularização promove a transformação da estrutura ETO em direção à estrutura ATO.

- **Integração da cadeia de suprimentos:**

Vrijhoef e Koskela (2000) sugerem quatro tipos de melhorias para a integração e melhor performance da cadeia de suprimentos ETO: melhoria da interface entre os processos da fábrica e os processos de toda a cadeia; melhoria de fluxo da cadeia; transferência de atividades da fábrica para a cadeia e a integração da fábrica com toda a cadeia. Jahnukainen e Lahti (1999) argumentam que práticas como o *just in tim*e (JIT) e o desenvolvimento de fornecedores, bastante utilizadas nas indústrias de produção padronizada, podem ser utilizadas na integração da cadeia. Alguns

exemplos de aplicação destas práticas são: redução do número de fornecedores, relações com fornecedores mais duradouras e intensas e controle interno da produção dos fornecedores. Hicks *et al.* (2000a) afirma que muitas lições podem ser aprendidas das empresas com produção em alto volume. Contudo, as características da produção ETO restringem significativamente a aplicação de alguns métodos tradicionais de gestão da cadeia de suprimentos. Ireland (2004) concluiu que a estabilidade da demanda e o controle são as variáveis chaves para a eficácia das técnicas de gestão da cadeia de suprimentos.

- **Gestão da informação:**

Donselaar *et al.* (2001) afirma que informações avançadas da demanda, mesmo que imprecisas ou incompletas, podem auxiliar as cadeias de suprimentos a reduzirem as incertezas sobre a demanda e a reduzirem os estoques de produtos acabados. Pesquisas sobre sistemas de gestão da informação para o controle da produção em ambientes ETO foram realizadas por alguns autores. Bertrand e Muntslag (1993) e Little *et al.* (2000) destacaram as falhas que ocorrem na utilização de sistemas MRP (*Material Requirements Planning*) para o controle da produção ETO. Eles afirmam que as características de um sistema ETO são muito diferentes daquelas consideradas por um sistema MRP. Ambos propuseram diferentes sistemas de controle customizados para lidar com o alto nível de incertezas destes ambientes e com o processo de especificação de requisitos específicos dos clientes. Karkkainen *et al*. (2003) explorou o potencial da utilização da identificação de produtos via *web* para superar os desafios logísticos das cadeias de suprimentos. Eles concluíram que muitos benefícios podem ser conseguidos através do sistema de identidade para traçar, rastrear e controlar a entrega de projetos.

- ***Business systems engineering*:**

Business systems engineering (BSE) e *business process re-engineering* (BPR) são também alternativas de melhorias em ambientes ETO. Trata-se do redesenho ou "reprojeto" dos processos de negócio do fluxo de valor dos produtos. Alguns estudos de caso observados na literatura mostram que o programa BPR conseguiu resultados significativos em medidas como tempo de ciclo, frequência de entregas, giro de estoque, margem de lucro, dentre outras. Em tais aplicações, o BPR foi utilizado em

quatro projetos de melhoria: JIT na manufatura, redução de *lead times*, integração com fornecedores e integração com os clientes. No entanto, Cameron e Braiden (2004) encontraram algumas dificuldades na aplicação do BPR em empresas ETO. O projeto de novos processos dentro de uma determinada área funcional foi considerado útil e relativamente fácil. Porém, grandes barreiras foram encontradas entre diferentes áreas funcionais e diferentes unidades de negócio. Foi identificado que a ausência de uma avaliação de risco na metodologia BPR prejudica a sua aplicação em sistemas ETO.

- **Flexibilidade:**

A flexibilidade é considerada um fator crucial para a estratégia ETO. Salvador *et al.* (2007) destaca a importância da flexibilidade de volume e de mix em sistemas produtivos de alta variedade. Além disso, os autores também consideram as flexibilidades do produto, da montagem, da mão-de-obra e dos fornecedores como características fundamentais para a excelência operacional. Contudo, foram identificados alguns *tradeoffs* associados a diferentes tipos de flexibilidade.

Holweg e Pil (2001) sugerem três dimensões para uma estratégia ETO de sucesso: flexibilidade de processos, flexibilidade de produto e flexibilidade de volume. Tu (1997) argumenta que as empresas de produção *One-of-a-Kind* necessitam de estruturas de controle e de programação da produção flexíveis e dinâmicas.

- **Redução de *lead time:***

A redução de *lead time* é considerada um dos princípios mais importantes em projetos de melhoria em cadeias ETO. Segundo Towill (2003), uma redução de *lead time* de 40% provoca uma redução de 25% na quantidade total de trabalho e nos custos. Resultados expressivos podem ser conseguidos quando a redução de *lead time* está concentrada nos principais gargalos da cadeia ETO: o projeto, o desenvolvimento de produto e os processos de compras e de licitação. A engenharia simultânea ou concorrente pode ser considerada uma das principais práticas para redução de *lead time* (PAASHUIS; BOER, 1997).

- **Melhoria do processo de desenvolvimento de novos produtos:**

Rahman *et al.* (2003) considera que as empresas ETO podem atingir os seus objetivos de negócios de uma forma mais eficaz com a redução do número de iterações e retrabalho na fase de design, identificando os requisitos dos clientes do início ao fim e garantindo qualidade na fases de design e manufatura. Os autores propuseram um modelo com requisitos definidos especificamente para indústrias ETO. Caron e Fiore (1995) estudaram a integração do processo de desenvolvimento de produto com as operações logísticas e o gerenciamento de projeto. Eles sugerem que forças-tarefa podem facilitar o fluxo de informações entre as fases de design e manufatura.

O conceito de gestão da cadeia de suprimentos, o *Supply Chain Management* (SCM), pode ser aplicado em três grandes dimensões (HUANG *et al*., 2004):

- Operacional: está relacionada com a operação diária de uma planta ou de um centro de distribuição para assegurar que seja realizada a maneira mais lucrativa de atender a ordem do cliente. Alguns exemplos incluem gestão de estoques, planejamento e controle da produção. O foco é o desenvolvimento de ferramentas matemáticas que auxiliem a eficiência operacional de toda a cadeia de suprimentos;
- Design: o design da cadeia de suprimentos foca na localização dos pontos de tomada de decisão e nos objetivos da cadeia. Um bom design deve integrar os vários elementos e favorecer a otimização de toda a cadeia, ao invés de focar nas unidades individuais;
- Estratégica: decisões estratégicas são tomadas pelos gerentes de negócio, o que demanda o entendimento do dinamismo da cadeia de suprimentos e o desenvolvimento dos seus objetivos. Esta tarefa também inclui avaliações críticas de configurações e parcerias alternativas para a cadeia de suprimentos, além da determinação das oportunidades que podem aumentar a competitividade das empresas como parte da cadeia ou da rede de cadeias.

Muitos modelos analíticos e numéricos foram propostos para apoiar as dimensões operacional e design (CHOPRA; MEINDL, 2001). Contudo, são escassos os modelos que tratam de decisões estratégicas para lidar com toda a cadeia. Segundo Huang *et al.* (2004), o modelo mais promissor para a tomada de decisões estratégicas para a

cadeia de suprimentos é o SCOR (*Supply Chain Operations Reference*), desenvolvido pelo Conselho da Cadeia de Suprimentos (SCC, 1999).

O modelo SCOR integra conceitos de processos de negócio bem conhecidos, tais como reengenharia, *benchmarking* e medição de desempenho através da reunião das seguintes informações (SCC, 1999):

- Descrições padronizadas dos processos de gestão;
- Relações entre os processos padronizados;
- Métricas padronizadas para medição de desempenho de processos;
- Práticas de gestão para produzir com excelente qualidade;
- Alinhamento padronizado entre os aspectos e funcionalidades de *software*.

Os quatro processos do modelo SCOR são (SCC, 1999):

1. Fornecimento;
2. Fabricação;
3. Entrega;
4. Planejamento.

Estes processos são definidos com maior detalhamento na descrição do funcionamento de toda a cadeia. Em seguida, os processos são divididos em elementos, tarefas e atividades. Toda cadeia de suprimentos é formada por uma cadeia de processos de fornecimento, fabricação e entrega. Cada interação entre dois destes processos é um *link* na cadeia de suprimentos. O processo de planejamento é responsável pelo gerenciamento de todos os *links*.

O modelo SCOR contém três níveis de detalhamento de processos. O primeiro nível lida com os tipos de processos. O segundo nível é o de configuração e lida com as categorias de processos. O terceiro nível trata dos elementos dos processos e é o mais baixo dos níveis do modelo. No primeiro nível, são recomendadas 12 medidas de desempenho, separadas em quatro categorias (HUANG *et al*., 2004):

- Confiabilidade de entrega: performance de entrega, taxa de atendimento, *lead time* de entrega e qualidade de entrega;
- Responsividade e flexibilidade: responsividade da cadeia de suprimentos e flexibilidade da produção;
- Custos: custos totais logísticos, produtividade de atividades que agregam valor e custos de garantias;

- Ativos: tempo de ciclo do fluxo de caixa, dias de estoque de matéria-prima e retornos de ativos.

O estabelecimento de métricas para medição de desempenho da cadeia de suprimentos, as recomendações de melhores práticas industriais e a capacidade de habilitar as funcionalidades dos sistemas da cadeia fazem do modelo SCOR uma referência para que as empresas operem com base na análise de todos os aspectos da cadeia de suprimentos.

O principal objetivo do modelo SCOR é a melhoria do relacionamento entre o mercado e a resposta estratégica da cadeia de suprimentos. Segundo Huang *et al.* (2004), no passado, existiam muitas métricas diferentes para medir o desempenho da cadeia em diferentes níveis. Pesquisadores e gerentes de negócio usavam diferentes linguagens para descrever as atividades do mercado e da cadeia de suprimentos. A grande vantagem do modelo SCOR é a proposição de um formato padronizado para comunicação. É uma importante ferramenta para que a alta gerência das empresas desenvolva e reconfigure sua cadeia de suprimentos para se atingir o desempenho desejado.

2.4.2. A Produção Enxuta

2.4.2.1. O pensamento enxuto

O termo "*Lean Production"* (Produção Enxuta) foi criado a partir do Sistema Toyota de Produção desenvolvido pelos japoneses da Toyota no período pós-Segunda Guerra Mundial. O grande foco da Produção Enxuta é a eliminação ou redução máxima de desperdícios no fluxo de valor dos produtos ou serviços. Os desperdícios perseguidos pela Produção Enxuta podem ser classificados em sete categorias: superprodução, estoques, espera, transporte, movimentação, defeitos e processamento inadequado (SCHWAIN, 2004).

Segundo Womack e Jones (1996) desperdício é qualquer atividade que absorve recursos como mão-de-obra e energia, mas não cria valor para o cliente final. Dentre todas as atividades que podem ser encontradas em um sistema produtivo, existem as atividades que agregam valor para o cliente final (AV) e as que não agregam (NAV). As atividades que não agregam valor, definidas como desperdícios, podem ser

divididas em dois grupos: atividades que são necessárias e atividades que são desnecessárias. As definições de cada tipo de atividade são mostradas a seguir:

- **Atividades que agregam valor:** são atividades que, aos olhos do cliente final, tornam o produto ou serviço mais valioso;
- **Atividades necessárias que não agregam valor:** são atividades que, aos olhos do cliente final, não tornam o produto ou serviço mais valioso, mas que são necessárias a não ser que o processo atual mude radicalmente. Essas atividades são também chamadas de *muda* tipo 1;
- **Atividades desnecessárias que não agregam valor:** são atividades que, aos olhos do cliente final, não tornam o produto ou serviço mais valioso e são desnecessárias mesmo nas atuais circunstâncias. Essas atividades são também chamadas de *muda* tipo 2 e constituem o principal alvo da Produção Enxuta.

Acredita-se que as atividades que agregam valor representam apenas 5% do tempo que é gasto em toda a cadeia produtiva. Todo o restante do tempo está concentrado em atividades que não agregam valor para o cliente final (ARAUJO, 2004).

A Figura 11 ilustra a diferença entre os enfoques de um sistema tradicional de produção (não enxuto) e o sistema de Produção Enxuta. Observa-se que a principal preocupação de uma organização tradicional está em reduzir o tempo das atividades que agregam valor (AV), ou seja, no investimento de novas tecnologias de processos, na otimização dos processos de fabricação, na compra de máquinas mais velozes, no aumento da mão-de-obra, dentre outros. Esta redução de tempo pouco afeta o *lead time* do produto pelo fluxo de valor, visto que as atividades que agregam valor representam apenas 5% desse tempo. Por outro lado, o enfoque da Produção Enxuta é a redução ou a eliminação das atividades que não agregam valor (NAV), tais como os tempos de espera, os estoques, as movimentações e os tempos de troca. Como estes desperdícios representam uma grande parcela do *lead time* do produto pelo fluxo de valor (cerca de 95%), a redução destas atividades proporciona uma grande redução de *lead time* total (HINES; TAYLOR, 2000).

Figura 11 - O enfoque da Produção Enxuta
Fonte: adaptado de Hines e Taylor (2000)

2.4.2.2. Os princípios da Produção Enxuta

Taiichi Ohno e Shingeo Shingo desenvolveram os conceitos da filosofia da Produção Enxuta que viria a se tornar um padrão mundial de referência em manufatura por todo o mundo (OHNO, 1998). Womack e Jones (1996) resumiram o pensamento enxuto em cinco princípios:

1. Definir detalhadamente o significado de valor de um produto a partir da perspectiva do cliente final, em termos das suas especificações de preço, qualidade, flexibilidade, velocidade de entrega, variedade, design, etc.;
2. Identificar a cadeia de valor para cada familia de produtos, incluindo os dados de cada operação de transformação necessária, bem como o fluxo de informação inerente a esta família de produtos;
3. Produzir em fluxo contínuo, de modo que não haja interrupções no fluxo de produção, objetivando reduzir ao máximo ou eliminar as atividades deste fluxo que não agregam valor ao produto;
4. Configurar o sistema produtivo de forma que o acionamento se dê a partir do pedido do cliente, seja ele interno ou externo, a fim de que o fluxo e a programação sejam puxados, e não empurrados;
5. Buscar a perfeição através da melhoria contínua e interminável do fluxo de valor por meio de um processo contínuo de redução de perdas.

2.4.2.3. Diretrizes para o projeto de transformação da Produção Enxuta

Rother e Shook (1999) estabeleceram uma metodologia de condução de melhorias em fluxos de valor através dos conceitos da Produção Enxuta. Os autores sugerem uma sequência de passos para que o estado atual de um determinado fluxo de valor

se transforme no estado futuro desejado, com as melhorias que se pretende obter de acordo com as necessidades da organização.

Primeiramente é necessário que uma família de produtos seja escolhida. Entende-se por família um conjunto de diferentes produtos cujo fluxo de processos é aproximadamente o mesmo. Em seguida, é desenhado e medido o estado atual do fluxo escolhido através da ferramenta de “Mapeamento de fluxo de valor”. Nesta etapa são detectados os principais desperdícios do fluxo, além do entendimento detalhado de como este fluxo processa os produtos. Na terceira etapa, a situação futura desejada do fluxo é desenhada também com o auxílio da ferramenta de “Mapeamento de fluxo de valor”. É neste momento que as melhorias necessárias para o fluxo atual são identificadas. Por fim, um plano de trabalho e de implementação é gerado para que a mudança do estado atual para o estado futuro ocorra de acordo com o planejado.

Na terceira etapa, a construção da situação futura, oito passos são sugeridos por Rother e Shook (1999):

1) Calcular o *Takt Time* da família de produtos mapeada;
2) Definir se os produtos acabados devem ser armazenados em um supermercado ou se devem ser encaminhados diretamente para a expedição;
3) Produzir em fluxo contínuo em todos os locais possíveis;
4) Implementar a lógica da produção puxada nos pontos do fluxo onde não foi possível implementar o fluxo contínuo;
5) Definir o processo puxador do fluxo;
6) Nivelar o mix de produção no processo puxador;
7) Nivelar o volume de produção no processo puxador;
8) Desenvolver a habilidade de fazer “toda peça todo dia”, aumentando a frequência com que os produtos são fabricados e, consequentemente, reduzindo o tamanho dos lotes.

2.4.2.4. Ferramentas e conceitos da Produção Enxuta

A Figura 12 mostra a “Casa da Toyota” que resume as principais ferramentas e os principais conceitos do Sistema Toyota de Produção (STP), que originou a filosofia da Produção Enxuta (LIKER, 2003). Os dois grandes pilares do STP são: o *Just in Time* (JIT) e o *Jidoka*. O JIT é composto pelos conceitos do *Takt Time*, do fluxo contínuo,

da produção puxada, do SMED (*Single minute Exchange of die*) e da logística integrada. O *Jidoka* é composto pelos conceitos de paradas automáticas, da separação entre homem e máquina, do *Andon*, dos processos de resolução de problemas e dos sistemas a prova de erros (*Poka Yoke*).

Figura 12 - A casa da Toyota
Fonte: adaptado de Liker (2003)

O *Takt Time* é definido como o ritmo com que os clientes compram os produtos de um determinado fluxo de valor. Este ritmo pode ser quantificado pela divisão do tempo total disponível de trabalho pela demanda dos consumidores finais. A Produção Enxuta objetiva atingir um ritmo de produção equivalente ao *Takt Time*. Caso a produção esteja mais rápida do que o *Takt Time* estoques em excesso serão gerados (desperdício de superprodução) e caso a produção seja mais lenta ela não conseguirá atender a demanda.

Produzir em fluxo contínuo significa processar uma peça de cada vez (*one-single-piece-flow*), sem estoques intermediários, obedecendo a ordem de que a primeira peça que entra no processo é a primeira peça a sair – FIFO (*First in First Out*). O fluxo

contínuo é facilitado pela redução dos tempos de troca e pelo balanceamento de pessoas, equipamentos e materiais.

A produção é considerada puxada quando o pedido do processo cliente ou do próprio cliente final dispara o seu início. Neste caso, nenhuma peça é produzida sem que o processo cliente solicite a sua reposição. Trata-se do oposto do que acontece na produção empurrada, na qual as peças são produzidas por meio de ordens de produção baseadas em previsões de demanda.

A troca rápida de ferramentas, peças e moldes entre a produção de dois lotes consecutivos é facilitada pela aplicação das técnicas do SMED. Quanto menor o intervalo de tempo da troca, maior é o tempo disponível para a produção de peças, favorecendo a produção em pequenos lotes e o fluxo contínuo. O principal conceito do SMED é a migração do máximo de atividades da troca que são realizadas quando a máquina está parada para serem realizadas quando a máquina está operando.

O *Jidoka* ou “qualidade na fonte” garante que os defeitos não sejam repassados ao longo do fluxo de valor. O *Poka Yoke*, por exemplo, oferece técnicas que garantem sistemas a prova de erros ou de defeitos. O *Andon* dá autonomia aos próprios operadores do chão-de-fábrica para que eles possam interromper a produção através de um sinal assim que identificarem algum problema. A eliminação de todas as formas de desperdícios e a promoção da melhoria contínua através de técnicas de resolução de problemas, como por exemplo, os cinco “porquês”, são os principais elementos da Produção Enxuta.

O nivelamento da Produção (*Heijunka*) é usado para suavizar o fluxo da produção, distribuindo melhor a carga de trabalho que a programação envia ao processo puxador, reduzindo as variações ao longo do tempo (WOMACK; JONES, 1996). Através da produção nivelada é possível garantir o modelo de montagem de produtos em alta variedade, o oposto do que ocorre na produção em massa. A padronização de processos é alcançada através do trabalho padronizado, o qual estabelece o passo a passo detalhado de cada processo (MONDEN, 1998).

A gestão visual para fornecer ao chão-de-fábrica informações atualizadas e precisas é garantida através da aplicação do 5S (sensos de utilização, ordenação, limpeza, padronização e autodisciplina) e de controles visuais (rótulos, quadros, códigos de cores e sistemas de informação visuais).

O *Kanban* e o *Conwip* (*Constant Work-in-Process*) ou controle do estoque intermediário são os dois métodos usados para a gestão do fluxo de materiais. Tais sistemas procuram melhorar o fluxo dos processos de manufatura através de um controle efetivo dos estoques (TAKAHASHI *et al*., 2005). O *Kanban* é o instrumento que garante o envio da informação na produção puxada. Por outro lado, o *Conwip* combina os elementos da produção puxada e da produção empurrada, o que permite conter a variação da carga de trabalho através de estoques pulmão entre os processos e garante uma melhor gestão da mudança de gargalos conforme a variedade aumenta.

Em resumo, a Produção Enxuta propõe uma mudança cultural da organização, pois é considerada uma filosofia e um modelo de fazer negócios. É importante ressaltar que as ferramentas e as técnicas da Produção Enxuta recebem atenção muito maior na literatura do que os conceitos fundamentais como respeito, trabalho em equipe e gestão da mudança, que são considerados os mais importantes fatores de sustentabilidade das melhorias operacionais ao longo do tempo (STUMP; BADURDEEN, 2012).

2.4.3. Customização em Massa

2.4.3.1. Definições da Customização em Massa

A primeira definição do termo “customização em massa” foi proposta pelo criador do conceito, Davis (1987). Ele afirma que a Customização em Massa (CM) é alcançada quando “muitos clientes, equivalente à produção em massa, podem ser conseguidos e, simultaneamente, atendidos individualmente como nos mercados customizados”. Posteriormente, Pine (1993) definiu a Customização em Massa como a capacidade de fornecer ao mercado alta variedade de produtos com customização individual, a preços equivalentes aos dos produtos e serviços padronizados. Hart (1995) ofereceu duas definições, sendo que uma delas é visionária e a outra é prática. A definição visionária afirma que a CM é a habilidade de entregar aos clientes tudo o que eles desejam, no momento que eles desejam, no local que eles desejam e da forma como eles desejam. A definição prática classifica a CM como o uso de processos e de estruturas organizacionais flexíveis para produzir produtos e serviços

em alta variedade, customizados individualmente, com os baixos custos de um sistema padronizado de produção em massa.

Piller (2004) apresentou uma nova definição para a CM que oferece um grau de detalhamento maior do que as definições anteriores. Segundo o autor, a CM pode ser definida como uma prática na qual os clientes têm interferência nos processos dos produtos e serviços, atendendo as necessidades individuais de cada cliente e considerando algumas características especiais dos produtos. Todas as operações são realizadas em um espaço de solução fixo caracterizado por processos estáveis, porém flexíveis e responsivos. Como resultado, os custos associados à customização não se tornam exorbitantes.

2.4.3.2. A transição para a customização

O grau de customização mais apropriado para cada organização depende do tipo de indústria ao qual ela pertence (LAMPEL; MINTZBERG, 1996). Existem dois casos extremos de customização: as indústrias de produção em massa, com produtos padronizados em altos volumes, e as indústrias O*ne-of-a-Kind*, com elevado grau de customização em baixos volumes. Uma importante consequência da transição para a "customização padronizada" é o ganho ou a perda de flexibilidade. Os produtores em massa que migram para o sistema de customização em massa conseguem aumentar a flexibilidade e a variedade de produtos. Por outro lado, empresas ETO que buscam a transição para a Customização em Massa terão suas flexibilidade e variedade reduzidas (LAMPEL; MINTZBERG, 1996).

O processo de transição para a CM pode ser motivado por diferentes razões. As empresas de produção em massa objetivam aumentar o número de opções oferecidas aos clientes. Desta forma, tais opções se tornam bastante visíveis para os clientes. As empresas ETO que buscam a CM têm outro foco na transição. O principal objetivo destas empresas é a otimização dos processos internos, como ganhos de produtividade e redução de custos. Neste tipo de transição, as mudanças realizadas nos produtos e nos processos não devem ser comunicadas aos clientes, visto que estes desejam produtos e serviços que atendam as suas necessidades individuais. A padronização em empresas ETO não deve ser visível para o cliente (HAUG *et al*., 2009).

Duray *et al*. (2000) propôs a tipologia da Customização em Massa e descreveu quatro diferentes abordagens para a sua implementação. A tipologia assume que os praticantes da Customização em Massa podem ser identificados e classificados em duas características:

1) O ponto do ciclo de produção no qual o cliente é envolvido na especificação do produto;
2) O tipo de modularidade implementada no produto.

Estas características formam a matriz que classifica os quatro tipos de "customizadores em massa": (1) *fabricators*, (2) *involvers*, (3) *modularizers* e (4) *assemblers*, como mostra a Figura 13.

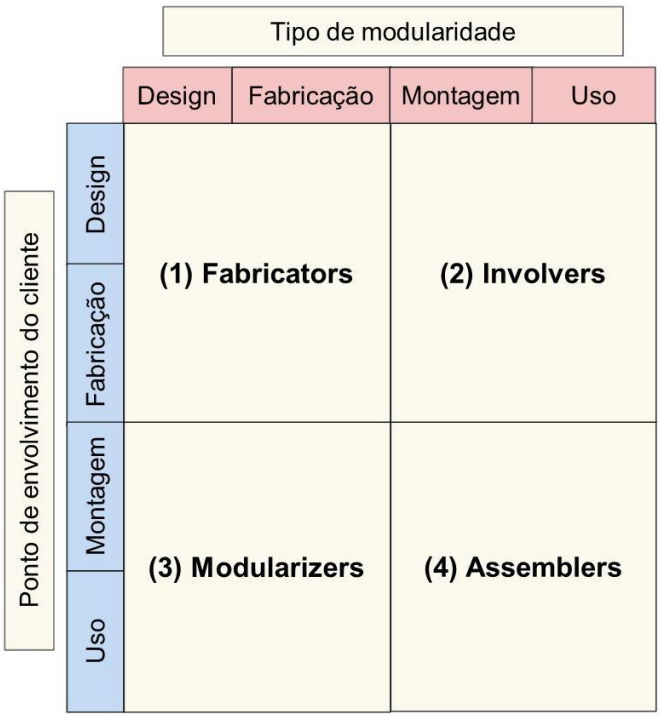

Figura 13 - Tipos de customização em massa
Fonte: adaptado de Duray *et al*. (2000)

Os *fabricators* envolvem os clientes e utilizam a modularidade durante os processos de design e fabricação. Os clientes criam o seu próprio design, porém, a modularidade pode ser utilizada em alguns momentos para promover a similaridade entre os componentes. Eles representam os praticantes da customização em massa com o maior grau de customização de produtos.

Os *involvers* se relacionam com os clientes durante as fases de design e fabricação enquanto que a modularidade é utilizada nas fases de montagem e entrega. O design deve ser criado a partir de uma seleção de módulos padronizados e nenhum novo módulo é projetado.

Os *modularizers* são caracterizados por envolver os clientes nas fases de montagem e entrega. A modularidade é utilizada nas fases de design e fabricação. O produtor utiliza módulos padronizados para projetar e fabricar um módulo base, e as necessidades específicas dos clientes são incorporadas na montagem e na entrega.

Os *assemblers* envolvem os clientes e utilizam a modularidade nas fases de fabricação e montagem, permitindo que os clientes possam escolher diferentes combinações a partir de características padronizadas.

Posteriormente, Duray (2002) ofereceu três proposições baseadas em dados coletados de 126 diferentes produtores de Customização em Massa:

1) Empresas praticantes da customização em massa fabricam produtos tanto customizados quanto padronizados na mesma planta;
2) Fabricantes de produtos padronizados e customizados adotam diferentes abordagens para a Customização em Massa;
3) Empresas que adotam a Customização em Massa e que se assemelham mais aos fabricantes de produtos customizados apresentam melhor desempenho financeiro.

As pesquisas de Duray mostram que os fabricantes de produtos padronizados têm maior representatividade nos grupos *modularizers* e *assemblers*, enquanto que os fabricantes que produzem mais de 50% de produtos customizados têm maior representatividade nos grupos *fabricators* e *involvers*.

2.4.3.3. A adoção da Customização em Massa por empresas ETO

A adoção da CM por empresas ETO pode ser motivada por diversos fatores. A transição exigiria que o trabalho da Engenharia fosse padronizado, aproximando-se da tipologia ETS(ED) (*Engineer to Stock* na dimensão engenharia) proposta por Wikner e Rudberg (2005), na qual partes da solução do produto já são definidas antes da chegada da ordem do cliente. Esta abordagem implica na postergação do CODP, gerando benefícios como: redução do tempo de entrega, cálculos de custo mais precisos, redução dos custos de especificação e redução de treinamentos para as

pessoas do departamento de Vendas. Do ponto de vista da manufatura, o aumento da padronização dos produtos customizados também gera benefícios, tais como: redução de custos de manufatura e redução de erros e de retrabalho.

Contudo, a transição das empresas ETO para a CM é acompanhada de muitos riscos. O grande desafio é encontrar o ponto da cadeia mais adequado para a divisão entre flexibilidade e padronização, ou seja, a localização do CODP. Em alguns casos, nos quais o principal objetivo é o atendimento das necessidades individuais dos clientes, e não existe similaridade entre os produtos demandados, a adequação da padronização não pode ser alcançada (HAUG *et al*., 2009).

Empresas ETO que desejam adotar a CM devem simplificar os designs dos produtos oferecidos. Esta simplificação pode gerar consequências indesejáveis, tais como: redução da capabilidade de inovação, aumento da possibilidade de imitações por parte dos concorrentes e resistência organizacional como consequência da simplificação ou “trivialização” do trabalho da Engenharia (EDWARDS *et al*., 2005). Além disso, todos os recursos necessários para padronizar as atividades que acontecem antes da chegada da ordem do cliente devem ser relacionados com o potencial dos clientes. Se os produtos são muito complexos, os custos do projeto de padronização podem ser muito elevados para que a transição seja rentável (HAUG *et al*., 2009).

A literatura que abordou a transição de empresas ETO para a CM tem um foco na tecnologia dos processos e não no impacto da mudança de negócio. Não há registros de casos reais em que empresas ETO que adotaram a prática da CM, conseguiram atingir preços de venda próximos aos dos praticados por produtores em massa. As pesquisas de Haug *et al.* (2009) também mostram que a maioria das empresas ETO não se tornam verdadeiros praticantes da Customização em Massa por não conseguirem atingir tais metas de preços. O autor questiona se as empresas ETO que buscam a CM deveriam ser rotuladas de uma outra forma ou se as definições tradicionais deveriam ser redefinidas.

Nos casos de aplicação da CM em empresas como Adidas, Swatch Via Della Spiga e Lego apenas uma pequena parte do portfólio de produtos pode ser customizada pelo cliente. A introdução desta prática nos processos de engenharia e design de indústrias ETO poderia ser interessante. A divisão de todos os processos de design e engenharia em pequenos grupos pode facilitar a automação completa de alguns

deles. Isto exigiria uma predefinição de algumas soluções do produto e um processo de especificação consistente que permita o envolvimento do cliente nos processos de design. Desta forma, uma parcela do preço de criação do produto estaria próxima aos preços praticados pelos produtores em massa. Isto significa que, no mínimo, estes produtos poderiam ser classificados como “parcialmente customizados em massa” (HAUG *et al*., 2009).

Haug *et al.* (2009) propõem uma nova perspectiva para a Customização em Massa, cuja abordagem se refere aos processos de design e engenharia. Seguem abaixo as definições da perspectiva tradicional e da perspectiva sugerida por Haug *et al.* (2009):

- Perspectiva de características dos produtos – os produtos customizados em massa podem ser produzidos a preços equivalentes aos praticados pelos produtores em massa;
- Perspectiva de processos – partes dos processos de engenharia e design podem ser automatizadas com custos comparáveis aos da produção em massa. A partir desta perspectiva, é possível classificar estes processos como “processos customizados em massa”. Nestes casos, o detalhamento do processo de design ainda é realizado por engenheiros, na forma tradicional. No entanto, os clientes informam dados de especificações básicas sobre o produto que serão introduzidos em um configurador que automatiza o processo.

O Quadro 5 resume as características gerais da transição de empresas ETO para a CM através de cinco fatores, e também realiza uma comparação com as empresas de produção em massa que migram para a CM.

Quadro 5 - A transição de empresas ETO para a customização em massa
Fonte: adaptado de Haug *et al.* (2009)

	Transição para a customização em massa	
	ETO para a customização em massa	**Produção em massa para a customização em massa**
Variedade dos produtos	Diminui/limitada	Aumenta
Visão do cliente	Cria variedade adequada	Cria variedade valiosa
Custos de manufatura	Diminuem	Aumentam pouco
Objetivo do negócio	Otimizar processos	Aumentar as vendas
Desafio da configuração dos produtos	Divulgar a base do conhecimento	Interfaces com o usuário (ex: configuradores via web)

2.4.3.4. Competências da Customização em Massa

Através dos estudos presentes na literatura e das evidências empíricas observadas, as competências da CM na manufatura podem ser classificadas nos seguintes grupos: configuração do sistema de manufatura flexível para gerenciar a unificação da produção em massa com a produção individual; modularização dos processos; planejamentos da produção e da logística centralizados e aprendizado organizacional e melhoria contínua.

O sistema de manufatura flexível é o fator chave de sucesso para a CM (MOSER, 2007). Uma empresa não alcançará benefícios da CM sem uma configuração do sistema de manufatura altamente flexível e adaptável. Algumas melhorias estratégicas foram alcançadas através dos DMS (*Dedicated manufacturing systems*) (KOREN *et al.*, 1999). Os FMS (*Flexible manufacturing systems*), frequentemente caracterizados por caras máquinas controladas por computador, são capazes de produzir uma grande variedade de produtos em altos volumes. Contudo, os FMS geralmente têm menor rendimento do que os DMS, são mais caros e são projetados para operar na capacidade máxima (KOREN *et al.*, 1999). Os RMS (*Reconfigurable manufacturing systems*) utilizam a modularização tanto nas máquinas quanto no *software* para permitir ajustes rápidos de capacidade, baixos tempos de troca (*set ups*) e rápida adaptabilidade ao *software* (MEHRABI *et al.*, 2000). Outra possibilidade, proposta por Badurdeen e Masel (2007), é o projeto de minicélulas modulares nas quais são

realizadas operações de customização. Os produtos e os componentes são encaminhados às minicélulas de acordo com a necessidade de customização. Independentemente da configuração adotada, o sistema deve ser flexível e altamente responsivo para o sucesso da CM.

A modularização é outro conceito chave para o sucesso da CM, permitindo a criação de alguns itens comuns entre diferentes produtos. Esta prática possibilita altas eficiências e facilita a CM. Ulrich e Tung (1991) definiram a modularização como "... a utilização de unidades intercambiáveis para criar variedade de produtos". Por outro lado, processos modulares permitem que os sub-processos possam ser escolhidos baseados nas características específicas dos produtos e, consequentemente, possam ser rastreados. A postergação de atividades, juntamente com a modularização de processos e de produtos, podem ser utilizadas para se atingir elevados níveis de customização.

O planejamento centralizado da produção e da logística é também muito importante para a CM. As informações das ordens dos clientes devem ser traduzidas e transmitidas ao chão-de-fábrica na forma de especificações da maneira mais eficiente possível para que o retorno seja rápido e eficaz. A variabilidade dos requisitos dos clientes pode ser bastante elevada e confusa. Isto exige que o planejamento da produção tenha uma adequada noção da capacidade de produção, da previsão da utilização dos equipamentos e do controle das medidas de capacidade para que os níveis de estoque sejam controlados e a previsibilidade seja mantida (SWAMINATHAN, 2001).

O aprendizado organizacional e a melhoria contínua são extremamente necessários em ambientes de CM, nos quais o ciclo de vida dos produtos é curto e o trabalho é bastante dinâmico. Isto exige que os trabalhadores sejam altamente qualificados e capazes de trabalhar em equipes descentralizadas e multifuncionais (PINE, 1993). Uma organização com trabalhadores intelectuais que se esforçam para ganhar mais conhecimento a respeito dos produtos e dos processos é essencial para a CM (MEHRABI *et al.*, 2000).

2.4.4. Manufatura ágil

2.4.4.1. Definições da manufatura ágil

O termo “manufatura ágil” foi criado no Fórum “*Agile Manufacturing Enterprise*” na Universidade de *Lehigh,* em 1991 (NAGEL; DOVE, 1992). Uma das primeiras definições da manufatura ágil foi detalhada como a habilidade de uma organização em sobreviver em ambientes altamente competitivos em constantes e inesperadas mudanças e responder rapidamente a essas mudanças do mercado que são direcionadas pelos clientes (LENGYEL, 1994). Dove (1995) define agilidade como capacidade de mudança e propõe quatro métricas para medir esta capacidade: tempo, custo, robustez e escopo.

Uma organização com manufatura ágil demonstra capacidade de prosperar e se reconfigurar em ambientes dinâmicos e competitivos. Em ambientes dinâmicos, mudanças constantes e inesperadas surgem de fora da organização (KASARDA; RONDINELLI, 1998). São consideradas mudanças externas à organização fatores como: políticas governamentais, novos acordos de negócios internacionais ou mudanças nas expectativas dos clientes. Goldman *et al.* (1995) destaca quatro princípios das organizações ágeis: enriquecer o cliente, cooperar para o aumento da competitividade, organizar-se para dominar a mudança e as incertezas e alavancar o impacto das pessoas e das informações. Van Assen *et al*. (2000) enfatiza a descentralização como uma característica crucial para organizações ágeis, pois permite que diferentes setores da organização consigam reagir às mudanças de forma rápida. Mason-Jones *et al.* (2000) descreve um praticante da manufatura ágil como aquele cuja demanda é volátil, a variedade dos produtos é alta, o ciclo de vida dos produtos é curto e a disponibilidade depende fortemente dos clientes.

Sharifi e Zhang (2001) definiram o conceito de agilidade como a junção de dois fatores principais: responder às mudanças da maneira certa e em tempo hábil e explorar as mudanças, extraindo delas grandes oportunidades. Os autores ainda destacaram a rápida introdução de novos produtos como uma propriedade crucial em sistemas de manufatura ágeis.

2.4.4.2. Práticas da manufatura ágil

- **A manufatura flexível:** trata-se da habilidade de fabricar produtos diferentes na mesma linha de produção. Upton (1995) acrescenta a esta definição a habilidade da linha de produção em acomodar uma crescente variedade de tipos de produtos e de processos de fabricação, em altos volumes. Sarkis (1997) apresenta os sistemas de manufatura flexíveis (*Flexible manufacturing systems* – FMS) como veículos para a transição de sistemas de produção em massa, *job shop* e ETO para sistemas de produção com alta variedade e troca rápida de produtos. Os FMS foram desenvolvidos, a princípio, como ferramentas do chão-de-fábrica para apoiar as máquinas e o transporte de materiais. Estas ferramentas podem ser implementadas tanto em ambientes de produção enxuta quanto em ambientes de produção ágil;
- **Adaptabilidade:** é um conceito de produção definido por Katayama e Bennett (1999) que significa "a habilidade de um sistema de produção de uma organização em se adaptar a demanda através do ajuste ou da modificação de sua estrutura de custeio". Os autores analisaram que nos casos de volumes de vendas mais baixos, um sistema de manufatura adaptável proporciona melhorias nos lucros das empresas. Este sistema apresenta baixos custos fixos e elevados custos variáveis, semelhante ao que acontece em sistemas de processamento em lotes ou *job shop*. Katayama e Bennett (1999) também diferenciaram os conceitos de ágil e adaptável. Eles explicam que "agilidade" tem relação de interface entre a empresa e o mercado, e "adaptabilidade" é uma característica do sistema de produção da empresa. De qualquer forma, existe uma grande intersecção entre os conceitos de adaptabilidade e agilidade, tais como aumento da variedade de produtos e a redução dos custos fixos de desenvolvimento de novos produtos. Katayama e Bennett (1999) ainda ressaltam que a adaptabilidade e a agilidade têm características comuns com as da produção enxuta, como a divisão dos produtos em famílias com o intuito de reduzir os tempos de troca e os estoques intermediários;
- **Customização em massa:** é um sistema de manufatura no qual produtos customizados são fabricados para um grande número de clientes, com custos razoáveis e alta qualidade. A customização em massa é similar à manufatura ágil no quesito respeito ao consumidor final ou ao mercado alvo. Um sistema de manufatura ágil deve responder às necessidades do cliente através da

customização. Além disso, este sistema é capaz de responder e se adaptar às mudanças dinâmicas do ambiente no qual está inserido, tais como novas regulamentações governamentais ou a necessidade de desenvolvimento de novos tipos de materiais (KRISHNAMURTHY; YAUCH, 2007).

2.4.4.3. O conceito do *Leagile*

O *Leagile* é um sistema no qual são unificadas as principais vantagens da produção enxuta (*Lean Production*) e as da manufatura ágil (*Agile Manufacturing*). Este conceito foi originalmente desenvolvido para descrever cadeias de suprimento na manufatura (KATAYAMA; BENNETT, 1999; MASON-JONES *et al.*, 2000). Uma cadeia de suprimentos consiste em um grupo de produtores ligados entre si e com um usuário situado no final da cadeia. O *Leagility* em cadeias de suprimentos é representado pela separação entre os praticantes da produção enxuta e os praticantes da manufatura ágil através do CODP.

Van Hoek (2000) discutiu o conceito do *Leagility* através da prática da postergação de atividades como um de seus principais princípios. A postergação é o adiamento de atividades operacionais em um sistema até que a ordem do cliente seja recebida. Este princípio separa a cadeia produtiva em duas porções: a parte da produção enxuta que trabalha com níveis de estoques estáveis produzidos antecipadamente e a parte da manufatura ágil que consegue produzir sob variações de volume e mix.

Mason-Jones *et al.* (2000) propuseram um modelo de *Leagile* no qual a produção enxuta e a manufatura ágil operam em diferentes pontos em uma cadeia de suprimentos. O elemento chave deste modelo é o CODP, que separa os processos enxutos dos processos ágeis. Os processos enxutos estão no início ou na primeira parte da cadeia, antes do CODP, enquanto que os processos ágeis estão localizados depois do CODP. O CODP também tem uma função estratégica para a cadeia de suprimentos, agindo como um estoque pulmão, e a sua localização depende da variabilidade da demanda e do mix de produtos. O aumento do mix de produtos e da flutuação do volume força o deslocamento do CODP para próximo do início da cadeia, tornando o sistema mais ágil. Um ambiente mais estável com variabilidade de demanda e mix de produtos reduzidos desloca o CODP para próximo do final da cadeia, tornando o sistema mais enxuto.

Prince e Kay (2003) desenvolveram um modelo similar que é aplicável em uma única planta fabril. Eles sugerem a aplicação da produção enxuta e da manufatura ágil em estágios diferentes para os mesmos processos de manufatura. A lógica proposta utiliza uma análise reforçada do fluxo de produção para identificar grupos virtuais. Grupos virtuais são grupos de máquinas e de processos em um sistema de produção nos quais as produções enxuta e ágil podem ser aplicadas. O CODP, que mantém o nível esperado do estoque pulmão, está situado entre dois grupos virtuais.

Os modelos de Mason-Jones *et al.* (2000) e de Prince e Kay (2003) mostram que a produção enxuta e a manufatura ágil estão separadas pelo CODP, e, portanto, não poderiam coexistir. Contudo, classificar um sistema de manufatura como *Leagile* depende da localização da fronteira entre os dois conceitos (no limite do sistema ou das subunidades dentro do sistema). Se, dentro de um mesmo sistema, os dois conceitos são utilizados, mesmo que separados pelo CODP, eles podem coexistir (KRISHNAMURTHY; YAUCH, 2007).

Booth e Hammer (1995) apontaram diferenças fundamentais entre a produção enxuta e a manufatura ágil:

- A produção enxuta é considerada um aprimoramento dos métodos da produção em massa, enquanto que a “agilidade” procura sair dos moldes da produção em massa e oferecer ao mercado produtos altamente customizados;
- A manufatura ágil se esforça para ganhar economias de escopo ao invés de economias de escala, procurando servir a pequenos nichos de mercado, sem os tradicionais elevados custos associados à customização;
- A manufatura ágil exige uma visão estratégica. A manufatura enxuta é tipicamente associada a melhorias no chão-de-fábrica;
- A manufatura ágil incorpora conceitos como a rápida formação de alianças entre empresas (inclusive empresas virtuais) para introduzir novos produtos no mercado;
- Uma organização enxuta é reconhecida pela sua eficiência produtiva, com baixos custos de produção de produtos e serviços;
- Uma organização ágil é caracterizada como uma organização cujo aprendizado é muito rápido e eficiente.

Devido à falta de clareza entre as definições e o escopo das duas abordagens, um debate acadêmico foi iniciado na literatura para discutir as filosofias das produções

enxuta e ágil e suas aplicabilidades. Segundo Gosling e Naim (2009), alguns autores afirmam que a produção enxuta é um pré-requisito para a produção ágil. Outros argumentam que a produção enxuta é um grande guarda-chuva do qual a produção ágil faz parte. Definições práticas para diferenciar as duas abordagens destacam que a produção enxuta objetiva desenvolver um fluxo de valor enxuto, sem desperdícios e com a produção nivelada de acordo com a demanda, enquanto que a produção ágil procura utilizar o conhecimento do mercado e uma corporação virtual para explorar oportunidades lucrativas em mercados voláteis.

A Figura 14 mostra os principais elementos e diferenças entre a produção em massa, a produção enxuta e a produção ágil. Nota-se a evolução do conceito da produção enxuta para a nova filosofia de gestão da produção ágil. Enquanto a produção enxuta é conhecida por “fazer mais com menos”, a produção ágil traz uma mudança de paradigma com foco nas competências essenciais.

Figura 14 - Diferenças entre as produções em massa, enxuta e ágil
Fonte: adaptado de Jin-Hai *et al.* (2003)

2.4.4.4. *Leagile* em ambientes ETO

As estratégias da produção enxuta e da produção ágil foram indicadas em ambientes ETO por alguns autores. Koskela (1992) destacou que a indústria da

construção civil, exemplo clássico de um ambiente ETO, precisava da adoção de novas filosofias baseadas nas metodologias, técnicas e ferramentas emergentes associadas à produção enxuta. Egan Report (1998) argumentou que os princípios da produção enxuta como a padronização, o JIT e o relacionamento a longo prazo com fornecedores deveriam ser adotados por empresas ETO. O Grupo Internacional de *Lean Construction* (IGLC) foi formado e muitos pesquisadores adotaram o termo "*Lean Construction"* (Produção Enxuta aplicada à construção civil) em seus trabalhos. Pesquisas como as de Saia (2009) e Bezerra (2011) mostraram que a filosofia da produção enxuta pode ser adaptada aos ambientes ETO, mesmo que algumas ferramentas, como por exemplo, a produção puxada, não sejam totalmente aplicáveis nestes sistemas produtivos.

O conceito de agilidade foi sugerido como uma estratégia adequada para os ambientes ETO, porém recebeu menor atenção na literatura. Gunasekaran e Ngai (2005) afirmaram que a produção ágil traz uma abordagem mais completa para as cadeias de suprimento ETO, dado que os conceitos desta estratégia se relacionam melhor com as características de sistemas de produção altamente customizados e voláteis do que os conceitos trazidos pela produção enxuta. Contudo, poucos registros podem ser encontrados na literatura a respeito de implementações da produção ágil ou do *Leagile* em tipologias ETO.

2.4.5. Teoria das restrições

A teoria das restrições (*Theory of Constraints* – TOC), proposta por Goldratt (2004), foca na identificação de restrições ou gargalos que determinam o ritmo dos sistemas produtivos, e podem ser utilizados como "maestros" da produção. A teoria defende que o controle é estabelecido através do mecanismo "tambor-pulmão-corda" (*drum-buffer-rope* – DBR), no qual o gargalo é o tambor que dita o ritmo da produção, o pulmão é o estoque localizado entre o gargalo e os processos seguintes para evitar que o sistema pare de produzir caso o gargalo pare e a corda representa a puxada de produtos fornecidos pelos processos anteriores pelo gargalo (GOLDRATT, 2004), conforme ilustrado na Figura 15.

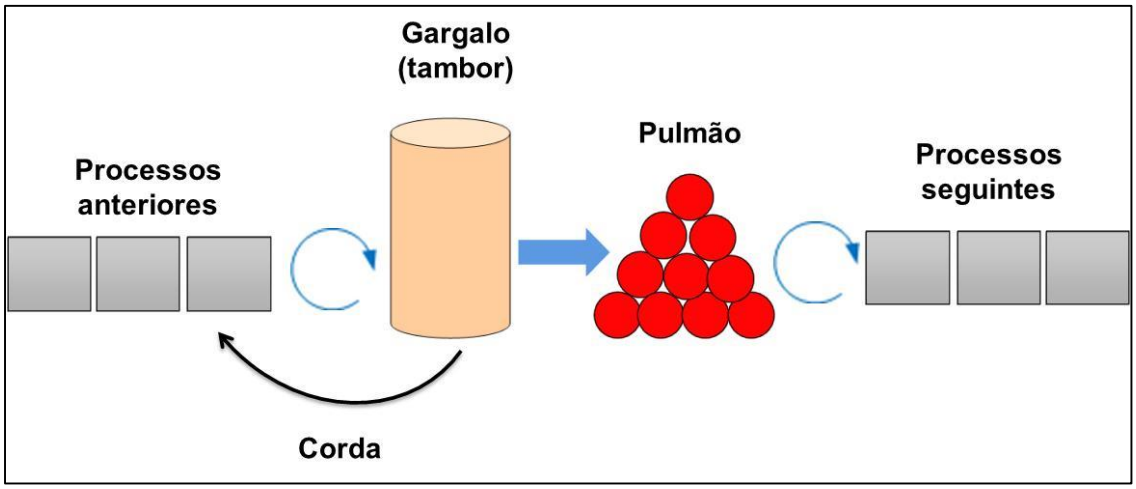

Figura 15 - O mecanismo tambor-pulmão-corda da TOC
Fonte: adaptado de Goldratt (2004)

Segundo Goldratt (2004), uma restrição ou gargalo é “qualquer coisa que impeça o sistema de atingir um desempenho maior em relação à sua meta”. Para aumentar a capacidade do sistema é necessária a promoção de melhorias no recurso restrição. Em outras palavras, otimizações locais isoladas em recursos que não são restrições do sistema, não conduzem à otimização global do mesmo.

A TOC propõe uma metodologia de cinco passos:

1) Identificar a restrição do sistema;
2) Explorar a restrição do sistema;
3) Subordinar todo o resto à decisão acima;
4) Elevar a restrição do sistema;
5) Se em algum passo anterior a restrição for quebrada, iniciar o passo 1 novamente.

Resumidamente, a TOC proporciona uma sistemática para o controle de estoques e para estabelecer o ritmo de produção desejado no chão-de-fábrica. No entanto, a literatura sobre a quantificação da efetividade da integração da TOC com a produção enxuta é escassa. Stump e Badurdeen (2012) ainda destacam que a aplicação da TOC em sistemas de customização em massa é muito difícil de ser realizada. Em ambientes altamente customizados, como os sistemas ETO, a identificação e o aumento da capacidade de gargalos é ainda mais difícil.

2.4.6. Quick Response Manufacturing

A *Quick Response Manufacturing* (QRM) é uma estratégia de controle da manufatura muito útil em situações nas quais a variedade de produtos é bastante alta. A QRM procura reduzir os *lead times* entre todas as operações para ganhar responsividade ao consumidor final através da implementação do *paired cell-overlapping-loops of-cards-with authorization* (POLCA) ou "cartões de autorização entre loops sobrepostos de células pareadas". Esta sistemática é usada para o controle do fluxo e dos estoques em ambientes de manufatura com elevado número de rotas de produtos complexos (SURI, 1998; FERNANDES; CARMO-SILVA, 2006).

Os cartões POLCA são usados para definir as rotas dos produtos entre duas células. Eles se juntam ao produto quando este entra na primeira célula da rota e se separam quando o produto sai da segunda célula, controlando os níveis de estoque entre cada par de células e por todas as rotas do produto, como está ilustrado na Figura 16 (SURI, 1998).

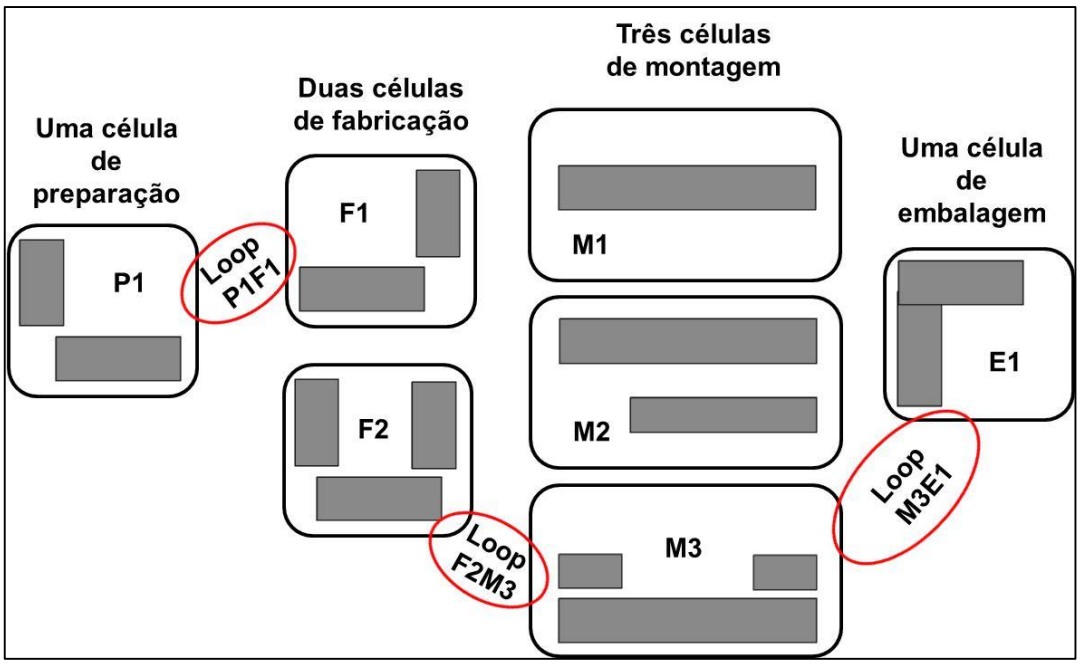

Figura 16 - Sistemática de controle POLCA da QRM
Fonte: adaptado de Suri (1998)

A QRM e o POLCA aparentam constituir um sistema robusto que pode auxiliar ambientes de produção nos quais a customização e a variedade são elevadas e a adoção da produção enxuta juntamente com a Customização em Massa se torna difícil. Os princípios da produção enxuta, como por exemplo, o JIT, a produção puxada

e o nivelamento da produção, podem falhar nestes casos, e o controle de estoques via cartão *kanban* parece ser impossível. A aplicação do POLCA para controle de estoques e redução de *lead time* em situações de elevado grau de customização pode trazer grandes benefícios. No entanto, é possível a utilização do POLCA juntamente com o controle via *kanban*. Neste caso, o POLCA realizaria a gestão de rotas e de estoques entre células, enquanto que o *kanban* controlaria o fluxo de materiais dentro de cada célula (SURI, 1998; FERNANDES; CARMO-SILVA, 2006).

3. ESTUDO MULTICASO EM AMBIENTES ETO

Este Capítulo apresentará um estudo multicaso que envolve projetos de melhoria em processos produtivos de organizações classificadas como *Engineer to Order*. Os projetos foram desenvolvidos pela Consultoria *Hominiss Consulting*, uma empresa especializada no desenvolvimento de sistemas produtivos baseados nos conceitos da Produção Enxuta, em diversos setores da indústria. O autor deste trabalho realizou previamente uma análise da carteira de projetos da Consultoria com o objetivo de selecionar todos os projetos que envolveram implementações de melhoria em ambientes ETO.

Foram selecionados nove projetos realizados em empresas classificadas como ETO, dos quais três tiveram a participação do autor deste trabalho. Em todas as empresas selecionadas havia a interferência do cliente no design ou desenvolvimento dos seus produtos. No entanto, cada uma destas empresas apresenta características distintas de diferenciação dos seus produtos, seja no momento ou no grau de complexidade da interferência do cliente. O objetivo deste Capítulo é a identificação das variadas características que um fluxo de processos ETO pode assumir.

3.1. Estudo de caso 1 – Empresa A

3.1.1. Descrição da empresa A

A empresa “A” é de médio porte, pertence ao setor de Vestuário e Moda e está localizada na cidade de Goiânia, no estado de Goiás. Apresenta um quadro com aproximadamente 300 funcionários. Seus produtos são representados por três marcas próprias de vestuário de moda masculina (uma voltada para o público infantil, uma para o público jovem e outra para o público adulto). A marca adulta e a marca jovem são comercializadas em três coleções ao longo de um ano (Inverno, Primavera-Verão e Alto-Verão). Por sua vez, devido a características de mercado diferentes e estratégia comercial da empresa, a marca infantil possui somente duas coleções (Inverno e Verão).

Cada coleção, de cada marca conta com aproximadamente 200 referências. Isso totaliza uma variedade de cerca de 1.600 tipos de modelos de roupas. Além disso,

toda essa variedade de produtos tem um ciclo de vida de 3 a 4 meses, dependendo da coleção. Ao final desse período, todos os produtos são substituídos devido à chegada da nova coleção, dificultando pontos essenciais como planejamento de compra de materiais e cálculo de previsão de vendas.

Uma peça de roupa é basicamente composta por 7 componentes: o tecido, a linha do bordado, a linha da facção que une as peças, os botões, a etiqueta da marca, a etiqueta do tamanho, a gola e o punho.

A empresa “A” é responsável por todo o processo de desenvolvimento dos produtos desde a seleção das matérias-primas, como tecidos e aviamentos (botões, zíperes, etiquetas, etc.), desenho dos modelos e desenvolvimento dos processos produtivos. Isto classifica a tipologia de produção da empresa “A” como ETO. Embora a produção seja repetitiva dentro de uma coleção, existe a fase de desenvolvimento de produtos novos entre coleções, a cada 3 ou 4 meses, que dura aproximadamente 7 meses.

A empresa realiza suas vendas para mais de 2.000 lojas de varejo de todo o Brasil através de cerca de 80 representantes, os quais recebem comissão baseada na quantidade vendida. A cada coleção, é enviado para eles um “mostruário” contendo um exemplar (em uma cor e tamanho) de cada uma das referências disponíveis para a venda. Após o recebimento dessa carga, os representantes realizam uma “rota de vendas” que contempla os clientes de sua região. Esses observam o “mostruário” e o catálogo da coleção para decidir quais referências serão pedidas e qual a quantidade ordenada de cada uma. É importante notar que devido ao modelo de vendas (baseado em representação e “rota de vendas”) e ao prazo de entrega dos pedidos, a maioria dos clientes só realiza um pedido por coleção. Isso faz com que eles assumam grande parte dos riscos de falta e sobra de estoques.

A maioria dos clientes são lojas de varejo de pequeno porte, os quais aceitam certa variação sobre o pedido (quantidade e mix) e pontualidade de entrega sem estabelecer penalizações, como multas. Por outro lado, esses clientes também vendem produtos de outras marcas (conceito que é denominado de loja multimarcas), de forma que há grande concorrência por espaço no ponto de venda e volume de compra dos clientes (tanto dos varejistas quanto dos consumidores finais). Isso indica que atrasos nas entregas ou remessas incompletas podem penalizar a empresa no curto prazo, através de espaço e vendas perdidas, ou no médio prazo, através de

menos compras do varejista na próxima coleção. Inclusive, uma grande quantidade de sobra de produtos em determinado ponto de venda, também impactará negativamente as vendas futuras da empresa para esse varejista.

3.1.2. Fluxo macro de processos da empresa A

Primeiramente, representantes da equipe de desenvolvimento da empresa “A” coletam informações de mercado com as tendências da coleção, um ano antes. Tais informações disparam o trabalho de desenvolvimento dos produtos da coleção, que inclui as atividades de desenho dos modelos e projeto dos processos produtivos. O desenvolvimento dos produtos acontece uma vez por coleção, a cada 3 ou 4 meses.

Depois de desenvolvidos, os vendedores apresentam aos potenciais clientes o mostruário contendo um exemplar de cada cor de cada peça. Para todos os clientes, o pedido é anotado pelos representantes em um *palmtop*, de modo que as informações são enviadas frequentemente para a empresa. As previsões são importantes, pois, apesar de exigir um prazo até a entrega dos pedidos, esse tempo não é suficiente para que a empresa utilize uma política de produção *Make to Order*. Portanto, as previsões de demanda são utilizadas para planejar a liberação de ordens que irão repor os estoques. Esse fato mostra que a empresa está sujeita aos efeitos de falta e sobra apresentados anteriormente.

Depois da chegada dos pedidos firmes dos clientes, o PCP programa a fábrica em lotes semanais de acordo com os projetos dos processos realizados no desenvolvimento e com a capacidade dos recursos da fábrica. Em seguida, a produção entra em um ciclo repetitivo de fabricação para produzir as quantidades desejadas pelos clientes. É interessante destacar que no período entre coleções a tipologia de produção da empresa “A” é classificada como *Engineer to Order* e durante a fabricação dos produtos da coleção, sua tipologia pode ser classificada com *Make to Order*.

A Figura 17 mostra, de uma forma macro, como é o fluxo de processos produtivos da empresa “A”.

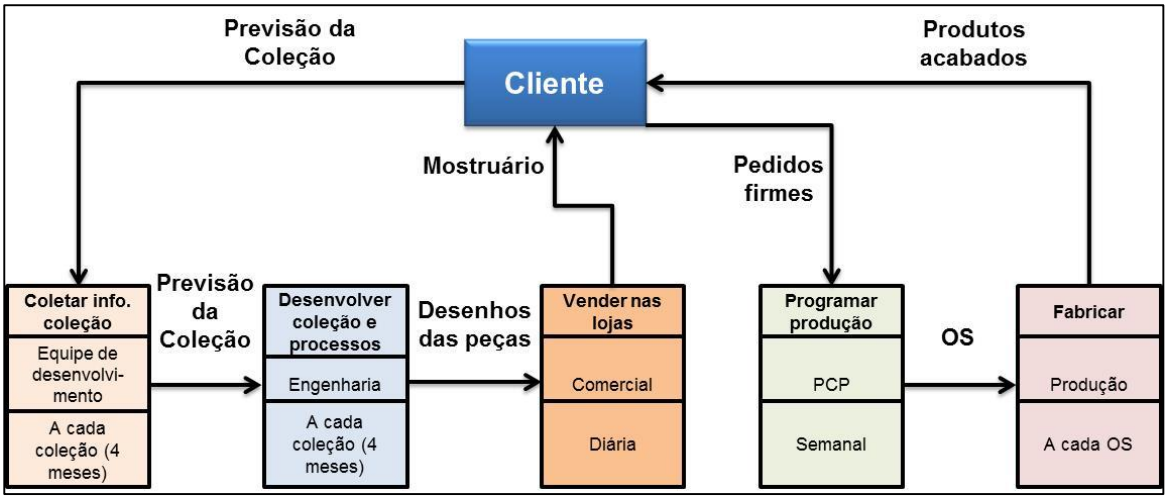

Figura 17 - Fluxo macro de processos da Empresa A

3.2. Estudo de caso 2 – Empresa B

3.2.1. Descrição da empresa B

A empresa “B” é de pequeno porte, com um quadro de aproximadamente 120 funcionários, pertencente ao setor industrial metal-mecânico. Os principais produtos fabricados são as bombas centrífugas hidráulicas e válvulas de configurações e tamanhos variados. Os clientes desses produtos atuam em segmentos industriais como: açúcar e álcool, papel e celulose, química e petroquímica, óleo e gás, mineração, saneamento, siderurgia e mecânica.

Dentre os produtos fabricados pela empresa “B”, o mais representativo financeiramente é a bomba centrífuga hidráulica. Uma bomba hidráulica é composta basicamente por quatro componentes: mancal, eixo, carcaça e rotor. Os clientes exercem um papel ativo em toda a fase de projeto e desenvolvimento através do fornecimento de dados e requisições desejados. Cada produto fabricado é praticamente único. São inúmeras as possibilidades de configurações de produtos que a empresa pode oferecer, o que gera um baixo nível de padronização dos processos de negócio.

O tipo de produção da empresa “B” se enquadra nas características da tipologia ETO. Para cada produto vendido pelo departamento Comercial, uma ordem é

encaminhada ao departamento de Engenharia que projeta e desenvolve praticamente todo o produto antes que a produção inicie o seu trabalho. As bombas solicitadas pelos clientes são altamente customizadas, com características específicas, o que resulta em longos e variáveis *lead times* de projeto e desenvolvimento. O *lead time* total de fabricação chega a variar de 40 a 150 dias.

3.2.2. Fluxo macro de processos da empresa B

O fluxo de processos de fabricação da empresa “B” exemplifica o tipo clássico de produção *One-of-a-Kind.* O cliente entra em contato com um representante do departamento Comercial para solicitar um orçamento. Neste momento são informados alguns dados e especificações básicas sobre o equipamento. O pedido de orçamento é então encaminhado à Engenharia para que um projeto básico possa ser realizado. A partir deste projeto básico, são estimados os custos de fabricação e o *lead time* total de entrega para o cliente. Em seguida, o orçamento completo é encaminhado ao cliente.

Depois de aprovado o orçamento, o pedido do cliente volta à Engenharia para a realização da engenharia detalhada do produto. Neste momento são realizados todos os cálculos, as simulações CAD e geração dos desenhos das peças do equipamento. Nesta fase, a troca de informações com os clientes é muita intensa. Mesmo depois de iniciado o detalhamento do projeto, muitos dados e requisições são ainda solicitados pela Engenharia para a continuidade do trabalho. Em seguida, os desenhos de fabricação são encaminhados ao PCP (Planejamento e Controle da Produção) que libera as ordens de serviço (OS) para a usinagem e a montagem dos componentes de acordo com a capacidade dos recursos da fábrica.

A produção de todos os principais componentes é realizada somente depois da chegada das ordens de serviço. Não há estoques de componentes semi-acabados. Os únicos itens que podem ser mantidos em estoque são itens classe C baratos e de uso comum aos produtos, tais como: parafusos, porcas e arruelas. A montagem e o acabamento dos produtos são processos artesanais e manuais.

A Figura 18 exemplifica o fluxo macro de processos de fabricação da empresa “B”.

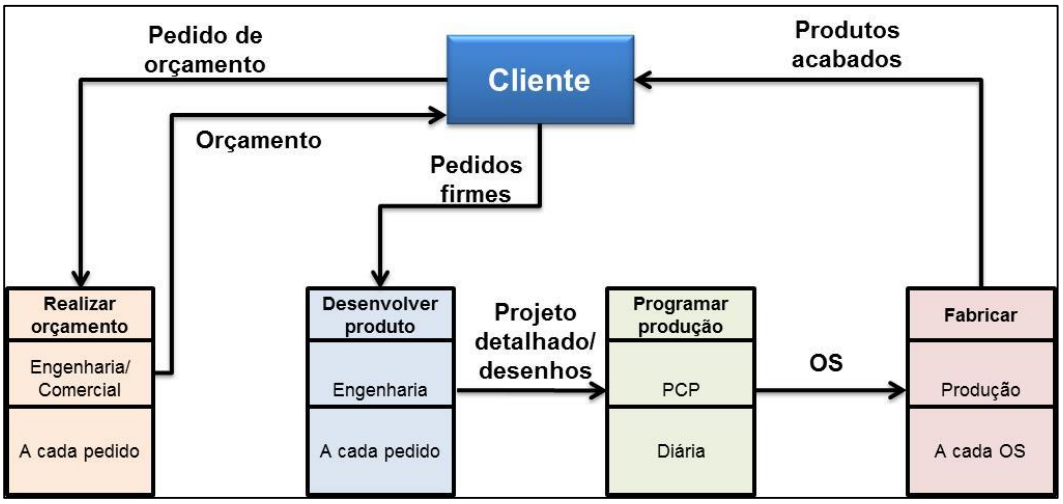

Figura 18 - Fluxo macro de processos da Empresa B

3.3. Estudo de caso 3 – Empresa C

3.3.1. Descrição da empresa C

A empresa “C” é também de pequeno porte e apresenta um quadro de aproximadamente 160 funcionários. Atua no setor de fabricação e construção de estruturas metálicas para variados segmentos de mercado que vão desde o Sucroalcooleiro até o Petrolífero.

O cliente típico da empresa “C” deseja construir uma obra formada por grandes blocos de estruturas metálicas. Uma estrutura metálica é composta basicamente pela união de três tipos de componentes: chapas, perfis e cantoneiras. Contudo, o tipo de material e as dimensões destes componentes são definidos pelo cliente no momento da compra. Milhares de combinações de produtos podem ser conseguidas com a variação dos parâmetros em questão. Além disso, a forma como é montada a estrutura metálica pode assumir infinitas configurações, visto que uma obra de construção civil é única e específica para cada cliente. Portanto, os produtos fabricados pela empresa “C” sofrem grande variação de mix e de volume.

A tipologia de produção da empresa “C” é classificada como ETO, visto que todos os requisitos dos clientes são encaminhados à Engenharia para o desenvolvimento completo dos produtos, incluindo o cálculo estrutural, as simulações, o projeto de fabricação e a elaboração dos desenhos de fabricação de componentes e de

montagem. O *lead time* de fabricação das estruturas para uma obra inteira pode variar de 2 a 6 meses, sendo que 80% deste intervalo de tempo está concentrado na etapa de desenvolvimento do produto.

3.3.2. Fluxo macro de processos da empresa C

O fluxo começa com o pedido de orçamento solicitado pelo cliente. O orçamento é realizado conjuntamente entre os departamentos do Comercial e da Engenharia, devido às questões técnicas envolvidas. Depois de aprovado o orçamento, o pedido de fabricação é encaminhado à Engenharia para o desenvolvimento da engenharia simplificada. Neste momento são disparadas as compras de matéria-prima e um projeto básico é concluído. Este projeto básico é encaminhado a um parceiro, terceiro à empresa "C", que realiza os cálculos estruturais de toda a obra e repassa à Engenharia para que o projeto detalhado possa ser concluído.

A Engenharia é responsável por elaborar todos os desenhos de fabricação e montagem dos componentes, os quais são encaminhados ao PCP que programa a fábrica através de ordens de serviço.

A fábrica produz exatamente o que os desenhos de fabricação e montagem determinam. Não há pontos de estoque intermediário de peças aguardando ordens de fabricação. Nota-se que cada produto é único e depende inteiramente das especificações dos clientes. A Figura 19 mostra o fluxo descrito acima.

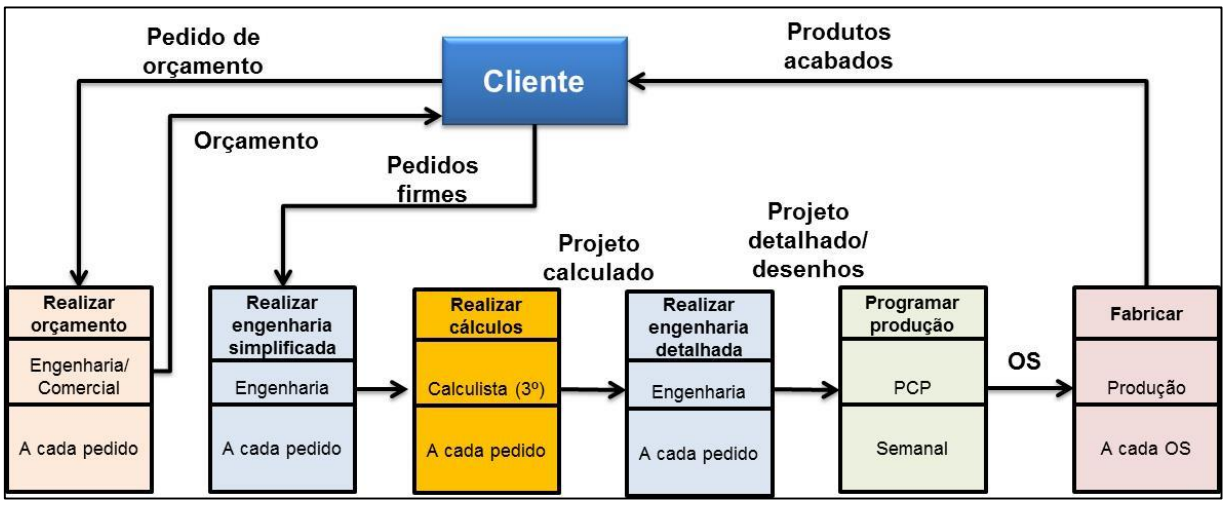

Figura 19 - Fluxo macro de processos da Empresa C

3.4. Estudo de caso 4 – Empresa D

3.4.1. Descrição da empresa D

A empresa “D” é classificada como de médio porte e apresenta um quadro de cerca de 1.100 funcionários. Possui 21 anos de existência, é de capital 100% brasileiro e engloba cinco unidades de negócio, dentre elas: fabricação de redutores, destilaria, agropecuária, bens de capital e prestação de serviços de assistência técnica localizada na cidade de Nuremberg, na Alemanha. O presente estudo de caso abordará a unidade de negócio de bens de capital, a qual representa 65% do faturamento total e foi o foco do escopo do projeto de consultoria. Esta unidade de negócio atua no setor de geração de energia, mais especificamente no desenvolvimento e fabricação de turbinas movidas a vapor para geração de energia com grande participação no mercado Sucroalcooleiro.

Uma turbina a vapor é composta por uma carcaça, corpos de mancais, mancais, palhetas, rotores, válvulas e diafragmas ou porta palhetas. Todos estes componentes são usinados e preparados para uma montagem final. Por se tratar de um bem de capital e por ser um produto de altíssimo valor agregado, o seu preço de venda assume valores muito elevados, requerendo que as partes compradoras necessitem de um plano de investimento para realizar a compra da máquina desejada.

A tipologia de produção da empresa “D” é essencialmente ETO, pois possui uma fase muito clara de desenvolvimento de produto. Todos os equipamentos vendidos passam pelo processo de desenvolvimento de produto antes de entrar na produção, devido ao fato de que cada máquina deve estar de acordo com as características técnicas e geométricas da fonte geradora de vapor do cliente. Contudo, nem todas as partes do equipamento necessitam de desenvolvimento. O que diferencia uma turbina de um determinado cliente para outro é a customização de dois componentes que representam o “coração” do equipamento: a carcaça e o rotor. Os outros componentes podem ser padronizados e não recebem a interferência do cliente. O *lead time* total de fabricação de uma turbina de médio porte é de aproximadamente 14 meses, dos quais 4 meses são dedicados ao desenvolvimento do produto.

3.4.2. Fluxo macro de processos da empresa D

Primeiramente, o cliente solicita à empresa “D” um orçamento da turbina desejada. Nesta fase, chamada de Pré-análise, são coletados do cliente os principais dados que irão definir o tipo de equipamento a ser desenvolvido. Estes dados se resumem a pressão de vapor, a temperatura de funcionamento, a temperatura de refrigeração e a velocidade de rotação da turbina.

Depois de aprovado o orçamento, a equipe de desenvolvimento inicia a fase da engenharia detalhada dos componentes a serem customizados. Embora a empresa “D” desenvolva e fabrique turbinas completamente customizadas para alguns clientes, cerca de 80% de seus produtos são parcialmente padronizados. Nestes casos, são desenvolvidos o rotor e a carcaça de acordo com as especificações passadas pelos clientes. Os demais componentes, como os mancais, os corpos de mancais, as válvulas e os diafragmas, foram previamente desenvolvidos e podem ser padronizados para a maioria dos clientes.

O rotor é o componente mais importante a ser customizado. Ele é composto pelo eixo principal e pelas palhetas. As informações a respeito da pressão de vapor, temperatura e rotação determinam a configuração do rotor, ou seja, as dimensões do eixo e o espaçamento, o ângulo e a altura das palhetas. A carcaça é desenvolvida de acordo com a definição da configuração do rotor.

Conforme os desenhos técnicos das peças são liberados pela Engenharia, o PCP programa a fábrica de acordo com a sua capacidade. Os componentes padronizados podem ser produzidos para estoque enquanto aguardam a chegada das ordens de montagem do equipamento. Não há a necessidade de desenvolvimento de processos de fabricação.

A Figura 20 exemplifica o fluxo de processos da empresa “D”.

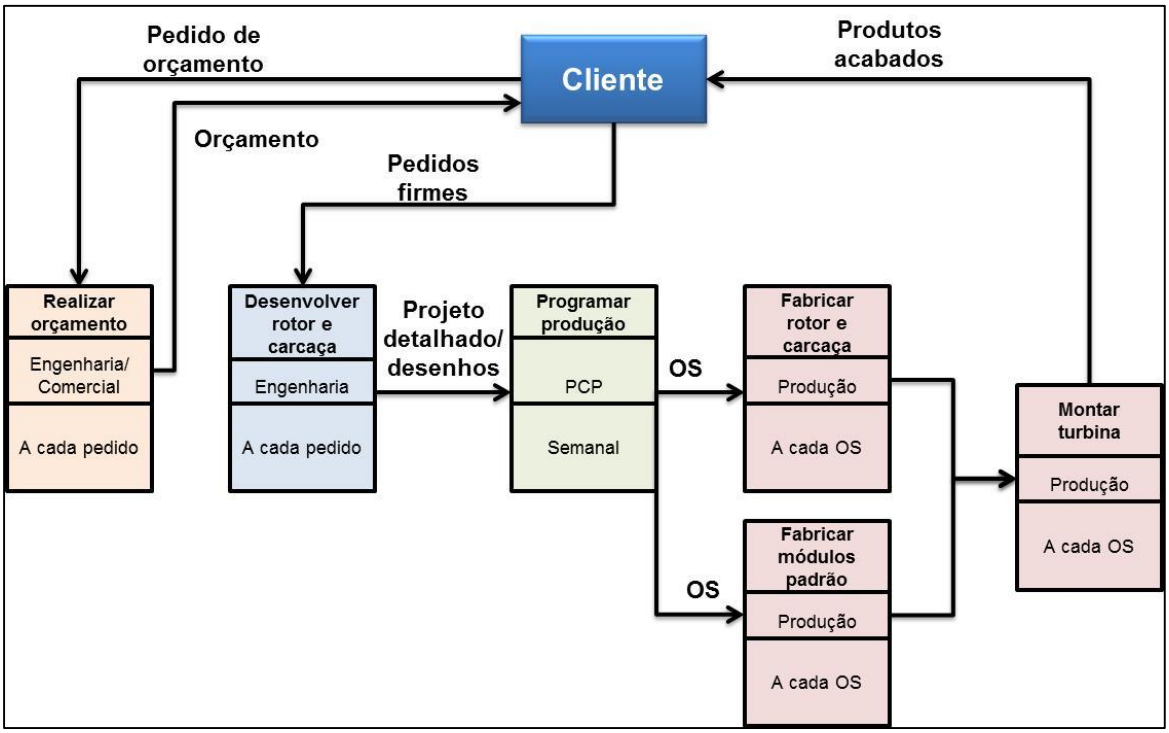

Figura 20 - Fluxo macro de processos da Empresa D

3.5. Estudo de caso 5 – Empresa E

3.5.1. Descrição da empresa E

A empresa “E” possui uma única planta fabril localizada no interior do estado de São Paulo e apresenta um quadro com cerca de 200 funcionários. É considerada uma empresa líder do mercado brasileiro de vidros laminados para a construção civil.

Dentre as famílias de produtos que a empresa fabrica, destacam-se os vidros laminados, vidros insulados, vidros serigrafados e vidros temperados. A família mais representativa para a empresa, contribuindo com cerca de 60% do faturamento, é a família de vidros laminados para a construção civil. Os vidros laminados são compostos por duas ou mais lâminas de vidro, intercaladas com uma ou mais películas de um material chamado de Polivinil Butiral.

A tipologia de produção da empresa “E” pode ser considerada como ETO, pois os pedidos dos clientes disparam o desenvolvimento ou alterações do projeto do produto. As dimensões dos vidros requisitadas pelos clientes podem assumir variados valores, não sendo possível a determinação de produtos padronizados, exceto por uma

subfamília de vidros laminados chamada de chapas laminadas, as quais são vendidas a pequenos vidraceiros.

Os pedidos são feitos pelos clientes no início da obra, porém, ainda não é possível iniciar a sua produção, pois a quantidade solicitada é estimada. Próximo ao final da obra, após a conclusão da etapa estrutural, os espaços que devem ser preenchidos por vidro são finalmente calculados e a necessidade de medidas é então repassada à equipe de desenvolvimento. Nota-se que a única interferência do cliente no desenvolvimento do produto é realizada na definição das dimensões do vidro, tais como largura, comprimento e espessura. O material do qual é feito o vidro pode ser escolhido dentre algumas opções padronizadas. O *lead time* total de fabricação dos pedidos da empresa “E” varia de 1 a 2 meses.

3.5.2. Fluxo macro de processos da empresa E

A fabricação de vidros laminados pela empresa “E” só é iniciada com a chegada de pedidos firmes dos clientes. Estes informam qual é o tipo do material, a quantidade e as dimensões físicas (largura, comprimento e espessura) do vidro desejado. Depois de calculadas com precisão todas as dimensões dos vidros da obra do cliente, o departamento de desenvolvimento de projetos inicia o processo de projetar e desenhar os vidros solicitados. O *input* do desenvolvimento de produtos são os parâmetros físicos das peças e o *output* deste processo são os desenhos finais dos vidros para a fabricação.

Nota-se que o processo de desenvolvimento de produtos da empresa “E” é mais simples e mais rápido do que ocorre em empresas ETO do tipo *Onde-of-a-Kind*. O *lead time* de desenvolvimento na empresa “E” dura cerca de 15 dias e engloba atividades de alterações de parâmetros. Em empresas do tipo OKP, este *lead time* consome em média de 2 a 4 meses de desenvolvimento, visto que atividades mais complexas são necessárias tais como: cálculo estrutural, simulações e definições de material.

Antes da implementação do projeto de *Lean Manufacturing* realizado pela consultoria, o PCP programava a produção do gargalo (processo de laminação) preenchendo a sua capacidade com base na metragem quadrada de peças que iriam ser processadas. No entanto, esta programação não permitia o controle de produtividade do gargalo, visto que a área das peças não possui relação com o tempo

de ciclo delas no processo. Isto dificultava a programação, pois não se sabia ao certo qual era a real capacidade do processo.

O projeto de melhoria conduzido pela consultoria implementou a programação da produção por pontos. Isto significa que cada peça a ser processada recebe uma pontuação que é calculada de acordo com o seu tempo de ciclo no processo gargalo. Desta forma, a programação passou a ser baseada em variáveis que influenciavam no tempo das peças, tais como espessura, largura e comprimento, e não mais em metros quadrados.

A Figura 21 representa o fluxo macro de processos da empresa “E”.

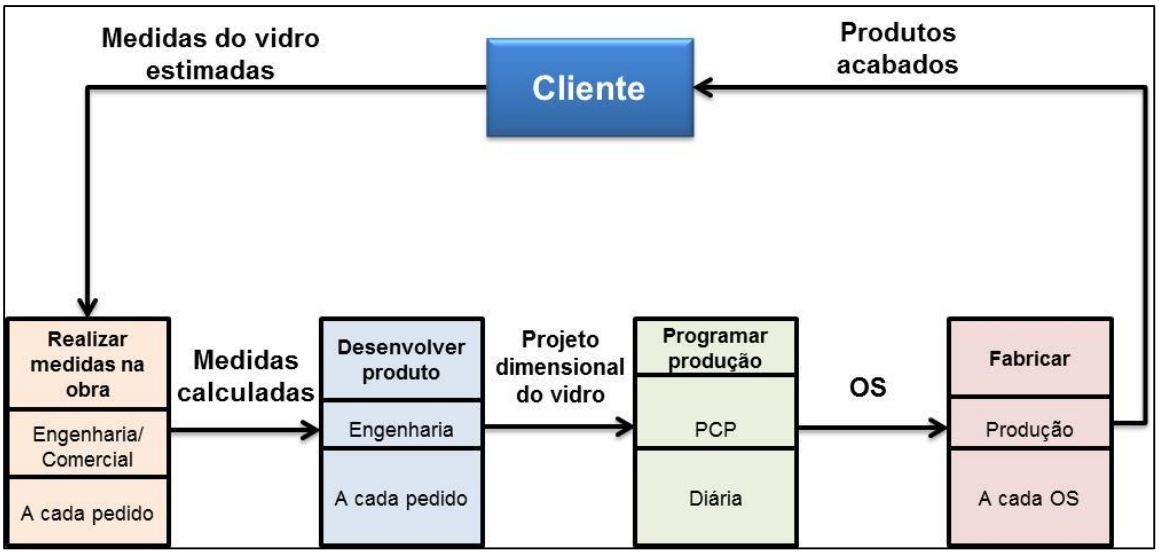

Figura 21 - Fluxo macro de processos da Empresa E

3.6. Estudo de caso 6 – Empresa F

3.6.1. Descrição da empresa F

A empresa “F” pode ser classificada como de médio porte. Está localizada no interior do estado de São Paulo e conta com aproximadamente 500 funcionários. O mercado de atuação da empresa “F” é o de equipamentos odontológicos, sendo a grande responsável pelo pioneirismo na pesquisa de novos conceitos de trabalho à odontologia.

Com seis décadas de atividades no mercado, a empresa “F” construiu uma reputação de qualidade voltada para o desenvolvimento da odontologia. Em toda a sua história, esta organização investiu na formação de equipes, pesquisa e desenvolvimento de produtos que atendam às necessidades de cirurgiões dentistas e pacientes. Possui mais de 80 mil consultórios dentários em operação no território nacional e sua linha de produtos também está presente em todos os continentes.

Alguns dos produtos fabricados e exportados pela empresa “F” são: consultórios odontológicos, aparelhos de diagnóstico por imagem (raio X), esterilização, fotopolimerizadores, amalgamadores, profis, sucção de alta potência, compressores, mochos, produtos de consumo e peças de mão.

Dentre os pedidos solicitados pelos clientes, o mais comum é a montagem de um consultório odontológico completo, com todos os equipamentos necessários para o trabalho de um dentista. Este pedido consiste na união de 10 partes ou módulos: equipo, cadeira, profi, estofamento, bomba a vácuo, raio x, refletor, autoclave, pontas e o mocho. Todos estes módulos são padronizados, com a exceção do equipo. Este componente é desenvolvido pela empresa “F” de acordo com as especificações dos clientes. Desta forma, é através deste módulo que o pedido se torna customizado para o cliente.

A tipologia de produção da empresa “F” é caracterizada como ETO por projetar e desenvolver desde o início um dos módulos do produto, de acordo com as especificações dos clientes. Embora a maioria dos componentes do produto seja padronizada, existe a etapa de desenvolvimento de produto para um deles: o equipo.

3.6.2. Fluxo macro de processos da empresa F

Depois de aprovado o orçamento do equipamento solicitado, uma ordem de fabricação é enviada ao departamento de projetos da empresa “F”. Esta ordem contém as especificações do módulo do equipo a ser projetado e desenvolvido.

O PCP da fábrica recebe o projeto contendo os desenhos e os processos de fabricação do equipo desenvolvido e, então, é liberada a ordem de serviço que dispara não somente a fabricação do equipo, mas também a montagem de todo o equipamento.

Os demais módulos padrões são produzidos para estoque e aguardam a chegada da ordem para serem montados. Quando um determinado nível de estoque dos

módulos padrões é atingido, um *kanban* de produção é disparado para os processos que fabricam estes módulos, e assim os estoques voltam a ficar abastecidos. Este sistema de reposição não depende da programação do PCP para produzir e é conhecido como sistema puxado.

A Figura 22 exemplifica o fluxo macro de fabricação dos equipamentos da empresa "F".

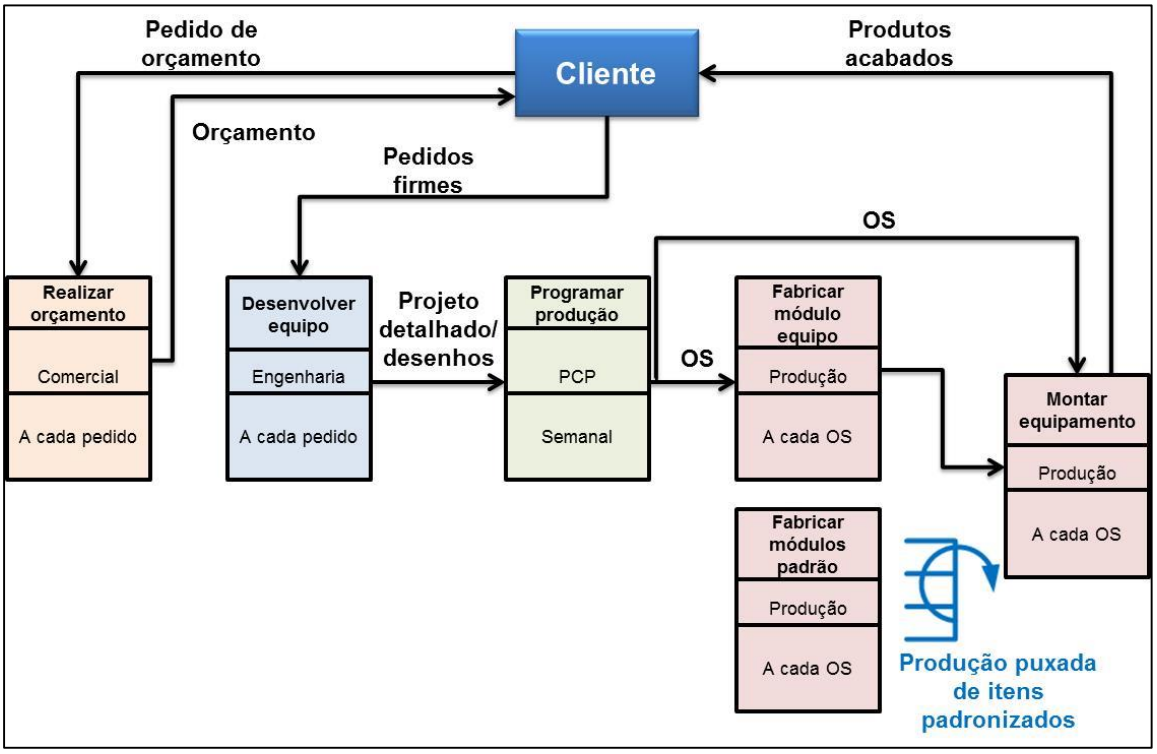

Figura 22 - Fluxo macro de processos da Empresa F

3.7. Estudo de caso 7 – Empresa G

3.7.1. Descrição da empresa G

A empresa "G" apresenta um quadro com mais de 2.000 funcionários e possui 3 unidades de negócio no estado de São Paulo, localizadas em Guarulhos, Sorocaba e Araras, 1 unidade no estado de Rondônia e uma *joint venture* com uma multinacional francesa, também no estado de Rondônia. O modelo de negócio da empresa é dividido em diferentes setores: Energia (Óleo e Gás, Eólica e Hidromecânica), Movimentação, Mineração e Aços. A infraestrutura da empresa foi desenvolvida para

produção de equipamentos pesados e de grande porte, tendo como principais processos de fabricação a soldagem, a caldeiraria, a usinagem e a montagem. O faturamento anual da empresa “G” ultrapassa R$ 1 bilhão. A família de produtos com maior representatividade no faturamento é a de Movimentação, que engloba produtos como pontes rolantes, pórticos e equipamentos de movimentação especiais.

Este estudo de caso abordará a linha de produtos do segmento de hidromecânicos, especificamente os cilindros hidráulicos de grande porte utilizados na abertura e no fechamento das comportas de usinas hidrelétricas. Os cilindros hidráulicos são compostos, basicamente, por um cilindro externo (camisa) e uma haste interna, a qual se movimenta de forma retilínea para dentro e para fora da camisa através da pressão exercida pelo óleo hidráulico. Este movimento é responsável pela abertura e fechamento das comportas em usinas hidrelétricas, realizando a liberação ou o aprisionamento do fluxo de água entre as comportas.

O cilindro hidráulico é considerado um produto desenvolvido sob encomenda, pois os 2 principais componentes (camisa e haste) são projetados especificamente para cada cilindro ou lote de cilindros a serem produzidos. Estes componentes classificam a produção deste equipamento como ETO, embora um cilindro hidráulico contenha outros componentes padronizados e previamente projetados, tais como: cabeçote dianteiro, cabeçote traseiro, êmbolo, garfo, flange e itens comerciais. O cliente customiza o cilindro hidráulico, de acordo com as suas necessidades, através da determinação de parâmetros que influenciam o projeto da camisa e da haste. O *lead time* de fabricação total deste produto é de 8 a 10 meses, dos quais de 4 a 5 meses são destinados ao desenvolvimento do produto.

3.7.2. Fluxo macro de processos da empresa G

Como mencionado anteriormente, o cilindro hidráulico fabricado pela empresa “G” é customizado na fase de desenvolvimento de produto para atender aos requisitos dos clientes. O departamento Comercial, com o apoio do departamento de Engenharia, coleta do cliente as especificações técnicas necessárias para a fabricação, dentre elas: a vazão de água da comporta, a pressão suportada pelo cilindro e as dimensões macro que o equipamento deve ter.

Na fase de desenvolvimento, e Engenharia transforma as especificações técnicas dos clientes em parâmetros dimensionais detalhados que o cilindro deve apresentar,

mais especificamente a camisa e a haste. Não é necessário o desenvolvimento aprofundado do material dos componentes nem de complicados cálculos de projeto. Além disso, a maioria dos componentes deste produto é padronizada e não necessita de desenvolvimento.

O fluxo macro de processos da empresa “G” pode ser visualizado na Figura 23.

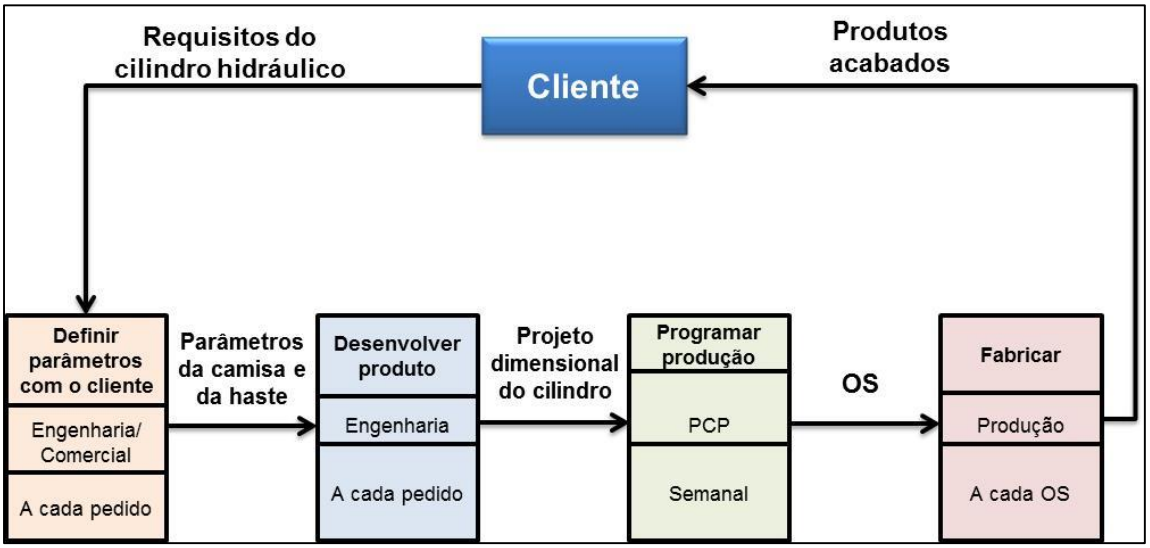

Figura 23 - Fluxo macro de processos da Empresa G

3.8. Estudo de caso 8 – Empresa H

3.8.1. Descrição da empresa H

A empresa “H” pertence ao mesmo grupo corporativo da empresa “G” e também está inserida no setor de energia. Trata-se de uma unidade de negócio responsável pela fabricação de turbinas eólicas customizadas para produção de energia.

Uma turbina eólica é composta por milhares de componentes, dentre eles o anel estator e o rotor, dos quais a fabricação é de responsabilidade da empresa “H”. Os demais componentes são fabricados por outras empresas determinadas pelos clientes.

O desenvolvimento da turbina eólica é realizado pelo próprio cliente. São enviados à empresa “H” os desenhos técnicos com as dimensões exatas do anel e do rotor, ou seja, a engenharia do produto completa. Cabe aos engenheiros da empresa “H” o

desenvolvimento dos processos de fabricação destes componentes. Antes da chegada do pedido do cliente, a linha de produção para a fabricação do produto não existe.

A tipologia de produção da empresa “H” é classificada como ETO, pois todo o desenvolvimento dos processos de fabricação do produto depende de informações específicas da engenharia do produto. Nada é produzido para estoque até que a ordem do cliente chegue ao departamento de Engenharia. O *lead time* entre a chegada dos desenhos das peças e a finalização dos produtos acabados é cerca de 10 meses. Deste intervalo de tempo, 2 meses são dedicados ao projeto dos processos de fabricação.

3.8.2. Fluxo macro de processos da empresa H

Uma usina de energia eólica é formada por centenas e até milhares de turbinas. Estas são desenvolvidas pelo próprio cliente ou por alguma empresa especializada contratada especialmente para projetá-las. Depois de finalizada a fase de desenvolvimento da turbina, são enviadas à empresa “H” todas as especificações técnicas de 2 componentes: o anel e o rotor. Os desenhos de usinagem das peças, os desenhos de montagem, os tipos de materiais das peças, os tipos de ajuste são fornecidos pelo cliente para que a engenharia de processo e a fabricação destes componentes possam ser realizadas pela empresa “H”.

A engenharia de processo define quais processos de fabricação serão necessários para produzir as peças de acordo com os requisitos dos clientes. Basicamente a manufatura inclui o corte de chapas, que em seguida são soldadas e calandradas. Posteriormente a peça é usinada, pintada, recebe os acabamentos finais e, então, pode ser expedida.

Depois de definidos os processos, a equipe de engenharia projeta a linha de produção como um todo. Isto inclui o dimensionamento de recursos, como a definição de máquinas e o balanceamento de operadores, o *layout* da fábrica, as rotas de produção, os padrões de trabalho de cada processo, os parâmetros de usinagem, os *buffers* de estoques de matéria-prima e estoques intermediários, dentre outras definições relevantes à produção. Neste momento, é muito importante a definição do ritmo com que a linha de produção deve trabalhar, também conhecido como *Takt*

Time. Neste estudo de caso, foi verificado que a linha deveria expedir 4 anéis e 4 rotores por semana para atender a demanda do cliente.

Em seguida, depois de projetada a linha de produção e da realização de alguns testes, inicia-se a fabricação repetida de anéis e rotores por um ciclo de 6 a 8 meses. Nesta etapa, a fábrica se torna um sistema de produção *Make to Order* que recebe as ordens do PCP em pequenos lotes de um produto sempre idêntico.

A Figura 24 ilustra o fluxo macro de processos da empresa “H”.

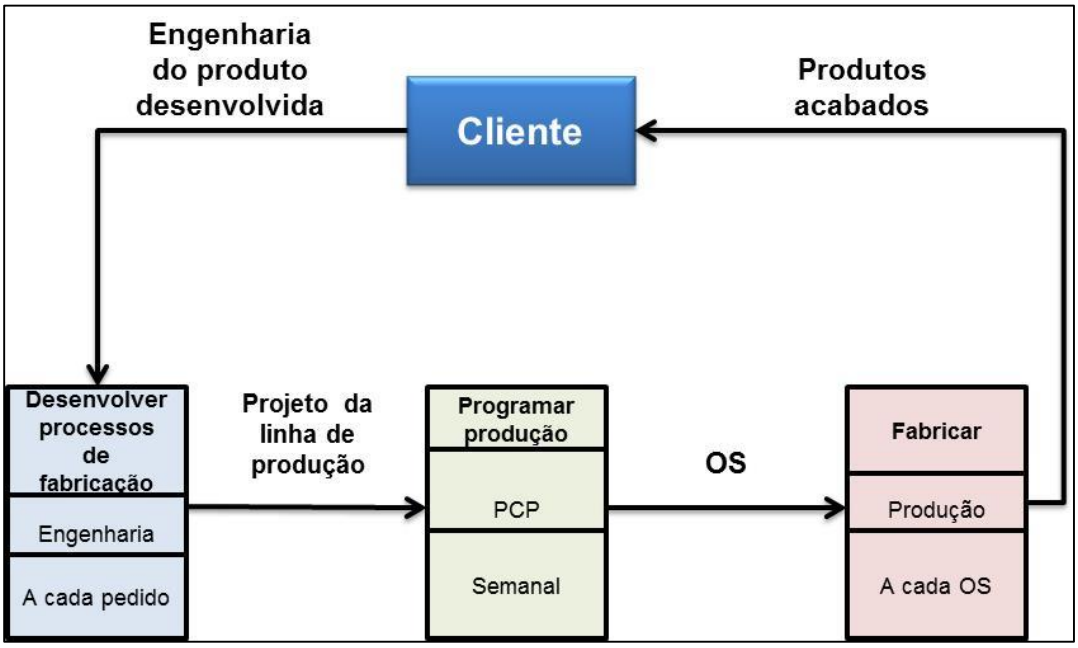

Figura 24 - Fluxo macro de processos da Empresa H

3.9. Estudo de caso 9 – Empresa I

3.9.1. Descrição da empresa I

A empresa “I” pertence a um grupo nacional de várias fábricas de calçados. Ela terceiriza a manufatura de calçados esportivos para uma grande marca internacional, na cidade de Franca, interior do estado de São Paulo. É uma empresa de médio porte com cerca de 500 funcionários diretos e indiretos. Sua produção gira em torno de 2.500 pares por dia, com grande variedade de modelos e cores.

Algumas características da demanda da empresa “I” são: alta variação de volume e mix de produtos acabados e frequente introdução e lançamento de novos produtos no mercado. O ciclo de vida do calçado esportivo gira em torno de seis meses. Os produtos esportivos requerem grande evolução em termos de materiais e solados, procurando atingir os consumidores nos quesitos design, conforto e qualidade.

Um calçado esportivo é composto basicamente pela montagem do tecido com os solados interno e externo. No entanto, inúmeras combinações podem ser alcançadas entre a variedade de tamanhos e cores disponíveis. Uma equipe de desenvolvimento do grupo da marca coleta informações de mercado a respeito das tendências de calçado esportivo para o próximo ano. Estas informações são usadas para o desenvolvimento dos calçados da próxima coleção. Depois de projetados, os vendedores apresentam os modelos aos lojistas e os pedidos vão sendo encaminhados para a empresa “I”, juntamente com os desenhos e as especificações de cada modelo vendido. Nota-se que a empresa que representa a marca internacional coleta as informações de mercado e desenvolve o produto. A empresa “I” desenvolve os processos e fabrica os produtos, o que a caracteriza como um sistema ETO. O *lead time* de desenvolvimento é de aproximadamente 5 meses e o *lead time* de manufatura é de 30 dias.

3.9.2. Fluxo macro de processos da empresa I

Como mencionado anteriormente, a cada seis meses a empresa da marca de calçados esportivos coleta as informações de mercado com as tendências da próxima coleção. Tais informações correspondem às cores da moda, designs mais requisitados e opiniões sobre conforto e durabilidade. A equipe de desenvolvimento da empresa traduz estes dados em especificações técnicas do produto. Com isso, os calçados são desenvolvidos e algumas amostras de cada modelo são fabricadas para serem apresentadas aos potenciais clientes. Depois de aprovados os modelos, os lojistas fazem seus pedidos com base em previsões para toda a coleção.

Os pedidos de vários clientes recebidos pela empresa da marca são agrupados por modelo e encaminhados à empresa “I”. Juntamente com os pedidos são enviados os projetos com todas as especificações técnicas de cada modelo. Em seguida, a equipe de engenharia da empresa “I” projeta os processos de fabricação de acordo com as especificações da engenharia do produto. Existe grande interface de trabalho

entre o PCP e a Engenharia no desenvolvimento dos processos, pois neste momento são levados em consideração parâmetros de balanceamento das linhas de produção, o cálculo do *Takt Time* e o dimensionamento do tempo de trabalho de cada turno. É importante ressaltar que tanto o desenvolvimento do produto quanto o desenvolvimento dos processos são realizados apenas uma vez em cada coleção.

Depois de programada pelo PCP, a fábrica produz os pares repetidamente por toda a coleção. Os pedidos dos lojistas continuam chegando ao longo da coleção e a empresa se torna um sistema de produção *Make to Order*.

A Figura 25 representa o fluxo macro de processos da empresa “I”.

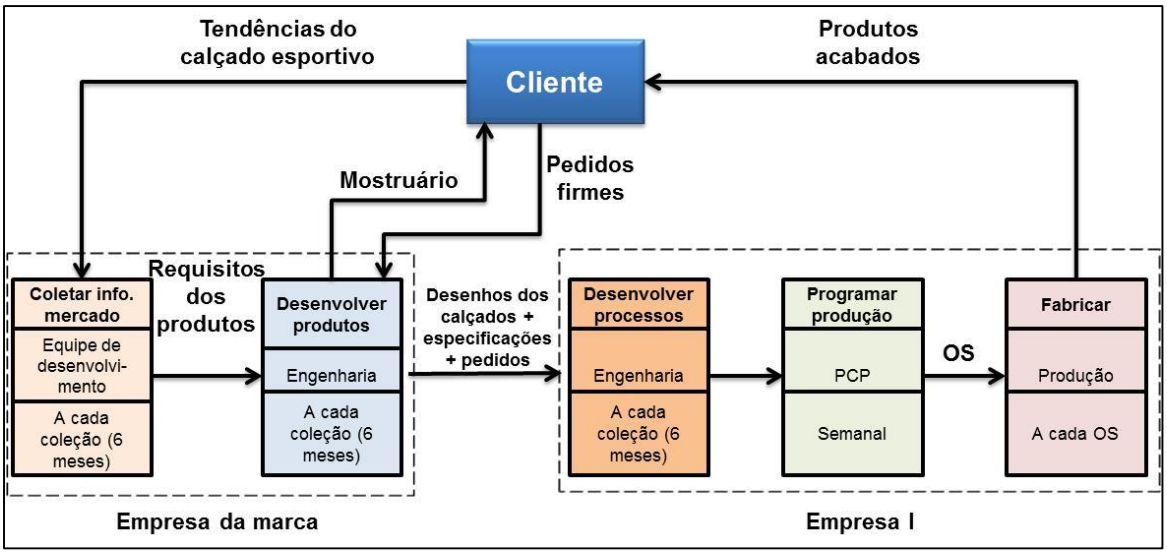

Figura 25 - Fluxo macro de processos da Empresa I

3.10. Análise crítica do estudo multicaso

O estudo multicaso apresentado anteriormente trouxe uma breve descrição dos fluxos de processos produtivos em diferentes ambientes *Engineer to Order*. Foi possível observar que, embora todas as empresas apresentadas no estudo fossem classificadas como ETO por fabricarem produtos customizados na fase de desenvolvimento, diferentes características de customização puderam ser encontradas em alguns grupos de empresas. Notou-se que as empresas se diferenciam umas das outras no momento em que ocorre a customização, na frequência com que ocorre a customização, na quantidade de peças ou partes do

produto que podem ser customizadas e no grau de complexidade da fase de desenvolvimento de produto.

Dentre os casos apresentados, existem empresas que desenvolvem os seus produtos inteiramente, projetando praticamente todas as peças e fabricando um produto único e customizado especificamente para cada cliente. Em outros casos, algumas empresas customizam seus produtos sazonalmente ou em pequenos ciclos de tempo para atender uma demanda específica neste intervalo. Depois de desenvolvidos, os produtos são fabricados repetidamente neste ciclo. Existem ainda casos em que o desenvolvimento ocorre somente em algumas partes ou módulos do produto e o restante dos componentes são totalmente padronizados. Outras empresas desenvolvem seus produtos de uma forma mais simples, através de alterações de parâmetros, não havendo a necessidade de projetá-los inteiramente.

Embora as empresas apresentadas no estudo multicaso pertencessem a diferentes segmentos de mercado e fabricassem produtos com características muito distintas, foi possível notar que existem algumas semelhanças dentre alguns grupos de empresas na forma com que customizam seus produtos. Os fluxos macro de processos mostraram que as empresas estudadas podem ser agrupadas em quatro grupos de customização ETO.

O grupo 1 é formado pelas empresas “A”, “H” e “I” que fabricam, respectivamente, produtos de vestuário, turbinas eólicas e calçados. Todas elas desenvolvem seus produtos em ciclos, que depois são fabricados repetidamente para uma demanda específica. Estes ciclos são representados pelas coleções nas empresas “A” e “I” e pela construção de uma usina de energia eólica na empresa “H”. Seus produtos são desenvolvidos inteiramente uma única vez de acordo com os requisitos dos clientes e do mercado. Os processos de fabricação são projetados e, em alguns casos, uma planta fabril é projetada especificamente para produzir este tipo de produto. Depois da fase de desenvolvimento, a produção é seriada e se estende por alguns meses.

O grupo 2 é formado pelas empresas “D”, que produz turbinas a vapor, e “F”, que produz equipamentos odontológicos. Estas organizações customizam seus produtos através do desenvolvimento de apenas alguns módulos ou partes dos produtos. O restante do equipamento é totalmente padronizado e não recebe interferência dos clientes. A empresa “D” customiza seus produtos através do desenvolvimento do rotor

e da carcaça da turbina e a empresa “F” através do desenvolvimento do equipo, uma das partes de um consultório odontológico.

O grupo 3 engloba as empresas “E” e “G”. A empresa “E” produz vidros laminados e a empresa “G” fabrica cilindros hidráulicos para usinas hidrelétricas. Em ambos os casos a customização na fase de desenvolvimento de produtos se dá através da alteração de alguns parâmetros dimensionais do produto. Na empresa “E” os parâmetros são as dimensões de largura, altura e comprimento do vidro. Na empresa “G” os parâmetros são as dimensões da camisa e da haste do cilindro calculadas para suportar a pressão da água nas comportas da usina. Nota-se que o desenvolvimento desses produtos é mais simples e mais rápido do que o que acontece no grupo 2, pois não são necessários o projeto detalhado de peças, de material e nem de simulações e cálculos sofisticados em *softwares* CAD.

O grupo 4 é formado pelas empresas “B” e “C” que fabricam, respectivamente, bombas centrífugas e estruturas metálicas para a construção civil. A tipologia de produção destas empresas pode ser classificada como a clássica *One-of-a-Kind Production* (OKP). Praticamente todas as peças e módulos de seus produtos são projetados e desenvolvidos de acordo com os requisitos dos clientes. A fase de desenvolvimento é complexa e demorada, pois envolve a engenharia simplificada e a engenharia detalhada. A engenharia simplificada é responsável pelo orçamento do produto e a engenharia detalhada é composta por atividades como o cálculo estrutural das peças e componentes, simulações em *softwares* CAD, *gates* de aprovação com os clientes, desenhos de componentes e definições de materiais.

O Quadro 6 resume as principais informações das empresas ETO do estudo multicaso realizado.

Quadro 6 - Caracterização ETO do estudo multicaso

Grupo	Nome fictício da empresa	Produtos	Tipo de customização ETO
1	A	Vestuário	Customização em ciclos
4	B	Bombas centrífugas	One-of-a-Kind
4	C	Estruturas metálicas	One-of-a-Kind
2	D	Turbinas a vapor	Customização de módulos
3	E	Vidros laminados	Alteração de parâmetros
2	F	Equipamentos odontológicos	Customização de módulos
3	G	Cilindros Hidráulicos	Alteração de parâmetros
1	H	Turbinas eólicas	Customização em ciclos
1	I	Calçados	Customização em ciclos

Através desta análise é possível concluir que a tipologia ETO pode assumir diferentes características, o que implica em diferentes abordagens para cada um destes sistemas produtivos. Os projetos de consultoria realizados nestas empresas mostraram que cada tipo de ambiente ETO enfrenta dificuldades específicas relacionadas à maneira com que customizam seus produtos e padronizam seus processos. No próximo tópico, serão abordadas as principais dificuldades identificadas e as soluções implementadas através de ferramentas de melhoria, com o intuito de aprimorar as cadeias produtivas em cada empresa ETO estudada.

3.11. Ferramentas *Lean* aplicadas

Os projetos de consultoria realizados nas empresas do estudo multicaso tiveram como principais objetivos o aumento de produtividade dos processos de manufatura, a redução dos custos de fabricação e a redução dos *lead times* de entrega para o cliente e de fabricação total, desde a chegada da matéria-prima até a finalização do produto acabado. Para alcançar a melhoria destes indicadores, os projetos seguiram a metodologia DMAIC, um conceito oriundo da teoria *Six Sigma* e frequentemente utilizado para guiar processos de melhoria. Esta metodologia é constituída por 5 fases que são realizadas de forma sequencial e em ciclos de desenvolvimento sucessivos, as quais são descritas a seguir:

- **D**efinir Escopo: etapa na qual é delineado formalmente o escopo do projeto, formação das equipes de melhorias e suas respectivas dedicações ao projeto em questão, além de capacitações iniciais e uma análise prévia da relação de volume de demanda e famílias de produtos que podem apoiar a decisão de definição do escopo;
- **M**edir e mapear a situação atual: etapa na qual são levantadas as principais medidas de resultado do projeto, são identificados e validados os processos das principais famílias de produtos e/ou fluxos de valor, são feitos os mapeamentos da situação atual das famílias de produtos e serviços definidas na etapa anterior (escopo do projeto), bem como o levantamento do arranjo físico atual e as eventuais restrições e requisitos existentes;
- **A**nalisar a situação atual e desenvolver a situação futura: nesta etapa é feita a Análise da Situação Atual, identificados os principais problemas e suas causas-raízes, bem como desenvolvida a situação futura a ser implementada;

- **I**mplementar a situação futura: nesta etapa são feitas as implementações das melhorias definidas a partir da situação futura projetada;
- **C**ontrolar o processo: é uma fase crucial para a efetiva sustentabilidade das melhorias que foram implementadas. Nesta etapa, são analisados os resultados obtidos, definidos os parâmetros de desempenho e conformidade com o novo padrão implementado, feita a documentação do trabalho realizado e definida a forma e a rotina de auditoria para a garantia de sustentabilidade dos novos processos.

A metodologia DMAIC adaptada pela empresa *Hominiss Consulting* e utilizada nos projetos citados anteriormente pode ser visualizada na Figura 26.

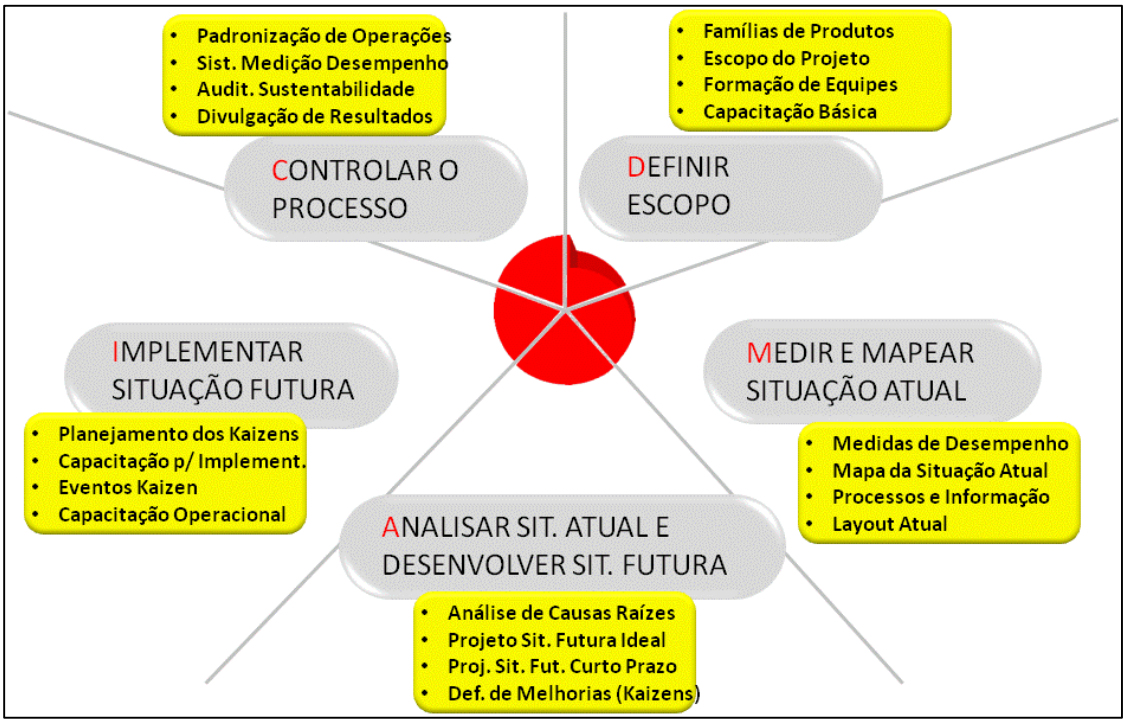

Figura 26 - Metodologia DMAIC adaptada pela *Hominiss Consulting*
Fonte: *Hominiss Consulting*

A fase de “Medir e Mapear a Situação Atual” realiza um diagnóstico na família de produtos que está sendo mapeada. Basicamente são identificadas as principais dificuldades que impedem que o fluxo de processos produtivos forneça aos clientes produtos com qualidade, no intervalo de tempo combinado e com eficiência. A fase de “Analisar a Situação Atual e Desenvolver a Situação Futura” projeta uma situação ideal para que o fluxo atenda aos objetivos do projeto. Neste momento, são definidas

as ferramentas de melhoria contínua que serão implementadas para que o fluxo atual se transforme no fluxo futuro. Na fase de “Implementar a Situação Futura”, as ferramentas definidas na fase anterior são finalmente aplicadas no fluxo e novos padrões de trabalho são estabelecidos.

A empresa *Hominiss Consulting* é especializada na concepção e no desenvolvimento de sistemas de produção Enxuta. As ferramentas implementadas nos projetos do estudo multicaso ETO foram direcionadas aos processos de manufatura e baseadas nos conceitos do *Lean Production*.

Nos projetos realizados nas empresas do grupo 1, que customizam seus produtos através do desenvolvimento em ciclos, foram aplicadas diversas ferramentas *Lean*, tais como: sistema puxado de produção (*kanban*), fluxo contínuo, gestão visual, reorganização de layout, TPM, SMED e 5S. Observa-se que, depois de desenvolvidos os produtos, a manufatura é padronizada e repetitiva, o que facilita a implementação de praticamente todas as ferramentas *Lean*. Não há grandes restrições que dificultem a aplicação de uma determinada ferramenta, pois a variabilidade de produtos e de processos é muito baixa.

O Quadro 7 traz um resumo do diagnóstico inicial realizado e as ferramentas *Lean* aplicadas nos processos de manufatura das empresas do grupo 1.

Quadro 7 - Ferramentas Lean aplicadas nas empresas do grupo 1

Empresa	Produtos	Tipo de customização ETO	Principais dificuldades encontradas	Ferramentas Lean aplicadas
A	**Vestuário**	**Customização em ciclos**	• Desnivelamento de demanda • Falta e sobra de itens de matéria-prima • Transporte excessivo dos produtos pela fábrica • Produção em grandes lotes • Dificuldade de controlar a produção (interna e terceiros) • Dificuldade de consolidar itens de um mesmo pedido	• Nivelamento de vendas • Sistema puxado para itens de uso contínuo entre coleções • Reorganização do Layout fabril para favorecer o fluxo • Fluxo contínuo entre os processos com redução dos lotes • Gestão visual e acompanhamento da produção interna e de terceiros • Gestão visual da consolidação de pedidos e otimização do abastecimento • 5S
H	**Turbinas eólicas**	**Customização em ciclos**	• Atividades desbalanceadas e despadronizadas • Layout inadequado • Falta de matéria-prima (atraso de fornecedores) • Quebra frequente de máquinas • Elevados tempos de set up na usinagem	• Formação de células em fluxo contínuo de acordo com o Takt Time • Reorganização do Layout • Supermercado de matéria-prima • TPM • SMED e dedicação de máquinas para reduzir o número de set ups na usinagem • 5S
I	**Calçados**	**Customização em ciclos**	• Falta e sobra de itens de matéria-prima • Produção empurrada em grandes lotes • Elevados níveis de estoques intermediários • Transporte excessivo dos produtos pela fábrica • Elevados índices de refugo na montagem	• Sistema puxado para matéria-prima frequente na coleção • Sistema puxado para componentes • Fluxo contínuo entre os processos • Reorganização do Layout • Sistemas a prova de erros (Poka Yoke) • SMED e TPM em máquinas gargalo • 5S

Nas empresas do grupo 2, que customizam seus produtos através do desenvolvimento de alguns módulos ou partes especiais do produto, os projetos foram direcionados para a padronização máxima dos fluxos dos componentes especiais, fabricados sob ordem, e para a resposta rápida dos fluxos dos componentes padronizados. Isto foi conseguido através do direcionamento da programação da produção para apenas alguns pontos: as células que fabricam os componentes especiais. As células que fabricam os componentes padronizados produzem para estoque, através do sistema puxado via *kanban*. Desta forma, a montagem é disparada quando recebe os componentes especiais, pois os componentes padronizados estão sempre prontos em supermercado.

As células que fabricam os componentes especiais tiveram sua rotina de trabalho padronizada com a implementação do 5S, gestão visual, fluxo contínuo e balanceamento da carga de trabalho entre as operações.

O Quadro 8 apresenta a situação encontrada antes da implementação do projeto e as ferramentas aplicadas nas empresas do grupo 2.

Quadro 8 - Ferramentas Lean aplicadas nas empresas do grupo 2

Empresa	Produtos	Tipo de customização	Principais dificuldades encontradas	Ferramentas Lean aplicadas
D	**Turbinas a vapor**	**Customização de módulos**	• Produção totalmete empurrada (mesmo para itens padronizados) • Desbalanceamento das operações • Layout fabril inadequado • Fluxo de informação deficiente, com elevados lead times • Produção desnivelada • Dificuldade de programação e controle da produção	• Formação de células de componentes em fluxo contínuo • Padronização e balanceamento das operações de acordo com o Takt Time • Reorganização de Layout com otimização do fluxo • Lean Office nos processos administrativos da Engenharia e PCP • Gestão visual para a programação da produção com controle por gates • 5S
F	**Equip. odontoló-gicos**	**Customização de módulos**	• Produção empurrada com elevados níveis de estoques • Falta de matéria-prima para os componentes • Falta e sobra de componentes na montagem • Dificuldade de programação da fábrica • Abastecimento de peças ineficiente • Desnivelamento da produção (ociosidade e sobrecarga)	• Formação de células de componentes em fluxo contínuo • Sistema puxado para itens comerciais e itens de matéria-prima • Sistema puxado para componentes padronizados • Programação da produção direcionada para componentes especiais • Rotas de abastecimento e picking de componentes padronizados • Gestão visual para programação das células de produção na fábrica • 5S

As empresas do grupo 3 customizam seus produtos através da alteração de parâmetros na fase de desenvolvimento. Os itens de matéria-prima nestas empresas podem ser padronizados em sua maior parte, o que facilita a utilização do sistema puxado de compra com os principais fornecedores. Itens comerciais classe “C” também foram colocados em supermercados para ter a sua disponibilidade sempre garantida.

A dificuldade de programação e controle da produção, devida a enorme variedade de produtos que são solicitados, pode ser minimizada com o sistema de programação por pontos. O *Lean Office* aplicado nos processos administrativos da Engenharia e do

PCP, através do gerenciamento visual dos projetos em andamento, proporcionou uma programação mais balanceada e mais precisa, e um controle mais fidedigno.

Outras ferramentas como o 5S, o fluxo contínuo, o SMED e a padronização das rotas de abastecimento proporcionaram ganho de capacidade no gargalo e agilidade entre os processos.

O Quadro 9 traz uma consolidação das principais dificuldades encontradas e das soluções implementadas nas empresas do grupo 3.

Quadro 9 - Ferramentas Lean aplicadas nas empresas do grupo 3

Empresa	Produtos	Tipo de customização	Principais dificuldades encontradas	Ferramentas Lean aplicadas
E	**Vidros laminados**	**Alteração de parâmetros**	• Falta e sobra de itens de matéria-prima • Paradas na produção por problemas de abastecimento • Falta de capacidade do gargalo (laminação) • Elevados níveis de estoque intermediário • Alta movimentação e transporte na fábrica • Dificuldades de programação da produção	• Sistema puxado para itens comerciais e itens de matéria-prima frequentes • Padronização dos sistemas de abastecimento (milk run) • SMED para ganho de produtividade no gargalo • Gestão visual e CONWIP para redução e controle dos estoques intermediários • Reorganização do Layout Fabril para redução de transporte e movimentação • Sistema de pontuação para programação de peças no gargalo • 5S
G	**Cilindros Hidráulicos**	**Alteração de parâmetros**	• Atrasos na chegada de matéria-prima • Falta e sobra de componentes na montagem • Falta de itens classe "C" (comerciais) na montagem • Layout inadequado - alta movimentação de pessoas e alto transporte de materiais • Programação da produção desnivelada e dificuldade de controle da produção • Sistema de abastecimento de peças desorganizado	• Gestão visual para programação da montagem • Sistema puxado para itens comerciais • Reorganização de Layout com redução do transporte e da movimentação • Gestão visual com status dos projetos em andamento • Padrão de trabalho para o abastecimento • Nivelamento de demanda • 5S

Os projetos realizados nas empresas do grupo 4 mostraram que, embora os ambientes de produção classificados como *One-of-a-Kind* sejam altamente customizados e com processos despadronizados, é possível a obtenção de melhorias com a implementação dos princípios do *Lean Production*.

As principais dificuldades enfrentadas por estas empresas podem ser resumidas em três pontos: problemas na fase de desenvolvimento, como atrasos e retrabalhos,

paradas na montagem por falta de componentes e dificuldade de programação e controle da produção.

Os problemas associados à fase de desenvolvimento de produto foram minimizados com a implementação do *Lean Office* na Engenharia destas empresas. A padronização dos processos, o controle visual dos projetos e o gerenciamento por processos e não mais departamentalizado, contribuíram para a redução do *lead time* e do índice de retrabalho neste setor.

A formação de uma área de kits, que reúne os componentes em um *buffer,* juntamente com a programação visual em FIFO evitam que a montagem pare por falta de peças. Os itens comerciais de alta repetibilidade foram mantidos em supermercado, evitando paradas na montagem causadas pela falta deles. A reorganização do layout e o 5S garantiram uma produção mais organizada. Os gargalos tiveram ganhos de capacidade através da ferramenta SMED e a fábrica passou a ser programada de acordo com a capacidade deles.

As principais dificuldades encontradas e as ferramentas aplicadas nas empresas do grupo 4 podem ser visualizadas no Quadro 10.

Quadro 10 - Ferramentas Lean aplicadas nas empresas do grupo 4

Empresa	Produtos	Tipo de customização	Principais dificuldades encontradas	Ferramentas Lean aplicadas
B	**Bombas centrífugas**	**One-of-a-Kind**	• Elevados Lead Times de projeto na Engenharia • Falta e sobra de componentes na Montagem • Paradas na Montagem por falta de itens comerciais • Layout de produção inadequado - alta movimentação • Trabalho dos operadores despadronizado • Dificuldade de programação da fábrica	• Gestão visual e nivelamento da carga de trabalho na Engenharia • Formação da área de kits com os componentes para montar • Sistema Puxado (Kanban) para itens comerciais • Reorganização do Layout fabril para favorecer o fluxo • Padronização do trabalho • Nivelamento da produção considerando a capacidade do gargalo • 5S
C	**Estruturas metálicas**	**One-of-a-Kind**	• Elevados Lead Times de projeto e cálculo na Engenharia • Paradas na produção devido a erros de projeto • Paradas na produção por falta de matéria-prima • Falta e sobra de componentes na Montagem • Layout de produção inadequado - alta movimentação • Dificuldade de programação da fábrica • Elevados tempos de set up nas máquinas gargalo	• Nivelamento da carga de trabalho da Engenharia de acordo com os recursos • Lean Office nos processos da Engenharia • Sistema puxado para itens comerciais e itens de matéria-prima frequentes • Formação da área de kits com os componentes para montar • Reorganização do Layout fabril e abastecimento de componentes padronizado • Nivelamento da produção considerando a capacidade do gargalo • SMED em máquinas gargalo e formação de células de produção na soldagem • 5S

4. PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DA TIPOLOGIA ETO

Este Capítulo apresenta uma proposta de classificação da tipologia *Engineer to Order* através de alguns critérios pré-determinados. A classificação detalhará as principais características de cada tipo de empresa ETO, relacionando-os com cada critério. Em seguida, no próximo Capítulo, serão apresentadas as melhores práticas de melhoria organizacional, mais especificamente direcionas à manufatura, para cada tipo de sistema produtivo ETO proposto na classificação.

4.1. Bases de conhecimento para a classificação

A estruturação da classificação da tipologia ETO será baseada em três fontes de conhecimento:

- Estudo multicaso com empresas ETO apresentado no Capítulo anterior;
- Experiência do autor em projetos de consultoria em empresas ETO com diferentes níveis de customização de produtos;
- A revisão bibliográfica realizada neste trabalho a respeito de classificações ou segmentações da tipologia *Engineer to Order*.

A base de conhecimento do estudo multicaso em projetos de consultoria relacionados à otimização de processos, melhorias de fluxo e gestão da mudança aplicados em sistemas produtivos ETO pôde proporcionar ao trabalho uma visão real e prática das principais características e dos principais problemas desta tipologia. Foi observado que, apesar de todos estes sistemas serem classificados como ETO (a ordem do cliente dispara o início de atividades relacionadas ao projeto e ao desenvolvimento do produto), muitas diferenças puderam ser detectadas entre eles.

Em alguns casos, o cliente pode ter grande interferência em todas as etapas do desenvolvimento e da fabricação do produto. Nestas situações a troca de informações é bastante intensa e o processo de desenvolvimento de produtos é longo e complexo. Em outros casos, a interferência do cliente pode ser resumida em poucas informações na fase de desenvolvimento de produtos. Neste modelo de negócio, é possível que a maioria das atividades de desenvolvimento de produto já tenha sido realizada antes da chegada da ordem do cliente e o produto requisitado nascerá de algumas pequenas modificações em projetos já existentes. Existem ainda empresas que

desenvolvem produtos completamente novos para um cliente específico que, no entanto, pretende adquirir muitas unidades deste produto por um determinado intervalo de tempo. Assim, mesmo que customizado para atender as necessidades individuais de um determinado cliente, este produto será fabricado repetidamente por um curto ciclo de tempo.

A revisão da literatura mostrou que Wikner e Rudberg (2005) propuseram uma nova dimensão para a classificação das tipologias de produção: a engenharia. Nesta dimensão a tipologia ETO é basicamente dividida em três novas tipologias: a ETO(ED) para os produtos completamente novos desenvolvidos desde o início; a ATO(ED) para os produtos cujo desenvolvimento foi gerado a partir de alterações em projetos já existentes e a ETS(ED) na qual os projetos são desenvolvidos para estoque, antes da chegada da ordem do cliente.

Porter *et al*. (1999) e Hill (2000) definiram o DTO (*Design to order*) como um ambiente de produção onde as empresas projetam e produzem um produto completamente novo para atender as necessidades específicas dos clientes. Nesta linha de pesquisa, o termo ETO é utilizado quando mudanças são feitas em produtos padronizados já desenvolvidos anteriormente. Scott (1994) classifica como DTO sistemas produtivos com longos *lead times* e fornecedores de produtos altamente complexos.

Hicks *et al.* (2001) classificaram as empresas ETO em quatro tipos através de duas variáveis: a profundidade da estrutura do produto, que indica a complexidade do produto, e o volume de produção, dividido em produção contínua, em lotes ou *jobbing* (unitária). Os quatro tipos de empresas ETO sugeridos pelo autor são: verticalmente integrada, design e montagem, design e contrato e gerenciamento de projeto.

A partir das afirmações realizadas acima, é possível notar que a tipologia ETO pode e deve ser detalhada em subtipologias que merecem tratativas diferentes no que diz respeito a práticas de gestão. Observa-se também que não existe uma classificação que seja comum aos autores do tema e que tenha sido consolidada na literatura. Os próximos tópicos deste trabalho pretendem preencher esta lacuna.

4.2. Critérios de classificação da tipologia ETO

A classificação proposta será apresentada com base em cinco critérios ou variáveis que determinarão as características e as diferenças de cada tipo de

produção ETO. Estes critérios foram baseados nas principais diferenças encontradas entre as empresas ETO do estudo multicaso. Seguem abaixo as definições detalhadas de cada critério escolhido:

1) **Grau de customização do produto:** refere-se ao grau de interferência que o cliente exerce em todas as etapas de fabricação do produto, tanto na concepção quanto na produção. Quanto maior o grau de customização maior é a troca de informações e maior é a dependência do fabricante em relação ao cliente;
2) **Repetibilidade de produtos:** trata-se da quantidade de vezes que o mesmo produto customizado será fabricado para um determinado cliente ou para clientes diferentes. Alguns produtos podem ser únicos, outros podem ser produzidos repetidamente por um determinado intervalo de tempo. Hicks *et al.* (2001) denominou esta variável de “volume de produção”;
3) **Necessidade de projeto de processos:** este critério mede a interferência do produto na necessidade de alteração dos processos de fabricação, como balanceamento de linhas, adaptação de gabaritos, ferramentas e máquinas, mudança do layout fabril, dentre outros;
4) **Possibilidade de reuso de informações:** mede, de forma indireta, o quão semelhantes entre si são os produtos. Quanto maior a semelhança, maiores são as chances de resgate de informações já utilizadas anteriormente. Estas informações dizem respeito tanto ao desenvolvimento de produtos (desenhos, cálculos, soluções) quanto à manufatura (programas de controle numérico, gabaritos, ferramentas, processos de fabricação);
5) **Complexidade da estrutura do produto:** refere-se à profundidade da estrutura do produto mencionada por Hicks *et al.* (2001). Quanto maior a complexidade do produto, maior é o *lead time* de desenvolvimento e de manufatura e mais complexas são as soluções de fabricação.

4.3. Definição dos tipos de produção ETO

Conforme destacado anteriormente, a subdivisão da tipologia ETO proposta neste trabalho resultou de observações de casos reais e das pesquisas bibliográficas realizadas pelo autor. Como resultado desta análise, foram identificados quatro tipos ou subtipologias da produção ETO:

I. ETO – Curto ciclo com repetibilidade
II. ETO – Customização de módulos
III. ETO – Alterações de parâmetros
IV. ETO – One-of-a-kind

A Figura 27 exibe a escala de nível de customização com as tipologias tradicionais conhecidas e com as novas subtipologias propostas da produção ETO. Nota-se que as tipologias estão dispostas de acordo com o nível de customização (interferência do cliente) que elas apresentam, do menor (esquerda) para o maior (direita).

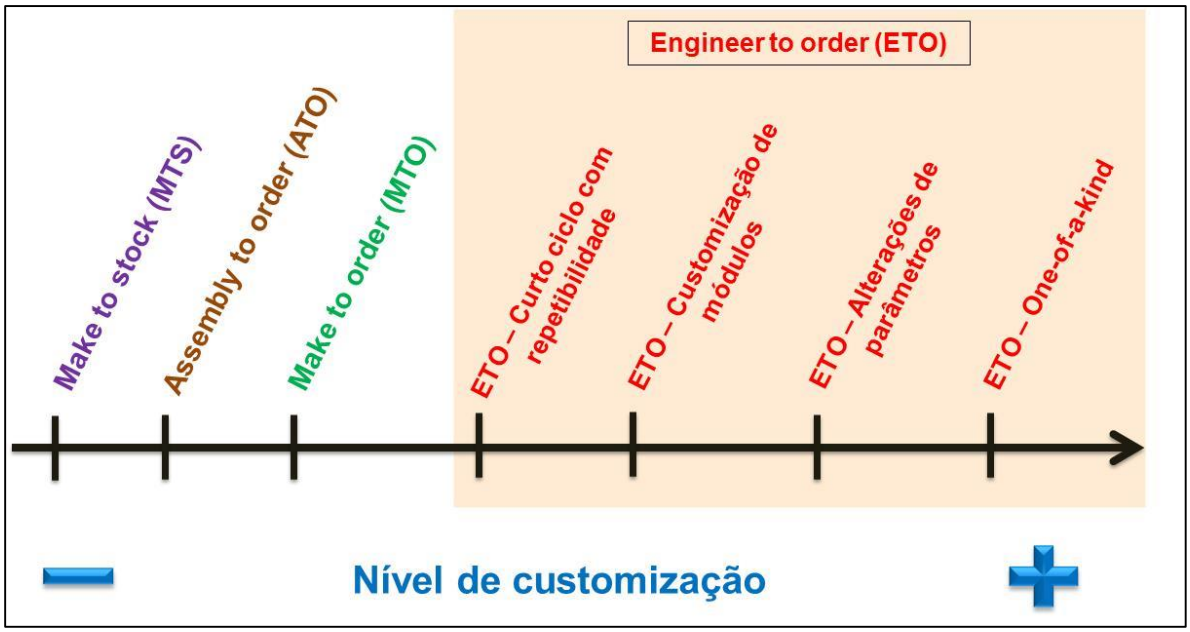

Figura 27 - Classificação das subtipologias ETO propostas

Cada uma das subtipologias propostas será detalhada de acordo com os critérios previamente estabelecidos, nos tópicos seguintes.

4.3.1. ETO – Curto ciclo com repetibilidade (CCR)

Nos ambientes ETO de curto ciclo com repetibilidade a fase de desenvolvimento de produtos é realizada somente uma vez para uma linha de produtos que serão fabricados repetidamente por um curto período de tempo, geralmente na ordem de alguns meses. Embora a manufatura desses produtos se assemelhe a um sistema de produção *Make to Oder*, percebe-se que houve a interferência do cliente na

concepção de um produto que atenda às suas necessidades específicas, agindo diretamente no desenvolvimento deste produto e caracterizando-o como ETO. Uma vez desenvolvidos o produto e o processo, tanto a fabricação de componentes quanto a montagem ocorrem de forma repetitiva e padronizada.

Esta subtipologia não foi mencionada por nenhum autor na literatura. No entanto, foi observado no estudo multicaso que três empresas se enquadram nestas características.

- **Grau de customização do produto:** é elevado na fase de desenvolvimento. Uma linha de produtos é desenvolvida especificamente para atender as necessidades de um determinado cliente, em um determinado mercado. No entanto, o processo de manufatura é bastante padronizado devido à repetibilidade de produtos e de processos;
- **Repetibilidade de produtos:** é alta, pois o produto é fabricado em série por um curto período de tempo e, portanto, não é considerado único;
- **Necessidade de projeto de processos:** além do produto, os processos devem ser projetados antes do início da produção, pois se trata de um fluxo completamente novo. O *layout*, o balanceamento da linha, as máquinas, as ferramentas e os gabaritos devem ser adaptados para o produto a ser fabricado;
- **Possibilidade de reuso de informações:** o reuso de informações de produtos já desenvolvidos é pouco utilizado. O produto a ser desenvolvido é novo e geralmente bastante diferente de outros já desenvolvidos;
- **Complexidade da estrutura do produto:** em alguns casos os produtos são bastante complexos e com longos *lead times* de desenvolvimento. No entanto, a manufatura não é considerada uma fase complexa e nem demorada devido à padronização dos processos e dos componentes.

Do ponto de vista da manufatura, a estrutura destes produtos apresenta elevado grau de padronização, como mostra a Figura 28. Nota-se que, a partir do momento em que se inicia a fase de produção, todos os componentes se tornam padronizados e a repetibilidade é alta.

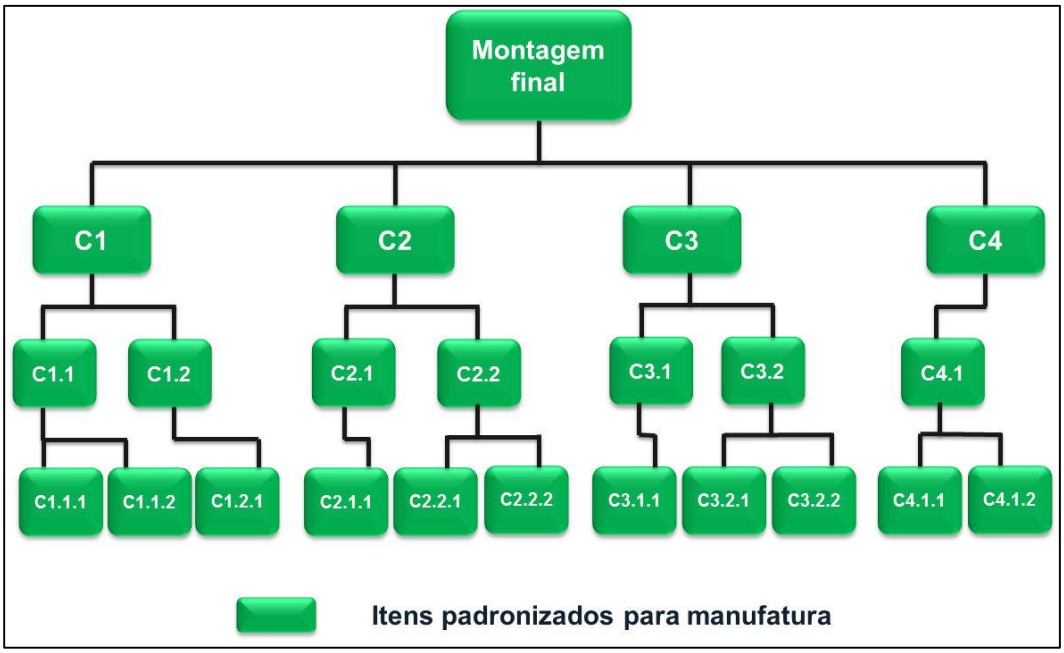

Figura 28 - Estrutura de produtos ETO - Curto ciclo com repetibilidade para a manufatura

4.3.2. ETO – Customização de módulos (CDM)

Nos sistemas produtivos ETO com customização de módulos algumas partes ou módulos do produto são desenvolvidos pela Engenharia desde o início para atender as necessidades do cliente. No entanto, os demais módulos são padronizados e já foram desenvolvidos previamente para estoque. Desta forma, o produto se torna customizado a partir da customização de alguns componentes especiais para o consumidor final. A produção dos itens padronizados e a montagem são repetitivas e podem ser padronizadas.

Esta subtipologia se assemelha com a ATO(ED) ou *Adapt to Order* proposta por Wikner e Rudberg (2005), na qual modificações ou adaptações são realizadas em produtos já desenvolvidos.

- **Grau de customização do produto:** é considerado baixo. Embora muitas combinações possam ser feitas entre módulos ou componentes a serem desenvolvidos, a maior parte dos componentes do produto é padronizada. O cliente tem sua interferência restrita a algumas partes especiais do produto;
- **Repetibilidade de produtos:** é baixa, pois dificilmente uma determinada combinação se repetirá para dois clientes diferentes;
- **Necessidade de projeto de processos:** para os componentes completamente novos pode haver a necessidade de projeto de novos processos de fabricação.

No entanto, a maioria dos componentes é fabricada por processos padronizados;

- **Possibilidade de reuso de informações:** o reuso de informações é utilizado para componentes já desenvolvidos (padronizados);
- **Complexidade da estrutura do produto:** a estrutura do produto tem complexidade relativamente alta. Geralmente os produtos são formados por centenas de componentes. O *lead time* da fase de desenvolvimento pode variar de acordo com o grau de customização dos componentes especiais. No entanto, este intervalo de tempo é bastante previsível, pois a quantidade de itens customizados é reduzida e limitada.

A Figura 29 mostra a estrutura de produtos ETO(CDM). Observa-se que a proporção de itens customizados em relação à quantidade total de itens é baixa.

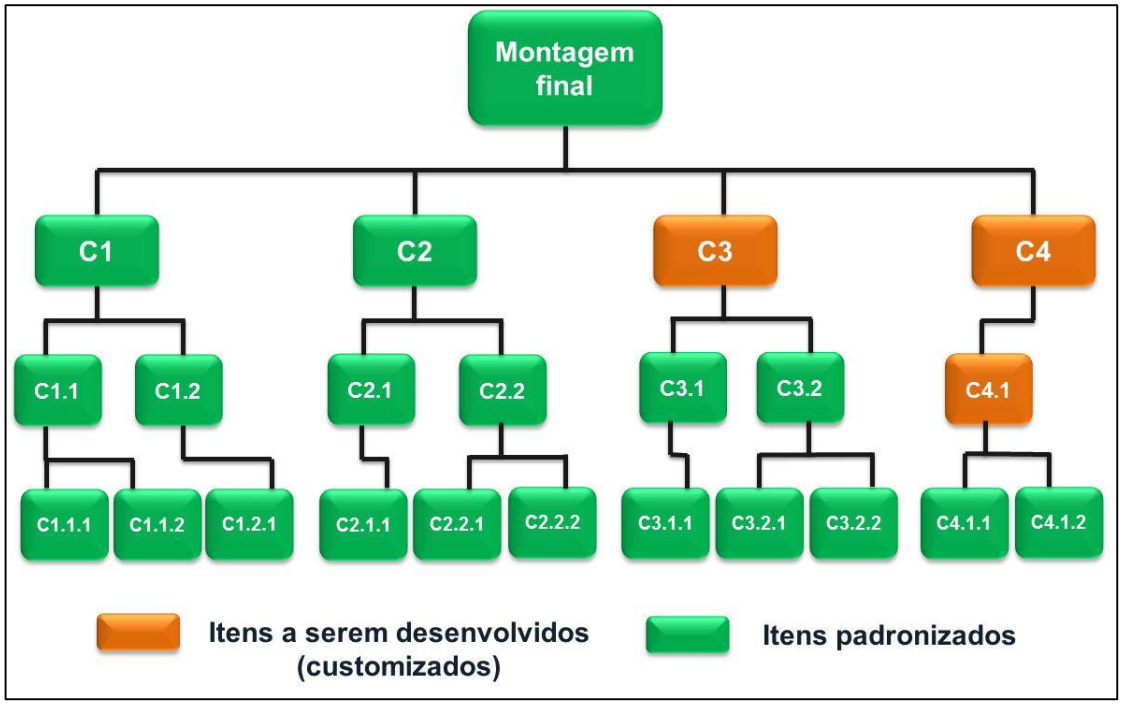

Figura 29 - Estrutura de produtos ETO - Customização de módulos

4.3.3. ETO – Alterações de parâmetros (ADP)

Em situações de ETO com alterações de parâmetros, o pedido do cliente entra na fase de desenvolvimento de produtos para que mudanças incrementais ou pequenas mudanças sejam realizadas em componentes de produtos cujo desenvolvimento já foi iniciado. Nestes casos, a informação do cliente é traduzida na forma de parâmetros

(dimensões ou especificações técnicas) que serão introduzidos no desenvolvimento do produto. Na manufatura, a montagem dos componentes é repetitiva e pode ser padronizada. A produção dos componentes é mais complexa devido à grande variação dos parâmetros.

A subtipologia ETO(ADP) pode ser comparada à ETS(ED) sugerida por Wikner e Rudberg (2005), que representa os sistemas que mantém projetos pré-desenvolvidos em estoque. Nestes casos, o produto previamente desenvolvido, pode receber alterações básicas em alguns parâmetros que o tornam customizado e único para um novo cliente.

- **Grau de customização do produto:** é considerado alto. O cliente tem a liberdade de alterar parâmetros de vários componentes, o que dificultará a manufatura dos mesmos;
- **Repetibilidade de produtos:** o produto gerado é único e customizado para um cliente específico;
- **Necessidade de projeto de processos:** é baixa, pois o fluxo de processos é comum a maioria dos produtos. A grande variabilidade é encontrada nos tempos de ciclo dos processos gerada pela variabilidade dos parâmetros;
- **Possibilidade de reuso de informações:** o reuso de informações, tanto no desenvolvimento de produtos quanto na manufatura é bastante utilizado. Embora tenham parâmetros diferentes, os produtos são desenvolvidos a partir de uma plataforma comum;
- **Complexidade da estrutura do produto:** a fase de desenvolvimento de produtos não é complexa e não demanda longos *lead times*. A estrutura de produtos, sob o ponto de vista da manufatura, apresenta vários pontos de customização.

A Figura 30 ilustra um exemplo típico de uma estrutura de produtos ETO com alterações de parâmetros. É possível notar que a maioria dos componentes finais da estrutura pode ser customizada sob a alteração de parâmetros.

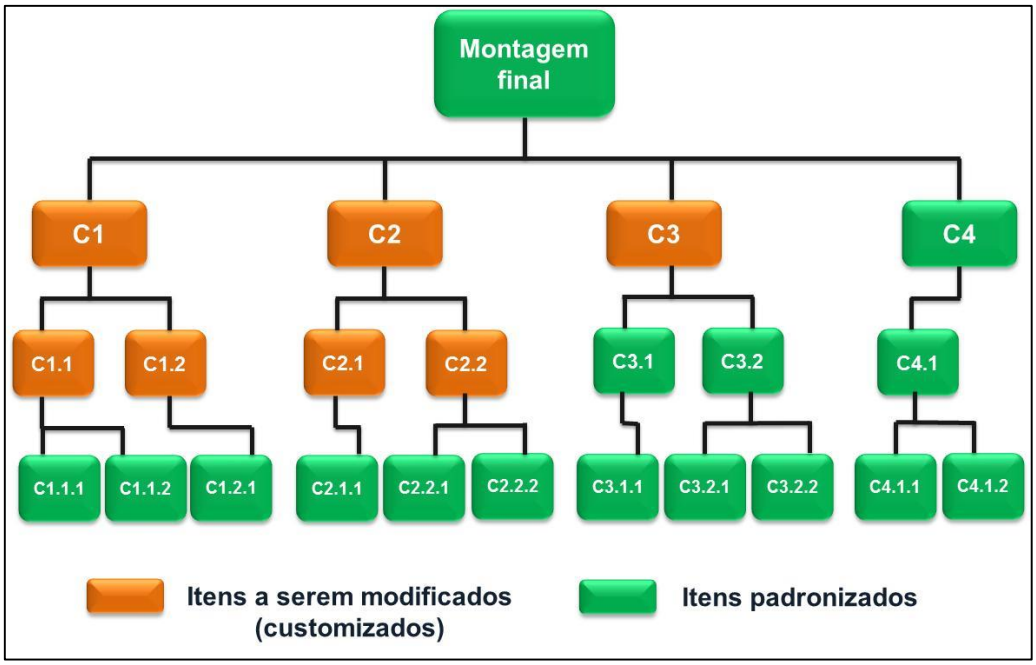

Figura 30 - Estrutura de produtos ETO - Alterações de parâmetros

4.3.4. ETO – One-of-a-Kind (OKP)

Em ambientes de produção ETO – *One-of-a-Kind* cada produto desenvolvido é inteiramente único e altamente customizado para clientes específicos. Praticamente todas as peças são projetadas e desenvolvidas somente após a chegada da ordem do cliente no departamento de Engenharia. As matérias-primas básicas, como por exemplo, peças de fixação e apoio, podem ser padronizadas. A montagem do produto pode apresentar repetibilidade, mas não pode ser completamente padronizada.

A subtipologia ETO(OKP) é equivalente ao DTO (*Design to Order*), mencionado por Porter *et al.* (1999) e Hill (2000), e também à ETO(ED) proposta por Wikner e Rudberg (2005). Os autores caracterizam estes ambientes como fabricantes de produtos completamente novos, únicos e desenvolvidos inteiramente para clientes específicos.

- **Grau de customização do produto:** é extremamente alto. O cliente tem interferência em quase todas as etapas das fases de desenvolvimento e manufatura. As atividades da Engenharia são praticamente artesanais e correspondem à maior parcela do tempo de fabricação total do produto;
- **Repetibilidade de produtos:** o produto é sempre único e customizado para um determinado cliente;

- **Necessidade de projeto de processos:** é extremamente necessário o projeto de processos para cada produto desenvolvido. A grande variedade de produtos nestes ambientes exige que os processos sejam flexíveis e adaptáveis. Cada tipo de produto resulta em uma nova configuração dos recursos de fabricação, como máquinas, operadores e ferramentas. Esta tipologia enfrenta alta variabilidade de tempos de processamento;
- **Possibilidade de reuso de informações:** o reuso de informações é pouco utilizado, visto que os produtos têm poucas semelhanças entre si;
- **Complexidade da estrutura do produto:** a estrutura de produtos *One-of-a-Kind* é muito complexa. Praticamente todos os componentes são desenvolvidos desde o início. A troca de informações com o cliente é intensa, gerando elevados índices de retrabalho e longos *lead times*.

A estrutura de produtos ETO – *One-of-a-Kind* representada pela Figura 31 apresenta uma grande proporção de itens desenvolvidos em relação ao total de itens que constituem o produto. Observa-se também que itens comprados (na base da estrutura) são os únicos que podem ser padronizados.

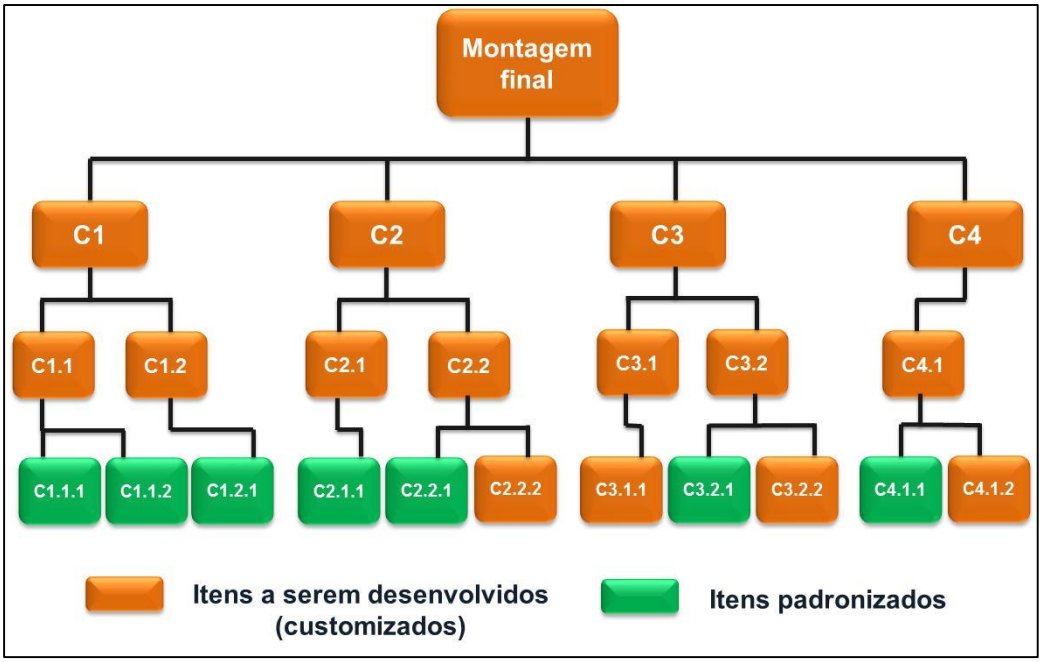

Figura 31 - Estrutura de produtos ETO - One-of-a-kind

O Quadro 11 resume de forma qualitativa as relações entre os critérios de classificação e as tipologias ETO propostas.

Quadro 11 – Relações entre critérios e tipologias ETO

	Tipologia ETO proposta			
Critério de classificação	**Curto ciclo com repetibilidade (CCR)**	**Customização de módulos (CDM)**	**Alterações de parâmetros (ADP)**	**One-of-a-Kind (OKP)**
Grau de customização do produto	• Elevado no desenvolvimento • Baixo na manufatura	• Baixo - customização restrita a poucos componentes	• Elevado - o cliente interfere em parâmetros de vários componentes	• Elevado - customização de praticamente todo o produto
Repetibilidade de produtos	• Alta repetibilidade na manufatura	• Baixa - produtos dificilmente se repetem	• Baixa - produtos nunca se repetem	• Baixa - produtos nunca se repetem
Necessidade de projeto de processos	• Processos projetados para cada produto	• Processos de fabricação padronizados	• Baixa - variabilidade de tempos de ciclo	• Extremamente necessário o projeto de processos
Possibilidade de reuso de informações	• Baixo reuso de informações entre produtos	• Reuso de informações para itens padrão	• Bastante utilizado - plataforma de produtos comum	• Baixo reuso de informações entre produtos
Complexidade da estrutura do produto	• Em alguns casos, produtos complexos com longos lead times de desenvolvimento	• Elevada - produtos com muitos componentes. Poucos são customizados	• Estrutura simples com curtos lead times de desenvolvimento	• Estrutura complexa - muitos componentes, longos lead times de desenvolvimento e muito retrabalho

5. MELHORES PRÁTICAS DE MANUFATURA EM AMBIENTES ETO

Este Capítulo pretende identificar as melhores práticas de manufatura em ambientes ETO e relacioná-las com cada subtipologia proposta. Conforme destacado anteriormente, cada tipo de produção ETO enfrenta problemas específicos relacionados ao grau de customização que adicionam em seus produtos. Quanto maior é o grau de customização e a complexidade dos produtos, mais ineficientes e demorados tendem a ser os processos de fabricação. Para que haja o equilíbrio na relação "eficiência *versus* responsividade", principal desejo de uma produção ETO, é necessário que o sistema produtivo esteja preparado para customizar produtos de forma rápida, com a qualidade exigida e com custos aceitáveis.

Desta forma, este Capítulo procura relacionar as principais dificuldades enfrentadas pelos processos de manufatura dos ambientes ETO com as ferramentas, as metodologias e os conceitos de melhoria mais indicados que a literatura oferece. Assim, será possível estabelecer uma relação entre o tipo de produção ETO e as práticas mais indicadas para o sucesso da fabricação.

As recomendações de melhores práticas de manufatura propostas por este trabalho foram divididas em dois tópicos: recomendações para o fluxo de valor e recomendações de ferramentas para processos, as quais serão detalhadas a seguir.

5.1. Recomendações para o fluxo de valor

Para um melhor entendimento do fluxo de processos e melhor visualização das soluções propostas, será utilizado o "Mapa de fluxo de valor" (MFV) (ROTHER; SHOOK, 1999) como ferramenta de apresentação. O MFV proporciona um claro entendimento do relacionamento entre os processos através de uma visão sistêmica do fluxo de valor, além de oferecer uma linguagem universal de ícones frequentemente utilizada na literatura. A Figura 32 mostra a legenda de ícones a serem utilizados nos mapas.

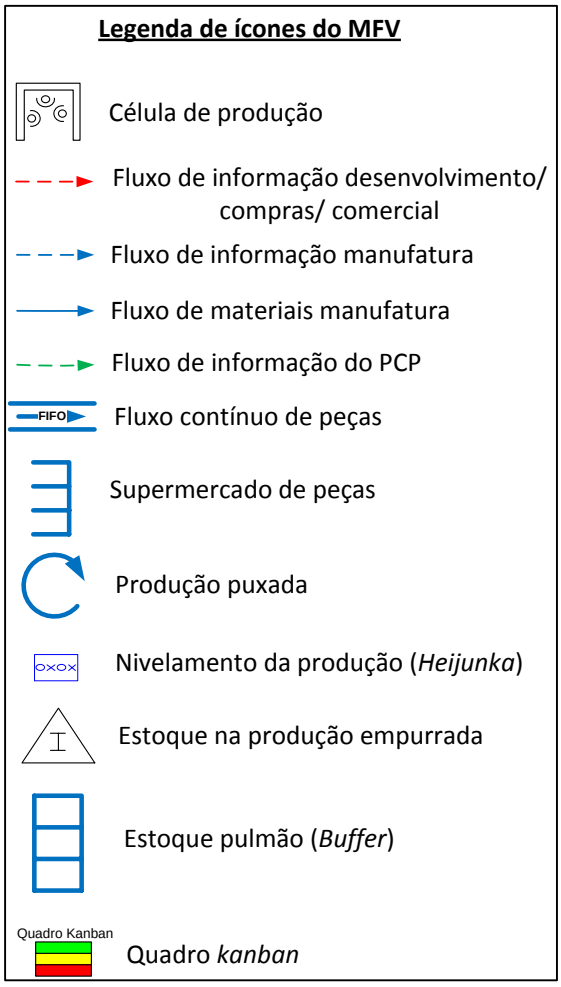

Figura 32 - Legenda de ícones do mapa de fluxo de valor

Cada subtipologia ETO será representada por um MFV que oferece recomendações para um fluxo enxuto e ágil. Os principais conceitos de gestão do fluxo de valor abordados na revisão bibliográfica serão relacionados com cada MFV. Além disso, serão indicados os pontos do fluxo onde o CODP (ponto de penetração da ordem do cliente) está localizado. A análise sugere dois CODP´s para cada MFV, sendo que um deles representa a chegada de informações no processo de desenvolvimento de produtos e o outro a chegada de informações na manufatura. O objetivo deste segundo CODP é a indicação de pontos do fluxo onde alguns processos de fabricação já foram iniciados ou finalizados antes mesmo da chegada da ordem do cliente. Isto se deve ao fato de que os fluxos de produção propostos podem englobar duas ou mais tipologias tradicionais, como por exemplo, MTS para itens completamente padronizados e MTO para itens novos.

I. ETO - Curto ciclo com repetibilidade (CCR)

Os sistemas produtivos ETO(CCR) são caracterizados por um longo *lead time* de desenvolvimento de produtos e um sistema de manufatura altamente padronizável. Depois de iniciada a produção dos componentes, o sistema se comporta como uma produção em massa, repetitiva e previsível. Todas as customizações foram previamente definidas na fase de desenvolvimento.

- **Programação do desenvolvimento de produtos:**

Os pedidos são encaminhados para a Engenharia para que os produtos possam ser projetados e desenvolvidos de acordo com as especificações dos clientes (CODP desenvolvimento). Em seguida, os processos são projetados de acordo com os produtos desenvolvidos. As informações geradas são repassadas ao PCP (planejamento e controle da produção).

- **Programação da manufatura:**

A programação da fábrica é realizada pelo PCP que gera ordens de produção diretamente para a expedição (CODP manufatura) de forma nivelada.

- **Compra de matéria-prima:**

A matéria-prima (MP) é comprada para reposição dos supermercados (sistema puxado com o setor de compras), pois todos os itens são padronizados e repetitivos.

- **Fluxo contínuo:**

Os processos de montagem e acabamento final são conectados por um fluxo contínuo de peças, minimizando os níveis de estoque e o tempo de atravessamento. Em alguns casos os produtos são acabados e enviados aos clientes diretamente. Nestas situações o acabamento final encaminha as peças à expedição em fluxo contínuo e o CODP está localizado no processo de montagem.

- **Células de produção:**

Os processos de fabricação de componentes operam como células de produção. Nas células, peças de uma mesma família (processos comuns) são processadas uma a uma (fluxo contínuo) e os processos estão fisicamente próximos, reduzindo o transporte e o *lead time*.

- **Sistema puxado (*kanban*):**

É possível implementar sistemas puxados de produção para o estoque de matéria-prima (dispara a compra), de componentes (dispara a produção das células) e de produtos acabados (dispara a montagem).

- **Área principal de atuação da manufatura ágil:**

A manufatura ágil pode atuar no relacionamento entre a empresa e o mercado (cliente), antecipando possíveis mudanças externas que venham afetar a produção.

- **Área principal de atuação da manufatura enxuta:**

A manufatura enxuta é altamente aplicável em todos os processos de fabricação dos produtos, visto que a padronização dos produtos e dos processos na manufatura é elevada.

A Figura 33 exibe o modelo de referência ideal para o fluxo ETO(CCR).

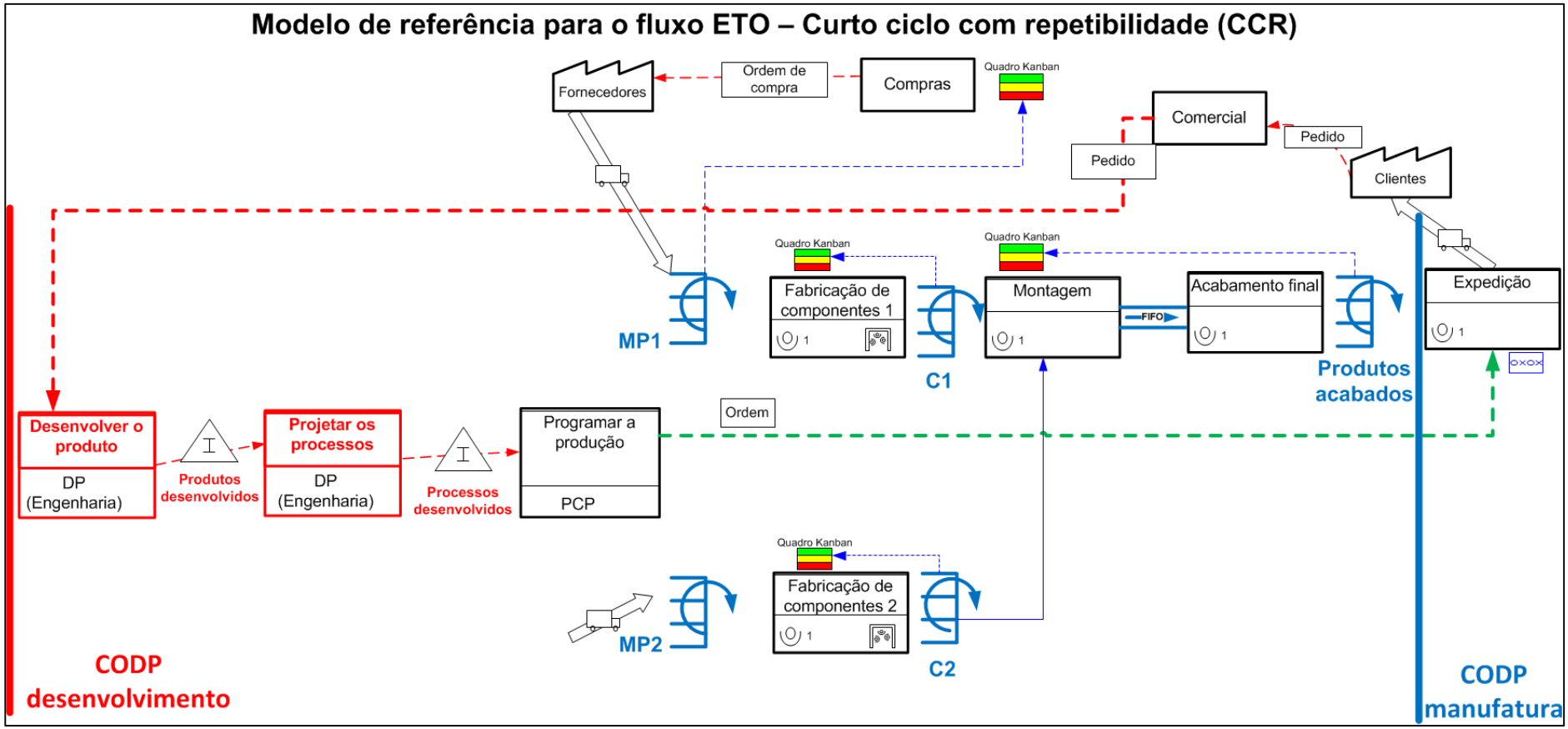

Figura 33 – Modelo de referência recomendado para fluxos ETO - Curto Ciclo com repetibilidade

II. ETO – Customização de módulos (CDM)

A manufatura da produção ETO(CDM) pode ser resumida como uma junção da estratégia MTS para itens padronizados com a estratégia MTO para itens especiais.

- **Programação do desenvolvimento de produtos:**

O pedido de desenvolvimento dos itens, módulos ou componentes especiais dos produtos é encaminhado à Engenharia (CODP desenvolvimento). Em seguida, o pedido é repassado ao PCP.

- **Programação da manufatura:**

A programação da fábrica é realizada pelo PCP que gera ordens de produção para a fabricação dos componentes especiais e para a montagem (CODP manufatura) de forma nivelada. As células de componentes padronizados não recebem ordens de produção do PCP.

- **Compra de matéria-prima:**

A maior parte da matéria-prima (MP) é comprada para reposição dos supermercados. Alguns itens especiais podem ser comprados depois da chegada da ordem do cliente, via pedido.

- **Fluxo contínuo:**

Os processos de fabricação de componentes especiais, montagem e acabamento final são conectados por um fluxo contínuo de peças, minimizando os níveis de estoque e o tempo de atravessamento. A chegada da ordem de produção juntamente com os itens especiais no processo de montagem dispara a retirada de itens padronizados em supermercado para que sejam montados.

- **Células de produção:**

Algumas células são dedicadas para a fabricação de componentes especiais. Outras produzem componentes padronizados de uma mesma família.

- **Sistema puxado (*kanban*):**

O sistema puxado pode ser implementado no estoque de matérias-primas padronizadas (dispara a compra) e de componentes padronizados (dispara a produção das células de componentes padronizados).

- **Área principal de atuação da manufatura ágil:**

Os conceitos da manufatura ágil podem ser adotados após o ponto do “CODP manufatura”, acelerando os processos posteriores à montagem e também nos

processos de fabricação de componentes especiais, quando a troca de informações com os clientes é mais intensa.

- **Área principal de atuação da manufatura enxuta:**

A manufatura enxuta pode ser aplicada em todo o fluxo de produção. Contudo, seus principais conceitos e ferramentas são mais fortemente aplicáveis na produção dos componentes padronizados e no nivelamento da produção e abastecimento da montagem.

O modelo de referência de fluxo ideal para ambientes ETO(CDM) pode ser visualizado na Figura 34.

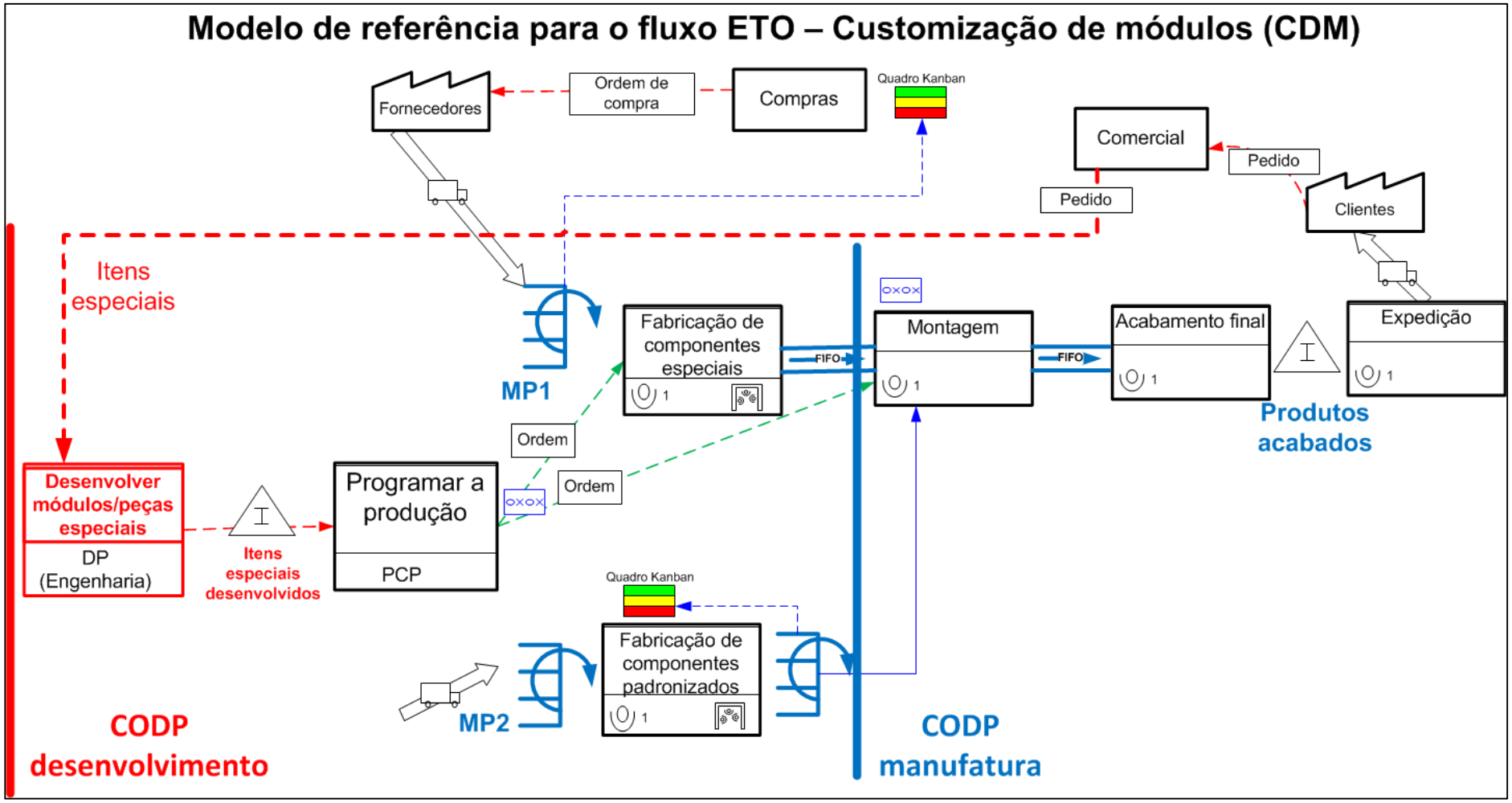

Figura 34 – Modelo de referência recomendado para fluxos ETO - Customização de módulos

III. ETO – Alterações de parâmetros (ADP)

O desenvolvimento dos produtos ETO(ADP) é previamente iniciado pela Engenharia sem a interferência de qualquer ordem de produção. No entanto, a finalização do desenvolvimento depende de parâmetros ou especificações técnicas, fornecidos pelos clientes, que determinarão as propriedades finais dos produtos. Tais parâmetros pouco influenciam a matéria-prima, porém, interferem diretamente na fabricação de componentes.

- **Programação do desenvolvimento de produtos:**

Os parâmetros são fornecidos à Engenharia (CODP desenvolvimento) e o produto é desenvolvido e projetado a partir de projetos semi-desenvolvidos. Neste momento são também geradas todas as informações necessárias à fabricação (programação das máquinas, tolerâncias, otimizações de corte, etc). O PCP recebe estas informações para realizar o planejamento da programação da fábrica.

- **Programação da manufatura:**

A programação da fábrica é realizada pelo PCP que gera ordens de produção para a fabricação de todos os componentes (CODP manufatura) e para a montagem, de forma nivelada.

- **Compra de matéria-prima:**

Em ambientes ETO(ADP) a matéria-prima geralmente não apresenta grande variedade de tipo de material. É comum a utilização de um mesmo tipo de material para todos os produtos. A diferenciação dos produtos é gerada pela forma com que este material será processado. Portanto, é altamente recomendável a adoção de compra de matéria-prima via sistema puxado.

- **Fluxo contínuo:**

O fluxo contínuo pode ser implementado entre os processos de montagem e acabamento final, desde que estes estejam balanceados de acordo com a demanda.

- **Células de produção:**

A produção de componentes pode ser realizada por células de produção. Contudo, o fluxo contínuo dentro das células pode ser difícil de ser adotado devido à grande variabilidade que os processos de fabricação de componentes podem sofrer. Os componentes produzidos são armazenados em estoques pulmões (*buffers*) onde aguardam a ordem para serem montados. Os *buffers* são estoques com níveis máximos e pontos de reposição bem definidos.

- **Sistema puxado (*kanban*):**

O único ponto de estoque onde a produção puxada é claramente aplicável devido à padronização de itens está localizado na compra de matéria-prima.

- **Área principal de atuação da manufatura ágil:**

Os conceitos da manufatura ágil podem ser adotados após o ponto do “CODP manufatura”, ou seja, basicamente em todos os processos da manufatura, mas principalmente na fabricação dos componentes, que são considerados processos lentos e ineficientes por serem fortemente afetados pela customização.

- **Área principal de atuação da manufatura enxuta:**

A manufatura enxuta é bastante útil na padronização dos processos de montagem e acabamento final e no nivelamento da produção. Além disso, várias ferramentas *Lean* também podem auxiliar a padronização da fabricação de componentes e a redução dos tempos de troca.

A Figura 35 ilustra o modelo de referência com as recomendações de fluxo para a tipologia ETO(ADP).

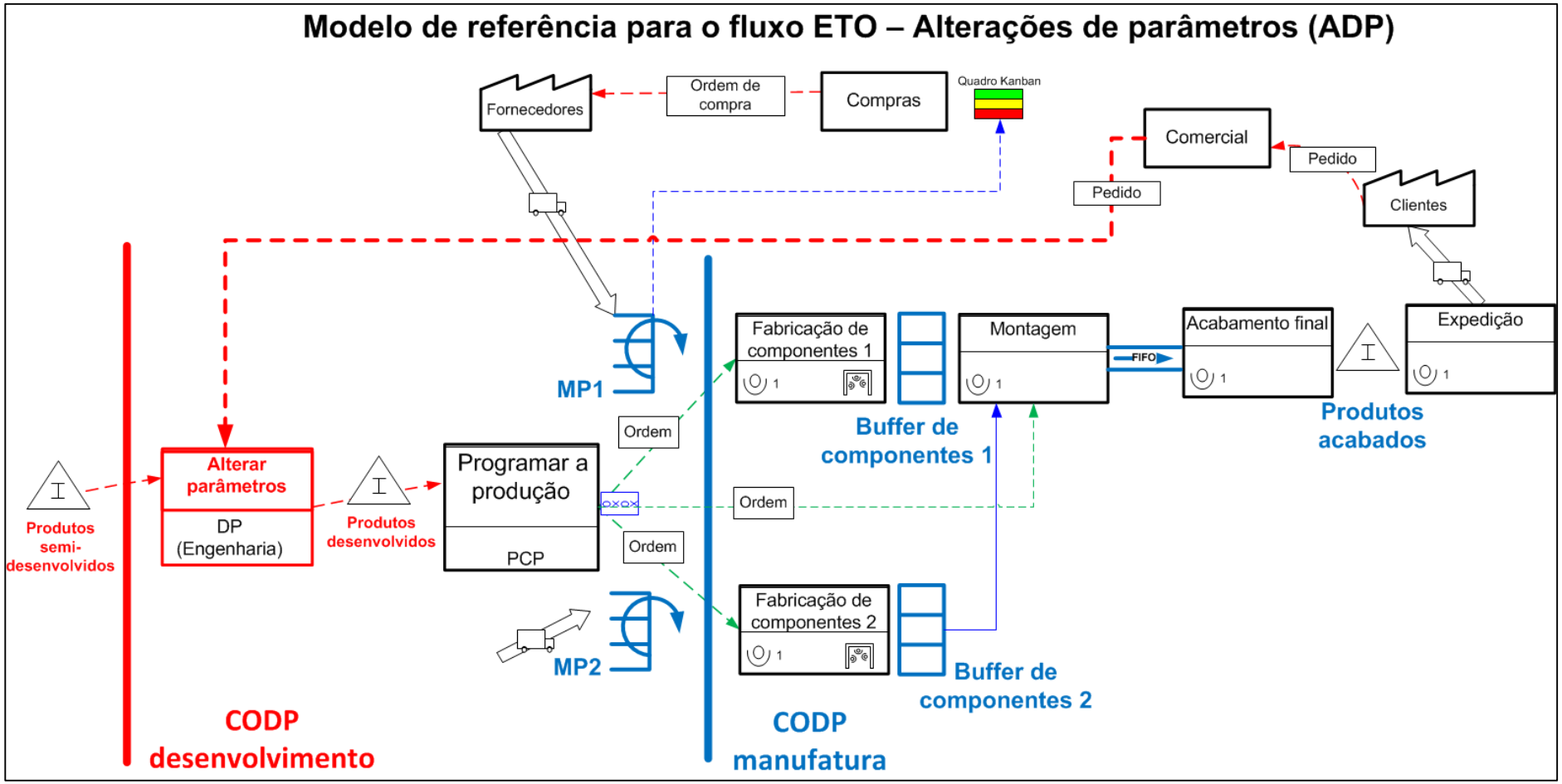

Figura 35 – Modelo de referência recomendado para fluxos ETO - Alterações de parâmetros

IV. ETO – One-of-a-Kind (OKP)

Os ambientes de produção ETO(OKP) (*One-of-a-Kind Production*) são caracterizados pelo desenvolvimento de praticamente todos os componentes do produto de acordo com as especificações do cliente. Quase todas as informações, inclusive as definições da matéria-prima a ser comprada, são obtidas após a chegada do pedido à Engenharia.

- **Programação do desenvolvimento de produtos:**

As especificações e os requisitos do cliente em relação ao produto são encaminhados à Engenharia (CODP desenvolvimento) e o produto é desenvolvido e projetado desde o início. Nesta fase é também disparada a lista de materiais especiais necessários para a fabricação dos componentes e montagem do produto. A compra da matéria-prima é realizada a partir desta lista. O PCP recebe todos os desenhos das peças com as especificações técnicas de produção.

- **Programação da manufatura:**

A programação da fábrica é realizada pelo PCP que gera ordens de produção para a fabricação de todos os componentes (CODP manufatura) e para a montagem. É importante que a montagem receba a programação de uma forma nivelada de acordo com a sua capacidade. O sistema de pontuação de peças (ponderação das peças de acordo com o tempo de processamento no processo gargalo) pode ser muito útil na programação da fábrica, reduzindo o desnivelamento causado pela grande variabilidade dos tempos de ciclo.

- **Compra de matéria-prima:**

Alguns itens, como por exemplo, parafusos, porcas, rebites e tinta são padronizados e podem ser comprados via sistema puxado. No entanto, a maior parte da matéria-prima depende das especificações dos produtos e é comprada somente após a elaboração da lista de materiais gerada pela Engenharia.

- **Fluxo contínuo:**

Os projetos desenvolvidos são encaminhados para o PCP em fluxo contínuo, visto que a Engenharia é considerada o grande gargalo do fluxo e, portanto, não são formados estoques entre o desenvolvimento e o PCP. A montagem e os processos de acabamento podem ser conectados por fluxo contínuo desde que haja sintonia entre a programação (baseada em pontos) e o balanceamento dos recursos.

- **Células de produção:**

A formação de células de produção balanceadas em fluxo contínuo para a fabricação de componentes é uma tarefa muito difícil de ser realizada. Mesmo que os processos estejam próximos, a grande variabilidade dos tempos de ciclo e o elevado número de trocas (*set ups*) entre produtos dificultam um fluxo contínuo perfeito.

- **Sistema puxado (*kanban*):**

Apenas os estoques de matéria-prima de itens padronizados, itens comerciais classe “C”, podem ser repostos por um sistema de compra puxado.

- **Área principal de atuação da manufatura ágil:**

A manufatura ágil é fortemente recomendada em todo o fluxo de valor de ambientes de produção ETO(OKP). Práticas como a customização em massa, a adaptabilidade e a rápida tomada de decisões frente às mudanças são requisitos muito importantes para a agilidade destes sistemas produtivos.

- **Área principal de atuação da manufatura enxuta:**

A princípio, a manufatura enxuta parece não ser aplicável em sistemas ETO(OKP). Contudo, qualquer fluxo de valor objetiva reduzir desperdícios, nivelar a produção e padronizar seus processos para ganhar produtividade. É necessário que todos os conceitos e todas as ferramentas da produção enxuta sejam adaptados para estes ambientes, e assim muitos ganhos podem ser obtidos. A redução dos tempos de troca, a padronização dos processos, a redução de quebras de máquina, os métodos de resolução de problemas e o estabelecimento de parcerias com fornecedores são exemplos de que a produção enxuta pode ser aplicada em qualquer sistema produtivo.

A Figura 36 representa o modelo de referência recomendado para o fluxo da tipologia ETO(OKP).

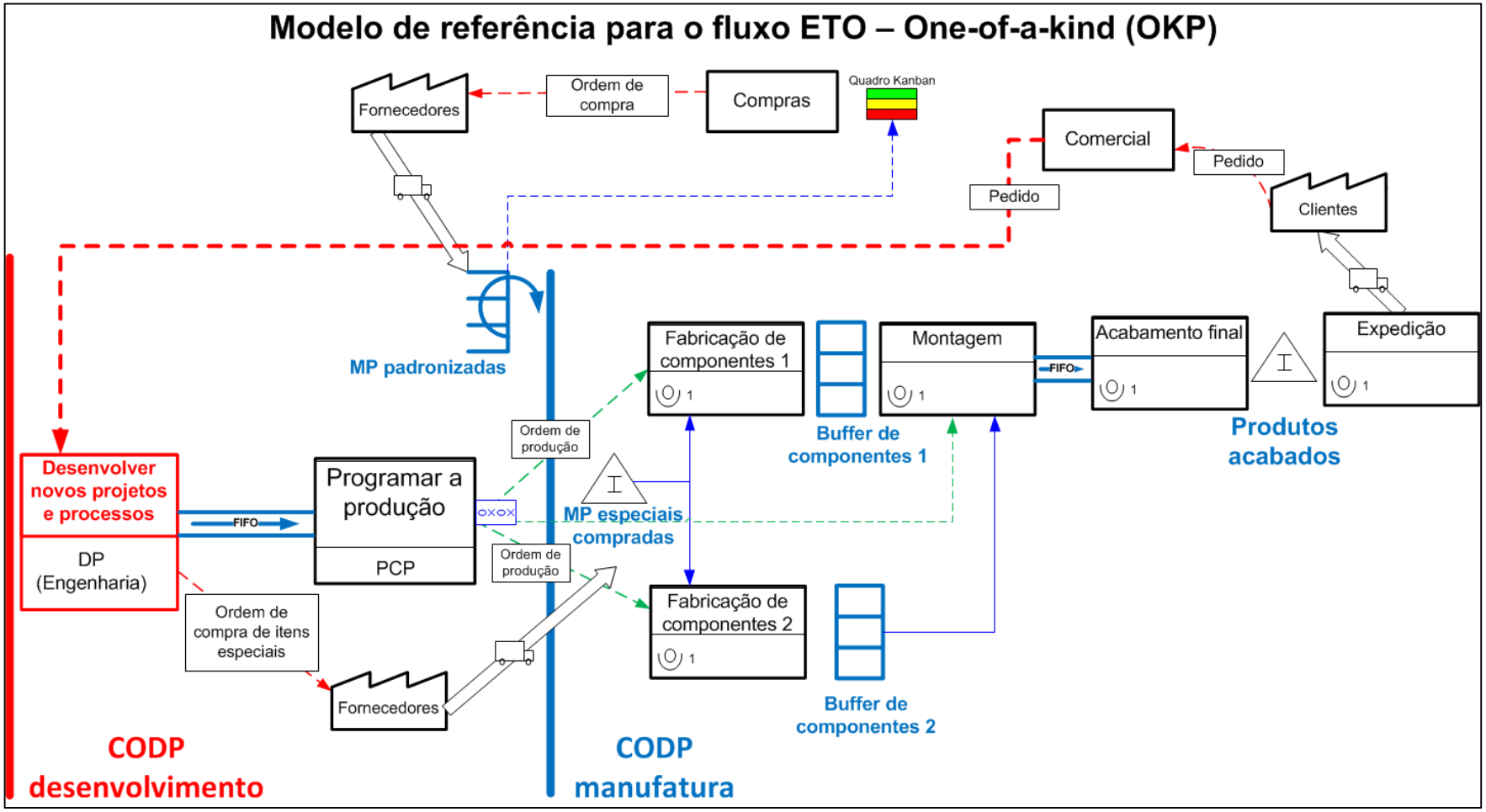

Figura 36 – Modelo de referência recomendado para fluxos ETO - One-of-a-Kind

5.2. Recomendações de ferramentas e conceitos aplicáveis

No tópico anterior foram recomendadas algumas práticas para a gestão do fluxo de valor em sistemas produtivos ETO. Do ponto de vista de melhoria de processos, é necessário que algumas ferramentas, metodologias e conceitos sejam implementados nestes fluxos. Este tópico procura avaliar a aplicabilidade das principais ferramentas e dos principais conceitos de melhoria conhecidos na literatura em cada subtipologia ETO proposta. A partir desta análise é possível selecionar as ferramentas e os conceitos mais indicados para cada ambiente e, assim, recomendá-los como boas práticas de manufatura.

Dentre as principais práticas de melhoria de desempenho abordadas na revisão bibliográfica deste trabalho, a manufatura enxuta é a única que oferece uma grande variedade de ferramentas e metodologias para melhoria de processos de fabricação. Embora a manufatura ágil seja altamente aplicável em ambientes de produção customizada, ela não oferece uma metodologia ou um conjunto de ferramentas que sejam recomendados especificamente para melhoria de processos. Portanto, as ferramentas e os conceitos da manufatura enxuta foram escolhidos pelo autor para a análise em questão. No entanto, embora tais ferramentas tenham suas origens fundamentalizadas na produção enxuta, seus benefícios estão alinhados com as demais práticas de melhoria existentes, como a manufatura ágil.

Rentes (2012) propõe um modelo de diagnóstico da situação atual em sistemas produtivos no qual é possível classificar o nível de maturidade da empresa em relação às principais ferramentas conhecidas, como pode ser visualizado na Figura 37.

As recomendações deste trabalho a respeito das ferramentas de melhoria direcionadas para a manufatura de ambientes ETO serão baseadas no modelo de Rentes (2012) e nas implementações dos projetos de consultoria citadas no estudo multicaso. Desta forma, foram selecionados pelo autor os seguintes conceitos e ferramentas:

- 5S;
- Fluxo contínuo e balanceamento de células de produção;
- Gestão visual;
- Mapeamento de fluxo de valor;
- Nivelamento da produção;
- Nivelamento de demanda;

- Padronização de atividades;
- Poka Yoke;
- Reorganização de Layout;
- SMED;
- Sistema de pontuação para programação e controle de produção;
- Sistema Puxado;
- TPM.

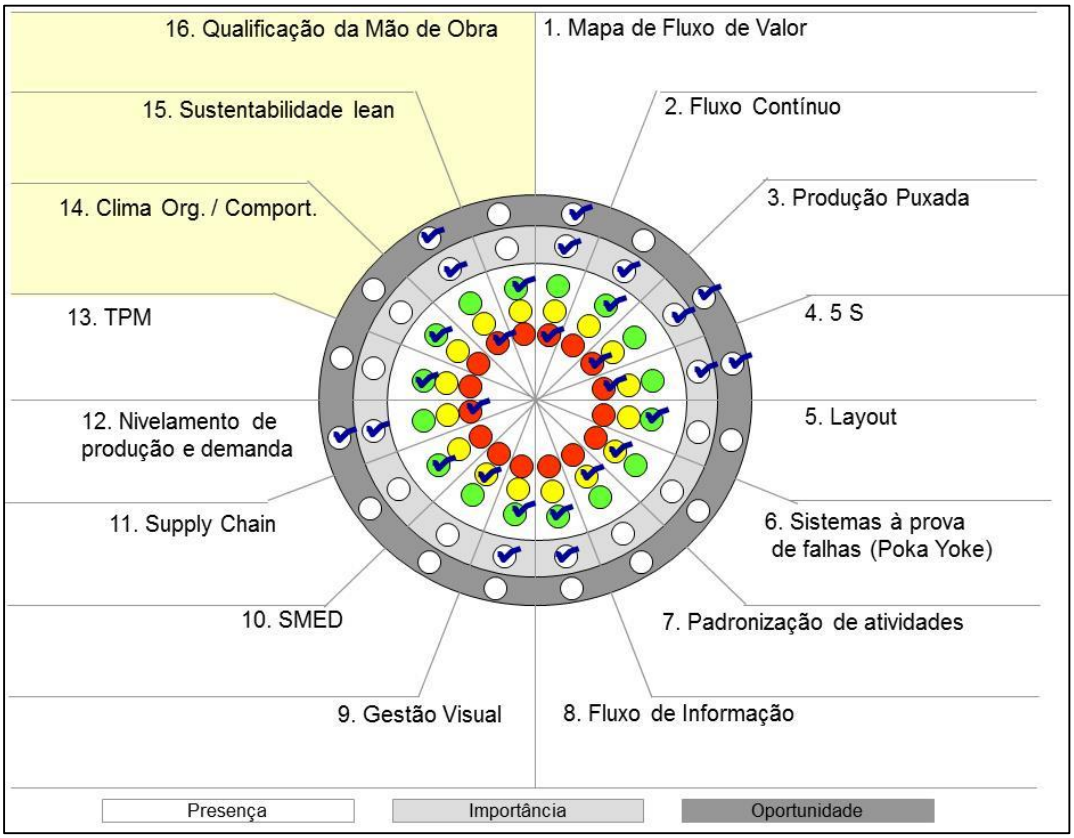

Figura 37 - Ferramentas de melhoria para diagnóstico da situação atual
Fonte: Rentes (2012)

O objetivo desta análise é estabelecer uma relação qualitativa de aplicabilidade entre as principais ferramentas e conceitos da manufatura enxuta (*Lean*) e as subtipologias ETO propostas. Entende-se por “aplicabilidade” a facilidade com que a ferramenta é implementada ou a viabilidade de sua aplicação em processos de fabricação de uma determinada tipologia.

Conclui-se que algumas ferramentas, cuja implementação independe do nível de customização dos produtos, são fortemente recomendadas em todos os ambientes ETO, tais como: 5S, gestão visual, mapeamento de fluxo de valor, *poka yoke,* SMED e TPM. Outras ferramentas têm alta aplicabilidade em tipologias com maior nível de padronização na manufatura (ETO(CCR) e ETO(CDM)), média aplicabilidade na tipologia ETO(ADP) e baixa aplicabilidade na tipologia ETO(OKP). São elas: balanceamento da produção em fluxo contínuo, nivelamento da produção e sistema puxado (*kanban*).

A padronização de atividades tem baixa aplicabilidade em ambientes ETO(OKP) devido à grande variabilidade dos tempos de ciclo e à grande variedade de produtos altamente customizados. Este fato dificulta a padronização dos processos de fabricação. O nivelamento de demanda, conjunto de práticas que nivelam as vendas ao longo do tempo, também é muito difícil de ser aplicado nestes ambientes. A imprevisibilidade tanto do volume de vendas quanto da variedade de produtos é bastante elevada.

O sistema de pontuação de peças para programação e controle da produção é indicado em tipologias com elevados níveis de customização e variabilidade dos tempos de ciclo (ETO(ADP) e ETO(OKP)). Na tipologia ETO(CCR), na qual a manufatura é equivalente a um sistema de produção em massa, a pontuação de peças é desnecessária.

Esta análise mostra claramente que a maioria das ferramentas mencionadas é indicada para qualquer ambiente produtivo, inclusive sistemas ETO. A filosofia *Lean* oferece conceitos que objetivam a eliminação ou a redução máxima de desperdícios por toda a cadeia produtiva. Muitas das ferramentas que auxiliam a implementação destes conceitos independem do grau ou da forma com que as empresas customizam seus produtos.

Algumas ferramentas têm a sua aplicabilidade limitada pela alta variedade de produtos e de processos, como foi observado nas subtipologias ETO(ADP) e ETO(OKP). Contudo, a implementação destas ferramentas podem ser adaptadas para estes ambientes ou direcionadas para fluxos de componentes padronizados, como por exemplo, itens comerciais, ou para a montagem dos produtos, onde os processos são mais facilmente padronizados.

O Quadro 12 resume as relações entre ferramentas e subtipologias ETO.

Quadro 12 - Ferramentas Lean aplicáveis em ambientes ETO

Ferramenta/conceito *Lean*	Subtipologia ETO			
	ETO - CCR	ETO - CDM	ETO - ADP	ETO - OKP
5S	🟢	🟢	🟢	🟢
Fluxo contínuo e balaceamento (*Takt time)*	🟢	🟢	🟡	🔴
Gestão visual	🟢	🟢	🟢	🟢
Mapa de fluxo de valor (MFV)	🟢	🟢	🟢	🟢
Nivelamento da Produção	🟢	🟢	🟡	🔴
Nivelamento de Demanda	🟢	🟢	🟢	🔴
Padronização de atividades	🟢	🟢	🟢	🔴
Poka Yoke	🟢	🟢	🟢	🟢
Reorganização de Layout	🟢	🟢	🟢	🟡
Single Minute Exchange of Die (SMED)	🟢	🟢	🟢	🟢
Sistema de pontuação de peças para programação e controle	🔴	🟡	🟢	🟢
Sistema Puxado (*Kanban*)	🟢	🟢	🟡	🔴
Total Productive Maintence (TPM)	🟢	🟢	🟢	🟢

Legenda	
Nível de aplicabilidade	Ícone
Alta	🟢
Média	🟡
Baixa	🔴

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Capítulo traz um resumo de toda a pesquisa realizada neste trabalho e das principais conclusões encontradas. Primeiramente, será descrito de forma resumida como foi elaborada a estrutura do trabalho e qual foi o processo de raciocínio utilizado para se atingir os objetivos desejados. Neste momento, serão verificados se os objetivos foram atingidos e se as questões da pesquisa foram respondidas. Posteriormente, serão analisados os resultados encontrados e as conclusões que podem ser retiradas da pesquisa. Por fim, o autor sugerirá a continuidade da pesquisa com a proposta de trabalhos futuros que podem enriquecê-la ainda mais.

6.1. Questão de pesquisa e objetivos

O presente trabalho identificou a necessidade de uma segmentação da tipologia de produção *Engineer to Order* devido à grande importância que estes ambientes vêm assumindo na customização de produtos e à grande variedade de sistemas ETO que podem ser encontrados atualmente. O estudo multicaso realizado mostrou que a customização de produtos na fase de engenharia e desenvolvimento pode ser realizada de várias formas, desde as mais simples até as mais complexas. Consequentemente, a gestão das cadeias produtivas destes ambientes deve estar alinhada com a forma com que as empresas customizam seus produtos e processos. Cada tipo de sistema exige adaptações e soluções específicas para que os produtos e serviços possam ser entregues aos clientes com qualidade e eficiência produtiva.

A revisão bibliográfica deste trabalho mostrou que não existe um modelo consolidado na literatura que classifique a tipologia ETO em subtipologias que abranjam todos os tipos de sistemas produtivos existentes e classificados como tal. Consequentemente, não existem modelos ou sugestões de conceitos e ferramentas de gestão e melhoria de processos adaptados para diferentes ambientes ETO. Alguns autores classificaram a tipologia ETO em duas ou três segmentações mais genéricas, as quais auxiliaram a estruturação da classificação proposta por este trabalho. No entanto, estas subdivisões necessitavam de um maior detalhamento para que pudessem englobar as mais variadas formas que um sistema ETO pode assumir.

As questões que motivaram a elaboração desta dissertação, citadas na justificativa do trabalho, foram:

- Como consolidar as classificações da tipologia ETO já realizadas na literatura e estabelecer critérios que classifiquem cada tipo de sistema?
- Quais são as ferramentas, conceitos e metodologias mais indicados para cada subtipologia ETO definida?

Autores como Wikner e Rudberg (2005), Porter *et al*. (1999), Hill (2000), Scott (1994) e Hicks *et al*. (2001) são alguns exemplos de pesquisadores que estratificaram a tipologia ETO. Basicamente, eles dividiram a produção ETO em dois grandes grupos: os que desenvolvem os produtos inteiramente de acordo com as especificações dos clientes e os que desenvolvem produtos para estoque. Estes últimos representam as empresas que customizam seus produtos através de alterações em projetos já desenvolvidos. Hicks *et al*. (2001) propõe quatro tipos de produção ETO através de duas variáveis: a complexidade da estrutura do produto e o volume de produção. Estas variáveis serviram como base teórica para a definição dos critérios de classificação que esta dissertação propõe. Portanto, a primeira questão de pesquisa foi respondida adequadamente.

A revisão bibliográfica trouxe também as melhores recomendações de ferramentas, conceitos e metodologias para a gestão e promoção de melhorias em cadeias produtivas ETO. Foram abordadas as principais estratégias para a cadeia de suprimentos ETO, a filosofia do *Lean Thinking* adaptada para a tipologia ETO, as ferramentas *Lean*, a adoção da Customização em Massa por empresas ETO, a manufatura ágil, o *Leagile* em ambientes ETO, a teoria das restrições e a *Quick Response Manufacturing*. A análise das soluções implementadas nos projetos dos estudos de caso somada às recomendações citadas na literatura resultaram nos modelos de referência para o fluxo de valor de cada subtipologia ETO. A aplicabilidade das principais ferramentas *Lean* para melhoria de processos também foi analisada em cada subtipologia proposta. Isto responde à segunda questão de pesquisa.

O Capítulo 3 apresentou nove estudos de caso que envolveram projetos de consultoria em empresas cuja tipologia de produção se encaixa nas características do *Engineer to Order*. Notou-se que, embora todas as empresas fossem classificadas como ETO, diferentes maneiras de customização na fase de desenvolvimento de

produtos puderam ser identificadas. As nove empresas foram divididas em quatros grupos que se assemelhavam em alguns critérios, tais como: o momento exato em que ocorre a customização, a frequência com que customizam seus produtos, a quantidade de peças ou partes do produto que podem ser customizadas e a complexidade e duração da fase de desenvolvimento de produto. No estudo multicaso também foram apresentadas as principais dificuldades que estes ambientes enfrentam e quais soluções foram implementadas pelos projetos de consultoria com o objetivo de otimizar os fluxos de processos produtivos.

O principal objetivo desta pesquisa foi definido como a proposição de uma classificação da tipologia de produção *Engineer to Order* (ETO) e a identificação das melhores práticas de manufatura em cada tipo de ambiente identificado. Os objetivos secundários foram definidos como:

- Identificar as classificações da tipologia ETO já realizadas na literatura;
- Definir as melhores práticas em processos de manufatura em ambientes ETO recomendadas pelos principais autores do tema;
- Analisar a eficácia das principais ferramentas de melhoria de processos de manufatura utilizadas atualmente em cada subtipologia ETO identificada.

A classificação proposta foi baseada nas segmentações sugeridas por alguns autores na literatura, no estudo multicaso em ambientes ETO e na experiência do autor em projetos de consultoria em empresas ETO. A junção destas três fontes de conhecimento resultou na proposição de quatro subtipologias ETO: a ETO com curto ciclo com repetibilidade, a ETO com customização de módulos, a ETO com alterações de parâmetros e a ETO *One-of-a-Kind.* O Capítulo 5 trouxe as práticas de manufatura recomendadas para cada subtipologia definida, divididas em recomendações para o fluxo de valor e recomendações de ferramentas para processos. Desta forma, os objetivos principais e secundários da pesquisa foram atingidos.

6.2. Conclusões da pesquisa

A pesquisa bibliográfica deste trabalho juntamente com a análise do estudo multicaso mostraram que a tipologia ETO não pode ser tratada como um sistema homogêneo e uniforme. Além das dificuldades clássicas que as empresas ETO enfrentam, já mencionadas na literatura pelos principais autores do tema, a customização de produtos na fase de desenvolvimento pode ser realizada de várias

formas, o que dificulta ainda mais a identificação das melhores práticas para estes sistemas.

Foram identificados na pesquisa diferentes níveis de customização no processo de desenvolvimento de produtos. Algumas empresas projetam seus produtos em ciclos que chegam a durar vários meses. Cada ciclo é formado por um conjunto de produtos destinados a atender as necessidades específicas de um cliente. No ciclo, estes produtos e seus processos de fabricação são desenvolvidos apenas uma vez e depois são fabricados repetidamente por um curto período de tempo. A fabricação é altamente padronizada e não sofre influência da customização. Estes sistemas foram classificados como ETO com curto ciclo com repetibilidade (CCR).

Em outras empresas, a customização na fase de desenvolvimento afeta somente algumas partes ou módulos do produto. As demais partes são padronizadas e foram desenvolvidas para estoque na Engenharia. Trata-se de uma grande evolução dos sistemas ETO, pois a customização pode ser alcançada com os custos e os *lead times* mais próximos aos praticados em tipologias como a ATO e a MTS. Estes ambientes foram classificados como ETO com customização de módulos (CDM) e são equivalentes à tipologia da Customização em Massa (CM).

Existem ainda ambientes que conseguem alta variedade de produtos sem a necessidade de desenvolvê-los inteiramente. Tais empresas customizam seus produtos através da alteração de parâmetros físicos, sem a interferência no tipo do material, com um desenvolvimento mais rápido e eficiente. A manufatura dos componentes tem alta variabilidade de tempos de ciclo devido aos infinitos parâmetros que podem ser solicitados. No entanto, a montagem e os processos de acabamento são padronizados e não sofrem variabilidade causada pela customização. Esta subtipologia foi denominada de ETO com alteração de parâmetros (ADP).

Por fim, algumas empresas seguem o modelo da clássica produção ETO *One-of-a-Kind,* no qual os produtos são praticamente desenvolvidos e fabricados inteiramente para os clientes. Cada projeto é único e necessita ser elaborado desde o início. Tais empresas geralmente atuam em mercados de bens de capital e construção civil. O elevado grau de customização dos produtos não é uma consequência e sim uma decisão estratégica da empresa para atender esses mercados.

O trabalho também mostrou que existem muitas possibilidades de ganhos e melhorias na indústria ETO. Mesmo com as barreiras impostas pela falta de

padronização dos processos, pela interferência que os clientes exercem no ciclo de produção, pela alta variedade de produtos e pelo desnivelamento da demanda, existem metodologias e ferramentas que podem ser adaptadas a estes ambientes de produção para se atingir altos níveis de qualidade, performance de entrega e produtividade.

O conceito do *Leagile,* defendido por alguns autores, sugere que o fluxo de valor dos sistemas produtivos deve ser dividido em duas partes: antes do CODP e depois do CODP. Esta divisão representa também a separação dos processos enxutos dos processos ágeis. Os processos enxutos estão localizados no início ou na primeira parte da cadeia, antes do CODP, enquanto que os processos ágeis estão localizados depois do CODP. Em fluxos ETO, nos quais o CODP está localizado nos processos de desenvolvimento, a produção enxuta teria a sua área de atuação limitada e não poderia ser aplicada em processos de manufatura, segundo este conceito do *Leagile*. Seguindo esta lógica, apenas a manufatura ágil poderia ser aplicada em sistemas de manufatura ETO.

Contudo, a percepção de que o conceito da produção enxuta não é aplicável em ambientes ETO foi questionada neste trabalho. O estudo multicaso mostrou que várias ferramentas *Lean* podem ser aplicadas em vários pontos do fluxo de valor, até mesmo em fluxos de manufatura de componentes não padronizados. Em alguns casos, as ferramentas podem ser adaptadas exclusivamente para ambientes com elevados níveis de customização. As recomendações para o fluxo de valor ETO sugeridas por este trabalho também mostraram que, mesmo em ambientes com alta variedade de produtos e processos como a ETO(ADP) e a ETO(OKP), é possível a implementação de ferramentas como o sistema puxado para itens comerciais e fluxo contínuo entre os processos finais de manufatura. Outras ferramentas independem do grau de customização dos produtos e podem ser aplicadas em qualquer sistema produtivo, tais como: 5S, SMED, TPM, mapeamento de fluxo de valor, gestão visual e *poka yoke*.

O *Lean Thinking* (Pensamento Enxuto) vai muito além de um conjunto de ferramentas. Trata-se de uma filosofia de produção que visa à eliminação ou redução máxima de desperdícios em todos os processos de negócio de uma empresa, sejam eles relacionados a materiais ou a informação. Quanto menores são os desperdícios, mais valorizadas se tornam as atividades que realmente agregam valor aos produtos e serviços oferecidos. Desta forma, ganhos significativos de eficiência interna podem

ser conseguidos, como reduções de custos, aumento de produtividade e redução de *lead times.* Estes são os desejos de qualquer tipo de empresa, independentemente de sua tipologia de produção.

Por fim, conclui-se que a estratificação da tipologia ETO em quatro subtipologias traz uma grande vantagem para esta indústria. A identificação das melhores práticas de manufatura para um determinado tipo de ambiente é facilitada com a subdivisão. Desta forma, a tipologia ETO passa a ser encarada como um sistema heterogêneo no qual soluções específicas são recomendadas para cada tipo de sistema produtivo.

6.3. Trabalhos futuros

O presente trabalho propõe uma subdivisão da tipologia de produção *Engineer to Order* e recomenda as melhores práticas de manufatura para estes ambientes. Foram identificados quatro tipos diferentes de produção ETO. Esta subdivisão foi baseada nas classificações sugeridas por alguns autores na literatura e, principalmente, no estudo multicaso realizado em nove empresas ETO. No entanto, a classificação proposta não foi testada e nem aplicada em casos práticos. Todas as conclusões e definições do trabalho foram extraídas de estudos e análises de casos previamente realizados.

A continuidade deste trabalho poderia estar relacionada à aplicação prática da classificação em novas empresas classificadas como ETO. A estratificação sugerida pode trazer grandes vantagens para empresas de consultoria que atuam em projetos de gestão e melhoria de processos em cadeias ETO. O diagnóstico da situação atual é agilizado com a identificação do tipo de produção ETO no qual a empresa se enquadra. Depois de classificada, a empresa já tem um conjunto de técnicas e ferramentas recomendadas para a melhoria de seus processos, especialmente os de manufatura. As aplicações práticas podem ainda trazer novas classes de produção ETO não identificadas neste trabalho, enriquecendo ainda mais a pesquisa.

Os resultados encontrados neste trabalho aliados às aplicações práticas em diversos segmentos da indústria ETO podem resultar em um modelo de referência para pesquisadores e agentes de mudança que classifica a tipologia ETO e determina um passo-a-passo indicado para melhorias de desempenho organizacional nestes ambientes.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDERMAN, N.; BRAIDEN, P.M.; HILLS, W.; MAFFIN, D.; THWAITES, A.; VAUGHAN, R. (1998). **Business process analysis and technological change in the capital goods industry**. International Journal of Computer Applications in Technology. Vol.11, Nº6, pp.418–427.

AMARO, G.; HENDRY, L.; KINGSMAN, B. (1999). **Competitive advantage, customisation and a new taxonomy for non-make-to-stock companies**. International Journal of Operations & Production Management. Vol.19, Nº4, pp.349–371.

ARAUJO, C.A.C. (2004). **Desenvolvimento e aplicação de um método para implementação de sistemas de produção enxuta utilizando os processos de raciocínio da Teoria das Restrições e o mapeamento do fluxo de valor**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

BADURDEEN, F.; MASEL, D. (2007). **A modular minicell configuration for mass customization manufacturing**. International Journal of Mass Customization. Vol.2, Nºs(1 e 2), pp.39–56.

BERKEL, O.V. (2010). **Production Planning and Control method in an ETO environment. Case study at Bosch Rexroth**. Master Thesis of Organization and Strategy department, Faculty of Economics and Business Administration, Tilburg University.

BERNARDI, G.; WALTER, C. (1998). **Especificação dos requisitos e proposta de um modelo de referência de um sistema de informação para produção "one-of-a-kind"**. Semana Acadêmica – UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BERRY, W.L.; HILL, T. (1992). **Linking systems to strategy**. International Journal of Operations & Production Management. Vol.12, Nº10, pp.3-15.

BERTRAND, J.W.M.; MUNTSLAG, D.R. (1993). **Production control in engineer-to-order firms**. International Journal of Production Economics. pp.3-22.

BEZERRA, D.K. (2011). **Aplicação dos conceitos e ferramentas da produção enxuta em situações de produção ETO do tipo OKP**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos.

BHANDARKAR, M.P.; NAGI, R. (2000). **STEP-based feature extraction from STEP geometry in agile manufacturing**. Computers in Industry, Nº4, pp.3-24.

BLEVINS, P. (2004). **Project-Oriented Manufacturing – "How to resolve the critical business issues that impact organizational competitiveness"**. Encompix, Cincinnati, OH.

BOOTH, C.; HAMMER, M. (1995). **Agile manufacturing concepts and opportunities in ceramics.** Ceramic Transactions. Nº50, pp.67-76.

BRAIDEN, P.M.; ALDERMAN, N.; THWAITES, A.T. (1993). **Engineering design and product development and its relationship to manufacturing: A programme of case study research in British companies.** International Journal of Production Economics. pp.265–272.

CAMERON, N.S.; BRAIDEN, P.M. (2004). **Using business process re-engineering for the development of production efficiency in companies making engineered to order products**. International Journal of Production Economics. Vol.89, Nº3, pp.261–273.

CARON, F.; FIORE, A. (1995). **''Engineer to Order'' companies: how to integrate manufacturing and innovative processes**. International Journal of Project Management. Vol.13, Nº5, pp.313–319.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. (2001). **Supply Chain Management – Strategy, Planning, and Operations**. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

CHRISTIAN, P.H.; ZIMMERS, E.W. JR. (1999). **Age of Agile manufacturing puts quality to the test**. Quality Progress, Vol.32, Nº3, pp.22-8.

CHRISTOPHER, M. (2000). **The agile supply chain**. Industrial Marketing Management, Vol.29, pp.37-44.

CHRISTOPHER, M. (2005). **Logistics and Supply Chain Management**. 3rd ed., Prentice-Hall, Harlow.

DAVIS, S.M. (1987). **Future Perfect.** Addison-Wesley Publishing, Reading, MA.

DONSELAAR, K.V.; KOPCZAK, L.R.; WOUTERS, M. (2001). **The use of advance demand information in a project-based supply chain**. European Journal of Operational Research. Vol.130, Nº3, pp.519–538.

DOVE, R. (1995). **Measuring agility: the toll of turmoil**. Production Magazine. Vol.107, Nº1, pp.12-14.

DRAAIJER, D.J. (1992). **Market-orientedness of improvement programs in manufacturing: results from field study research**. International Journal of Operations & Production Management. Vol.12, Nº7/8, pp.24-40.

DURAY, R. (2002). **Mass customization origins: mass or custom manufacturing?**. International Journal of Operations & Production Management. Vol.22, Nº3, pp.314-28.

DURAY, R.; WARD, P.T.; MILLIGAN, G.W.; BERRY, W.L. (2000). **Approaches to mass customization: configurations and empirical validation**. Journal of Operations Management. Vol.18, Nº6, pp.605-25.

EDWARDS, K.; HVAM, L.; PEDERSEN, J.L.; MØLDRUP, M.; MØLLER, N. (2005). **Udvikling og implementering af konfigureringssystemer: Økonomi, Teknologi og Organisation (‘‘Development and implementation of configuration systems: economics, technology and organization”).** Final report from PETO research project. Department of Manufacturing Engineering and Management. Technical University of Denmark, Lyngby.

EGAN, J. (1998). **Rethinking Construction: The Report of the Construction Task Force**. DETR, London.

FERNANDES, N.O.; CARMO-SILVA, S. (2006). **Generic POLCA. A production and materials flow control mechanism for quick response manufacturing**. International Journal of Production Economics. Vol.62, Nºs(1/2), pp.119–132.

FISHER, M. (1997). **What is the right supply chain for your product?**. Harvard Business Review. Vol.75, Nº2, pp.105-16.

GIESBERTS, P.M.J.; van den TANG, L. (1992). **Dynamics of the customer order decoupling point: impact on information systems for production control**. Production Planning & Control. Vol.3, Nº3, pp.300-13.

GIL, A.C. (1991). **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. Editora Atlas, 3ª edição. São Paulo, SP.

GOLDMAN, S.L.; NAGEL, R.N.; PREISS, K. (1995). **Agile Competitors and Virtual Organizations – Strategies for Enriching the Customer.** Van Nostrand Reinhold, London.

GOLDRATT, E.M. (2004). **The goal: A process of ongoing improvement**. Minnesota: Highbridge Company.

GOSLING, J.; NAIM, M.M. (2009). **Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda**. International Journal Production Economics. 122, pp.741-754.

GUNASEKARAN, A.; NGAI, E.W.T. (2005). **Build-to-order supply chain management: a literature review and framework for development**. Journal of Operations Management. Vol.23, Nº5, pp.423–451.

HARRISON, A.; VAN HOEK, R. (2008). **Logistics Management and Strategy**. 3rd ed., Prentice-Hall, Harlow.

HART, C.W.L. (1995). **Mass customization: conceptual underpinnings, opportunities and limits**. International Journal of Service Industry Management. Vol.6, Nº2, pp.36-45.

HAUG, A.; LADEBY, K.; EDWARDS, K. (2009). **From engineer-to-order to mass customization**. Management Research News. Vol.32, Nº7, pp.633-644.

HEDENSTIERNA, P.; NG, A.H.C. (2011). **Dynamic implications of customer order decoupling point positioning**. Journal of Manufacturing Technology Management. Vol.22, Nº8, pp.1032-1042.

HICKS, C.; McGOVERN, T.; EARL, C.F. (2000a). **Supply chain management: a strategic issue in Engineer to Order manufacturing**. International Journal of Production Economics. Vol.65, Nº2, pp.179-190.

HICKS, C.; BRAIDEN, P.M. (2000b). **Computer-aided production management issue in the engineer-to-order production of complex capital goods explored using a simulation approach**. International Journal of Production Research. Vol.38, Nº18, pp.4783-4810.

HICKS, C.; MCGOVERN, T.; EARL, C.F. (2001). **A typology of UK engineer-to-order companies**. International Journal of Logistics. Vol.4, Nº1, pp.43–56.

HILL, T. (2000). **Manufacturing Strategy**. Text and Cases, 2nd ed. Palgrave, New York, NY.

HINES, P.; TAYLOR, D. (2000). **Going lean: a guide to implementation**. Cardiff: Lean Enterprise Research Center.

HOLWEG, M.; PIL, F.K. (2001). **Successful build-to-order strategies start with the customer**. MIT Sloan Management Review. Vol.43, Nº1, pp.74–83.

HOPP, W.; SPEARMAN, M. (2000). **Factory Physics**. McGraw-Hill, New York, NY.

HUANG, S.H.; SHEORAN, S.K.; WANG, G. (2004). **A review and analysis of supply chain operations reference (SCOR) model.** Supply Chain Management: An International Journal. Vol.9, Nº1, pp.23-29.

IRELAND, P. (2004). **Managing appropriately in construction power regimes: understanding the impact of regularity in the project environment**. Supply Chain Management. Vol.9, Nº5, pp.372–382.

JAHNUKAINEN, J.; LAHTI, M. (1999). **Efficient purchasing in make-to-order supply chains**. International Journal of Production Economics. Vol.59, Nº(1–3), pp.103–111.

JAMMERNEGG, W.; REINER, G. (2007). **Performance improvement of supply chain processes by coordinated inventory and capacity management**. International Journal of Production Economics. Vol.108, Nºs 1-2, pp.183-90.

JIN-HAI, L.; ANDERSON, A.R.; HARRISON, R.T. (2003). **The evolution of agile manufacturing**. Business Process Management Journal. Vol.9, Nº2, pp.170-189.

KARKKAINEN, M.; HOLMSTROM, J.; FRAMLING, K.; ARTTO, K. (2003). **Intelligent products — a step towards a more effective project delivery chain**. Computers in Industry. Vol.50, Nº2, pp.141–151.

KASARDA, J.D.; RONDINELLI, D.A. (1998). **Innovative infrastructure for agile manufacturers**. Sloan Business Review. Vol.39, Nº2, pp.73-83.

KATAYAMA, H.; BENNETT, D. (1999). **Agility, adaptability, leanness: a comparison of concepts and a study of practice**. International Journal of Production Economics. Vol.60/61, Nº1, pp.43-51.

KINGSMAN, B.G.; HENDRY, L.C.; MERCER, A.; DE SOUZA, A.A. (1996). **Responding to customer enquiries in make-to-order companies, Problems and solutions**. International Journal of Production Economics. Vol.46-47, pp.219-231.

KOREN, Y.; HEISEL, U.; JOVANE, F.; MORIWAKI, T.; PRITSCHOW, G.; ULSOY, G.; VAN BRUSSEL, H. (1999). **Reconfigurable manufacturing systems**. Annals of the CIRP. Vol.48, Nº2, pp.527–540.

KOSKELA, L. (1992). **Application of the new production philosophy to construction**. Technical Report 72, Stanford University.

KOVACS, G.; MEZGAR, I.; SZELKE, E.; GIRNT, M. (1992). **One-of-a-kind production – A concurrent engineering approach.** One-of-a-kind Production: New approaches. Elsevier Science Publishers.

KRISHNAMURTHY, R.; YAUCH, C.A. (2007). **Leagile manufacturing: a proposed corporate infrastructure**. International Journal of Operations & Production Management. Vol.27, Nº6, pp.588-604.

LAMPEL, J.; MINTZBERG, H. (1996). **Customizing customization**. Sloan Management Review. Vol.38, Nº1, pp.21-30.

LENGYEL, A. (1994). **A new thinking in manufacturing for the 21st century**. Proceedings of the 1994 Aerospace and Defense Symposium, June, pp.1-8.

LIKER, J.K. (2003). **The Toyota way**. Wisconsin: McGraw-Hill.

LINDBERG, P. (1990). **Strategic manufacturing management: a proactive approach**. International Journal of Operations Management. Vol.10, Nº2, pp.94-106.

LITTLE, D.; ROLLINS, R.; PECK, M.; PORTER, J.K. (2000). **Integrated planning and scheduling in the engineer-to-order sector**. International Journal Computer Integrated Manufacturing. Vol.13, Nº6, pp.545-554.

LU, R.F.; PETERSEN, T.D.; STORCH, R.L. (2009). **Asynchronous stochastic learning curve effects in engineering-to-order customization processes**. International Journal of Production Research. Vol.47, Nº5, pp.1309-1329.

MASON-JONES, R.; NAYLOR, B.; TOWILL, D.R. (2000). **Engineering the leagile supply chain**. International Journal of Agile Management Systems. Vol.2, Nº1, pp.54-61.

MAXIPROD Informática Industrial Ltda. Website (a). Disponível em: <http://www.maxiprod.com.br/index.php?opcao=paginas&idPagina=138>. Acesso em: 02 jun. 2012.

MAXIPROD Informática Industrial Ltda. Website (b). Disponível em: <http://www.maxiprod.com.br/?opcao=paginas&idPagina=181>. Acesso em: 02 jun. 2012.

McGOVERN, T.; HICKS, C.; EARL, C.F. (1999). **Modelling supply chain management processes in engineer-to-order companies**. International Journal of Logistics: Research and Applications. Vol.2, Nº2, pp.147-159.

MEANS, G.; SCHNEIDER, D. (2000). **Meta-Capitalism the e-business revolution and the design of 21st-century companies and markets**. John Wiley & Sons, Inc.

MEHRABI, M.G.; ULSOY, A.G.; KOREN, Y. (2000). **Reconfigurable manufacturing systems: Key to future manufacturing**. Journal of Intelligent Manufacturing. Vol.11, Nº1, pp.403–419.

MONDEN, Y. (1998). **Toyota production system (3rd ed.)**. Georgia: Engineering and Management Press.

MONTREUIL, B.; FRAYRET, J-M.; D'AMOURS, S. (2000). **A strategic framework for networked manufacturing**. Computers in Industry. Vol.42, pp.299-317.

MOSER, K. (2007). **Mass customization strategies-development of a competence-based framework for identifying different mass customization strategies**. Morrisville, NC: Lulu Enterprises, Inc.

NAGEL, R.N.; DOVE, R. (1992). **21st Century Manufacturing Enterprise Strategy**. Iacocca Institute, Lehigh University, Bethlehem, PA.

OHNO, T. (1998). **Toyota production system: beyond large-scale production**. Productivity Press, Portland.

OLHAGER, J. (2003). **Strategic positioning of the order penetration point**. International Journal of Production Economics. Vol.85, Nº3, pp.319-29.

OLHAGER, J.; SELLDIN, E.; WIKNER, J. (2006). **Decoupling the value chain.** International Journal of Value Chain Management. Vol.1, Nº1, pp.19-32.

PAASHUIS, V.; BOER, H. (1997). **Organizing for concurrent engineering: an integration mechanism framework**. Integrated Manufacturing Systems, Vol.8, Nº2, pp.79-89.

PILLER, F. (2004). **Mass customization: reflections on the state of the concept**. International Journal of Flexible Manufacturing Systems. Vol.16, Nº4, pp.313-34.

PINE, B.J. (1993). **Mass Customization: The New Frontier in Business Competition**. Harvard Business School Press, Boston, MA.

PIRES, S.R.I. (1995). **Gestão Estratégica da Manufatura**. Editora UNIMEP.

PIRES, S.R.I. (2004). **Gestão da cadeia de suprimentos: conceitos, práticas e casos**. Supply chain management. Atlas, São Paulo (SP).

PORTER, K.; LITTLE, D.; MATTHEW, P.; ROLLINS, R. (1999). **Manufacturing classifications: relationships with production control systems**. Integrated Manufacturing Systems. Vol.10, Nº4, pp.189-98.

PRINCE, J.; KAY, J.M. (2003). **Combining lean and agile characteristics: creation of virtual groups by enhanced production flow analysis**. International Journal of Production Economics. Vol.85, Nº3, pp.305-18.

RAHMAN, A.; RAHIM, A.; SHARIFF, M.; BAKSH, N. (2003). **The need for a new product development framework for engineer-to-order products**. European Journal of Innovation Management. Vol.6, Nº3, pp.182–196.

RENTES, A.F. (2012). **Ferramentas Lean para diagnóstico.** Hominiss Consulting.

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

ROUIBAH, K.; CASKEY, K.R. (2003). **Change management in concurrent engineering from a parameter perspective**. Computers in industry, Nº50, pp.15-34.

ROZENFELD *et al.* (2006). **Gestão de Desenvolvimento de Produtos – Uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo. Editora: Saraiva.

RUDBERG, M.; WIKNER, J. (2004). **Mass customization in terms of the customer order decoupling point**. Production Planning & Control. Vol.15, Nº4, pp.445-58.

SAIA, R. (2009). **O lean manufacturing aplicado em ambientes de produção Engineer to Order***.* Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

SALVADOR, F.; RUNGTUSANATHAM, M.; FORZA, C.; TRENTIN, A. (2007). **Mix flexibility and volume flexibility in a build-to-order environment**. International Journal of Operations & Production Management. Vol.27, Nº11, pp.1173–1191.

SARKIS, J. (1997). **An emphirical analysis of productivity and complexity for flexible manufacturing systems**. International Journal of Production Economics. Vol.48, Nº1, pp.39-48.

SCC (1999). **Supply-Chain Operations Reference-Model: Overview of SCOR Version 3.0.** Supply-Chain Council Inc. Pittsburgh, PA.

SCHWAIN, K.D. (2004). **Prioritization and integration of lean initiatives with theory of constraints**. Master of Science Thesis. Department of mechanical engineering and Sloan School of Management. Massachusetts Institute of Technology.

SCOTT, B. (1994). **Manufacturing Planning Systems**. McGraw-Hill, Maidenhead.

SELLTIZ, C.; WRIGHTSMAN, L.S.; COOK, S.W. (1974). **Métodos de pesquisa nas relações sociais.** Editora Pedagógica e Universitária. São Paulo, SP.

SHARIFI, H.; ZHANG, Z. (2001). **Agile manufacturing in practice: application of a**

Methodology. International Journal of Operations & Production Management. Vol.21, Nºs(5/6), pp.772-94.

SHINGO, S. (1981). **Study of Toyota Production System from Industrial Engineering Viewpoint**. Japan Management Association, Tokyo.

SILVA, E.L.; MENEZES, E. M. (2005). **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** UFSC. 4ª edição. Florianópolis, SC.

SILVEIRA, G.D.; BORENSTEIN, D.; FOGLIATTO, F.S. (2001). **Mass customisation: Literature review and research directions**. International Journal of Production Economics. Vol.72, Nº1, pp.1–13.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. (2002). **Administração da Produção**. 2ª ed. São Paulo: Editora Atlas.

SOMAN, C.A.; VAN DONK, D.P.; GAALMAN, G. (2004). **Combined make-to-order and make-tostock in a food production system**. International Journal of Production Economics. pp.20-22.

STALK, G. (1988). **Time – the next source of competitive advantage**. Harvard Business Review, July-August.

STEVENSON, M.; HENDRY, L.C.; KINGSMAN, B.G. (2005). **A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry**. International Journal of Production Research. Vol.43, Nº5, pp.869-898.

STUMP, B.; BADURDEEN, F. (2012). **Integrating lean and other strategies for mass customization manufacturing: a case study.** Journal of Intelligent Manufacturing. Vol.23, Nº1, pp.109-124.

SURI, R. (1998). **Quick response manufacturing: A company wide approach to reducing lead times**. Oregon: Productivity Press.

SWAMINATHAN, J.M. (2001). **Enabling customization using standard operations**. California Management Review. Vol.43, Nº3, pp.125–135.

TAKAHASHI, K.; HIROTANI, M.; HIROTANI, D. (2005). **Comparing CONWIP, synchronized CONWIP, and Kanban in complex supply chains**. International Journal of Production Economics. pp.93–94, pp.25–40.

TOWILL, D. (2003). **Construction and the time compression paradigm**. Construction Management and Economics. Vol.21, Nº6, pp.581–591.

TU, Y. (1997). **Production planning and control in a virtual one-of-a-kind production company**. Computers in Industry. Vol.34, Nº3, pp.271–283.

ULRICH, K.; TUNG, K. (1991). **Fundamentals of product modularity**. Issues in Design Manufacture/Integration. Vol.39, Nº1, pp.73–79.

UPTON, D.M. (1995). **What really makes factories flexible?**. Harvard Business Review, July/August, pp.74-86.

VAN ASSEN, M.F.; HANS, E.W.; VAN DE VELDE, S.L. (2000). **An agile planning and control framework for customer-order driven discrete parts manufacturing environments**. International Journal of Agile Management Systems. Vol.2, Nº1, pp.16-23.

VAN HOEK, R.I. (2000). **The thesis of leagility revisited**. International Journal of Agile Management Systems. Vol.2, Nº3, pp.196-201.

VOLLMAN, T.E.; BERRY, W.L.; WHYBARK, D.C.; JACOBS, F.R. (2005). **Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management**. 5th ed., McGraw-Hill, Boston, MA.

VOORDIJK, H.; MEIJBOOM, B.; HAAN, J.D. (2006). **Modularity in supply chains: a multiple case study in the construction industry**. International Journal of Operations & Production Management. Vol.26, Nº6, pp.600–618.

VRIJHOEF, R.; KOSKELA, L. (2000). **The four roles of supply chain management in construction**. European Journal of Purchasing & Supply Management. Vol.6, Nº(3–4), pp.169–178.

WALTER, C.; RIES, O. (1996). **A Automação da Engenharia de Produto em um Ambiente ETO/OKP.** Máquinas e Metais. Agosto, pp.132-139.

WIKNER, J.; RUDBERG, M. (2005). **Integrating production and engineering perspectives on the customer order decoupling point**. International Journal of Operations & Production Management. Vol.25, Nº7, pp.623-641.

WIKNER, J.; TANG, O. (2008). **A structural framework for closed-loop supply chains**. The International Journal of Logistics Management. Vol.19, Nº3, pp.344-366.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. (1996). **Lean thinking – Banish Waste and Create Wealth in your Corporation.** Simon & Schuster, New York.

WORTMANN, J.C.; MUNSTLAG, D.R.; TIMMERMANS, P.J.M. (1997). **Customer-Driven Manufacturing**. Chapman & Hall, London.

ZHANG, Z.; SHARIFI, H. (2000). **A methodology for achieving agility in manufacturing organizations**. International Journal of Operations & Production Management. Vol.20, Nº4, pp.496-512.