

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DO PERÍODO**  
**DA RETOMADA DE PRODUÇÃO**

**Autor:** Miguel Sugai

**Orientador:** Prof. Dr. Olívio Novaski

**70/2007**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

**MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DO PERÍODO**  
**DA RETOMADA DE PRODUÇÃO**

**Autor:** Miguel Sugai

**Orientador:** Prof. Dr. Olívio Novaski

**Curso:** Engenharia Mecânica

**Área de Concentração:** Materiais e Processos de Fabricação

**Tese de Doutorado apresentada à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.**

**10 de julho de 2007**

**Campinas – SP – Brasil**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Su31m Sugai, Miguel  
Método de classificação dos elementos do período da  
retomada de produção / Miguel Sugai.--Campinas, SP: [s.n.],  
2007.

Orientador: Olívio Novaski.  
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas,  
Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Metodologia - Classificação. 2. Engenharia de produção.  
3. Engenharia industrial. 4. Eficiência industrial. I. Novaski,  
Olívio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Classification method of elements that cause the run-up period in  
changeover

Palavras-chave em Inglês: Run-up period, Changeover, Setup, Analysis and  
classification sheet

Área de concentração: Materiais e processos de fabricação

Titulação: Doutor em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Oswaldo Luiz Agostinho, Antonio Batocchio, Dario Ikuo  
Miyake, Milton Vieira Jr

Data da defesa: 10/07/2007

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Mecânica

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

**TESE DE DOUTORADO**

**MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DO PERÍODO**  
**DA RETOMADA DE PRODUÇÃO**

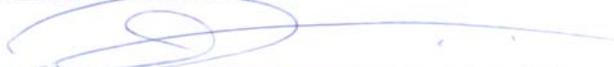
Autor: **Miguel Sugai**

Orientador: **Prof. Dr. Olívio Novaski**

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Tese:

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Olívio Novaski**  
**DEF/FEM – UNICAMP**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Oswaldo Luiz Agostinho**  
**DEF/FEM – UNICAMP**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Antonio Batochio**  
**DEF/FEM – UNICAMP**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Dario Ikuo Miyake**  
**Escola Politécnica – USP**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Milton Vieira Jr**  
**FEAU – UNIMEP**

Campinas, 10 de julho de 2007.

## **DEDICATÓRIA:**

Ao meu pai,  
que me ensinou a relacionar-me com  
Deus como um Pai.

Neste ano,  
quando comemora  
os seus oitenta,  
ofereço-lhe o neto  
de mais longa gestação.

## **AGRADECIMENTOS**

- Aos meus pais que foram muito abnegados para os doze filhos fizessem universidade. A despeito dos apertos financeiros, criaram um lar envolto de simplicidade e alegria que proporcionou um grande amor e respeito de uns pelos outros;
- Aos meus irmãos, cunhadas e sobrinhos: durante os quatro anos de doutorado a família quase duplicou de tamanho e segue crescendo;
- Ao meu orientador, professor Olívio Novaski que indicou o caminho deste trabalho durante todo tempo;
- Ao Richard McIntosh. A leitura de seus livros e artigos, de prestígio internacional, estimulou-me na aplicação dedicada nesta tese. Ajudou-me como um segundo orientador ao esclarecer de forma certa os aspectos específicos deste trabalho.
- Aos professores do departamento de Engenharia de Fabricação que participaram do exame de qualificação e deram sugestões importantes para a execução da tese;
- Ao professor Marcius que estimulou na preparação de um artigo para revista;
- Aos srs. Mauro, Bruno, Faria, Valmir, Buzzano, Fabrício, Iury, Satin, Cargnelutti, Marcelo Laranjeira, Chang, Oswaldo, Marcelo Nogueira e Márcio Pedroso que deram o suporte necessário para que a fase experimental se consolidasse;

- Ao Alexandre Reali, Thales e sua equipe de *setup*, cujos comentários auxiliaram a polir os conceitos que foram desenvolvidos nesta tese;
- Ao amigo Carlos Lobo, que foi muito paciente com minhas solicitações inoportunas;
- Aos colegas da pós: Neto, Fernando, Francisco, Adilson, Micaroni, Luciano, Juan, Edson, Rosley, Jefferson, André, pelas decisivas discussões na hora do cafezinho.
- Ao Mário Reis, colega de linha de pesquisa, com quem pude aprender aplicações industriais muito interessantes;
- A todos os funcionários da FEM que me ajudaram em muitos momentos durante o doutorado e também foram muito pacientes comigo, em especial a dona Vera e dona Rute;
- Às bibliotecárias da BAE que sempre foram muito pacientes com minhas solicitações de materiais e artigos;
- Aos alunos de iniciação Murilo e Armando que acompanharam partes importantes desta tese e trabalharam no desenvolvimento deste trabalho;
- Aos amigos do Grupo de Estudo de Engenharia de Produção que fizeram os dois últimos anos do doutorado muito mais dinâmico. As reuniões foram muito enriquecedoras e formativas;
- Às empresas AReymold, Altana Pharma, Bosch, Cepar, Eaton, Honda, Johnson&Johnson, MTU, Romi, Toyota, que de alguma forma contribuíram na realização desta pesquisa;
- Aos amigos do Centro Cultural do Castelo pelo incentivo e presença;
- Ao CNPq;

Meus sinceros agradecimentos

## RESUMO

SUGAI, Miguel. Método de Classificação dos Elementos do Período da Retomada de Produção. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2007, 153p. Tese (Doutorado).

As metodologias de redução de tempo de preparação (*setup*) ganharam importância quando se tornou necessário produzir em pequenos lotes e grande variedade com o mesmo sistema produtivo. No contexto histórico, recebe maior destaque a metodologia SMED (*Single-Minute Exchange of Die*) elaborada por Shigeo Shingo, consultor da Toyota Motors Company, que deu passos relevantes em termos conceituais e técnicos. Nos dias atuais, o uso do SMED nas indústrias brasileiras tem sido mais comum. Contudo, tem surgido a preocupação em realizar melhorias que possibilitam a plena recuperação da capacidade produtiva após o *setup*. Este período da retomada (fase pós-*setup*) não tem recebido muitas atenções e em alguns sistemas produtivos tem gerado muitas perdas. Este trabalho realiza uma revisão histórica e o estado da arte dos conceitos de *setup* e *changeover* (virada de produção) sendo que a principal contribuição desta tese é propor um Método de Classificação dos Elementos do Período da Retomada. Partindo das causas primárias do diagrama de Ishikawa, a classificação utiliza como base as informações da revisão bibliográfica e dos estudos de caso múltiplos (máquina individual, arranjo celular e linha de produção) realizados na indústria metal-mecânica. O resultado final foi o desenvolvimento do Método de Classificação dos Elementos do Período da Retomada e da Planilha de Classificação de Sentenças com o qual se avalia cada elemento do período da retomada conforme as categorias “geração de instabilidade”, “intermediário” e “domínio” no período da retomada. Este método foi testado em outros dois estudos de caso de produção discreta para validar o seu conteúdo, embora contenha informações úteis para outros sistemas produtivos.

Palavras-chave: Virada de Produção, Período da Retomada, *Setup*, Planilha de Classificação de Sentenças.

## **ABSTRACT**

SUGAI, Miguel. Classification Method of Elements that Cause the Run-up Period in Changeover. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2007, 153p. Tese (Doutorado).

The setup time reduction methodologies gained importance when the industry was challenged to produce in small lots and high variety with the same production system. In the historical context, SMED methodology, elaborated by Shigeo Shingo, a Toyota Motors Company consultant, deserves special attention. His methodology has given prominent steps in terms of evaluation and technical concepts regarding setup time reduction methodologies. Today, the use of the SMED in the Brazilian industries has become commonplace. However, the concern to make improvements to achieve full recuperation of production capacity after setup has arisen. This run-up period has not received the necessary attention, leading to big losses in some production systems. This work is a historical review and a presentation of the state-of-the-art of setup and changeover concepts and, its main contribution, is proposing a classification method of the elements that cause the run-up period. Starting from the primary causes of Ishikawa's diagram, the classification is based on the information from bibliographical revision and from the multiple case studies (individual machine, cellular arrangement and production line) developed in the metal-mechanical industry. The final result is the Classification Method of Element that Cause the Run-up period in which each causal element is evaluated according to the categories "instability generation", "intermediate" and "domain in the run-up period". This Classification Method has been tested in other two case studies to validate the concept and it received the approval in cases of discrete production, although it also contains relevant information for other productive systems.

Key words: Run-up period, changeover, setup, Analysis and Classification Sheet

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xvi</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>NOMENCLATURAS</b> .....	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 INTRODUÇÃO .....	1
1.2 PROBLEMA PROPOSTO .....	2
1.3 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	2
1.4 OBJETIVO .....	4
1.4.1 Objetivo Geral .....	4
1.4.2 Objetivos Específicos .....	4
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4

<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>PRINCIPAIS CONCEITOS E REVISÃO HISTÓRICA .....</b>	<b>7</b>
2.1	INTRODUÇÃO .....	7
2.2	DEFINIÇÕES E CONCEITOS .....	8
2.3	CHANGEOVER NAS ETAPAS EVOLUTIVAS DO SISTEMA PRODUTIVO .....	12
2.3.1	Sistema de Produção Fordista em Highland Park.....	12
2.3.2	Produção em massa de múltiplos produtos.....	14
2.3.3	Sistema Toyota de Produção .....	16
2.4	SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED) .....	18
2.4.1	Controvérsias quanto à originalidade do SMED .....	21
2.5	ANÁLISE CRÍTICA À METODOLOGIA SMED.....	22
2.5.1	Análise crítica sobre definição do SMED.....	22
2.5.2	Análise crítica aos estágios 1 e 2 da metodologia SMED .....	24
2.5.3	Análise do estágio 3: Melhoria Sistemática.....	26
2.6	VARIAÇÕES EM TORNO DO SMED .....	29
2.7	METODOLOGIA SMED NO BRASIL.....	30
2.7.1	O conceito SMED e a Troca Rápida de Ferramentas (TRF) .....	32
2.8	COMENTÁRIOS .....	34
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>CHANGEOVER E SETUP: ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>35</b>
3.1	INTRODUÇÃO.....	35
3.2	IMPROVING CHANGEOVER PERFORMANCE .....	36
3.2.1	Pesquisas sobre os períodos de desaceleração e retomada.....	36
3.2.2	Melhorias Organizacionais e em Projeto .....	42
3.2.3	Estratégia de Redução.....	48
3.2.4	Metodologia Matricial .....	51
3.2.5	Projeto para <i>Changeover</i> ( <i>Design for Changeover</i> ) .....	55
3.2.6	Visão Integrada dos conceitos .....	56
3.3	GHENT UNIVERSITY.....	58
3.3.1	Elementos Chave do <i>setup</i> .....	58
3.3.2	Diagrama de Multi-atividade.....	59
3.3.3	Integração do Diagrama de Múltiplas Atividades e o PDCA.....	62
3.4	IMPORTÂNCIA DA SEQUÊNCIA DE LOTES.....	62
3.5	COMENTÁRIOS .....	64
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA .....</b>	<b>65</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	65
4.2	TIPOS DE PESQUISA.....	66
4.3	PESQUISA BASEADA EM ESTUDO DE CASO .....	69
4.3.1	Projetos de Estudo de Caso.....	71
4.3.2	Desvantagens do Estudo de Caso .....	72
4.4	REALIZAÇÃO DO MÉTODO DE ESTUDO DE CASO NESTE TRABALHO.....	73

4.4.1	Questões de Estudo.....	74
4.4.2	Unidades de análise visitadas.....	75
4.4.3	Unidades de análise escolhidas.....	76
4.4.4	Geração de relatório de casos cruzados e teste de validação.....	78
4.5	COMENTÁRIOS.....	78
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>ELABORAÇÃO DO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DO PERÍODO DA RETOMADA .....</b>	<b>79</b>
5.1	INTRODUÇÃO.....	79
5.2	IMPORTÂNCIA DA PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO.....	79
5.2.1	Estudo do <i>changeover</i> em linha de produção e arranjo celular.....	81
5.3	IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DE PERDA DE PRODUÇÃO NO PERÍODO DA RETOMADA.....	81
5.3.1	Diagrama de Causa e Efeito – Causas primárias.....	82
5.3.2	Elementos de Projeto e Causas Secundárias.....	83
5.3.3	Elementos Organizacionais e Causas Secundárias.....	85
5.4	PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO – FASE PRELIMINAR.....	88
5.4.1	Fluxograma de Ação.....	88
5.4.2	Coleta de dados históricos ou gerenciais.....	89
5.4.3	Cálculo de perda de produção.....	90
5.5	MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DO PERÍODO DA RETOMADA.....	91
5.5.1	Categorias de classificação.....	92
5.5.2	Método de Classificação dos Elementos do Período da retomada.....	93
5.5.3	Planilha de Classificação de Sentenças.....	95
5.6	COMENTÁRIOS.....	98
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>CASOS QUE FUNDAMENTAM A PROPOSTA .....</b>	<b>100</b>
6.1	INTRODUÇÃO.....	100
6.2	CASO ALFA – CHANGEOVER EM UMA MÁQUINA INJETORA PLÁSTICA.....	100
6.2.1	Melhorias organizacionais.....	102
6.2.2	Melhorias em projeto.....	104
6.2.3	Utilização do Método de Classificação no caso Alfa.....	106
6.3	CASO BETA – CHANGEOVER EM CÉLULA DE PRODUÇÃO DE EIXO.....	108
6.3.1	Descrição da célula.....	109
6.3.2	Aspectos gerais do <i>changeover</i> na célula.....	111
6.3.3	Dificuldade de aprovação das peças.....	112
6.3.4	Perdas de produção.....	114
6.3.5	Classificação dos elementos do período de retomada no caso Beta.....	116
6.4	CASO GAMA – CHANGEOVER EM LINHA DE PRODUÇÃO DE VÁLVULAS INJETORAS.....	119
6.4.1	Estudo do desempenho do <i>changeover</i> .....	120
6.4.2	Cálculo da perda de produção.....	122
6.4.3	Fim do período da retomada.....	123
6.4.4	Ajuste em posto crítico.....	125
6.4.5	Aplicação do Método de Classificação no Caso Gama.....	128

6.5 COMENTÁRIOS .....	130
<b>CAPÍTULO 7 APLICAÇÃO EM ESTUDOS DE CASO PARA VALIDAR A PROPOSTA .....</b>	<b>131</b>
7.1 INTRODUÇÃO .....	131
7.2 CASO DELTA – CÉLULA DE MONTAGEM .....	132
7.3 CASO EPSILON – TORNO AUTOMÁTICO .....	136
7.4 COMENTÁRIOS .....	139
<b>CAPÍTULO 8 CONCLUSÕES E SUGESTÃO PARA PRÓXIMOS TRABALHOS ...</b>	<b>140</b>
8.1 CONCLUSÕES .....	142
8.2 SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS .....	144
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>144</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>153</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Configuração usual de <i>setup</i> .....	8
Figura 2.2	Imagem comum que se faz das perdas reais no <i>setup</i> .....	9
Figura 2.3	Perdas de produção durante períodos de desaceleração e retomada .....	10
Figura 2.4	SMED – <i>Single Minute Exchange of Die</i> .....	19
Figura 2.5	Projeto de redução de <i>setup</i> de prensa.....	26
Figura 2.6	Desempenho do tempo de <i>setup</i> em um fábrica.....	27
Figura 2.7	Metodologia com presença do SMED-ZERO .....	30
Figura 2.8	Edições norte-americana (a) e brasileira (b) do livro do Shigeo Shingo.....	32
Figura 3.1	Período da retomada .....	37
Figura 3.2	Produtividade durante o <i>start-up</i> e <i>setup</i> .....	38
Figura 3.3	Situação hipotética de produção de eixos.....	39
Figura 3.4	Situação real de produção de eixos .....	39
Figura 3.5	Apresentação esquemática da geração de refugo durante o <i>changeover</i> .....	40
Figura 3.6	Oscilações no período da retomada observada em estudo de caso .....	41
Figura 3.7	Oscilações no período da retomada observada em estudo de caso 2 .....	41
Figura 3.8	Configurações possíveis do período da retomada com variedade na perda e tempo decorrido .....	42
Figura 3.9	Gradação entre melhoria organizacional e projeto .....	43

Figura 3.10	Mapeamento de atributos de virada de produção na gradação organizacional–projeto .....	45
Figura 3.11	Gráfico comparativo entre melhorias em <i>changeover</i> .....	46
Figura 3.12	Diagrama 4P's .....	47
Figura 3.13	Redução do <i>Tc</i> em duas formas possíveis .....	50
Figura 3.14	Identificação dos três níveis do SMED .....	52
Figura 3.15	Três níveis da Metodologia Matricial.....	54
Figura 3.16	Fluxograma do Projeto para <i>Changeover</i> .....	55
Figura 3.17	Visão Integrada com ferramentas e documentações .....	57
Figura 3.18	Elementos chave do <i>setup</i> .....	58
Figura 3.19	Exemplo de uso do Diagrama de Múltiplas Atividades, antes de aplicar melhorias.....	59
Figura 3.20	Ganho de uma hora com uso do Diagrama de múltiplas atividades.....	61
Figura 3.21	Fluxograma integrado SMED e Diagrama de Múltiplas atividades.....	62
Figura 4.1	Tipos básicos de projetos para estudos de caso.....	71
Figura 4.2	Método de estudo de caso múltiplo.....	72
Figura 5.1	Possíveis causas primárias de oscilações no período da retomada.....	82
Figura 5.2	Fluxograma de ação para aplicação da proposta de classificação .....	89
Figura 5.3	Gradação entre classificação geração instabilidade–domínio .....	92
Figura 5.4	Presença do nível intermediário na gradação instável–previsível.....	93
Figura 6.1	Máquina injetora na qual foi realizado o <i>changeover</i> .....	101
Figura 6.2	Produto injetado sendo retirado da máquina pelo operador.....	101
Figura 6.3	Preparador instalando programa de produção do novo lote .....	103
Figura 6.4	Preparação do molde do novo lote, com exemplar do produto sobre o mesmo ....	103
Figura 6.5	Atividade em paralelo, com métodos de trabalho previstos para cada funcionário.	103

Figura 6.6	Operador acionando o engate rápido que acopla cabos e tubos no molde .....	104
Figura 6.7	Aquecedor eletrônico do molde a ser utilizado no próximo lote.....	105
Figura 6.8	Placa magnética que fixa moldes e transporte por grua. ....	105
Figura 6.9	Preparador realizando análise visual da qualidade da quarta peça do lote novo...	106
Figura 6.10	Arranjo celular do estudo de caso .....	110
Figura 6.11	Fluxograma de aprovação de peças pela metrologia .....	112
Figura 6.12	Análise de Pareto das causas de parada da célula .....	114
Figura 6.13	Efeito na taxa de produção pela liberação de duas máquinas .....	117
Figura 6.14	Exemplo de linha <i>transfer</i> para movimentação de peças entre postos.....	120
Figura 6.15	Número peças por minuto durante o período analisado .....	121
Figura 6.16	Períodos de desaceleração e retomada em intervalo de 10 minutos.....	125
Figura 6.17	Correlação atividade de <i>setup</i> nas unidades de tempo .....	126
Figura 6.18	Procedimento de ajuste de cabeçote na estação 18 .....	127

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Diferentes compreensões sobre troca de ferramentas e <i>setup</i> .....	32
Tabela 3.1	Conceitos da Metodologia Matricial.....	52
Tabela 3.2	Técnicas associadas aos conceitos da Metodologia Matricial .....	54
Tabela 4.1	Os tipos de pesquisa.....	67
Tabela 4.2	Classificação dos tipos de pesquisa .....	68
Tabela 4.3	Estratégia dos diferentes tipos pesquisa.....	69
Tabela 5.1	Planilha de Classificação de Sentenças.....	97
Tabela 6.1	Resultado do Método de Classificação no estudo de caso Alfa.....	107
Tabela 6.2	Etapas do processo de produção do eixo carretel .....	110
Tabela 6.3	Dados de OEE, tempo de <i>setup</i> , tempo para aprovação e refugo de um mês	115
Tabela 6.4	Resultado do Método de Classificação no estudo de caso Beta .....	118
Tabela 6.5	Perda real de peças e tempo associado .....	123
Tabela 6.6	Descrição das atividades .....	126
Tabela 6.7	Tempo gasto no <i>changeover</i> de cada cabeçote do posto crítico .....	127
Tabela 6.8	Resultado do Método de Classificação no estudo de caso Gama .....	129
Tabela 7.1	Classificação do estudo de caso Delta conforme modelo proposto.....	133
Tabela 7.2	Classificação do estudo de caso Epsilon conforme modelo proposto .....	137

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Passos básicos de um programa de redução de <i>setup</i> .....	30
Quadro 3.1	Categorias da Estratégia de Redução .....	48
Quadro 4.1	Casos de <i>changeover</i> analisados .....	75
Quadro 4.2	Requisitos necessários .....	75
Quadro 4.3	Casos selecionados.....	76
Quadro 5.1	Dados iniciais informados.....	89
Quadro 5.2	Método de Classificação dos Elementos do Período da retomada .....	95
Quadro 6.1	Atividades previstas para aplicação da metodologia .....	102
Quadro 6.2	Dados do <i>changeover</i> na máquina injetora.....	106
Quadro 6.3	Atividades de análise do eixo carretel pela metrologia .....	113
Quadro 6.4	Dados do <i>changeover</i> no caso Gama .....	122
Quadro 7.1	Dados do estudo de caso Delta .....	132
Quadro 7.2	Dados do estudo de caso Epsilon.....	136

## NOMENCLATURAS

c	custo unitário
D	Demanda
<i>i</i>	taxa de encargos financeiros
n	período de tempo
PE	Produção Esperada
PP	Produção Perdida
PR	Produção Realizada
S	custo de <i>setup</i>
<i>T<sub>c</sub></i>	Tempo de virada de produção
<i>T<sub>p</sub></i>	Tempo de produção
<i>t<sub>pp</sub></i>	Tempo relativo à Produção Perdida
tx	Taxa de ajuste de produção

### *Abreviações*

ICP	<i>Improving Changeover Performance</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LEF	Lote Econômico de Fabricação
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
QDC	<i>Quick Die Change</i>
QS	<i>Quality Supplier</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
SMPI	Sistema de Produção com Inventário Minimizado

STP            Sistema Toyota de Produção  
TRF            Troca Rápida de Ferramentas

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUÇÃO**

### **1.1 INTRODUÇÃO**

O advento e a disseminação das técnicas modernas de manufatura nos anos 1980 conduziram a mudanças substanciais na forma de produzir bens tangíveis. A estratégia competitiva por preço e custo tem sido gradativamente substituída pelo empenho simultâneo de melhores preços, qualidade, prazo de entrega e rápido desenvolvimento de produtos. Alcançar a vantagem competitiva em todas as frentes significa ir muito além de investimentos em alta tecnologia. Trata-se de empenhar-se na melhoria contínua em processos produtivos.

As principais mudanças nos processos produtivos surgiram na indústria automobilística, mas atualmente todos os ramos industriais procuraram aplicar tais técnicas em seu conjunto ou em suas partes principais. Em todos os casos há um ponto em comum: flexibilidade da produção para o atendimento da demanda. Um elemento fundamental para isso é o bom desempenho no *changeover* ou virada da produção, quando a máquina, célula ou linha deixa de produzir o lote de um produto e passa a produzir um outro produto.

Por vezes, a preparação pode tomar muito tempo da capacidade produtiva significando sérios desperdícios. A virada de produção tem significado algumas vezes perda de capacidade produtiva especialmente na retomada das operações após o *setup*. Durante o período de retomada,

fase após o *setup* até que o sistema produtivo volte a operar com capacidade produtiva esperada, o sistema pode estar muito aquém da capacidade ótima, não sendo computado como perda produtiva.

## **1.2 PROBLEMA PROPOSTO**

Ao analisar a realidade da virada de produção, alguns pesquisadores identificaram efeitos provocados na perda de capacidade produtiva, antes e depois do *setup*. É muito oportuno conhecer estas pesquisas para identificar na indústria nacional estas perdas e assim oferecer sugestão de melhoria e maior produtividade.

Torna-se necessário inicialmente compreender o fenômeno existente e propor uma classificação dos elementos do período pós-*setup* ou período de retomada. Trata-se, portanto, de uma análise qualitativa que busca encontrar as razões das perdas de produção.

Há uma preocupação com o tempo de preparação, mas não com o desempenho das atividades realizadas em todo o conjunto da virada de produção. A perda produtiva no período após o *setup* pode ser alta em alguns sistemas produtiva e muitas vezes é desconhecido. Este trabalho propõe um método de classificação dos elementos do período de retomada que auxilia em projetos de melhoria em *changeover*.

## **1.3 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO TEMA**

Deve-se destacar a importância do estudo das atividades de virada de produção, pois estão relacionadas com um dos aspectos primordiais na realidade da produção: flexibilidade no atendimento de demanda diversificada. Busca de lotes menores de produção, baixo estoque, produção puxada, estão estreitamente relacionadas com o desempenho do *changeover*. É

fundamental verificar outros elementos que influenciam o *changeover* para fazê-lo com maior eficácia minimizando efeitos na capacidade produtiva.

O desconhecimento do desempenho da produção durante a virada de produção leva a uma diferença às vezes grande entre o que é informado em termos de tempo de preparação e a perda real do sistema produtivo. Esta proposta acaba por esclarecer melhor a razão das perdas ocorridas durante este período com o uso de uma planilha de análise e classificação dos elementos desse período. Com maior conhecimento do desempenho do período de retomada e das causas de seu comportamento, é possível aplicar soluções que podem até auxiliar na diminuição do tempo de *setup* do sistema produtivo.

Para a realização do estudo das causas do período de retomada, a análise congrega avaliação de elementos de projeto e elementos organizacionais tendo como base o diagrama de causa e efeito.

Este trabalho também tem um aspecto inédito de realizar com mais detalhamento a avaliação de viradas de produção num estudo de caso de célula e linha de produção. Estes sistemas produtivos são mais usuais nas manufaturas modernas e a realização de *setup* nas mesmas tem algumas peculiaridades que serão observadas no corpo desta tese.

Outra importância deste trabalho advém da possibilidade de realizar melhorias no desempenho do *changeover* por aumentar a capacidade produtiva. Além de significar ganhos financeiros, há o potencial de eliminar alguns desperdícios na produção.

Entre as justificativas para a realização deste trabalho está a possibilidade de realizar um cálculo da perda financeira real com a virada de produção. Pode-se oferecer também uma avaliação do período de retomada mais aprofundada, por conta da proposta de classificação dos seus elementos.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo Geral**

Propor um método de classificação dos elementos do período de retomada que ocorre em virada de produção, identificando-os entre fatores de projeto ou organizacionais.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos da tese são:

- Identificar as causas que prolongam o período de retomada de produção em estudos de caso;
- Desenvolver um método de análise e classificação dos elementos do período de retomada para ser aplicado nas avaliações de *changeover* de diferentes sistemas produtivos;
- Aplicar o método em outras empresas a fim de validar o conceito.

## **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Além deste capítulo introdutório há outros três que compõem revisão bibliográfica e quatro capítulos que formam a contribuição desta tese.

- Capítulo 2: Principais Conceitos e Revisão Histórica

Neste capítulo estão apresentados os estudos dos conceitos básicos sobre redução de tempo de *setup* e a revisão histórica da evolução do conceito. Após uma breve análise do contexto histórica de surgimento da importância do *setup*, há uma análise crítica à metodologia SMED criada por Shigeo Shingo. Por fim alguns comentários sobre o uso deste conceito no Brasil.

- Capítulo 3: *Changeover* e *setup*: Estado da Arte

Trata-se neste capítulo de mostrar o estado da arte dos conceitos *changeover* e *setup*, destacando-se os trabalhos realizados pelo grupo de pesquisa *Improving Changeover Performance*, da Universidade de Ghent e de trabalhos recentes sobre a importância de se ter atenção à seqüência de lotes de produção.

- Capítulo 4: Metodologia de Pesquisa

Concluindo a revisão bibliográfica, este capítulo faz a revisão sobre os tipos de pesquisa, apresentando-se a metodologia de pesquisa utilizada. Descreve-se este trabalho como pesquisa baseada em revisão bibliográfica e estudo de casos múltiplos. Neste capítulo também são apresentados os critérios de seleção dos casos que serão utilizados na tese divididos em casos que fundamentam a tese e casos que validam o conceito.

- Capítulo 5: Elaboração do Método de Classificação dos Elementos do Período da Retomada

Este capítulo apresenta as proposições da tese com a elaboração do Método de Classificação dos Elementos do Período da Retomada. Iniciou-se com o estudo dos elementos do período da retomada, partindo das causas primárias do Diagrama de Ishikawa e dividindo-os entre elementos organizacionais e elementos de projeto. Estão também descritos os passos para a realização do Método de Classificação e apresenta-se ao final a Planilha de Classificação de Sentenças.

- Capítulo 6: Casos que Fundamentam a Proposta

Neste capítulo estão descritos os estudos de caso que fundamentam a elaboração o Método de Classificação. Ao final de cada estudo, apresenta-se o resultado da aplicação do Método de Classificação.

- Capítulo 7: Aplicação em Estudos de Caso para Validar a Proposta

Apresenta-se neste capítulo os resultados da aplicação do Método de Classificação em dois casos como forma de validar os conceitos desenvolvidos na tese, discutindo os resultados alcançados.

- Capítulo 8: Conclusões e Sugestões para Próximos Trabalhos

Onde se expõem as conclusões desta tese. São também oferecidas sugestões para trabalhos que possam vir a seguir a mesma área de pesquisa.

## **CAPÍTULO 2**

### **PRINCIPAIS CONCEITOS E REVISÃO HISTÓRICA**

#### **2.1 INTRODUÇÃO**

Este capítulo tem a função de apresentar os principais conceitos abordados na tese. Inicialmente, é importante informar que há algumas dificuldades na precisa compreensão do significado dos conceitos uma vez que os termos originais estão em inglês. Algumas traduções imprecisas sem o cuidado com a abrangência dos termos têm gerado compreensões inadequadas das palavras originais. Para evitar imprecisões, no próximo item serão apresentadas as palavras em inglês, sua tradução mais ajustada e outras similares.

Outro objetivo deste capítulo é inserir o tema da tese dentro da evolução histórica dos sistemas de produção industrial e as razões pela qual este tema ganhou tanta importância nos dias atuais. Também neste capítulo será comentada a evolução da principal metodologia de virada de produção que tem foco na redução de tempo de *setup* (SMED – *Single Minute Exchange of Die*).

Dessa forma, será possível dar o seguimento na compreensão do estado da arte que será visto no capítulo seguinte.

## 2.2 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

O primeiro termo a ser examinado é *setup* que, entre diversas traduções, a mais adequada no âmbito da engenharia de fabricação é “preparação”. Como decorrência disso, “tempo de *setup*” será o “tempo de preparação”.

O *setup* abrange todas as atividades necessárias para preparar um equipamento a fim de iniciar a produção de um produto diferente, implicando em alguns casos na interrupção da produção. Há uma grande preocupação com o tempo de duração das atividades de preparação e a forma como é calculada.

É comum avaliar o desempenho no *setup* conforme o seu tempo de duração. Para estabelecer o seu início e o seu fim, convencionalmente o tempo de *setup* é “o tempo que leva da produção de um produto A até a produção de um produto B com qualidade”. Tal definição sublinha um elemento importante que é a consideração da qualidade esperada da produção, independente das atividades realizadas durante o *setup*. Dessa forma estão agregadas no tempo total de parada para *setup* as operações de ajustes, correções e testes até obter a produção de um “produto B com qualidade”. Com isso, a redução dos tempos de *setup* não significa perda no padrão de qualidade dos produtos. O conjunto de atividades para a realização de *setup* gera um tempo presente entre os dois lotes produzidos. A configuração de *setup* é um bloco de atividades entre dois lotes de produção que torna o posto de trabalho ocioso por algum tempo. Tal configuração está apresentada na figura 2.1.



Figura 2.1: Configuração usual de *setup*

A figura apresenta algumas limitações. Primeiramente, é que se trata de uma configuração muito próxima da chamada “abordagem sistêmica”, com a qual se confunde o *setup* como um “sistema” cuja entrada (*input*) seria o lote B e a saída (*output*) seria o lote A. A segunda limitação

é a falta de uma referência do volume de produção, elementos necessários para avaliação de produtividade.

Portanto, uma melhor configuração conteria a presença de um eixo de tempo e um eixo de saída de produção, conforme figura 2.2. Nesta nova apresentação, o *setup* localiza-se entre os dois lotes produzidos na qual a saída de produção é nula, isto é, não há saída de produção do sistema no tempo decorrido em que se realiza a preparação.

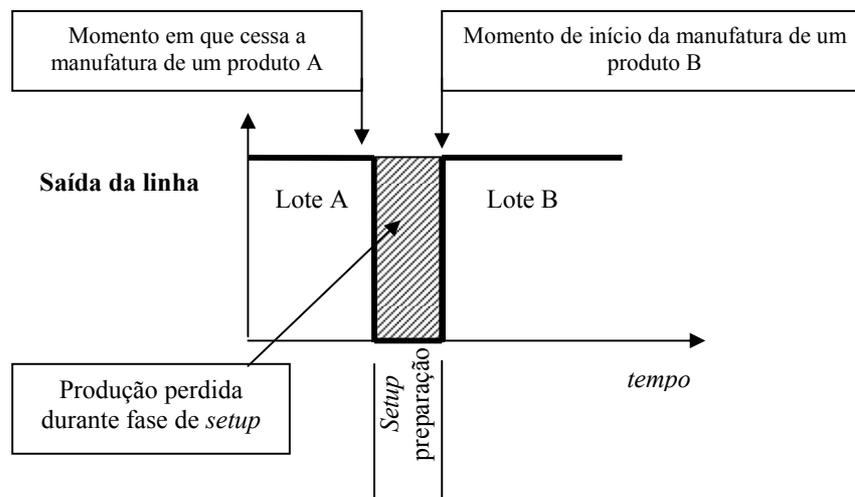


Figura 2.2: Imagem comum que se faz das perdas reais no *setup*  
Fonte: próprio autor

Uma observação que deve ser feita com base na figura 2.2 é a respeito da perda de produção, indicada na pela área hachurada. Para o seu cálculo basta apenas a multiplicação entre tempo sem produção (tempo de *setup*) e taxa de produção do sistema. No tempo sem produção ocorrem atividades de preparação de um novo produto, ajustes e testes até produzir um novo produto com qualidade.

Todavia, alguns autores reconhecem que a recuperação da capacidade produtiva não é plena exatamente ao fim das atividades de *setup* e nem mesmo após a produção da primeira peça boa do lote seguinte (McINTOSH *et al.* 2001b, SUGAI, NOVASKI e McINTOSH 2007). O mesmo raciocínio se aplica durante a fase de desaceleração da produção, na qual a perda de capacidade de produção ocorre, apesar de ser muitas vezes imperceptível.

Para adequar a definição do *setup*, deve-se associar também a aspecto de redução capacidade produtiva que o *setup* provoca no período anterior e posterior à sua execução. Um novo conceito surge para poder compreender o conjunto completo dos fenômenos de desaceleração, preparação e retomada.

Uma nova representação que pode auxiliar esta compreensão segue na figura 2.3.

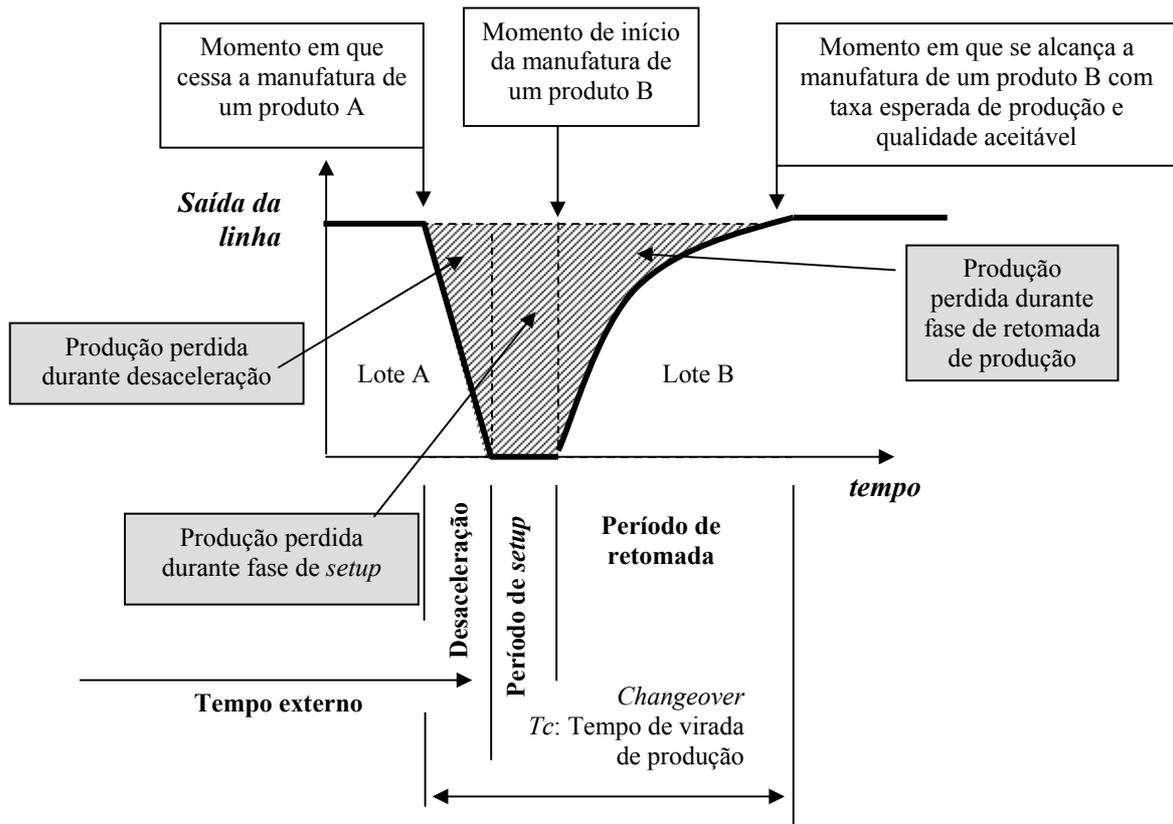


Figura 2.3: Perdas de produção durante períodos de desaceleração e retomada  
 Fonte: McINTOSH *et al.* 2001b

A partir desta figura surgem novos termos (McINTOSH *et al.* 2001b):

**Período de desaceleração (*run-down*):** Início das atividades de troca (ou virada de produção) com máquinas ou linha trabalhando em ritmo mais lento até parada total de produção e representado no gráfico por uma linha com função decrescente. Esta fase é anterior às atividades de *setup* com produção de peças remanescentes do lote que se encerra. Conforme características da máquina ou do processo de fabricação, é possível que não exista esta fase.

**Período de preparação (*setup*):** Período sem produção, com máquina ou linha estáticas, dedicada à troca de ferramenta e preparação para produção de novo lote de produtos. Nos casos em que o *setup* é instantâneo, este período não é identificado.

**Período de retomada (*run-up*):** Fase que determina o fim do *setup* com o recomeço do funcionamento das máquinas para a produção de novo lote, com possíveis corridas de testes e ajustes. Pode-se gerar refugos até que se atinja níveis aceitáveis de qualidade. Esta fase somente termina quando a linha ou máquina atinge níveis desejados de qualidade e de capacidade de produção. Este novo conceito abrange os ajustes e corrida de testes feitos após a preparação assim como as atividades relacionadas à análise de metrologia do novo lote em produção. Com isso, há uma mudança do conceito tradicional de *setup*, que agora ficará restrita ao momento em que o sistema pára de produzir.

***Changeover* ou Virada de produção:** Pode ser também traduzido por “passar para outro”, “virada de linha”, “câmbio”, “troca de programa” ou simplesmente “troca”. Trata-se de um período que engloba os períodos de desaceleração, período de preparação e período de retomada.

**Tempo externo:** Fase anterior ao período de *setup* durante a qual são realizadas atividades de preparação possíveis serem feitas com o sistema produtivo em funcionamento.

Conforme SMED/SR (2005), o conceito de *changeover* é mais abrangente, envolvendo atividades necessárias para produzir diferentes produtos no mesmo equipamento, inclusive aquelas que não dizem respeito ao equipamento em si, por exemplo, liberação da produção pelo Planejamento e Controle de Produção. A entidade “The South West Manufacturing Advisory Service” (SOUTH WEST MAS 2007) tem divulgado as diferenças entre os conceitos de *setup* e *changeover*, ressaltando que *changeover* é o tempo entre produto bom a produto bom e inclui *setup* e período de retomada.

A partir destas novas definições, pode-se concluir que em uma virada de produção é possível que o *setup* tenha tempo nulo (casos de *setup* instantâneo), embora seja possível que exista desaceleração da produção por conta desta troca de produtos na linha.

O valor da produção perdida é a área destacada total (figura 2.3). Neste caso, o cálculo de perda não é imediato e torna-se necessário conhecer o comportamento dos períodos de retomada e desaceleração do sistema produtivo e também o sequenciamento da produção. Os conceitos de retomada e desaceleração serão avaliados com maior profundidade no item 3.2.1.

## **2.3 CHANGEOVER NAS ETAPAS EVOLUTIVAS DO SISTEMA PRODUTIVO**

A forma como se produz bens é diferente para cada empresa e, de forma mais evidente, nas diferentes etapas evolutivas do sistema de produção industrial. A realidade da virada de produção para cada etapa será observada nas três etapas mais relevantes: a primeira é o sistema de produção fordista em Highland Park; a segunda é a produção em massa de múltiplos produtos; por fim, o Sistema Toyota de Produção (STP).

### **2.3.1 Sistema de Produção Fordista em Highland Park**

O sistema de produção em linha de montagem criada por Henry Ford na década de 1910 em Highland Park é o ícone da mudança da produção em estilo artesanal de veículos para o processo de produção em massa.

O processo de produção desta fábrica foi inovador para a época e caracterizou-se principalmente pela unicidade de produto com alto grau de padronização de processos de manufatura. Apenas era produzido o veículo Ford T na cor preta manufaturado em grande escala e a um custo muito reduzido. Com isso, entre 1914 e 1920, da planta em Highland Park saíram mais de 2 milhões de veículos.

Ford não foi apenas montador de veículos, como se entende no mundo moderno. Estendeu a produção até o gerenciamento da matéria prima, sendo que esta realidade levou que a planta da Ford garantisse a entrega dos produtos. Isto o levou a adquirir todos os níveis de fornecimento de bens destinados à produção de um veículo. Em Highland Park, conforme Ford (1954), “o ciclo de

produção dura precisamente – das minas ao vagão de embarque – 3 dias e 9 horas”, algo que o melhor sistema logístico atual não consegue fazer.

Womack comentava que Ford foi o primeiro pensador *lean* (*lean thinker*) uma vez que criou o processo de criação de valor (WOMACK 2006). Tinha uma visão de fluxo do começo ao fim, da concepção do produto até o seu lançamento, da matéria prima ao cliente. De fato, Ford se revelava ser um caçador de desperdícios, na busca do baixo estoque, eliminação de transportes e movimentos que não criavam valor ao produto final. O conceito de eliminação de desperdício inspirou fortemente Taichi Ohno, criador do Sistema Toyota de Produção.

Ford também levou ao extremo a padronização de processos, com um senso de realismo da importância deste conceito. Neste sentido, escreveu que “não é fim da indústria amoldar o homem por uma mesma forma” e “em seu verdadeiro sentido a padronização equivale à reunião das melhores vantagens do produto às melhores vantagens da produção, de modo que sob o menor preço possa ser oferecido ao público o melhor produto” (FORD 1954, pág 57). Um dos principais frutos da padronização é a intercambialidade de peças, cujo benefício fundamental na produção industrial é a facilidade na montagem e a possível assistência técnica de veículos.

Embora fosse um *lean thinker*, Ford não implantou o sistema de *setup* de máquinas ou da linha de montagem e isto não se representava uma das suas preocupações. Este raciocínio vai de encontro com um pensamento da época: “Henry Ford não muda seu carro e não pode fazer mudanças se tiver de alterar a programação da produção” (HOUNSHELL 1984, pág. 85).

Com uma produção inflexível, dificilmente haveria alteração no desenho de um processo de produção. Além disso, todos os produtos produzidos por uma linha de produção eram idênticos ou muito similares, não podendo ser criados novos produtos para atender gostos e preferências individuais. O fato de ter a produção de um único produto em alto volume torna o processo produtivo mais dedicado e em fluxo, não havendo qualquer preocupação em realizar viradas de produção para a entrada de diferentes produtos na mesma linha.

### 2.3.2 Produção em massa de múltiplos produtos

A empresa que rompeu o domínio da Ford no mercado automobilístico foi a General Motors, sob o comando de Alfred Sloan, considerado um dos gestores de empresas mais importantes da história. Ao assumir a direção da General Motors, Sloan deparava com um mercado de automóvel dominado pela Ford com uma participação de mercado de 60%. Ao contrário dos restantes concorrentes, que apostaram no segmento de carros de luxo, Sloan posicionou-se num nível intermédio, até então inexistente, fabricando carros para “todos os bolsos e finalidades”, desde que os modelos não competissem entre si.

O desafio de Sloan na GM foi a criação de uma cultura, uma estratégia e uma direção globais. A solução encontrada, em 1920, foi uma estrutura organizacional com oito divisões — cinco de automóveis e três de componentes automóveis —, denominadas, 50 anos mais tarde, "unidades estratégicas de negócio".

Sloan segmentou o mercado utilizando o desejo do cliente de ter carros em modelos e cores diferentes: a solução que a GM encontrou para vencer a Ford veio de fora da área técnica. Sloan resumia sua estratégia de mercado e produção da seguinte forma:

A política de produtos que propusemos é aquela pela qual a General Motors é conhecida há muito. Dissemos primeiro que a corporação deveria produzir uma linha de carros de cada segmento de preço, do mais baixo ao mais alto, mas não entrar no segmento de carros de luxo e pequena produção; segundo, que os degraus de preços não deveriam deixar grandes vazios nas linhas, mas ser espaçados o suficientemente para garantir a maior vantagem possível da produção em massa; e, terceiro, que não deveria haver sobreposição nos segmentos ou nos degraus (SLOAN 2001, pág 54).

Diferentemente de Ford, Sloan orientou a produção às necessidades do mercado aproveitando, ao mesmo tempo, os benefícios da produção em massa. Dessa forma, a necessidade de produção de diferentes tipos de produto para atendimento do que o cliente necessitava surgiu a importância da realização de *setup* de máquinas ou das linhas para atender a diversificação da produção.

Sua estratégia revelou-se bem sucedida. Em 1931, a General Motors ultrapassou a Ford no mercado norte-americano de veículos e em vendas no mundo todo. Durante mais de 70 anos gozou de uma hegemonia no setor automotivo.

A primeira consequência desta mudança foi a geração de estoques de matéria prima e de produtos acabados. Sloan (2001) reconhecia que na General Motors funcionava a “produção para estoque”, inicialmente regulando a excessiva capacidade de produção com dispensa de funcionários. Esta medida foi identificada e criticada por Drucker (1960) ao relatar o seu trabalho junto à fábrica da General Motors.

Para minimizar os efeitos negativos dos grandes estoques e utilizar seus ativos intensamente, a solução foi dimensionar o lote ideal de produção e estoques de segurança. Conforme Cusumano (1989), entre a I Guerra Mundial e o início dos anos 1980, as escolas americanas de negócio em seus departamentos de engenharia econômica ensinavam os gerentes a usar a fórmula de lote econômico de compra ou lote econômico de fabricação, dada pela equação [2.1]. Este modelo é o mais comum e conhecido instrumento para se determinar a quantidade ótima para um item de estoque. Ele leva em conta os diversos custos operacionais (em especial custo de *setup* ou custo de pedido) e financeiros e a quantidade do pedido que minimiza os custos totais de estocagem. As hipóteses assumidas nesta equação são: taxa de demanda constante e reposição imediata do estoque.

$$LEF = \sqrt{\frac{2.S.D}{i.c}} \quad [2.1]$$

$S$  é o custo de *setup*,  $D$  é a demanda,  $i$  é a taxa de encargos financeiros sobre estoque e  $c$  é o custo unitário.

A fórmula do lote econômico traduz a suposição de que gastar com manutenção de estoques seria mais econômico do que realizar *setups* com maior frequência. Conforme Black (1998), o desenvolvimento conceitual deste modelo foi a força propulsora dos sistemas produtivos de manufatura de produção em massa, de grandes lotes, considerando o custo de *setup* alto constante e seu alto valor distribuído por cada unidade.

A fórmula de lote econômico ainda é referência nos dias de hoje e tem sido a forma predominante ao planejar a produção e controlar estoques. Uma alternativa surgiu com o advento das técnicas de produção aplicadas no Japão e depois disseminadas ao mundo. Sua principal referência é o Sistema Toyota de Produção.

### **2.3.3 Sistema Toyota de Produção**

O alto custo da manutenção de estoque foi percebido por Taichi Ohno e demais engenheiros japoneses. Ohno era um engenheiro de muita habilidade em analisar operações industriais e perseguiu o objetivo de produzir em pequenos lotes aplicando seus conhecimentos na fábrica da Toyota. Suas experiências e pensamentos foram redigidos em seu livro (OHNO 1997) que foi traduzido para diversas línguas.

De acordo com Cusumano (1989), Ohno estava convencido que o sistema original da Ford (de Highland Park) continha dois defeitos fundamentais: o primeiro, que havia somente montagem em fluxo contínuo na montagem final; o segundo era a total dificuldade em atender as preferências dos consumidores. Este segundo defeito também se encontrava na General Motors que produzia para estoque e não para atender os consumidores.

Para contornar estes defeitos constatados, Ohno iniciou uma luta contra o desperdício e um importante passo que foi dado nesta direção foi a geração de uma tecnologia de engenharia de produção que serviu de base a um sistema de manufatura que ficou conhecido como Sistema Toyota de Produção, um sistema bem articulado no qual o setor produtivo está focado nas necessidades do cliente. Este sistema influenciou e segue influenciando a indústria automotiva e os demais setores industriais.

O Sistema Toyota de Produção ganhou seus primeiros contornos na literatura acadêmica com o professor Yasuhiro Monden (MONDEN 1994), tem sido objeto de análise de diversos autores que publicaram livros (CUSUMANO 1989, SHINGO 1996, WOMACK e JONES 1992, LIKER 2004) e artigos (WOMACK e JONES 1994, SPEAR e BOWEN 1999, SPEAR 2004).

Vale notar que com este sistema de produção a Toyota superou a General Motors no primeiro trimestre de 2007 no total de vendas no mundo todo. O porta-voz da empresa em Tóquio disse na ocasião “nós não construímos simplesmente os veículos e os empurramos porta a fora. Temos um sistema e os montamos quando são pedidos” (BRADSHER 2007), refletindo a filosofia da empresa em termos de estratégia de produção.

A base desse sucesso é a utilização de idéias completamente contrárias às práticas anteriores na forma de produzir. O STP exige produção nivelada reduzindo o tamanho do lote e evitando a produção em massa de itens. Para responder à variedade de produtos, as máquinas devem trocar ferramentas com frequência e os procedimentos de virada de produção devem ser executados com rapidez.

A produção em pequenos lotes e a redução de estoques incentivaram enormemente ações no sentido da redução do tempo de *setup*, um capacitador da produção puxada, de acordo com Godinho Filho e Fernandes (2004).

Liker (2005) aponta que o nivelamento de produção não significa produzir de acordo com o fluxo real de pedidos dos clientes, pois podem oscilar muito no período de tempo. Deve-se tomar o total de pedidos em um período e nivelá-los para que a mesma quantidade e a combinação sejam produzidas a cada dia.

O desafio de Ohno para a realização de viradas de produção com menor tempo foi alcançado com ajuda do consultor Shigeo Shingo que desenvolveu o SMED (*Single Minute Exchange of Die*) durante 19 anos de pesquisa empírica. Isto posto, segue-se agora uma apresentação mais detalhada da metodologia de Shingo.

## **2.4 SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE (SMED)**

Apresentado o contexto histórico que envolve o SMED, segue-se agora o relato da criação do SMED, na qual Shingo distingue três etapas para o desenvolvimento da metodologia ao longo de 19 anos (SHINGO 1985).

A primeira etapa ocorreu na planta da Mazda Toyo Kogyo em 1950 na cidade de Hiroshima. Ao analisar as atividades de troca de matrizes de uma prensa, Shingo identificou e classificou como *setup* interno o conjunto de atividades realizadas com a máquina parada e *setup* externo como o conjunto de operações realizadas com máquina em funcionamento.

A segunda etapa foi no estaleiro da Mitsubishi Heavy Industries em Hiroshima no ano de 1957, na qual foi realizada a duplicação de ferramentas para que o *setup* fosse feito separadamente, gerando aumento de 40% na produção. Conforme relato do autor, apesar da euforia com o resultado, esta etapa de trabalho não contribuiu diretamente para formar o corpo da metodologia.

Por fim, a terceira e última etapa ocorreu em 1969 na Toyota Motors Company, em que cada operação de *setup* de uma prensa de 1.000 toneladas exigia quatro horas de trabalho enquanto uma prensa similar na Volkswagen exigia apenas duas horas. Em uma primeira fase de seu trabalho de consultoria, Shingo conseguiu uma redução desse tempo para 90 minutos. Após exigência da diretoria da Toyota, aplicaram-se mais esforços na redução do tempo, gerando o conceito de conversão de *setup* interno em *setup* externo, isto é, a transferência de algumas atividades realizadas com a máquina parada para o momento que esta estivesse em funcionamento. Dessa forma, houve uma considerável redução do tempo da máquina parada para apenas três minutos. Dessa forma, Shingo criou sua metodologia, que na versão em inglês, recebeu a sigla SMED, iniciais de “Single-Minute Exchange of Die”. A tradução literal desta traz aglutinado um conceito e uma meta de tempo: troca de matrizes em menos de dez minutos.

Na figura 2.4, apresenta-se de forma figurada o SMED. A leitura do fluxograma parte da esquerda para a direita. Inicialmente distinguem-se dois níveis de divisão do fluxo:

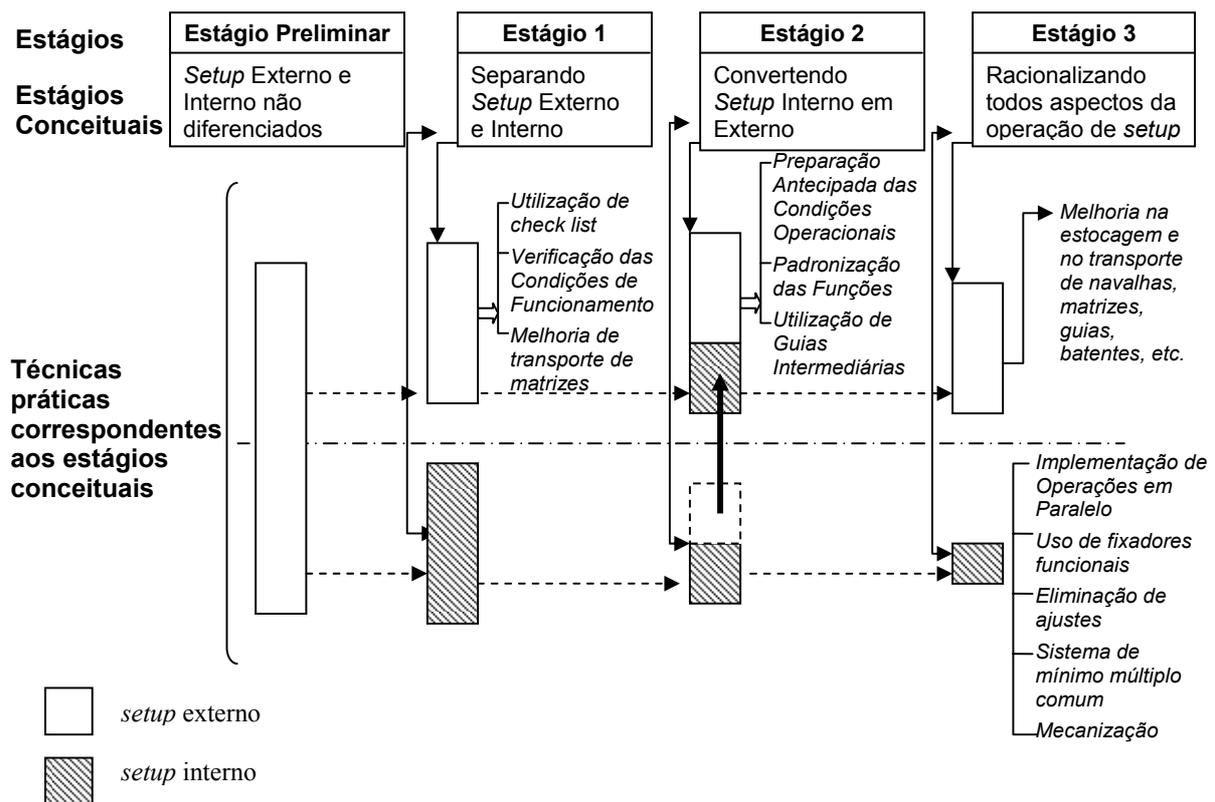


Figura 2.4: SMED – *Single Minute Exchange of Die*

Fonte: Shingo 2000

estágio/estágios conceituais e técnicas práticas correspondentes aos estágios conceituais. Segue-se agora a descrição de cada estágios conceitual:

### Estágio preliminar: *Setup* Interno e Externo não se distinguem.

O bloco branco do estágio preliminar representa o tempo de *setup* inicial total. Para calcular este tempo, Shingo (1985) indica a possibilidade do uso do cronômetro, do estudo do método, entrevista com operadores ou da análise da filmagem da operação.

### Estágio 1: Separando *Setup* Interno e Externo.

Nesta fase há a identificação das atividades de *setup* como *setup* interno e *setup* externo. *Setup* interno, representado pelo bloco hachurado, é o tempo gasto com atividades realizadas com a máquina parada. *Setup* externo, indicado com bloco branco, é o tempo gasto com atividades realizadas com a máquina em funcionamento. As técnicas que podem ser utilizadas para este

estágio são a “utilização de um check-list”, a “verificação das condições de funcionamento” e a “melhoria no transporte de matrizes”.

### **Estágio 2: Conversão do *setup* interno em *setup* externo.**

Uma seqüência imediata do estágio 1 é a conversão do tempo de *setup* interno para *setup* externo, representado na figura 2.4 com a seta e deslocamento de área hachurada. As técnicas sugeridas para esta fase são a “preparação antecipada das condições operacionais”, a “padronização de funções” e a “utilização de guias intermediárias”.

Conforme Shingo (1985) este estágio é necessário, pois a redução de tempo do *setup* interno promovida pelo estágio 1 ainda não é suficiente para atingir a meta de tempo proposta pelo SMED. Faz-se necessário um reexame das operações para verificar se alguma operação tenha sido erroneamente alocado e fazer um esforço para converter estas atividades para *setup* externo.

### **Estágio 3: Melhoria sistemática de cada operação básica do *setup* interno e externo**

O nome escolhido por Shingo (1985) para intitular este estágio não é muito fácil de traduzir. No original em inglês está nomeado como “streamlining all aspects of the *setup* operation” e a tradução para o português do seu livro ficou como “racionalizando todos os aspectos do *setup*” (Shingo 2000). Dentro do contexto da metodologia, a palavra racionalização não é a mais adequada, pois pode induzir a considerar esta fase como fixação de métodos ou procedimentos.

Ao considerar a filosofia SMED em um outro livro, Shingo (1988) oferece outra definição ao seu terceiro estágio conceitual: “Melhoria sistemática de cada operação básica do *setup* interno e externo”. Esta abordagem apresenta uma compreensão melhor do alcance do estágio e permite visualizar o SMED como melhoria contínua.

A busca do *single-minute* (dígito único) pode não ser alcançada nos estágios anteriores sendo necessária a melhoria contínua de cada elemento tanto do *setup* interno como externo. As

técnicas utilizadas neste estágio são: “melhoria na estocagem e no transporte de navalhas, matrizes, guias, batentes, etc.”, “implementação de operações em paralelo”, “uso de fixadores funcionais”, “eliminação de ajustes”, uso do “sistema de mínimo múltiplo comum” e “mecanização”.

#### **2.4.1 Controvérsias quanto à originalidade do SMED**

Ao realizar as primeiras análises sobre o STP, Monden (1984) apontava que a metodologia SMED de Shingo, além de ser um conceito inovador genuinamente japonês, seria também uma teoria muito comum cuja prática seria difundida na engenharia industrial em todo mundo.

Cusumano (1989), porém, comentava que o “*setup* rápido” é originário dos Estados Unidos. Conforme este autor, Ohno conheceu em meados dos anos 1950 as prensas de *setup* rápido da *Danly Machine* em Chicago e descobriu a grande solução que a redução do tempo de *setup* oferecia para a produção em pequenos lotes e redução de estoques. Tendo este conhecimento em conta, contratou Shigeo Shingo para desenvolver a metodologia na sua empresa.

A reivindicação da originalidade na elaboração do conceito é sublinhada por Smith (2005) que desenvolve seu raciocínio comparando o momento da geração da patente por conta da *Danly Machine* e a data da elaboração do SMED.

A sigla QDC (*Quick Die Change*) é uma marca registrada da *Danly Machine of Chicago* feita em 29 de junho de 1961 e concedido no dia 23 de outubro de 1962. Este sistema consiste no movimento do duplo suporte que permite a troca de matrizes de prensas em sete ou oito minutos (NOAKER 1992, SMITH 2005).

Conforme Smith (2005), uma equipe da Toyota foi treinada na Danly em 1959 na busca da redução de tempo de *setup*. Uma década depois, Shingo criou o SMED evitando infringir a marca registrada da Danly.

Como foi visto no item 2.4, Shingo (1985) explicava que desde 1950 tem desenvolvido sua metodologia de redução de tempo de *setup*. Nesse contexto, o que se pode então afirmar é que o SMED não é o primeiro sistema de redução do tempo de *setup* patenteado e também não é o único sistema existente (McINTOSH *et al.* 2001b). O seu trabalho ganha destaque ao ser disseminado junto com o Sistema Toyota de Produção e com o trabalho de Womack e Jones (1998) ao denominarem o STP como Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*).

A despeito da originalidade, deve-se destacar que Shigeo Shingo teve o grande mérito em elaborar uma metodologia de redução de tempo de *setup* simples e de fácil compreensão. Este é um fator que o leva ser facilmente aplicado no ambiente de chão-de-fábrica e seus elementos mais característicos serem mais lembrados especialmente por operadores (SUGAI, NOVASKI e McINTOSH 2007). Um aspecto que não pode ser ignorado e que será analisado mais adiante, é que Shingo (1985) tem um foco em redução de tempo e não no desempenho da virada de produção.

## **2.5 ANÁLISE CRÍTICA À METODOLOGIA SMED**

Análises críticas detalhadas a respeito da metodologia de Shingo podem ser encontradas em alguns artigos (McINTOSH *et al.* 2000, SUGAI, NOVASKI e McINTOSH 2007, e McINTOSH *et al.* 2005). Para o desenvolvimento desta tese, observou-se a importância de realizar observações quanto à definição dada à metodologia SMED e a avaliação crítica dos estágios conceituais.

### **2.5.1 Análise crítica sobre a definição do SMED**

Para a definição do SMED pode ser utilizada uma distinção apresentada em McIntosh *et al.* (2000): SMED como conceito, SMED como metodologia e SMED como programa de melhoria.

Dentro da primeira distinção, o “SMED é um conceito”, entende-se o SMED pelo enunciado dos seus estágios conceituais na busca da redução do tempo de *setup* ou tempo de preparação com uma meta e uma aplicação específica.

Na segunda distinção, o “SMED é uma metodologia” com a qual os quatro estágios conceituais integrados em um modo de fluxograma possibilitam atingir a meta proposta.

Na terceira distinção, o “SMED é programa de melhoria” em que, com a busca da melhoria contínua, pode-se aprimorar o método de trabalho realizado na operação de *setup*. Neste programa de melhoria incluem-se melhorias tanto de processo como em equipamentos, formação de times e definição de responsabilidades.

Embora a grande variedade de definições para SMED seja possível, a percepção dos operadores a respeito do SMED centraliza-se na questão da tomada do tempo. A preocupação com o tempo destaca-se quando se pergunta aos operadores qual é o significado do SMED.

A principal preocupação trazida pelo SMED foi alcançar uma meta de tempo em um dígito de minuto ou o menor tempo possível (ESROCK 1985). Esta meta de tempo acabou por resgatar o uso da cronometragem no chão de fábrica e, em alguns casos, o estudo do método de trabalho. A obsessão com a redução do tempo de *setup* tem-se tornado uma competição no Japão. Conforme Liker (2004), em uma fábrica de um fornecedor de painéis de portas da Mazda no Japão, operadores que realizaram o *setup* de uma prensa de centenas de toneladas em apenas 54 segundos ganharam uma competição nacional em uma operação que mais parecia um “rodeio” americano.

Autores apontam a necessidade dos profissionais envolvidos na redução de tempo de *setup* de rever os conceitos de engenharia industrial, em especial, dos estudos de tempos e movimentos, para poder realizar o seu trabalho (SCHONBERGER 1988, HALL 1983, PATEL *et al.* 2001). Neste mesmo contexto, Noaker (1991) observou que Shingo, ao recomendar a análise do método de cada operação de *setup* com uso de gravações em vídeo, recorreu a uma ferramenta de engenharia industrial criada por Frank G. Gilbreth, pai do estudo dos movimentos.

Com relação ao enfoque que está contida na própria sigla SMED, Harmon e Peterson (1991) criticaram que o autor tenha focalizado sua obra para prensas e injetoras. De fato, embora os estágios conceituais possam ser aplicados para diversos setores industriais, seu livro tem um forte direcionamento para o setor metal-mecânico. Essa crítica também surgiu em casos de aplicações no Brasil em que as técnicas do SMED, de maior aplicação na indústria metal-mecânica, não eram aplicáveis em uma indústria farmacêutica (SUGAI, NOVASKI e McINTOSH 2007).

Segue agora a avaliação da metodologia criada por Shingo, com uma análise de cada estágio conceitual e as técnicas atribuídas. Inicialmente, a metodologia será vista em conjunto e em seguida será dada atenção ao grupo formado pelos estágios conceituais 1 e 2. O estágio 3 será visto separadamente.

### **2.5.2 Análise crítica aos estágios 1 e 2 da metodologia SMED**

Os estágios 1 e 2 são analisados conjuntamente, pois têm grande similaridade e interdependência. Shingo (1985) comentava que preferiu separar em três estágios conceituais para melhor compreensão da metodologia, mas, a rigor, quando se faz a identificação dos elementos internos e externos, a separação e conversão são conseqüências diretas.

Monden (1984) considera que a distinção das ações de preparação interna e transferência para externa é o conceito mais importante para o SMED.

Os cursos e treinamentos reforçam este ponto de vista e muitos são os artigos que versam sobre aplicações práticas de redução de tempo de *setup* que citem apenas estes estágios conceituais definidos por Shingo. Em visitas em empresas no Brasil, confirmou-se este ponto, pois quando se questionava sobre o trabalho de redução de tempo de *setup* havia uma resposta comum afirmando-se tratar de um trabalho de “separar *setup* interno do *setup* externo”.

Muitas vezes a importância destes estágios é supervalorizada transformando-se na própria definição do que é a redução do tempo de *setup*. Isto ocorreu no estudo de caso de Costa et al.

(2004) que aplicaram apenas os estágios conceituais 1 e 2. Segue abaixo a definição que estes autores redigiram sobre redução de tempo de *setup*:

Em qualquer análise de operações de *setup*, é importante distinguir o trabalho que pode ser feito enquanto a máquina está funcionando e aquele que deve ser feito com a máquina parada. O princípio fundamental de melhoria de *setup* é transformar uma operação de *setup* interno em uma de *setup* externo (COSTA, ZEILMANN e SCHIO 2004).

Como consequência desta valorização dos estágios 1 e 2, McIntosh *et al.* (2000) comentaram não ser incomum que aplicações do SMED não realizem o estágio conceitual três ou faça a aplicação da metodologia em ordem diversa da que foi proposta por Shingo.

Em uma pesquisa-ação, utilizou-se o SMED como metodologia de redução de tempo de *setup* (GILMORE e SMITH 1996). Neste trabalho deu-se maior ênfase na distinção entre atividades de *setup* interno e externo e a partir de um trabalho em equipe, realizou-se a aplicação do SMED fora da seqüência prevista por Shingo. Por exemplo, técnicas de ‘implementação de atividades paralelas’ e ‘mecanização’ foram indicadas para serem aplicadas logo no início apesar de serem técnicas indicadas no estágio 3. Os resultados da pesquisa foram satisfatórios, alcançando padrão flexível de manufatura, maior variedade de produtos, menor *lead-time*, menor lote de produção.

O uso desses estágios conceituais elaborados por Shingo vai além do âmbito de *setup*. Ghinato (2006) apresenta o uso dos conceitos de separação e conversão de “atividade interna / atividade externa” e manutenção programada. Renaux, Burger e Fernandes (2006) utilizam o conceito em manutenção programada na Gerdau.

De qualquer forma, os possíveis ganhos na fase de transformação de *setup* interno em *setup* externo são estimados entre 30 e 50% por Shingo (1985) e também por um estudo de Hall (1983) em que os ganhos possíveis com transferência de operações interna para externa são estimados nesta mesma porcentagem. Na figura 2.5 apresentam-se as etapas de um estudo de caso de redução de tempo de *setup* de prensa:

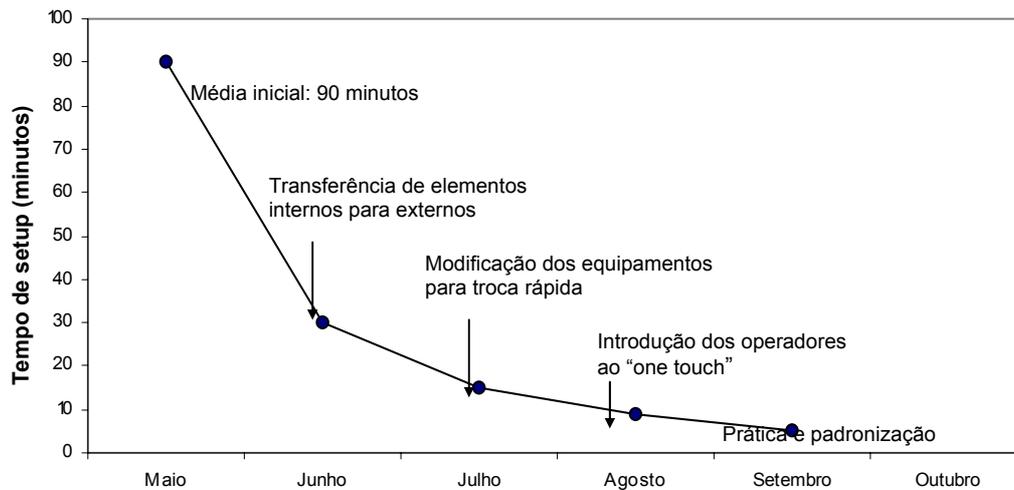


Figura 2.5: Projeto de redução de *setup* de prensa

Fonte: HALL 1983

Apesar da importância que se dá à transferência de atividades de *setup* interno para *setup* externo, colocando-o como primeiro passo na redução de tempo de *setup*, Hall deixa a entender que o restante das possíveis melhorias em tempo de *setup* só é possível com modificação de máquinas e eliminação de ajustes, técnicas pertencentes ao terceiro estágio conceitual.

Vale ressaltar que a transferência de atividades interna para externa, por si só, não diminui o conteúdo do trabalho e o conjunto de tarefas total a serem executadas. Esta opinião é compartilhada por McIntosh *et al.* (2000).

### 2.5.3 Análise do estágio 3: Melhoria Sistemática

A figura 2.3 permite deduzir que há uma diminuição da duração de tempo total de *setup* interno e externo apenas no terceiro estágio conceitual. Nos estágios anteriores ocorre apenas a separação e transferência de atividades, sem redução da soma dos tempos de *setup* interno com os de *setup* externo. Alguns autores confirmam esta observação (McINTOSH *et al.* 2000 e LESCHKE 1997).

Em seu livro, Shingo (1985) apresenta dados que conferem ao estágio três a mesma importância dada aos estágios 1 e 2:

- O tempo despendido com ajustes e corrida de testes representa mais de 50% do tempo total de *setup*;
- O uso da técnica ‘implementação de operações paralelas’, isto é, ‘duas pessoas na realização do *setup*’, pode reduzir o tempo de *setup* em mais de 50%.

As porcentagens indicadas possibilitam afirmar que técnicas isoladas podem oferecer benefícios equivalentes aos estágios 1 e 2, mas o estágio 3 e suas técnicas têm recebido menos atenção nas aplicações industriais.

Uma consequência percebida quando não se realiza o ciclo completo previsto pelo SMED ou quando não há um procedimento de melhoria contínua é a dificuldade na manutenção dos tempos de *setup*. Quando uma equipe de chão-de-fábrica responsável pela realização das atividades de *setup* alcança a meta de tempo desejada, há uma sensação de que a missão foi cumprida. Mas nada garante que este tempo será mantido de forma regular ao longo dos anos. Caso a sustentação das melhorias de *setup* não tiver equilíbrio, a programação da produção e o prazo estabelecido para entrega ficarão comprometidos.

A figura 2.6 ilustra a realidade do desempenho do tempo de *setup* de uma fábrica ao longo de alguns anos.

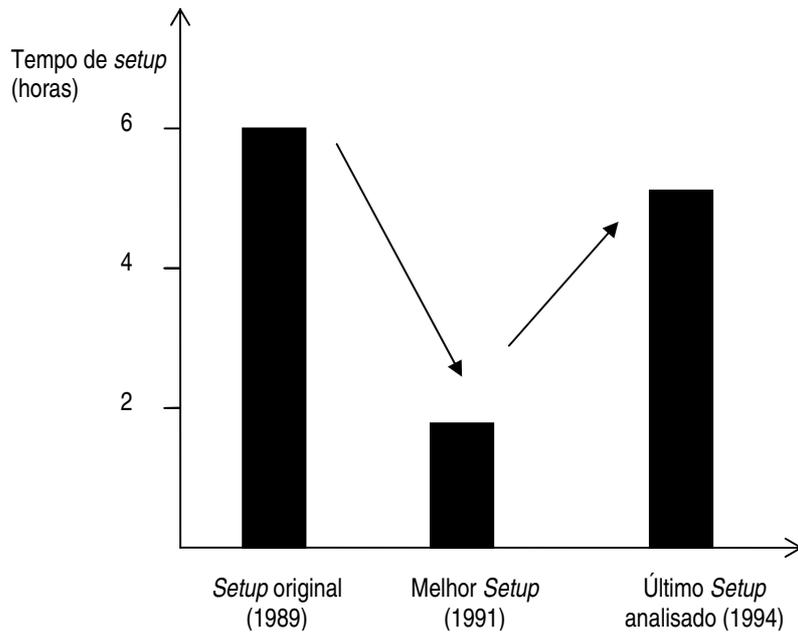


Figura 2.6: Desempenho do tempo de *setup* em um fábrica  
 Fonte: McIntosh *et al.* 2001b

Culley *et al.* (2003) realizaram uma pesquisa-ação em 12 processos diferentes durante 10 anos e entre suas conclusões afirmam que as principais causas de alterações dos tempos foram as modificações das máquinas. Em segundo lugar, verificou-se que é necessária uma contínua pressão pela manutenção dos tempos de *setup* por meio de controle e disciplina.

Todavia, McIntosh *et al.* (2000) afirmam que importantes opções de melhorias podem surgir no estágio 3 e serem mais relevantes no desempenho da virada de produção. Estes autores sugerem que, em alguns casos, técnicas do estágio conceitual 3, especialmente as que se referem à melhoria de equipamentos e dispositivos, realmente deveriam ser realizadas antes das etapas 1 e 2. Isto porque o trabalho pode tornar-se ineficiente pelo fato de se ter ferramentas ou dispositivos inadequados.

McIntosh *et al.* (2000) indicam que a aplicação do SMED muitas vezes fica estagnada nos estágios 1 e 2 sem seguir no uso das técnicas presentes no estágio conceitual 3. O desenvolvimento dos trabalhos realizados pela equipe formada pelos pesquisadores citados (Richard McIntosh, Antony Mileham, Geraint Owen e Steve Culley) será detalhado no capítulo 3

desta tese. Diversas inovações referentes ao estágio conceitual 3 podem ser identificados na discussão sobre melhorias em projeto, item 3.2.2 desta tese.

## **2.6 VARIAÇÕES EM TORNO DO SMED**

O SMED é uma metodologia consolidada e outros autores propuseram-se a agregar outros estágios buscando seu aprimoramento. Poucas melhorias reais foram atingidas e as sugestões de variações em torno do SMED tais como passos seguintes aos estágios conceituais, por exemplo, não têm se tornado aplicações sistemáticas.

Sekine e Talbot (1992), por exemplo, propuseram uma seqüência da metodologia SMED. Oferecem diversas técnicas para melhoria de troca de matrizes de prensas e sugestões práticas com exemplos, embora não traga muitas novidades. Um comentário de um leitor pode dar uma ilustrar este ponto de vista:

Esperava que este livro poderia ser uma extensão do SMED feito por Shigeo Shingo, mas infelizmente não foi muito útil. A escrita está confusa e a tradução poderia ser melhor. Não encontrei neste livro nada que estivesse claramente explicado no livro de Shingo. (LEAHY 2007)

Black (1998) segue os estágios conceituais do SMED e sugere os passos básicos para a redução de *setup*, descritos no quadro 2.1. A rigor, não há novidades na metodologia apresentada. Por outro lado, há um comentário feito por este autor que destaca a importância da redução de tempo de *setup*:

A redução ou eliminação do tempo de *setup* é um elemento crítico para a conversão de qualquer sistema para um SPMI (Sistema de Produção com Inventário Minimizado). Este trabalho [de redução de tempo de *setup*] é, normalmente, um dos primeiros que a empresa estará apta a enfrentar. Os resultados são imediatos e óbvios, mas isto não significa que um programa de redução de *setup* seja de curto prazo (BLACK 1998, pág 150).

### Quadro 2.1: Passos básicos de um programa de redução de *setup*

1. Determinar o método existente;
2. Separar os elementos internos dos externos;
3. Converter os elementos internos em externos;
4. Reduzir ou eliminar elementos internos;
5. Aplicar métodos de análise e treinar as tarefas de *setup*;
6. Eliminar os ajustes;
7. Abolir o *setup*.

Fonte: BLACK 1998

Moxham e Greatbanks (2001) sugerem a criação de um estágio conceitual denominado SMED-ZERO, uma ferramenta de avaliação pré-SMED com aplicação dos critérios de pré-requisitos antes do estágio preliminar do SMED, indicado na figura 2.7.

Neste estágio, conforme Moxham e Greatbanks (2001), algumas atividades tais como trabalho em equipe, controle visual na empresa, medida de desempenho e atividade de melhoria contínua com *kaizen* seriam necessárias.

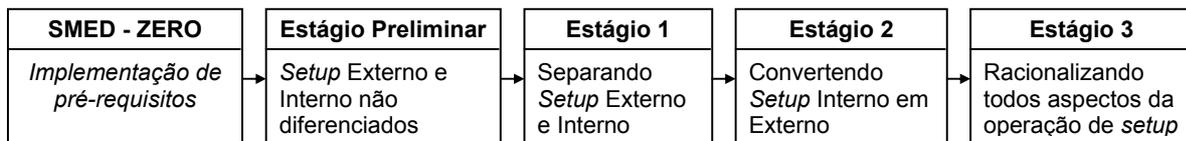


Figura 2.7: Metodologia com presença do SMED-ZERO

Fonte: MOXHAM e GREATBANKS 2001, adaptação

A preocupação com os pré-requisitos para a aplicação do SMED também foi objeto de estudo de Sugai, Novaski e Bacci (2005b) na busca de um modelo de tomada de decisão para aplicação da metodologia desenvolvida por Shingo (1985).

## 2.7 METODOLOGIA SMED NO BRASIL

Conforme relato de Taiichi Ohno (LEAN INSTITUTE BRASIL 2006), a fábrica da Toyota no Brasil praticava de forma melhor o Sistema Toyota de Produção nos anos 1970 por conseguir fabricar pequenas quantidades com variedade. Isso era possível pelo bom desempenho da troca de ferramenta de forjaria realizada na planta brasileira.

Em visita à fábrica da Toyota em Indaiatuba, percebeu-se o zelo na aplicação das técnicas que compõem o sistema de produção desta empresa tais como a produção puxada por cartão (*kanban*), melhoria contínua, quadros de comunicação, etc. Nesta planta, o tempo de preparação é o esperado para a realização da produção puxada e o SMED é o passo inicial para a realização de melhorias contínuas em *changeover*.

Algumas aplicações da metodologia tornam o SMED como referência conceitual quando se trata da redução do tempo gasto em *setup*. Alguns autores utilizaram a metodologia como um procedimento seqüenciado em diferentes tipos de produção.

Silva e Duran (1998) apresentam um estudo de caso da redução dos tempos de preparação em tornos CNC de uma fábrica de freios, utilizando como princípio alguns dos estágios conceituais do SMED.

Calarge e Calado (2003) fazem uso da metodologia SMED em uma linha de conformação de tubos e chapas em um fabricante de eletrodomésticos. Uma observação importante a ser feita é que os autores traduziram o SMED por “troca rápida de matrizes”. No próximo item serão feitos comentários sobre o uso adequado da tradução do SMED.

Costa, Zeilmann e Schio (2004) desenvolvem aplicação do SMED em máquinas CNC com estudo de retorno sobre o investimento em projeto de redução de tempo de preparação, que envolveu a aquisição de dispositivos que agilizavam a troca de ferramentas.

Uma pesquisa conduzida por Prancic *et al.* (2004), que se baseou na realização de um levantamento sobre a utilização de iniciativas de apoio à gestão de operações em 74 empresas na região de Campinas, traz um fato interessante: dentro de um grupo de empresas que declaram que utilizam o sistema de produção enxuto (derivado do STP), apenas 1/5 declaram utilizar o sistema *kanban*, método de gerenciamento de fluxo de produção mais condizente com a produção puxada. Dentro deste mesmo grupo, 1/3 afirmam utilizar o sistema de troca rápida de ferramentas.

Pode-se tirar duas conclusões: a primeira é que o sistema de produção enxuto é lembrado, mas não é realidade no setor produtivo em termos de suas ferramentas que auxiliam a produção puxada. Outra conclusão é que nem sempre há vínculo entre o *kanban* e as melhorias de desempenho em viradas de produção. Este fato sublinha que o STP tem sido utilizado, mas apenas parcialmente mediante aplicação de algumas das suas ferramentas e não de forma integrada.

Esta pesquisa é importante, pois os estudos de caso desta tese localizam-se na mesma região em que o levantamento foi realizado.

### 2.7.1 O conceito SMED e a Troca Rápida de Ferramentas (TRF)

A versão brasileira do livro do Shingo (1985) foi publicada no ano de 2000 com o título “Sistema de Troca Rápida de Ferramentas” (SHINGO 2000) indicado na figura 2.8 (b). No Brasil, há uma identificação da metodologia SMED de Shingo com “Troca Rápida de Ferramentas” (TRF) sendo que esta realidade está presente tanto em artigos de revistas industriais (NEUMANN, RIBEIRO e SILVA 2002, COSTA, ZEILMANN e SCHIO 2004), em publicações acadêmicas (FOGLIATTO e FAGUNDES 2003, NEUMANN e RIBEIRO 2004) assim como em trabalhos acadêmicos (KANNENBERG 1994, RECH 2004) e encontros de engenharia de produção (NEUMANN *et al.* 2004, SATOLO e CALARGE 2004).

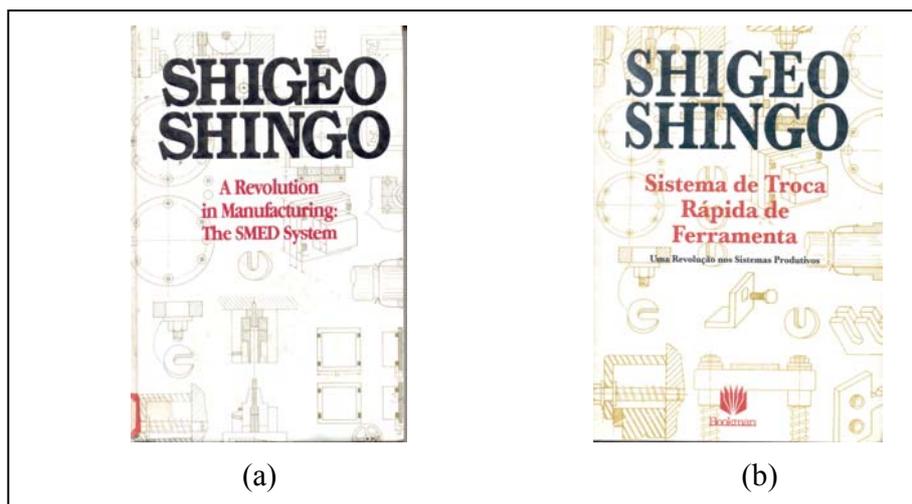


Figura 2.8: Edições norte-americana (a) e brasileira (b) do livro do Shigeo Shingo

Nesta tese optou-se pelo uso da própria sigla original SMED, uma vez que é utilizada no referenciamento internacional. É importante, porém ressaltar algumas diferenças conceituais. O SMED é uma metodologia para melhorar o desempenho da virada de produção, especialmente o seu tempo decorrido. Não é adequado traduzir SMED por TRF uma vez que a troca de ferramentas não se identifica totalmente com as atividades de preparação em todos os processos de fabricação. Para melhor compreensão, faz-se oportuno exemplificar.

Nos processos de fabricação de estamparia e injeção, a virada de produção significa troca de ferramenta, respectivamente a matriz e o molde, pois um novo produto necessita de nova ferramenta. Há uma exceção nos casos de simples de troca de matéria prima em processo de fabricação de injeção utilizando o mesmo molde, nos quais ocorrem as viradas de produção sem troca de ferramenta.

No caso de processo de fabricação de usinagem, denomina-se troca de ferramenta, por exemplo, a simples troca da pastilha para a produção de um mesmo produto. O tempo para se realizar esta operação chama-se tempo de indexação e é, em geral, muito pequeno e, portanto, considerado desprezível dentro do tempo total de processamento; por outro lado, o tempo de preparação, que é a duração do tempo para realizar as atividades para se começar a produzir um novo produto e pode envolver também troca de ferramentas, sendo considerado relevante no tempo total de processo de fabricação (NOVASKI 1984).

Para a usinagem de um mesmo produto, pode haver troca de ferramentas, não significando uma virada de produção. Ao se propor então uma metodologia de troca rápida de ferramentas em centro de usinagem, este processo poderá ser realizado em menos de 10 minutos por ser um procedimento muito simples de acordo com a máquina-ferramenta.

Conforme pode se observar na tabela 2.1, nos processos de fabricação de estamparia e injeção, há uma identificação entre “troca de ferramentas” e virada de produção. Em usinagem há uma diferença no que se diz respeito a “troca de ferramentas” e virada de produção.

Tabela 2.1: Diferentes compreensões sobre troca de ferramentas e virada de produção

<b>Processo de Fabricação</b>	<b>O que se entende como “troca de ferramentas”</b>	<b>O que se entende por “virada de produção”</b>
<b>Usinagem</b>	Troca de pastilhas ou suportes para o mesmo produto	Preparação da máquina para fabricar novo produto
<b>Estamparia</b>	Troca de matriz (produtos diferentes)	Troca de matriz (produtos diferentes)
<b>Injeção</b>	Troca de molde (produtos diferentes)	Troca de molde (produtos diferentes)

Portanto, a observação a ser feita é que a sigla TRF, embora tenha alguns traços semelhantes, não se identifica totalmente com o SMED. Por isso, preferiu-se nesta tese o uso da sigla SMED ao invés do TRF, que é usual na literatura nacional.

## **2.8 COMENTÁRIOS**

No tempo atual, a importância da melhoria do desempenho em virada de produção tem crescido muito, uma vez que o mesmo sistema produtivo deve atender com agilidade uma demanda variada. Os trabalhos relacionados a este tema tangem inevitavelmente na metodologia desenvolvida por Shingo que inquestionavelmente realizou contribuições substanciais quando se trata de melhorias em tempo de *setup*. A sua metodologia concentra três estágios conceituais de fácil compreensão e rápida aplicação. Pode-se afirmar que o SMED oferece melhorias a baixo custo, especialmente quando se trata de aspectos organizacionais. Neste capítulo, procurou-se apontar os pontos em que metodologia não aborda e que poderiam ser objetos de futuros aprofundamentos.

Compreender bem o SMED é um passo necessário para começar a realizar contribuições em termos de *setup* ou *changeover*. Por esta razão, esta tese dedica-se a um estudo aprofundado desta metodologia e de suas carências. Com esta base, segue-se agora a apresentação do estado atual do tema.

## CAPÍTULO 3

### *CHANGEOVER E SETUP: ESTADO DA ARTE*

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

O estado da arte relacionado ao *changeover* e ao *setup*, isto é, trabalhos inovadores e atuais com relação à virada de produção, é oferecido principalmente por equipes de pesquisa europeus, entre os quais se destaca o *Improving Changeover Performance (ICP)* da Universidade de Bath (Inglaterra). Este grupo, além do conhecimento da aplicação da metodologia de Shigeo Shingo, desenvolveu novos conceitos e técnicas de melhoria do desempenho em *changeover*.

Outro estudo que também tem certo destaque é do professor Dirck Van Goubergen da Universidade de Ghent (Bélgica), que, entre outras coisas, elaborou um Diagrama de Multi-Atividade, uma metodologia para realização de virada de produção em uma linha de produção.

Neste capítulo serão citados também estudos encontrados na literatura associando o tempo de *setup* e pesquisa operacional, assim como artigos que relacionam tempo de *setup* e tecnologia de grupo.

Neste capítulo apresentaremos, em ordem de relevância estes estudos, a atual fronteira do conhecimento do tema desta tese.

### **3.2 IMPROVING CHANGEOVER PERFORMANCE**

O *Improving Changeover Performance* é um grupo de professores e pesquisadores do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Bath, Inglaterra, que realiza desde 1991 estudos relacionados à melhoria no desempenho em virada de produção. Esta equipe editou o livro que leva o nome do grupo (McIntosh *et al.* 2001b), publicou mais de 20 artigos em revistas de impacto e têm apresentado seus trabalhos em diversos de congressos internacionais. Os principais pesquisadores deste grupo são: Richard McIntosh, Geraint Owen, Chris Eldridge, Steve Culley, Michael Reik e Antony Mileham, cada qual com uma linha de pesquisa determinada. Para facilitar a identificação desta equipe ao longo desta tese, ela será indicada pelas iniciais ICP, iniciais do grupo e do livro que publicaram.

Além do bom desempenho do grupo em termos de quantidade de publicações, os trabalhos têm recebido muitos elogios pela sua qualidade. Na opinião de uma consultoria, por exemplo, o livro “Improving Changeover Performance” é o melhor livro sobre o tema (CHANGEOVER 2006).

Para a realização desta tese, foi possível um intercâmbio de muitos conhecimentos com o grupo, em especial com o Richard McIntosh, que foi responsável por diversas e oportunas sugestões e correções durante a realização desta tese. Um dos resultados deste intercâmbio foi a produção de um artigo em conjunto (SUGAI, NOVASKI e McINTOSH 2007).

Nos sub-itens abaixo seguem as principais inovações conceituais provenientes do grupo.

#### **3.2.1 Pesquisas sobre os períodos de desaceleração e retomada**

A figura 2.3 presente no item 2.2 desta tese, cuja autoria é do ICP, apresenta o conceito de período da retomada (*run-up*) e desaceleração (*run-down*). As definições estão apresentadas na seqüência da figura. O surgimento destes conceitos e as últimas pesquisas relacionados às mesmas serão comentados abaixo.

Em ordem cronológica, primeiramente constatou-se a existência do período da retomada, fase em que a manufatura não atinge a taxa esperada de produção e com qualidade aceitável após a realização de um *setup*. Este conceito nasceu após um trabalho realizado durante três anos nas

onze fábricas de uma empresa multinacional fabricante de embalagens e em outras oito fábricas de demais empresas da Inglaterra. A figura 3.1 apresenta a primeira versão em que consta o período da retomada. Difere da figura 2.2 por não considerar a existência do período de desaceleração.

Conforme Eldridge *et al.* (2002), em dez anos de pesquisas do *ICP*, o fenômeno do período da retomada sempre foi percebido. McIntosh *et al.* (2001b) comentam que em alguns casos, conforme o grau de perda de produção, o período da retomada deveria ser considerado no tempo de *setup* para efeitos de cálculo de capacidade de produção e cálculo de lote de compra.

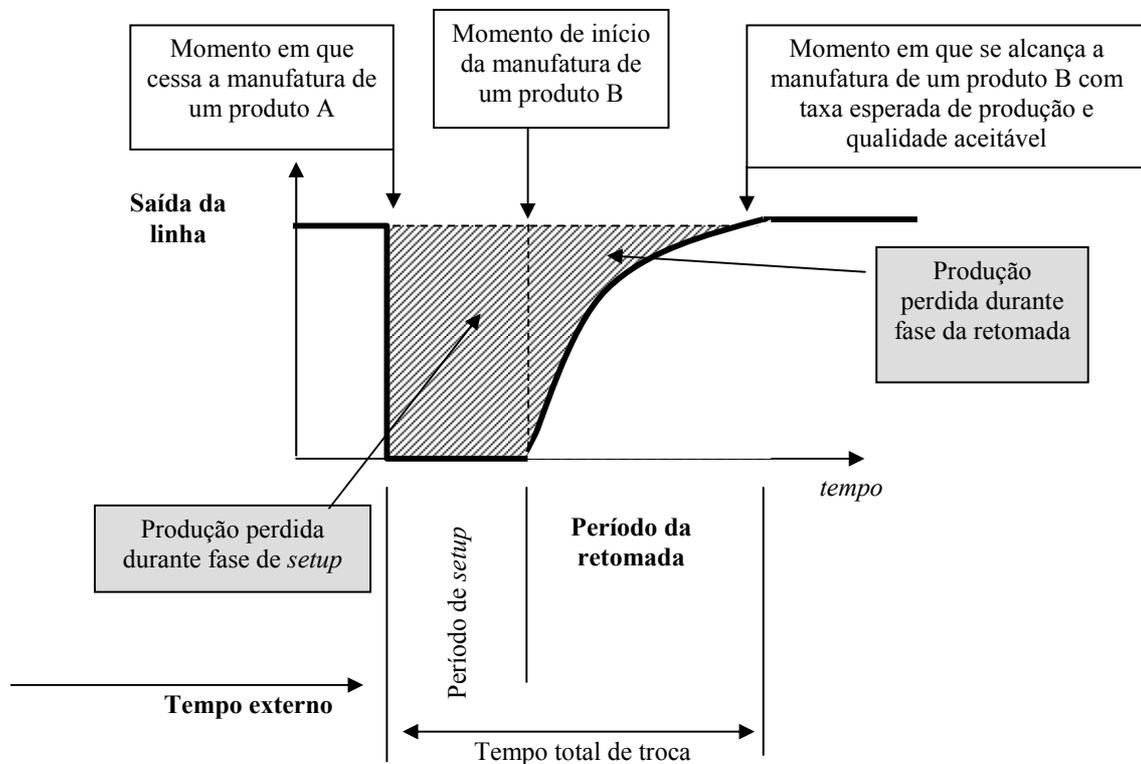


Figura 3.1: Período de retomada  
 Fonte: McINTOSH *et al.* 1996

Alguns autores fizeram uma breve referência ao período da retomada. A existência do período da retomada é comentada de forma simples em Garvin (1998), embora não tenha apresentado nenhuma representação gráfica ou estudo mais detalhado sobre o tema. Higgins

(2001) comenta sobre a existência do período da retomada em uma aplicação de metodologia de redução de tempo de *setup* em uma indústria alimentícia.

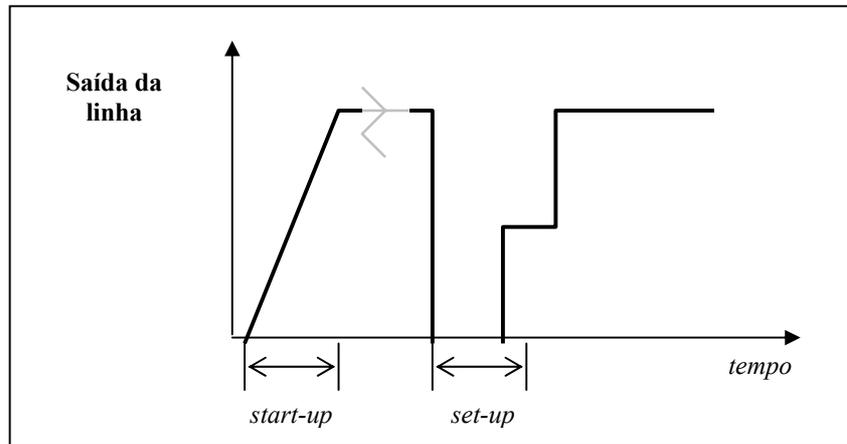


Figura 3.2: Desempenho do *start-up* e *setup*  
Fonte: IMC INTERNACIONAL 2001, adaptação

A perda de capacidade no período da retomada também é apresentada de forma intuitiva em uma ilustração de uma apostila de consultoria (IMC INTERNACIONAL 2001), na qual se descreve o desempenho da produção dentro do conceito de Manutenção Produtiva Total (TPM - Total Productive Maintenance). Na figura 3.2 é apresentado o desempenho de uma linha de produção e destacam-se os momentos em que a capacidade é reduzida pela presença do *start-up* (iniciação da linha) e do *setup* (preparação). No *setup* fica evidente que há um “degrau” representando que o reinício após a fase de preparação não leva a linha a operar em pleno regime significando uma perda de capacidade.

Com relação ao período de desaceleração, a primeira vez em que surgiu na literatura foi no artigo de Moxham e Greatbanks (2001), que cita McIntosh *et al.* (1996) e ressalta a falta do período de desaceleração no trabalho do *ICP*. Neste artigo, estes autores apresentaram um estudo de caso de fabricação de eixos helicoidais na qual confirmam a presença do período de desaceleração. As figuras 3.3 e 3.4 apesar de serem apenas esquemáticos e sem análise de dados, identificam o período de desaceleração.

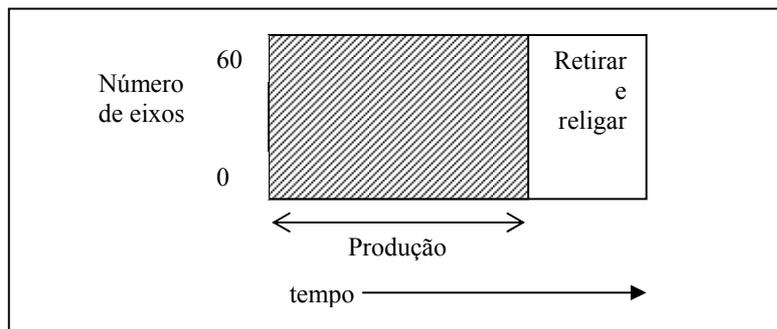


Figura 3.3: Situação hipotética da produção  
 Fonte: MOXHAM e GREATBANKS 2001

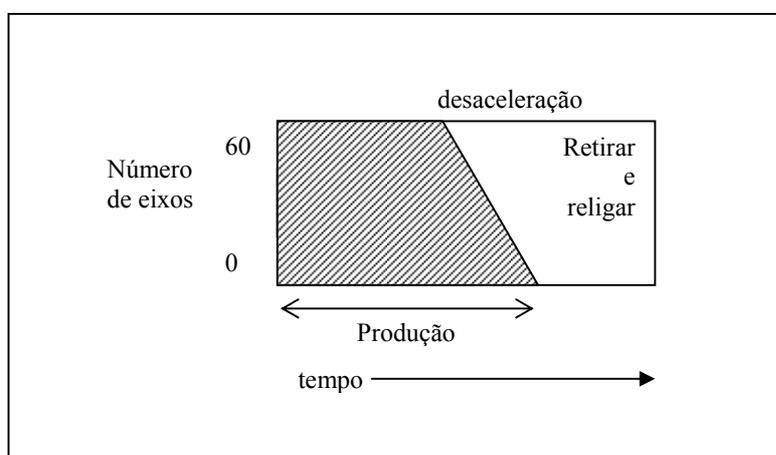


Figura 3.4: Situação real da produção  
 Fonte: MOXHAM e GREATBANKS 2001

Konrad (1997) também apenas ilustra uma situação em que se visualiza o período da retomada e desaceleração, porém sem entrar em detalhes no conceito.

O reconhecimento destes fenômenos é de grande importância o que levou o ICP a dedicar mais estudos para compreender seu desempenho. O artigo de Owen *et al.* (2006) realizou uma revisão bibliográfica sobre o período da retomada com alguns ensaios em uma linha de produção para testar um aparelho de coleta de informações de saída de produção e um software de captura e análise de dados. No artigo apresenta-se também um fluxograma para o processo de aquisição de dados durante o período da retomada.

Em outro estudo do grupo sobre o período da retomada apresenta-se um sistema inteligente para *setup*, utilizando dados do período da retomada (ELDRIDGE *et al.* 2002). Neste artigo é descrito um incipiente estudo das causas do período da retomada e desaceleração. Os estudos sobre este tema são vastos e podem ser explorados em diversas pesquisas.

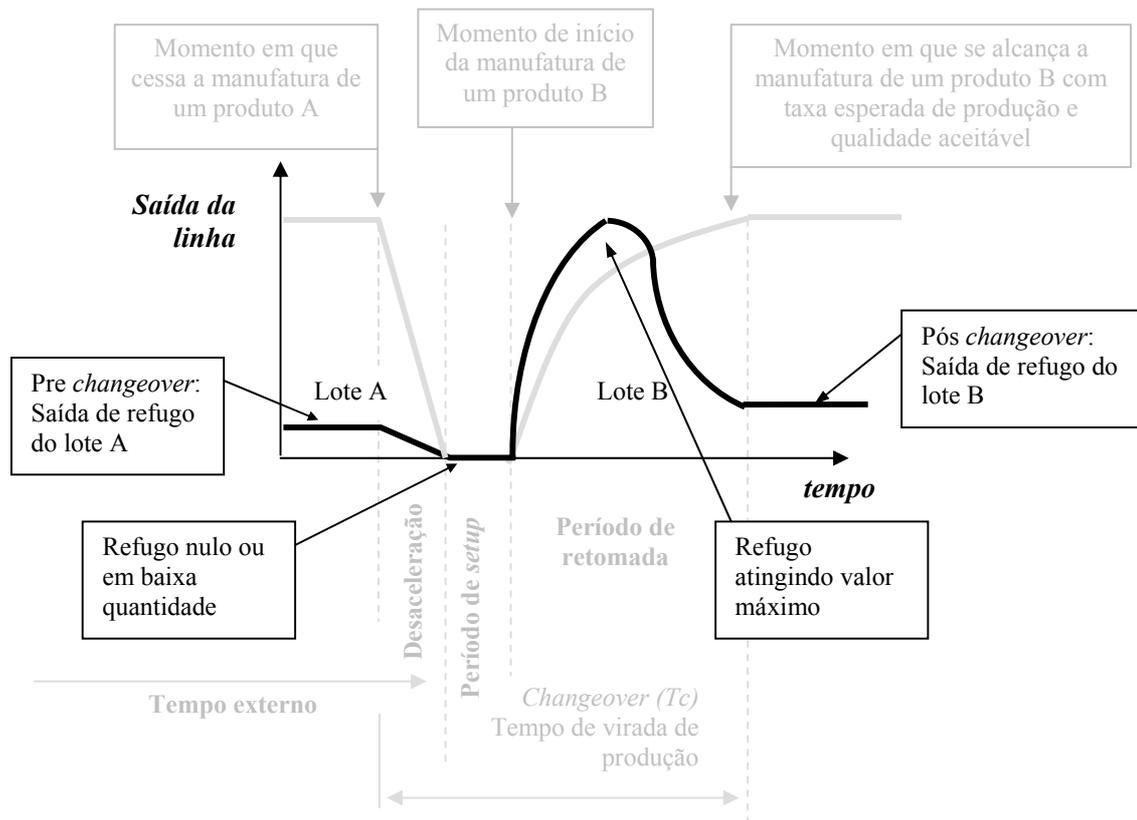


Figura 3.5: Apresentação esquemática da geração de refugo durante o *changeover*  
 Fonte: OWEN *et al.* 2006

Uma decorrência provável do período da retomada é a geração de refugos ou descartes pelos testes na retomada de produção. Conforme Owen *et al.* (2006) é provável que o comportamento do número de descartes seja conforme a figura 3.5, que apresenta uma linha de quantidade de peças descartadas dos lotes A e B sobreposta à figura 2.3. Esta figura fortalece a discussão das perdas ocorridas na virada de produção.

Com base em estudos de casos reais, McIntosh *et al.* (2001b) apresenta a grande dificuldade que significa a definição do fim do período da retomada. As figuras 3.6 e 3.7 representam a taxa de produção em estudos de casos realizados pelo ICP. Nota-se que a retomada de produção oscila muito até atingir um equilíbrio esperado na produção, dificultando a definição do momento de término do período da retomada e da perda ocorrida neste período.

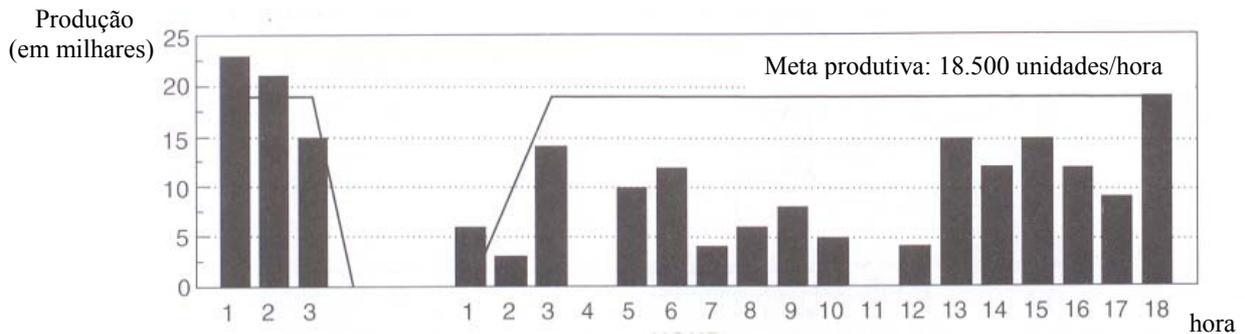


Figura 3.6: Oscilações no período da retomada observada em estudo de caso 1  
 Fonte: McINTOSH *et al.* 2001b

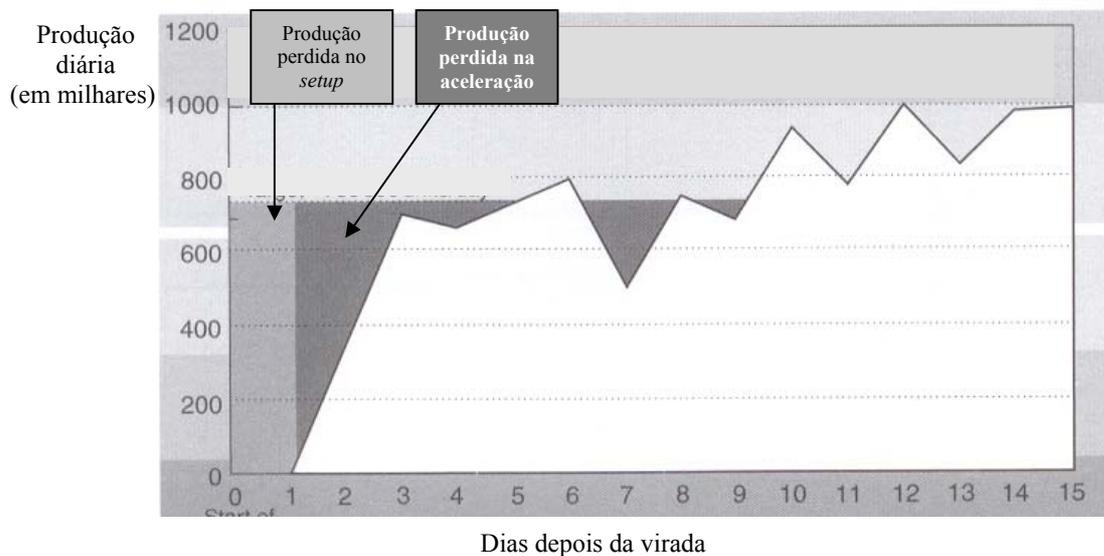


Figura 3.7: Oscilações no período da retomada observada em estudo de caso 2  
 Fonte: McINTOSH *et al.* 2001b

Em conjunto com uma empresa metal-mecânica no Brasil, constatou-se a presença do período da retomada. Os autores deste estudo (SUGAI, NOVASKI e MORAES 2006)

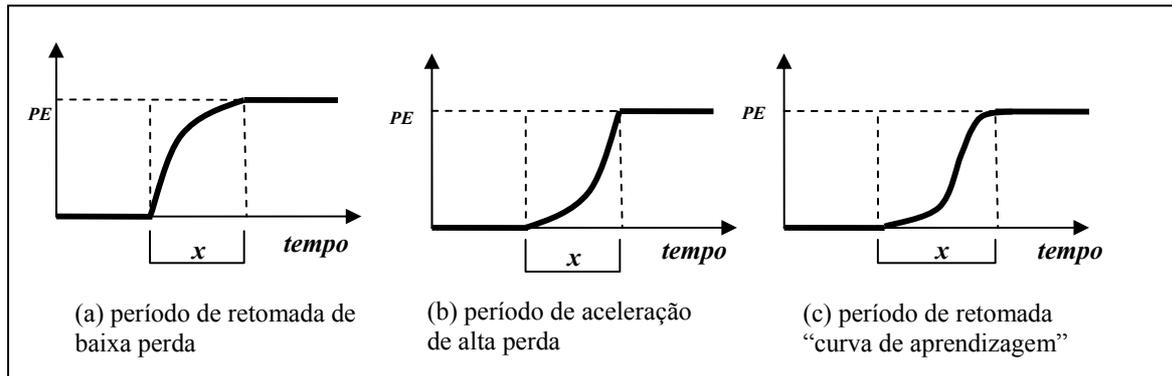


Figura 3.8: Configurações possíveis do período de retomada com variedade na perda e tempo decorrido  
 Fonte: SUGAI, NOVASKI e MORAES 2006

destacaram a realidade das diferentes situações de perda conforme o perfil de retomada e a dificuldade em estipular o tempo decorrido deste período, o intervalo ( $x$ ) na figura 3.8.

O estudo do período da retomada será muito importante para o desenvolvimento desta tese, de tal forma que este item será comentado mais adiante neste trabalho. Segue agora outro estudo do ICP: melhorias organizacionais e em projeto.

### 3.2.2 Melhorias Organizacionais e em Projeto

Outra importante contribuição do ICP é a classificação dos esforços e atividades de melhoria de desempenho da virada de produção entre os tipos de categorias: “organizacional” e “projeto” (McINTOSH *et al.* 1996). Esta classificação tornou evidente que a virada de produção tem elementos físicos/mecânicos (projeto) e elementos humano/social (organizacional). Para exemplificar, tanto a troca de ferramentas em uma máquina-ferramenta ou a virada de produção de uma linha integrada, exige-se conhecimentos mecânicos e treinamento de funcionários. Portanto, as categorias “organizacional” e “projeto” devem ser bem articuladas no *changeover*.

Conforme McIntosh *et al.* (2000), entre os principais métodos de melhoria “organizacional” encontra-se o conjunto de práticas de manufatura originárias do Japão que enfatizam o trabalho em equipe na busca contínua de redução de custos e melhoria gradativa na prática do trabalho. Estas práticas são comumente conhecidas como *kaizen* (IMAI 1994). Alguns autores fizeram uso de alguns aspectos do *kaizen* em aplicações de técnicas de redução de tempo de *setup*, por

envolver pessoas de diversas áreas, reforçaram a importância da formação de times de trabalho (LEE 1986, HAY 1987).

As melhorias em projeto envolvem mudanças em ferramentas, equipamentos, dispositivos e até na própria máquina quando é necessário melhorar a atividade de virada de produção. Embora mais demorada e com custo maior, a melhoria em projeto pode simplificar, acelerar ou eliminar as atividades de ajustes durante o *setup*. Estas melhorias são aprofundadas nos estudos da equipe ICP que gerou o conceito de “Projeto para *Changeover*” (*Design for Changeover*), que será analisado mais adiante.

Na figura 3.9 apresenta-se uma gradação em cujo extremo esquerdo encontra-se a solução totalmente baseada em melhorias organizacionais e no lado oposto um projeto de melhoria de *changeover* totalmente focado em mudanças em projeto. Destaca-se na parte superior esquerda do segmento de reta uma grande faixa na qual se encontram as aplicações de metodologia baseadas no SMED que, conforme McIntosh *et al.* (2000), trata-se de uma metodologia com tendência a realizar melhorias organizacionais.

Sobre a extrema direita do segmento encontram-se as soluções de melhorias em virada de

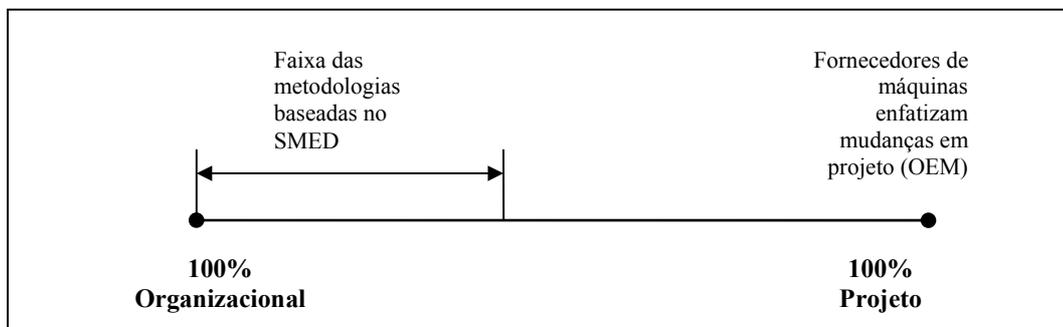


Figura 3.9: Gradação entre melhoria organizacional e projeto  
Fonte: McINTOSH *et al.* 2001b

produção oferecidas pelos fornecedores de máquinas e equipamentos que divulgam seus produtos como solução única neste quesito (McINTOSH *et al.* 2001b).

As consultorias industriais que oferecem melhorias em *changeover* ressaltam a existência de melhorias em projeto mescladas com melhorias organizacionais (HIGGINS 2001). Todavia, é

comum que se ofereça inicialmente um pacote de melhorias no qual não é necessário realizar investimentos e é de fácil aplicação. Neste caso trata-se de simples melhorias de ordem organizacional tais como padronização da disposição de equipamentos de *setup*, organização do local de ferramentas, uso de carrinhos para transporte de matrizes, moldes, etc. que não significam alto custo.

Em um segundo nível, os consultores oferecem as melhorias nas quais é necessário investimento financeiro de maior volume. Neste momento se encontram as soluções de projeto mecânico, por exemplo, compra e uso de parafusadeira ao invés de chaves convencionais, instalação de sistema de engate rápido, instalação de placa magnética, etc.

Uma decorrência da gradação presente na figura 3.9 é a identificação dos principais atributos que diferenciam os extremos do segmento. A figura 3.10 apresenta os atributos, que, apesar de não serem características fixas, têm um grande paralelo com a realidade. A partir desta figura, pode-se destacar os seguintes atributos:

- Tempo para alcançar melhoria: mudanças organizacionais têm característica de serem mais ágeis para serem implementadas, sendo que os de projeto mecânico têm uma evolução mais lenta.
- Custo: As melhorias em projeto supõem maior investimento do que as melhorias organizacionais e requerem maior estudo dos processos de fabricação, máquinas e equipamentos.
- Potencial de melhoria: Há um grande potencial de melhoria caso o projeto for bem elaborado e executado com eficácia.
- Habilidade requerida: Após a realização de uma simples melhoria organizacional, é muito provável que a habilidade do operador seja a mesma do que antes pois a carga de trabalho não é muito reduzida, apenas adiantada ou transferida. Pode ser reduzida caso forem incorporadas melhorias em projeto.

Os atributos mencionados são importantes por destacar as vantagens e as desvantagens de cada extremo da gradação sobre os mesmos atributos. Este conhecimento auxilia na tomada de decisão de qual tipo de melhoria adotar tendo conhecimento do custo, potencial de melhoria e tempo necessário para alcançar esta melhoria.

Um outro modelo comparativo gerado pelo ICP é a figura 3.11 que contém um gráfico cujo eixo horizontal é o tempo de troca e o eixo vertical é o custo. Neste gráfico estão representadas três linhas de caminho com mesmo início, mas com limites e trajetetos diferentes. A linha do projeto de novo sistema (a) segue uma trajetória de melhoria mais acentuada, mas com maior custo embora possibilitando a melhoria com tempo de troca próxima do “zero”. A linha que representa modificações mescladas de melhoria por projeto e organizacionais (b) apresenta um custo menor, mas com maior limitação para chegar ao tempo mínimo de troca. Por fim, a linha mais próxima do eixo horizontal (c) representa as modificações por melhoria organizacional que supõe menor custo, mas atinge um tempo mais distante do “zero”.

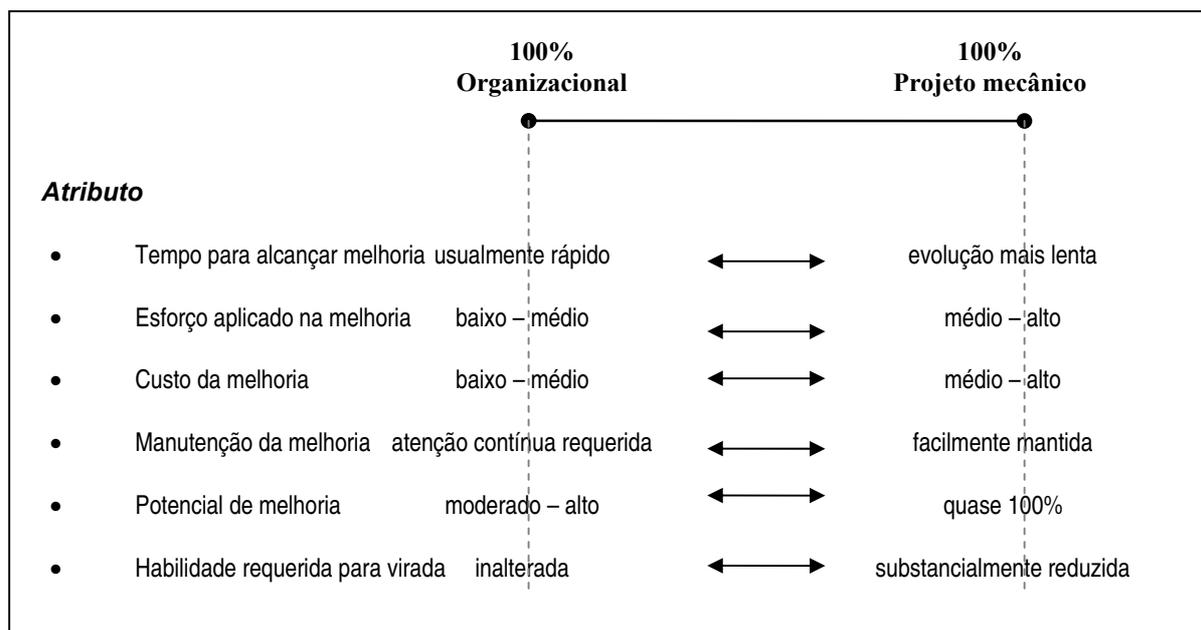


Figura 3.10: Mapeamento de atributos de virada de produção na gradação organizacional – projeto  
 Fonte: McINTOSH *et al.* 2001b

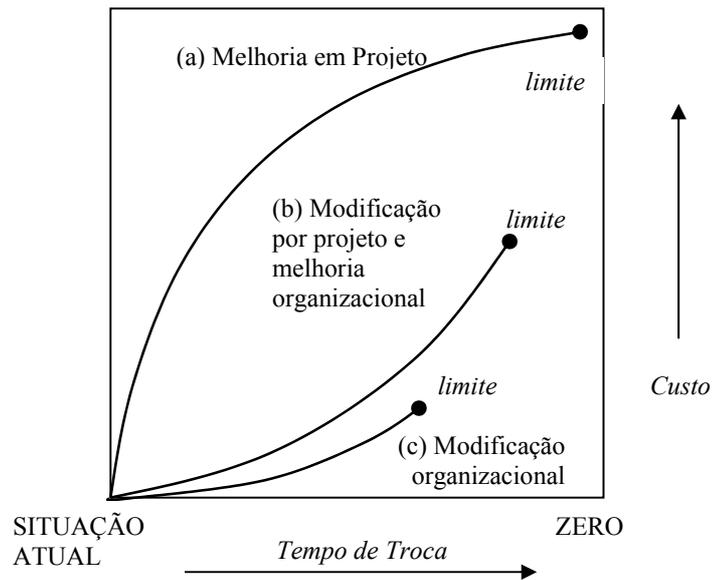


Figura 3.11: Gráfico comparativo entre modificações em *changeover*  
 Fonte: McINTOSH *et al.* 1999

Embora seja apenas um modelo, há muitos pontos que são discutíveis. Pode ser que o projeto de novo sistema possa não atingir sempre o resultado indicado e ainda assim ter sido bastante oneroso. E ainda que o projeto seja bem elaborado, as modificações indicadas podem não ser aplicadas por falta de motivação organizacional, treinamento, etc. Trata-se, portanto, de um modelo que necessita ser também aperfeiçoado. É necessário ser mais específico para identificar em quais situações o comportamento da trajetória pode ser mais acentuado e os ganhos reais previstos devem ser melhor parametrizados.

Outra elaboração do ICP é descrita em Reik *et al.* (2006). Trata-se do diagrama 4P's (figura 3.12) na qual são apresentados os quatro fatores na qual as melhorias em virada de produção podem ser alcançadas (Pessoas, Prática, Produto e Processos). Estes fatores influem na performance do *changeover* e são possíveis de serem alterados para apoiar os objetivos desejados.

Com este diagrama identificam-se os fatores de cunho organizacional tais como a motivação de funcionários, treinamento, práticas e métodos de trabalho. Com esta base, pode-se realizar melhorias em *changeover* sem alterar máquinas e dispositivos.

Todavia, as melhorias em projeto de produto e projeto de processos (máquinas e equipamentos) também influem na performance do *changeover*. O ICP tem focado muitas pesquisas neste aspecto de melhoria e que serão descritos no item 3.3.5 desta tese. Apenas como forma de ilustração, pode-se comentar que os pesquisadores consideram que os ganhos em *changeover* são mais sustentáveis quando feitos com base em melhoria em projeto (CULLEY *et al.* 2003). Em segundo lugar, Eldridge *et al.* (2002) postulam que, de acordo com as mudanças organizacionais realizadas, não há melhorias substanciais no período da retomada.

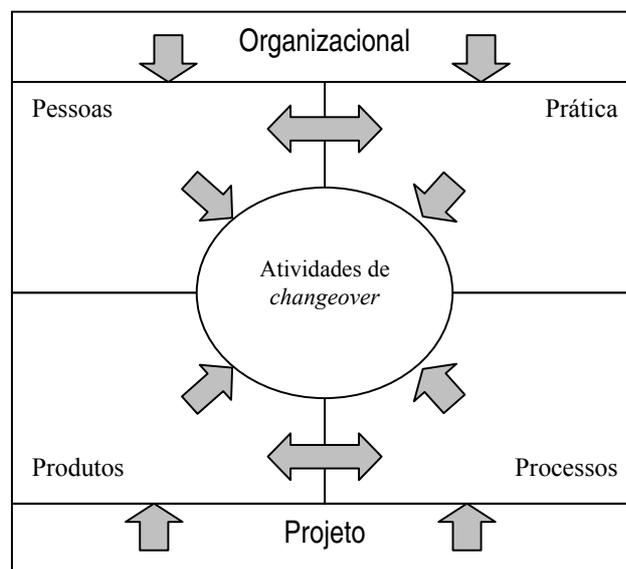


Figura 3.12: Diagrama 4 P's

Fonte: REIK *et al.* 2006

Uma aplicação no Brasil que utiliza a diferenciação conceitual entre melhoria organizacional e melhoria em projeto foi descrita em uma dissertação de mestrado. Após tomar conhecimento das limitações da metodologia SMED com leituras de trabalhos do ICP, Reis (2006) apresentou uma pesquisa-ação feita em uma empresa de equipamentos médico-hospitalares na qual alcançou-se ganhos sustentáveis em *changeover*. A pesquisa alcançou retorno financeiro além da comprovação prática do conceito. A partir deste trabalho, geraram-se alguns artigos recentemente apresentados em congresso (ALVES e REIS 2007a, ALVES e REIS 2007b).

Dentro do âmbito de projeto, McIntosh *et al.* (2001a) descreveram as similaridades entre a atividade de *setup* e as tarefas próprias de manutenção, e avaliaram que técnicas utilizadas na redução do tempo de *setup* podem ser utilizadas em atividades de manutenção. Com o uso de estudos de caso originários das pesquisas, os autores argumentaram que o foco em atividades de manutenção pode influenciar diretamente o desempenho do *setup*, principalmente porque se podem utilizar equipamentos e dispositivos em perfeitas condições.

Segue agora o estudo de uma metodologia do grupo da Universidade de Bath que tem gerado aplicações na indústria.

### 3.2.3 Estratégia de Redução\*

Conforme McIntosh *et al.* (2001b) a Estratégia de Redução é uma ferramenta de melhoria desenvolvida pelo *ICP* para descobrir os excessos entre quatro categorias possíveis (quadro 3.1). Tais categorias surgiram a partir da análise retrospectiva de como as viradas de produção que foram realizadas pela equipe e alcançaram bons índices de melhorias. A proposta da ferramenta é reversa da aplicação convencional de uma metodologia: deseja-se saber como o *changeover* deveria ser melhorado de forma genérica para se alcançar resultados positivos.

Quadro 3.1: Categorias da Estratégia de Redução

- |   |
|---|
| a) Estratégia de Redução em <b>Atividades “on-line”</b> |
| b) Estratégia de Redução em <b>Ajustes</b>              |
| c) Estratégia de Redução em <b>Variedade</b>            |
| d) Estratégia de Redução em <b>Esforço</b>              |

a) Estratégia de Redução em Atividades “on-line”: Trata-se da busca da redução do tempo das atividades nos períodos de *setup*, retomada e tempo externo. McIntosh *et al.* (2001b) ressaltam que esta categoria vai além da metodologia SMED, não ficando apenas em identificação e conversão de atividades internas em atividades externas. Há outras técnicas podem ser utilizadas nesta categoria tais como condução de atividades em paralelo ou mudança de seqüência de tarefas com intuito de reduzir a ociosidade dos operadores.

---

\* do original em inglês: *Reduction In Strategy*

b) Estratégia de Redução em Ajustes: A aplicação da “Estratégia de Redução em Ajustes” pode ser feita em qualquer estágio do *changeover*, embora haja maior prioridade nas tarefas realizadas durante o período da retomada, pois os ajustes ocorrem principalmente neste período o que o tornam muito maior do que o tempo decorrido no *setup*.

McIntosh *et al.* (2001b) postulam que as melhorias devem ser conduzidas de forma mais organizada ou deve-se buscar alterações no conteúdo das tarefas. Os ajustes não devem ser colocados em último lugar por conta do grande significado que têm tanto na qualidade final como no tempo decorrido do *changeover*. O empenho na redução de ajustes é fundamental na redução do tempo decorrido na virada de produção.

c) Estratégia de Redução em Variedade: Conforme McIntosh *et al.* (2001b), assim como a Estratégia de Redução em Ajustes, a Estratégia de Redução em Variedade deve receber uma especial atenção. A variedade de execução de tarefas pelas pessoas, assim como a variedade do local físico dos itens próprios da virada, pode alterar o contexto da virada de produção.

Quando uma tarefa é realizada conforme um método previsto, provavelmente terá melhor desempenho. Portanto, a padronização deve ser dirigida a todos os que realizam as atividades de virada de produção. Tais padrões devem ser de comum acordo de todos e utilizados conforme mesmo método por todos.

A fixação de um método de trabalho das atividades de virada de produção assegura um tempo definido de forma predeterminada e pode ser uma referência para controle e futuras melhorias em possíveis alterações de atividades (MTM – MEK 2005).

d) Estratégia de Redução em Esforço: Muitas oportunidades de melhoria podem surgir quando se busca a redução do esforço requerido para conduzir a virada da produção. De acordo com McIntosh *et al.* (2001b), assim como as demais estratégias de redução, o escopo da Redução em Esforço pode ser considerável. Muitas das viradas de produção são conduzidas de forma aleatória e de maneira ineficiente, que com estudo e planejamento pode-se oferecer diversas oportunidades para realizar o trabalho de forma mais fácil e mais rápido.

Para compreender a contribuição da Estratégia de Redução, deve-se entender que a redução do tempo decorrido em *changeover* ( $T_c$  na figura 2.3) pode ser feita de duas formas. A primeira é a minimização do  $T_c$  sem alterar a carga de tarefas, realizando a transferência de atividades para antes do *setup*, sem alterar o conteúdo das atividades. A segunda forma é a redução da duração das fases que compõem o *changeover* mediante o uso das técnicas sugeridas na Estratégia de Redução. Este raciocínio pode ser compreendido na figura 3.13.

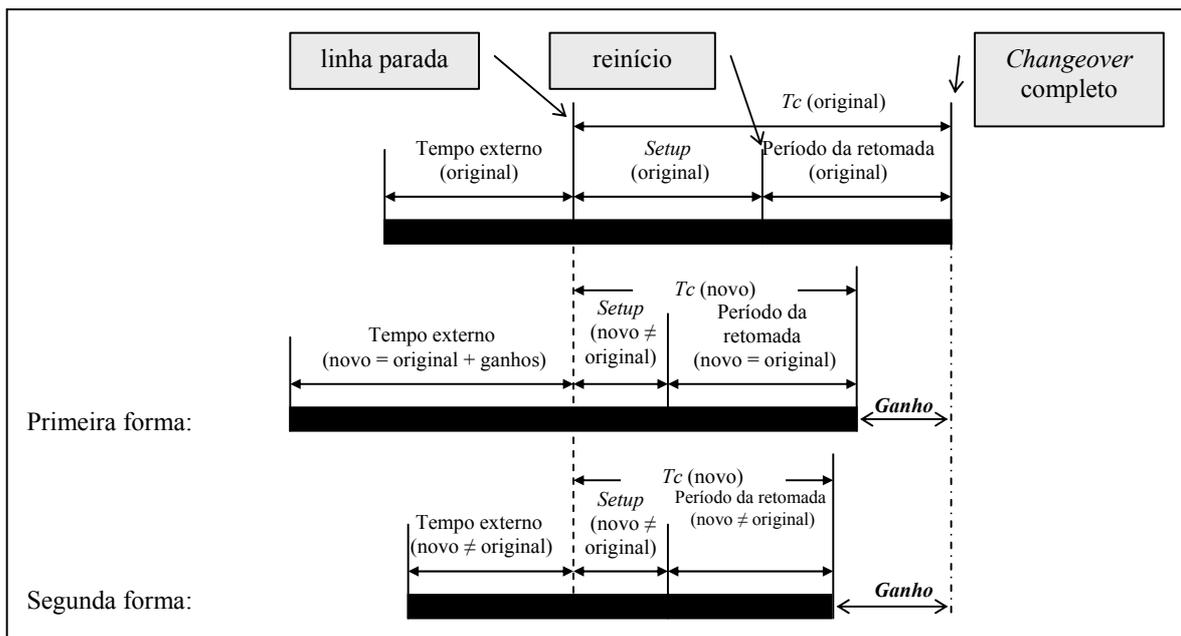


Figura 3.13: Redução do  $T_c$  em duas formas possíveis  
Fonte: Adaptação de McINTOSH *et al.* 2001b

Conforme McIntosh *et al.* (2001b), a primeira forma de melhoria presente na figura 3.13, indica que o período da retomada fica inalterado pela pouca atenção dada a este período. De acordo com a experiência dos membros do ICP, é raro que tarefas realizadas no período de retomada sejam transferidas para o tempo externo. Deve-se notar na figura que o novo “tempo externo” foi acrescentado das atividades transferidas a partir do período de *setup*.

O conjunto descrito como segunda forma é resultado de aplicações da Estratégia de Redução nas atividades do tempo externo, no *setup* e também no período da retomada. Os ganhos são maiores e o *changeover* em seu conjunto tem seu tempo total reduzido.

A Estratégia de Redução torna mais relevante a importância da identificação do período da retomada, que em alguns casos pode durar muitas vezes mais que o período de *setup* e na qual se encontram as atividades de ajuste. Deve-se ressaltar que apenas o rearranjo de atividades não impacta nos ajustes a serem realizados no período da retomada.

Um exemplo de aplicação da Estratégia de Redução encontra-se em McIntosh *et al.* (2005) na qual se apresenta um estudo de caso de melhoria em *changeover* em uma linha de produção de embalagem no Reino Unido. No caso estudado, não se utilizou os estágios conceituais 1 e 2 do SMED (separação e conversão de atividades internas para externas), mas apenas a Estratégia de Redução. O resultado foi a redução do tempo de *changeover* de 7 horas para menos de duas horas. McIntosh *et al.* (2005) sugerem também uma reinterpretação da metodologia SMED, reformulando a seqüência dos estágios conceituais e associando técnicas que consideram mais oportunas.

### **3.2.4 Metodologia Matricial**

A Metodologia Matricial é proveniente da tese defendida por McIntosh (1998) e tem a proposta de gerar o maior número possível de idéias de melhorias para o *changeover* independente do custo e dos benefícios percebidos, desconsiderando também as dificuldades para a implementação.

Faz-se necessário uma breve explicação da idéia que dá base à Metodologia Matricial. Ao observar o SMED elaborado por Shigeo Shingo (figura 2.4), fica claro uma diferenciação entre conceitos ou “estágios conceituais” e as “técnicas práticas correspondentes aos estágios conceituais”. No livro de Shingo (1985) são oferecidos diversos exemplos que ilustram as técnicas citadas no SMED. Um diagrama que ilustra estes três níveis foi elaborado por McIntosh *et al.* (2000) e está presente na figura 3.14. Na leitura ascendente indicado na esquerda da figura, pode-se compreender a base conceitual na qual se buscam as melhorias. Na leitura descendente à direita, detalha-se as melhorias em técnicas e depois em exemplos concretos.

Utilizando-se estes conceitos presentes no diagrama, a composição da matriz leva também em consideração as idéias já desenvolvidas pelo ICP. Os oito conceitos que compõem a base da Metodologia Matricial são apresentados na tabela 3.1. No eixo horizontal separam-se as melhorias organizacionais das melhorias em projeto. No eixo vertical estão dispostas as quatro categorias provenientes da Estratégia de Redução.

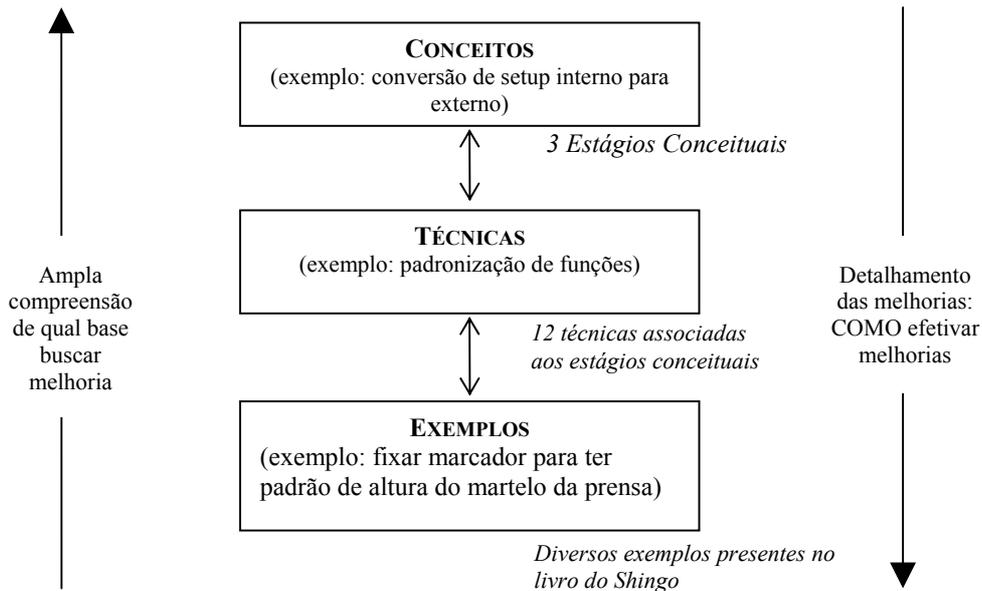


Figura 3.14: Identificação dos três níveis do SMED  
 Fonte McINTOSH *et al.* 2000

De forma genérica, as categorias da estratégia de redução têm o mesmo enunciado para melhorias organizacionais e melhorias em projeto. A abrangência e os resultados esperados da aplicação estão destacados entre parênteses nas células da tabela 3.1.

O resultado do desdobramento dos conceitos da Metodologia Matricial em técnicas associadas aos conceitos é apresentado na tabela 3.2 na qual são apresentadas maiores explicações sobre cada uma das técnicas. Assim como Shingo, os pesquisadores do ICP oferecem no seu livro exemplos que ilustram as técnicas como fruto de observações de aplicações práticas de melhoria em *changeover*. O resultado final da Metodologia Matricial é a figura 3.15 na qual estão representadas as vinte e quatro células dos três níveis em três planos. Nesta figura, os três

níveis estão conectados com flechas que associam “Melhorias em Projeto” com “Estratégia de Redução em Variedade” da matriz de conceitos no nível mais alto com a matriz de técnicas e, por fim, à matriz de exemplos no nível mais inferior.

Tabela 3.1: Conceitos da Metodologia Matricial

		<b>Melhorias Organizacionais</b>	<b>Melhorias em Projeto</b>
		<b>Estratégias de Redução</b>	<b>Atividades “on-line”</b>
<b>Ajustes</b>	<b>Minimizar tarefas de ajustes</b> (reduzindo tentativas e erros)		<b>Minimizar tarefas de ajustes</b> (reduzindo necessidade de ajustes)
<b>Variedade</b>	<b>Padronização da forma de conduzir o <i>changeover</i></b> (Padronizando tarefas)		<b>Padronização da forma de conduzir o <i>changeover</i></b> (Padronizando condições físicas)
<b>Esforço</b>	<b>Eliminar ou simplificar atividades</b> (trabalhando na melhor e na mais eficiente maneira)		<b>Eliminar ou simplificar atividades</b> (Modificando equipamento ou produto)

Fonte: McINTOSH *et al.* 2001b

Apesar de ser um modelo ricamente elaborado, não há exemplos de aplicações da Metodologia Matricial (McINTOSH *et al.* 2001b). Isso por que diferentemente do SMED, não se trata de um fluxograma seqüenciado de redução de tempo de *changeover*. Todavia, conforme os autores da Metodologia Matricial, um especialista em virada de produção saberá distinguir os benefícios conceituais deste modelo na realização de seu trabalho.

A proposta da Metodologia Matricial é apenas oferecer idéias de melhorias. Não há regras definidas sobre como começar sua utilização, sendo que as melhorias podem se iniciadas a partir de qualquer célula. Este procedimento encorajaria o uso de todas as melhorias potenciais e ajudaria a oferecer uma gama de possibilidades em trabalhos em equipe. As melhorias podem ser desenvolvidas assim que sejam identificadas

Tabela 3.2: Técnicas associadas aos conceitos da Metodologia Matricial

	<b>Melhorias Organizacionais</b>	<b>Melhorias em Projeto</b>
<b>Atividades “on-line”</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mover tarefas para tempo externo</li> <li>• Encaminhar tarefas em paralelo</li> <li>• Compactar tarefas</li> <li>• Romper interdependências (org.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Romper interdependências (proj.)</li> </ul>
<b>Ajustes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimento e uso de ajustes predeterminados</li> <li>• Definir parâmetros para inspeção do ajuste</li> <li>• Compreender possíveis correlações entre ajustes</li> <li>• Encaminhar requisitos de precisão (org.)</li> <li>• Evitar prejuízos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatizar ajustes</li> <li>• Encaminhar requisitos de precisão (proj.)</li> <li>• Considerar o uso de equipamento de monitoramento de posição/condição</li> <li>• Uso de itens mais robustos</li> <li>• Evoluir na qualidade</li> </ul>
<b>Variedade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar procedimentos padrões</li> <li>• Verificar se itens do <i>changeover</i> se encontram de acordo como requerido</li> <li>• Verificar se a qualidade dos itens de <i>changeover</i> foi alcançada</li> <li>• Considerar sequenciamento de lotes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Padronização das ferramentas e dispositivos</li> <li>• Padronização do produto</li> <li>• Padronização da máquina</li> <li>• Posicionamento a “prova de erros”</li> </ul>
<b>Esforço</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminar tarefas supérfluas</li> <li>• Encaminhar problemas que surjam</li> <li>• Empregar melhores ferramentas/dispositivos/sistemas de transporte</li> <li>• Uso de excelente sistema de identificação</li> <li>• Garantir limpeza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adicionar dispositivos para facilitar tarefas</li> <li>• Modificar produto para facilitar tarefas</li> <li>• Mecanizar atividades</li> <li>• Trabalho para apenas uma única pessoa</li> <li>• Reduzir carga do trabalho</li> <li>• Almejar tarefas automatizadas</li> <li>• Separar/combinar itens</li> <li>• Evitar uso de ferramentas manuais</li> </ul>

Fonte: McINTOSH *et al.* 2001b

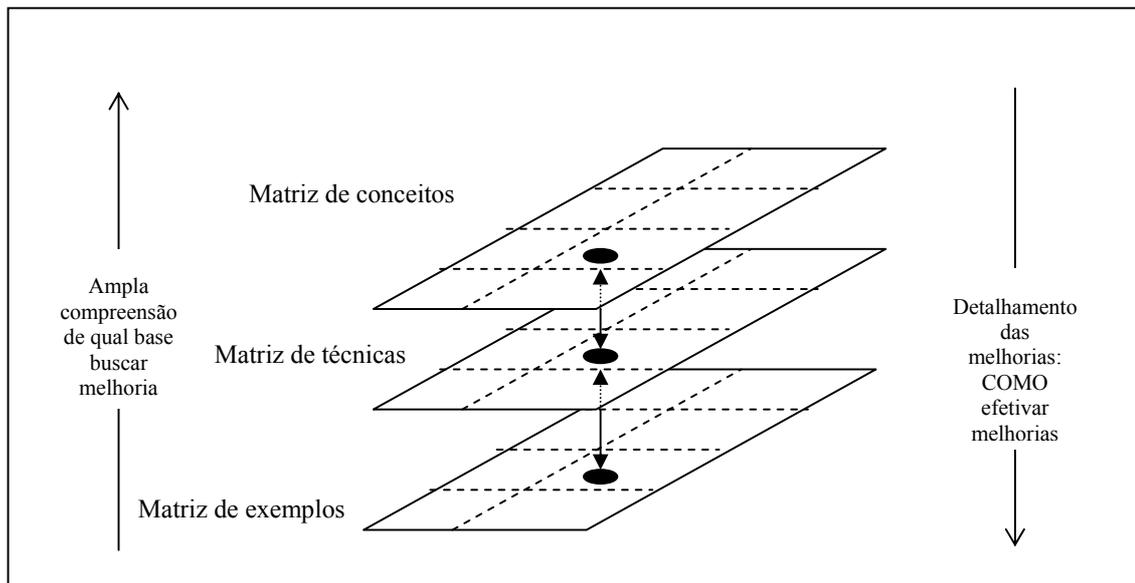


Figura 3.15: Três níveis da Metodologia Matricial  
 Fonte: McIntosh *et al.* 2001b

### 3.2.5 Projeto para *Changeover* (*Design for Changeover*)

Conforme brevemente comentado no item 3.2.2, a equipe ICP tem dedicado pesquisas com foco em “Projeto para *Changeover*” (DFC). De acordo com Reik *et al.* (2005) há um grande potencial para realizar excelentes viradas de produção caso sejam aplicadas melhorias em máquinas ou equipamentos, isto é, projetos de “hardware” promovidos pelos fornecedores de equipamentos (OEM – *original equipment manufacturer*). As aplicações deste conceito em “Customização em Massa” recentemente têm sido utilizadas (BLECKER e FRIEDRICH 2006).

Os pesquisadores do ICP apontam dois benefícios de destaque com o *Design for Changeover* (McINTOSH *et al.* 2005). Em primeiro lugar, a possibilidade de reduzir o impacto restritivo do período da retomada na capacidade produtiva e, em segundo lugar, garantir maior estabilidade nos tempos de *setup* no longo prazo.

De acordo com Benhabib (2003), a necessidade de metodologias “projeto para” (*design for*) foi identificado por engenheiros que perceberam a falta de conhecimento de detalhamento apropriado nas ferramentas. As metodologias de Projeto para Excelência, conhecido como *Design for X (Design for Excellence)* de Bralla (1995), podem ser vistos como ferramentas para analisar propostas para sustentação de aspectos identificados no seu ciclo de vida. Os conceitos de “manufaturabilidade” e “montabilidade” foram os primeiros a serem considerados mas com forte ênfase em redução de custo (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT 1994)

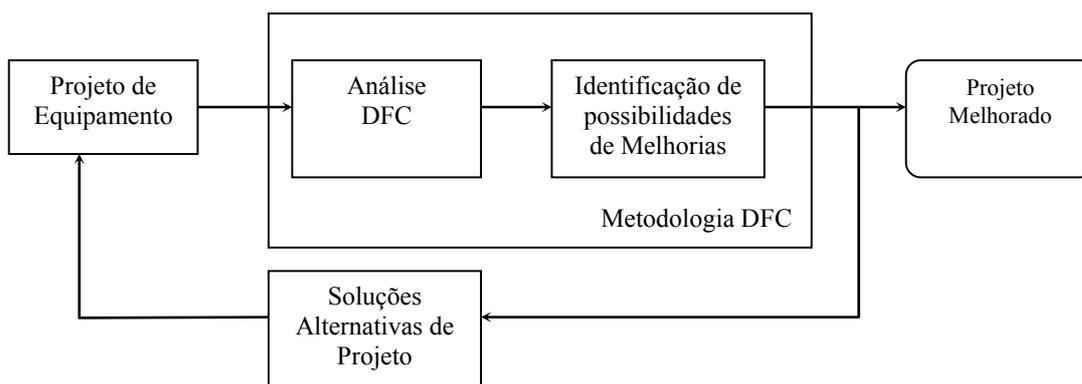


Figura 3.16: Fluxograma do Projeto para *Changeover*  
Fonte: REIK *et al.* 2005

Reik *et al.* (2006a) reconhecem a importância destes modelos de projeto para excelência e os utiliza como base do DFC. Reik *et al.* (2005) postulam que a Metodologia DFC foi desenvolvida para satisfazer a necessidade de atender os projetistas de fornecedores de equipamentos (OEM) que buscavam soluções de aumento da flexibilização da produção em termos de preparação da manufatura para o atendimento de uma demanda variada.

Na figura 3.16 está apresentado o fluxograma do DFC. Reik *et al.* (2006b) comentam que há cinco passos na análise DFC:

- Modelagem de processos de *changeover*
- Projeto de avaliação de equipamentos e produtos
- Atividade de avaliação de *changeover*
- Geração de sequenciamento de atividades
- Análise de benefícios

Em Reik *et al.* (2006a) há estudos de caso de aplicações da metodologia DFC em manufatura de vidros e em virada de produção em indústria gráfica. Oferece também um estudo de caso do “jogo de *changeover*”, uma simulação do potencial de melhorias advindos de projetos.

Van Goubergen e Van Landeghem (2002b) ressaltam a importância desta linha de pesquisa para *changeover*. No item 3.3 serão destacadas outras observações sobre estes pesquisadores.

### **3.2.6. Visão Integrada dos Conceitos**

Como conclusão dos trabalhos, a equipe desenvolveu uma Integração dos Conceitos, com aplicação das metodologias dentro da estrutura hierárquica da empresa. A figura 3.17 representa um possível fluxograma de atividades relacionadas a virada de produção realizadas na fase estratégica (alta gerência), preparatória (planejamento/engenharia) e de implementação (equipe operacional de *changeover*).

A integração da estratégia no processo de implantação de um processo de melhoria de desempenho em *changeover* é também comentada em Fogliatto e Fagundes (2003). O avanço que se oferece em McIntosh *et al.* (2001b) é a articulação que estabelece entre as diversas ferramentas geradas pelo ICP. Conforme estes autores, durante a fase estratégica a gerência deve olhar para as futuras necessidades da companhia e verificar se é oportuno determinar metas para o desempenho em *changeover*. De acordo com a figura 3.17, sugere-se que a ferramenta “Projeto para *Changeover*” seja utilizada na fase estratégica, em que há planejamento das melhorias.

Durante a fase preparatória há o uso da “Estratégia de Redução” e da “Metodologia Matricial”, com possível documentação de formulário de auditoria de *changeover* e do formulário de opções de melhoria, respectivamente.

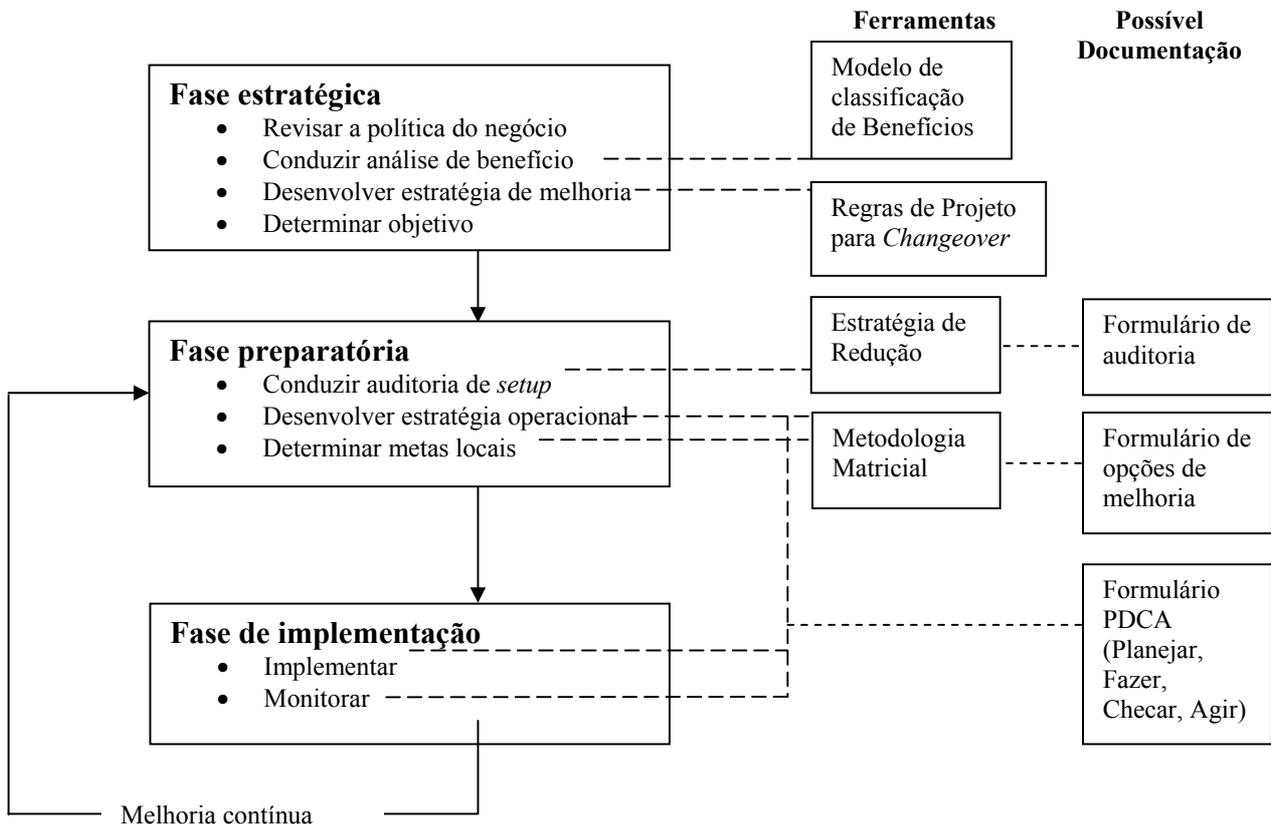


Figura 3.17: Visão Integrada com Ferramentas e Documentações

Fonte: McINTOSH *et al.* 2001b

Na fase de implementação sugere-se o uso da ferramenta de melhoria contínua PDCA por possuir um processo de contínuas evoluções dos procedimentos do *changeover*.

### 3.3 GHENT UNIVERSITY

Os professores Dr. Dirk Van Goubergen e Dr. Hendrick Van Landeghen realizam pesquisas em redução de tempo de *setup* no departamento de Gestão Industrial da Ghent University (Bélgica). Dirk Van Goubergen é também consultor e oferece serviços de melhoria em processos de manufatura tais como análise de processos, análise de operações e análise de movimentos, entre outros (VAN GOUBERGEN 2006). É importante observar que, na perspectiva dos autores desta universidade, a diferença conceitual entre *setup* e *changeover* não é a mesma que a equipe ICP considera, assim como não há distinção tanto do período da retomada como do período de desaceleração. Nesta tese serão apresentadas duas importantes contribuições destes pesquisadores que são os “elementos chave do *setup*” e o “Diagrama de Múltiplas Funções”.

#### 3.3.1 Elementos Chave do *setup*

No artigo de Van Goubergen (2000) o conceito de *setup* é apresentado como tradicionalmente é divulgado: tempo decorrido entre a última peça de um lote e a primeira peça com qualidade do lote seguinte. Conforme este autor, a base do bom desempenho do *setup* é a motivação dos funcionários que a realizam.



Figura 3.18: Elementos chave do *setup*  
Fonte: VAN GOUBERGEN 2000

Mesmo com uma máquina projetada para que a realização de troca de ferramentas seja feita com rapidez, com o melhor método e organização do trabalho, o desempenho não será ideal se as pessoas que o realizem não perceberem a importância de um rápido *setup* ou se não estão motivados a obter este resultado. A figura 3.18 acima ilustra o pensamento deste pesquisador.

### 3.3.2 Diagrama de Multi-Atividade

O Diagrama de Multi-Atividade é uma metodologia criada por Van Goubergen e Van Landeghen (2001) para organizar a realização de *setup* em muitas máquinas em uma mesma linha de produção. Também chamada de Diagrama de Múltipla Atividade, tem sua base nos estudos de tempos e movimentos e busca a integração entre os preparadores e as máquinas envolvidos com o *setup*. O Diagrama tem um formato de planilha (figura 3.19) e o seu principal benefício é identificar os tempos ociosos e atrasos.

Para a elaboração do Diagrama, não se requer muita elaboração e sua análise é imediata. Todas as atividades são representadas com barras em uma escala de tempo. Os tempos de

Máquinas \ Horas	A	A	B	B	C	D
0,5	Limpeza de máquinas 1 especialista em setup + 2 operadores					
1,0			Troca de corrente 2 operadores			Troca de partes da máquina +ajustes Especialista em setup
1,5			Troca de corrente 2 operadores			
2,0	Troca de partes da máquina +ajustes 1 operador	Troca de partes da máquina +ajustes 1 operador				
2,5	Troca de partes da máquina +ajustes 1 operador	Troca de partes da máquina +ajustes 1 operador				
3,0	Troca de partes da máquina +ajustes 1 operador					Troca de partes da máquina e ajustes Especialista em setup
3,5	Troca de partes da máquina +ajustes 1 operador					
4,0	Testes e reajuste		Testes e reajuste			
4,5	1 operador		1 operador			
5,0					Testes e reajuste	
5,5					Especialista em setup	
6,0						
6,5						

-  Máquina em preparação
-  Máquina preparada, mas aguarda reinício.

Figura 3.19: Exemplo de uso do Diagrama de Múltiplas Atividades, antes de aplicar melhorias  
Fonte: VAN GOUBERGEN e VAN LANDEGHEN 2001

máquina desperdiçados durante a realização do *setup* (atrasos ou ociosidade) são apresentados em destaque. O analista de *setup* deve rearranjar as atividades entre os preparadores de tal forma a reduzir os tempos desperdiçados.

Conforme Van Goubergen e Van Landeghen (2002), o Diagrama de Multi-Atividade é uma ferramenta ideal para representar e analisar a integração entre máquina e pessoas durante o *setup* realizado em vários estágios dentro de uma linha de produção. Como tem base nos estudos de método de trabalho, é possível realizar o balanceamento de atividades entre operadores buscando menores tempos de *setup*.

Esta metodologia ressalta dois aspectos importantes não considerados no SMED. Em primeiro lugar, é que nos sistemas produtivos modernos, a realização do *setup* não se restringe a apenas uma máquina, mas a um conjunto delas em formato de célula ou em linhas. Dessa forma, o tempo total de *setup* pode não ser a soma de tempos de *setup* de cada máquina. Pode haver uma dependência do preparador, assim como das condições de cada máquina. Outra importância do Diagrama é o resgate dos estudos de métodos de trabalho para estruturar uma atividade que envolve tempo e distribuição de atividades.

O caso apresentado na figura 3.19 consiste em uma linha de produção com duas máquinas do tipo A, duas máquinas B, uma máquina C e, por fim, uma do tipo D. O *setup* é realizado por dois operadores desta linha e por uma pessoa extra. A máquina em que deve primeiramente realizada a virada de produção é a máquina C por possuir o maior tempo de *setup*, ou seja, ela representa o principal limitante da redução do tempo de *setup*.

O diagrama também permite visualizar formas de reorganizar as atividades do *setup*, para conseguir, assim, a redução do tempo. A figura 3.20 apresenta as alterações com reorganização de atividades que possibilitam reduzir em uma hora o tempo de *changeover*.

Máquinas \ Horas	A	A	B	B	C	D
0,5	Limpeza de máquinas 1 especialista em setup + 2 operadores					
1,0			Troca de corrente 2 operadores			
1,5			Troca de corrente 2 operadores			
2,0			Troca de partes da máquina +ajustes 1 operador	Troca de partes da máquina +ajustes 1 operador	Troca de partes da máquina +ajustes Especialista em setup	
2,5						
3,0			Troca de partes da máquina +ajustes 1 operador			Troca de partes da máquina e ajustes Especialista em setup
3,5						
4,0	Troca de partes da máquina +ajustes 1 operador					Testes e reajuste Especialista em setup
4,5						
5,0	Testes e reajuste 1 operador		Testes e reajuste 1 operador			
5,5						
6,0	<b>Redução em uma hora.</b>					
6,5						

Figura 3.20: Ganho de uma hora com uso do Diagrama de Múltiplas Atividades  
Fonte: VAN GOUBERGEN e VAN LANDEGHEN 2002

Esta metodologia apresenta alguns benefícios e algumas restrições. Começando pelos benefícios, este caso ressalta a combinação de máquinas e operadores na realização do *setup*. Trata-se também de um exemplo claro de uso de técnicas de tempos e métodos nos trabalhos de virada de produção. Com isso, ressalta a necessidade de organização do trabalho.

Uma desvantagem é que a aplicação não é muito difundida e é pouco conhecida. Isso porque não é uma metodologia de fácil aplicação. Outro aspecto negativo é a falta de um exemplo mais genérico que impede uma visão ampla do conceito. Por fim, pode-se comentar que a atividade de ajuste é realizada com produção. Com isso, não fica muito claro se a produção é liberada após cada máquina terminar seu ajuste ou somente após o conjunto completo entrar em atividade.

### 3.3.3 Integração do Diagrama de Múltiplas Atividades e o PDCA

Na figura 3.21 há um fluxograma de passos de melhoria em *setup* com uso do SMED e a ferramenta “Diagrama de Múltiplas Atividades”. Nota-se também a presença do PDCA na fase de implementação de melhorias, como propõe a Visão Integrada do ICP apresentada na figura 3.17. Reis (2006) postula que este modelo oferece análise mais estruturada da atividade de redução de tempo de *setup* além de oferecer uma implantação associada à melhoria contínua.

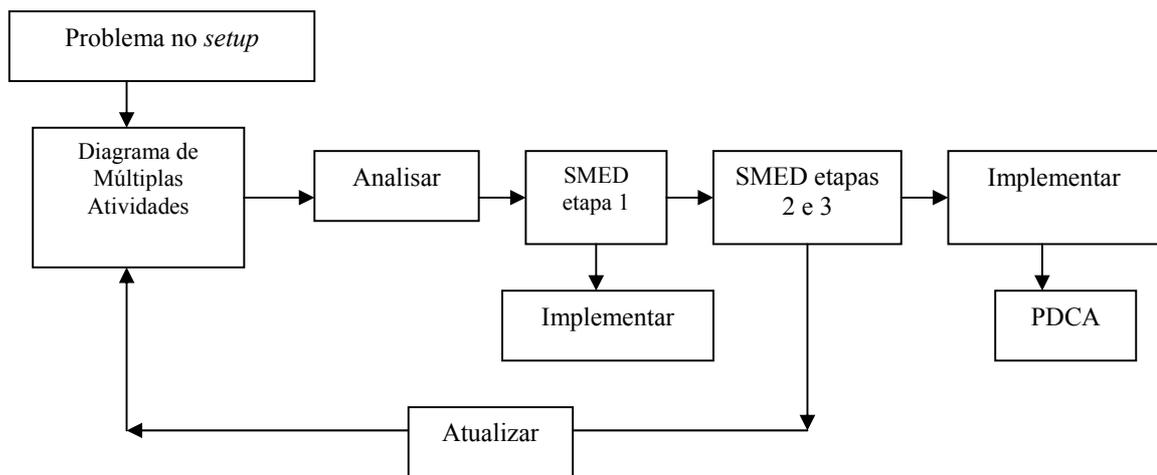


Figura 3.21: Fluxograma integrado SMED e Diagrama de Múltiplas Atividades  
Fonte: VAN GOUBERGEN, 2001

### 3.4 IMPORTÂNCIA DA SEQÜÊNCIA DE LOTES

Quando uma equipe define o tempo de *setup* de uma máquina, seja qual for a metodologia adotada, deve estar atenta à realidade das diferentes seqüências de lotes possíveis entre os produtos a serem feitos nesta máquina. Esta importância é percebida mais claramente nos estudos de pesquisa operacional, que procura realizar modelos que otimizam a produção considerando os tempos históricos de *setup* conforme a seqüência de lotes.

Conforme Flynn (1987), o tempo necessário para o *setup* tem relação direta com o grau de similaridade entre duas tarefas processadas sucessivamente em uma mesma máquina. Portanto, se

duas tarefas processadas em seqüência são similares, o tempo requerido para o *setup* será relativamente pequeno. Entretanto, se forem completamente diferentes, o tempo será relativamente maior. Shingo (1985) não orienta ou alerta sobre a importância da seqüência correndo o risco de fixar um tempo generalizado para quaisquer tipos de *setup*.

Este problema consta no artigo de Allahverdi *et al.* (1999), um *survey* que alerta que grande parte das pesquisas em programação de produção considera que os tempos de *setup* como não relevantes ou de pequena variabilidade.

Seguindo caminho inverso, Barros e Mocellin (2004) apresentaram um método heurístico para o sequenciamento dos produtos tendo em conta os tempos de *setup* assimétricos e dependentes da seqüência.

Jaber e Bonney (2003) associam a importância da qualidade e tempo de *setup* apresentando um modelo matemático de otimização de produção.

Haddad, Carvalho e Rocha (2004) postulam que nos casos onde o *setup*, além de relevante, é dependente da seqüência, uma boa opção é a agregação dos itens em famílias para reduzir grandes oscilações do tempo de *setup*. Lu e Yuan (2007) também apresentam estudos matemáticos compondo as variáveis de tempo de *setup* associado à seqüência de produtos de mesma família.

Os artigos de Li (2003) e Bicheno, Holweg e Nessmann (2001) desenvolvem o raciocínio matemático na formulação da melhor seqüência de produção para minimizar o tempo de *setup* no âmbito da manufatura enxuta.

As formulações matemáticas ajudam a compreender a importância da seqüência de lotes, uma vez que a variação de tempo pode ser muito grande. Trata-se de um elemento importante nas considerações desta tese.

### **3.5 COMENTÁRIOS**

O estudo do estado da arte em *changeover* e *setup* ressaltou as inovações geradas nos últimos anos, destacando-se os trabalhos feitos na Universidade de Bath e na Universidade de Ghent cada qual com suas linhas de pesquisa definidas.

A partir destes estudos, começam a surgir indagações sobre o comportamento de elementos pesquisados pelo ICP assim como a possível análise de como os mesmos se comportariam em estudos de casos no Brasil e como os conceitos sugeridos devem ser aplicados. Esta tese procurou, portanto, realizar avanços nos estudos realizados e apresentados neste capítulo. O destaque especial desta tese é o estudo das causas do período da retomada em *changeover*. Para o desenvolvimento deste trabalho serão utilizados os conceitos elaborados pelo ICP e pelos pesquisadores da Universidade de Ghent. Além disso, a importância da seqüência de lotes indicada no item 3.4 será considerada nesta análise.

Percebeu-se também a falta de trabalhos e estudos mais específicos sobre *changeover* em células de produção e em linhas de produção. Estes sistemas de produção são cada vez mais comuns nas empresas e falta para eles uma análise mais apurada e um acompanhamento mais pormenorizado.

Dessa forma, no próximo capítulo estão apresentadas as proposições que nortearam a pesquisa realizada nesta tese.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGIA DA PESQUISA**

#### **4.1 INTRODUÇÃO**

A importância da metodologia da pesquisa tem crescido bastante na área de gestão de operações e engenharia de produção. Seminários e mesas-redondas em recentes simpósios demonstram a crescente preocupação com o rigor científico neste ramo do saber (ARKADER 2004, MIGUEL 2005). Alguns artigos analisam como a pesquisa científica em gerência de produção no país tem sido desenvolvida e oferecem sugestões para a melhoria contínua nas pesquisas da área (BERTO e NAKANO 1998, BERTO e NAKANO 2000, ARKADER 2003, MIGUEL 2004).

A busca do rigor científico nas pesquisas em gestão de operações possibilita adequar os trabalhos em conformidade com estudos internacionais assim como também gerar uma linguagem comum em metodologia científica.

Este trabalho tem sua metodologia baseada em estudo de casos múltiplos buscando comprovar um modelo elaborado com base na revisão bibliográfica dos capítulos anteriores. Neste capítulo inicialmente serão comentados aspectos gerais dos tipos de pesquisa e suas classificações. No item seguinte serão apresentados os conceitos de pesquisa de estudo de caso

para que depois sejam feitos comentários sobre a estrutura da pesquisa realizada nesta tese. Por fim, serão apresentados os passos da realização do método de estudo de caso deste trabalho.

## **4.2 TIPOS DE PESQUISAS**

Conforme Cervo e Bervian (1975), a pesquisa pode ser definida como uma atividade voltada para a solução de problemas e seu objetivo consiste em descobrir respostas para perguntas, através do emprego de processos científicos. Segundo Santos (2002), três critérios podem ser utilizados para identificar e caracterizar a natureza metodológica dos trabalhos de pesquisa: quanto aos seus objetivos, quanto às fontes utilizadas na coleta de objetivos ou, ainda, quanto aos procedimentos de coleta. De acordo com Andrade (1999), quando identificadas em relação aos seus objetivos, as pesquisas podem ser classificadas em:

- **Exploratórias:**

A pesquisa exploratória é o primeiro passo de todo trabalho científico. Tem como finalidades, sobretudo quando bibliográfica, proporcionar maiores informações sobre determinado assunto; facilitar a delimitação de um tema de trabalho; definir os objetivos ou formular as hipóteses de uma pesquisa ou descobrir um novo tipo de enfoque para o trabalho que se tem em mente. Através das pesquisas exploratórias avalia-se a possibilidade de desenvolver uma boa pesquisa sobre determinado assunto. Portanto, a pesquisa exploratória, na maioria dos casos, constitui um trabalho preliminar ou preparatório para outro tipo de pesquisa.

- **Descritivas:**

Nesse tipo de pesquisa, os fatos são observados, registrados, analisados, classificados e interpretados, sem que o pesquisador interfira neles. Isto significa que os fenômenos do mundo físico e humano são estudados, mas não manipulados pelo pesquisador. Uma das características da pesquisa descritiva é a técnica padronizada da coleta de dados, realizada principalmente através de questionários e da observação sistemática. Quando assumem uma forma mais simples, as pesquisas descritivas aproximam-se das exploratórias. Em outros casos, quando, por exemplo,

ultrapassam a identificação das relações entre as variáveis, procurando estabelecer a natureza dessas relações, acaba por aproximar-se das pesquisas explicativas.

- **Explicativas:**

Este é um tipo de pesquisa mais complexo, pois além de registrar, analisar e interpretar os fenômenos estudados procura identificar seus fatores determinantes, ou seja, suas causas. A pesquisa explicativa tem por objetivo aprofundar o conhecimento da realidade, procurando a razão, o “porquê”, por isso mesmo, está mais sujeita a erros. No entanto, os resultados das pesquisas explicativas fundamentam o conhecimento científico.

Os quadros 4.1 e 4.2 mostram a classificação dos tipos de pesquisa segundo diferentes aspectos e um resumo sobre cada tipo específico, respectivamente, conforme Gonçalves (2001).

Tabela 4.1: Os tipos de pesquisa

<i>Tipo de pesquisa</i>	<i>Considerações</i>
Pesquisa Exploratória	Esse tipo de pesquisa também é denominado “pesquisa de base”, pois oferece dados elementares que dão suporte para a realização de estudos mais aprofundados sobre o tema.
Pesquisa Descritiva	Objetiva escrever as características de um objeto de estudo. A pesquisa não está interessada no porquê, nas fontes do fenômeno; preocupa-se em apresentar suas características.
Pesquisa Experimental	Esse tipo de pesquisa exige observação sistemática dos resultados para estabelecer correlações entre os efeitos e suas causas.
Pesquisa Explicativa	Pretende identificar os fatores que contribuem para ocorrência e o desenvolvimento de um determinado fenômeno. Buscam-se aqui as fontes, as razões das coisas.
Pesquisa de Campo	O tipo de pesquisa que pretende buscar a informação diretamente com a população pesquisada. Muitas pesquisas utilizam esse procedimento, sobretudo aquelas que possuem um caráter exploratório ou descritivo.
Estudo de Caso	É o tipo de pesquisa que privilegia um caso particular, uma unidade significativa, considerada suficiente para análise de um fenômeno. Retrata a realidade específica e a multiplicidade de aspectos globais. O estudo de caso, no geral, objetiva colaborar na tomada de decisões sobre o problema estudado, indicando as possibilidades para sua modificação.
Pesquisa Ação	Concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo. O pesquisador e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.
Pesquisa Participante	Propõe participação efetiva da população pesquisada no processo de geração de conhecimento, que é considerado um processo formativo. Pesquisa voltada para as necessidades básicas do indivíduo em especial classes mais carentes nas estruturas sociais contemporâneas.
Pesquisa Quantitativa	Remete-se para uma explanação das causas, por meio de medidas objetivas, testando hipóteses, utilizando-se basicamente da estatística.
Pesquisa Qualitativa	Preocupa-se com a compreensão, com a interpretação do fenômeno, considerando o significado que os outros dão às suas práticas.

Fonte: GONÇALVES 2001, adaptação.

Conforme Selltiz, Wrightsman e Cook (1987), freqüentemente uma pesquisa possui características de mais de uma categoria. Este trabalho é formado de uma pesquisa tanto exploratória, como descritiva e explicativa. Todo o levantamento bibliográfico e estudo prévio sobre o tema tratado caracterizam essa pesquisa como exploratória. Os estudos sobre a técnica de estudo de caso necessários para a realização do trabalho também constituem um elemento exploratório. Já o uso e aplicação da técnica de estudos de caso como pesquisa de campo, caracterizam-na como descritiva, uma vez que os estudos de caso apenas servirão como meio de levantamento de dados sobre fatos e realidades, para que o pesquisador, sem nenhuma interferência sobre esses dados, possa analisá-los e interpretá-los. Por fim, há uma busca das causas de um fenômeno e, portanto, há elementos que tornam esta pesquisa como explicativa.

Tabela 4.2 - Classificação dos tipos de pesquisa

<i>Tipos de Pesquisa Segundo os Objetivos</i>	<i>Tipos de Pesquisa Segundo os Procedimentos de Coleta</i>	<i>Tipos de Pesquisa Segundo as Fontes de Informação</i>	<i>Tipos de Pesquisa Segundo a Natureza dos Dados</i>
Exploratória	Experimento	Campo	Quantitativa
Descritiva	Levantamento	Laboratório	Qualitativa
Experimental	Estudo de Caso	Bibliográfica	
Explicativa	Bibliográfica	Documental	
	Documental		
	Participativa		

Fonte: GONÇALVES 2001, adaptação.

Para a obtenção das informações necessária a este trabalho, ou seja, a obtenção de dados para validar o modelo de classificação proposto e realizar comparações, o instrumento de coleta de dados utilizado foi o estudo de casos múltiplos, que será visto no item seguinte.

Para a validação da proposta realizada nesta tese, foram realizados outros estudos de caso, aplicando em outras empresas a proposta desenvolvida neste trabalho.

### 4.3 PESQUISA BASEADA EM ESTUDO DE CASO

Conforme Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002), estudo de caso tem sido um dos mais poderosos métodos de pesquisa em gestão de operações, particularmente no desenvolvimento de novas teses. Em um estudo de uma amostra de 60 dissertações de mestrado nesta área, 55% foram realizados com estudo de caso, 12% foram feitas em pesquisa-ação, levantamento bibliográfico, levantamento tipo *survey*, pesquisa de campo e pesquisa experimental ficaram com 3% cada um e 12% foram classificados como indefinidos (MIGUEL 2005). Embora estudo de caso seja uma metodologia de pesquisa muito utilizada, Miguel (2004) comenta que essas dissertações tinham pouca robustez em comparação com a pesquisa-ação, que alcança resultados de pesquisa mais efetivos.

À definição sobre estudo de caso na tabela 4.1 pode ser acrescentada a de Yin (2005):

O estudo de caso é a estratégia escolhida ao se examinarem acontecimentos contemporâneos, mas quando não se podem manipular comportamentos relevantes (...) acrescenta duas fontes de evidência: observação direta dos acontecimentos que estão sendo estudados e entrevistas com pessoas envolvidas. (YIN 2005, p. 35)

Há três condições que orientam a definição da estratégia de pesquisa. A primeira é o tipo de questão de pesquisa proposta, a segunda é a extensão de controle que o pesquisador tem sobre eventos comportamentais e, a terceira, o grau de enfoque em acontecimentos contemporâneos em oposição a acontecimentos históricos. Na tabela 4.3 apresentam-se algumas características de cada estratégia de pesquisa relacionadas às três condições citadas.

Tabela 4.3: Estratégia dos diferentes tipos pesquisa

<i>Estratégia</i>	<i>Forma de questão de pesquisa</i>	<i>Exige controle sobre eventos comportamentais</i>	<i>Focaliza acontecimentos contemporâneos</i>
Experimento	como, por que	sim	sim
Levantamento	quem, o que, onde, quantos, quanto	não	sim
Análise de arquivos	quem, o que, onde, quantos, quanto	não	sim/não
Pesquisa Histórica	como, por que	não	não
Estudo de caso	como, por que	não	sim

Fonte: YIN 2005

Conforme Yin (2005), as pesquisas de estudo de caso têm sido reconhecidas particularmente boas para examinar-se questões “como” e “por que”. Tais questões, de acordo com Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) podem levar a um teste de uma teoria ou maior desdobramento de uma teoria.

Yin (2005) postula que o projeto de pesquisa deve conter cinco componentes indicados abaixo, embora o estado atual da ciência não forneça orientação detalhada sobre os últimos dois:

1. Questões de um estudo: conforme apresentado acima, as questões da estratégia de estudos de caso são “como” e “por que” que devem ser explicitados no início da pesquisa.
2. Proposições de estudo (se houver): as questões “como” e “por que” podem não apontar para aquilo que seria oportuno estudar. Somente se for obrigado a estabelecer proposições pode-se ter a direção correta. As proposições, além de refletir uma importante questão teórica, apresenta em que ponto deve-se procurar evidências relevantes.
3. Unidades de análise: O terceiro componente relaciona-se com o problema fundamental de se definir o que é um “caso”. Conforme Yin (2005), caso pode ser algum indivíduo, evento ou entidade. A escolha do caso ou “unidade de análise” está relacionada à maneira como se definem as questões iniciais da pesquisa.
4. Lógica de conexão entre dados e proposição: Após a coleta de dados, é importante examinar a conexão com as proposições iniciais.
5. Critérios para interpretações das constatações: Normalmente, não há uma maneira precisa de estabelecer os critérios para interpretação das constatações.

### 4.3.1 Projetos de Estudo de Caso

Em projetos de pesquisa, pode ser necessária a realização de diversos casos quando a apresentação de apenas um não é suficiente. A figura 4.1 ilustra a configuração de projetos de caso múltiplo.

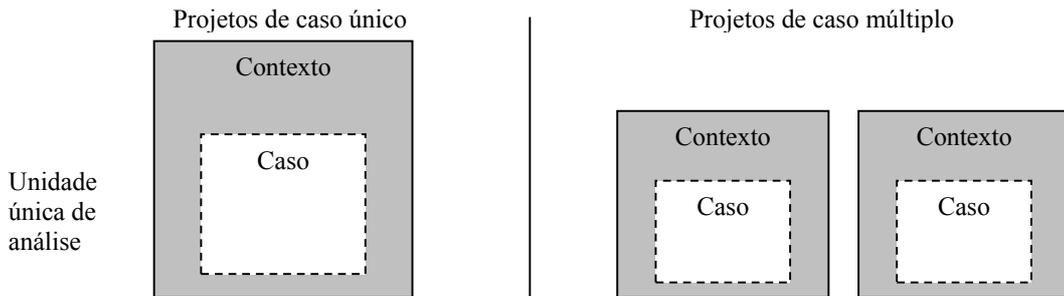


Figura 4.1: Tipos básicos de projetos para estudos de caso  
Fonte: YIN 2005, adaptação

Conforme Yin (2005) os casos únicos tratam-se de um objeto de análise decisivo para testar uma teoria bem formulada, uma contribuição para a base de conhecimento e à construção de teoria. Por vezes, pode-se tratar de um caso raro, extremo ou mesmo revelador. Os projetos de casos múltiplos têm crescido nos últimos anos. As evidências resultantes de casos múltiplos são consideradas mais convincentes e o seu estudo global é visto, por conseguinte, como algo mais robusto (HERRIOTT e FIRESTONE 1983).

A abordagem da replicação aos estudos de casos múltiplos encontra-se ilustrada na figura 4.2. A figura indica que a etapa inicial ao projetar o estudo consiste no desenvolvimento da teoria e, em seguida, realiza-se a seleção do caso e a definição das medidas específicas que são etapas importantes para o processo de planejamento e coleta de dados.

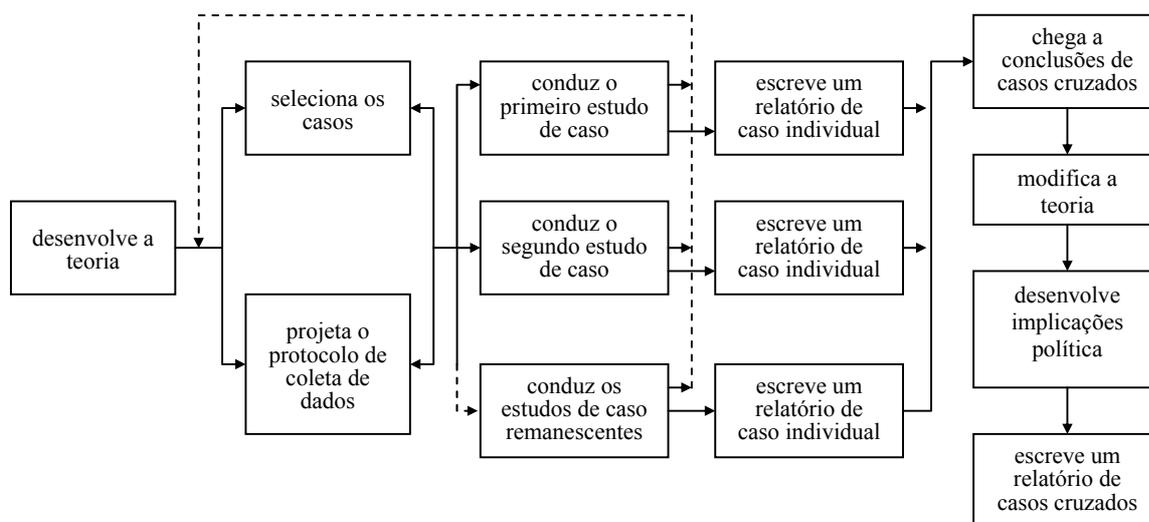


Figura 4.2: Método de estudo de caso múltiplo  
 Fonte: YIN 2005

Uma parte importante da figura 4.2 é a curva de retorno da linha pontilhada que representa uma situação de descoberta importante durante a realização de um dos estudos de caso individual, por exemplo, um dos casos que não tenha se ajustado ao projeto inicial.

A seqüência do método de estudo de caso indicada na figura 4.2 será a base da metodologia de pesquisa desta tese. Ainda neste capítulo serão apresentadas as questões de estudo e as unidades de estudo. As proposições e a teoria serão apresentadas no capítulo cinco.

### 4.3.2 Desvantagens do Estudo de Caso

O estudo de caso como método de pesquisa, embora tenha as qualidades descritas, é alvo de muitas críticas. Entre elas é a de que não é suficientemente científico e que o estudo de apenas um caso ou poucos casos não poderia ser generalizado para o conjunto completo.

Todavia é um método importante de estudo de gestão e, no caso de operações industriais, é muito útil. Um caso bem selecionado e estudado em toda a sua profundidade e riqueza de detalhes pode ajudar a compreender melhor a realidade não explorada ou de difícil visualização. Caso seja bem conduzido pelo pesquisador, é possível gerar uma nova teoria ou esboços teóricos. Vale ressaltar a qualidade do agente realizador da pesquisa, pois é reconhecível que haja estudos

de caso mal conduzidos ou de má qualidade, não pelo método de pesquisa, mas por outras razões tais como a pouca habilidade do pesquisador em explorar o caso, pelo fato do caso ser pouco representativo ou pela falta de elementos de análise.

#### **4.4 REALIZAÇÃO DO MÉTODO DE ESTUDO DE CASO NESTE TRABALHO**

Esta tese busca trazer informações qualitativas, isto é, uma pesquisa explicativa que busca descobrir as causas geradoras do período de retomada, como será descrito nas proposições do capítulo seguinte. É importante frisar que a proposta de análise e classificação desta tese não busca coletar dados matemáticos e as informações coletadas não são passíveis de análise estatísticas. As informações podem ser utilizadas para direcionar ações de melhorias em *changeover*.

O uso do método de estudo de caso neste trabalho é justificado pelas seguintes razões: os estudos de virada de produção são contemporâneos e, especificamente a respeito do período de retomada, não há estudo realizado no Brasil com devida profundidade. A aplicação do método de estudo de caso pode auxiliar a conhecer melhor esta realidade industrial. Outra razão que justifica o uso deste método é que não há controle sobre eventos comportamentais, isto é, o pesquisador é apenas um observador e não realizará alterações nas atividades que acompanhar. Dessa forma, não será um fator de inferência direta nos procedimentos usuais de virada de produção embora não tenha também liberdade para implantar sugestões de melhoria.

Nesse contexto, concluiu-se que o método de estudo de caso seria o mais adequado para esta pesquisa por se tratar de atividades que envolvem experiência de funcionários, equipamentos, sistemas produtivos diferenciados, entre outras coisas. As dificuldades inerentes desta atividade somente podem ser constatadas por um observador que não participa da ação e que tenha suficiente liberdade para questionar seja quem for para conhecer as razões de uso de uma ou outra técnica.

Como fluxograma da realização desta pesquisa, a figura 4.2 ilustra com muita proximidade o desenvolvimento do trabalho desta tese. Na medida em que a teoria foi sendo elaborada, o conhecimento de casos práticos levou à reformulação dos próprios conceitos

Desta forma, é necessário ter consciência de quais são as questões de estudo e quais seriam os casos mais adequados de onde retirar informações para este trabalho.

#### **4.4.1 Questões do estudo**

Conforme visto acima, as questões próprias do método da pesquisa de estudo de caso são “como” e “por que”. Tendo como base os trabalhos do ICP, muitas dúvidas pairavam no início da tese sobre como era o verdadeiro comportamento do período de retomada após o *setup*. Dessa forma, primeira pergunta é genérica e ampla:

- Como e por que ocorre o período de retomada após o *setup*?

Esta questão foi apresentada inicialmente em um simpósio de gestão de operações (SUGAI, NOVASKI e BACCI 2005a). Identificou-se a necessidade de primeiramente, comprovar a existência do período de retomada em sistemas produtivos diversos no Brasil, fenômeno já observado e relatado no item 3.2.1 desta tese.

Ainda no ano de 2005, conforme anexo 2, foi realizada uma apresentação teórica para uma equipe de engenharia industrial de uma empresa metal-mecânica na cidade de Campinas a respeito de uma análise crítica do SMED desenvolvida com base nos estudos de McIntosh *et al.* (2000). Constataram-se evidências da ocorrência do período de retomada embora outras questões associadas surgiram no desenvolvimento desta tese. Tendo em conta que há uma perda de produção e um tempo de recuperação após o *setup*, pergunta-se:

1. Como ocorre a redução do desempenho da produção no período de retomada?
2. Como calcular a perda de produção no período de retomada?
3. Em que casos industriais pode-se constatar mais claramente este período de retomada?
4. Quais as razões pelas quais ocorre o período de retomada?

O desdobramento da pergunta original amplia a necessidade de maior atenção na seleção dos casos assim como no cuidado de coleta de informações precisas por meio de observação e questionamento aos responsáveis pelas atividades. O primeiro conjunto de questões provoca o pesquisador a estar atento ao perfil do comportamento do desempenho de produção. A segunda pergunta exige a formulação de um método de cálculo da perda de produção ocorrida durante o período de retomada. A terceira interrogação indica quais as ocasiões propícias para constatar o período pós-*setup*. Por fim, a quarta pergunta exige explicações ou causas da existência do período de retomada e que gerou o levantamento de elementos do período de retomada.

Com estas perguntas, foi possível criar a expectativa adequada para a realização de proposições de estudo e da escolha das unidades de análise. As proposições de estudo deste trabalho serão apresentadas no capítulo 5. A escolha dos casos entre os diversos observados está indicada no item a seguir.

#### 4.4.2 Unidades de análise visitadas

Para a realização da pesquisa de estudo de caso foram realizadas diversas visitas em empresas de alguns ramos industriais. No quadro 4.1 estão apresentadas as diversas unidades de análise observadas.

Quadro 4.1: Casos de *changeover* analisados

1. *Changeover* em uma linha de produção de remédio líquido (empresa farmacêutica)
2. *Changeover* de linha de produção de mantas asfálticas (empresa de derivados de petróleo)
3. *Changeover* em máquina enroladora de alternadores (empresa metal-mecânica)
4. *Changeover* de máquina entortadora de tubo de cobre (empresa metal-mecânica)
5. *Changeover* de molde de injetora (empresa metal-mecânica)
6. *Changeover* em linha de produção de válvula injetora (empresa metal-mecânica)
7. *Changeover* em célula de produção de eixo-carretel (empresa metal-mecânica)

Muitos casos foram descartados por não se ajustarem aos critérios indicados no quadro 4.2.

Quadro 4.2: Requisitos necessários

- Metodologia SMED estabelecida;
- Produção discreta (metal-mecânica);
- *Changeover* possui padrão para método de trabalho.

Os requisitos necessários para a escolha dos casos foram selecionados pelas seguintes razões:

Aplicação da metodologia SMED: A aplicação da metodologia de Shigeo Shingo nas indústrias tem sido muito difundida, em grande parte por estar associado ao sistema de produção enxuto. Apesar das limitações da metodologia SMED apontado longamente no capítulo 2 desta tese, o uso do SMED favorece a organização do trabalho e padroniza o trabalho realizado. Possibilita também utilizar uma linguagem comum em termos de procedimentos de trabalho. Unidades de análise que aplicaram o SMED estão mais bem organizadas fisicamente e têm método de trabalho de virada de produção definida.

Produção Discreta: A escolha da produção discreta e em especial a indústria metal-mecânica como requisito necessário evita a existência das diversas dependências da produção contínua em que há uma produção de lotes definidos pela batelada de produção e não pela demanda. A produção contínua muitas vezes dispõe de máquinas projetadas a operar de forma dedicada. Utilizando sistemas de produção discreta, a comparação fica mais restrita a certos tipos de produção cujos lotes podem ser controlados e puxados pela demanda.

Setup realizado conforme padrão previsto: Como a observação estava focada no período de retomada, a realização das atividades de preparação dos casos selecionados deveria ocorrer conforme previsto no padrão determinado. Assim, poderia-se evitar que variações do *setup* alterassem os dados analisados durante o período de retomada.

Com os requisitos definidos, realizou-se a seleção das unidades de análise.

#### **4.4.3 Unidades de análise escolhidas**

Após a definição dos requisitos necessários para a escolha dos casos, apenas três puderam ser selecionados.

Quadro 4.3: Casos selecionados

- Caso Alfa: *Changeover* de máquina injetora de plástico
- Caso Beta: *Changeover* de célula de produção de eixo carretel.
- Caso Gama: *Changeover* em linha de produção de válvula injetora.

Os casos escolhidos obedecem aos requisitos definidos no quadro 4.4. Todos pertencem à indústria metal-mecânica, mais precisamente ao setor automotivo. A metodologia SMED foi aplicada nos casos selecionados, existindo um método de trabalho para o *changeover*. Assim, a análise do período de retomada seria realizada sem interferências. No anexo 1 estão descritas as razões pelas quais os demais casos foram descartados.

A descrição das empresas, do sistema produtivo e do produto de cada caso será realizada no capítulo 6. Todavia, é importante informar ainda neste item que os casos escolhidos oferecem algumas vantagens no que se refere ao estudo do desempenho da virada de produção.

Caso Alfa: A presença de materiais plásticos no interior de veículos tem aumentado, substituindo com competência os materiais de origem metálica. É muito comum que uma mesma máquina injetora realize a produção de diversos produtos plásticos diferentes requerendo-se assim um bom desempenho da virada de produção. Após a visita a uma fábrica de componentes plásticos, verificou-se que há viradas de produção em máquinas injetoras de ótimo desempenho: troca de molde em 7 minutos. Este procedimento foi filmado e é utilizado em treinamento em uma empresa grande do setor automotivo. Este caso procura focar a tecnologia própria de virada de produção em máquinas injetoras plásticas com destaque na perda de produção ocorrida durante o período de retomada.

Caso Beta: Uma contribuição da produção enxuta foi impulsionar o uso de produção em arranjo celular no qual é possível realizar o movimento de uma só peça para ser processada em diversas máquinas. A separação em famílias de produto na produção em células pode trazer características específicas quando o *changeover* é realizado. Este estudo de caso pode oferecer elementos importantes à classificação dos elementos do período de retomada.

Caso Gama: Trata-se de uma linha de produção automatizada com características peculiares como a pouca participação humana e grande fluxo de produção. A virada de produção é mais complexa e o período de retomada pode ter características mais acentuadas.

O uso de estudos de casos diferentes possibilitou que o trabalho tivesse mais elementos de análise. Caso estivesse resumido à análise de apenas uma máquina, as conclusões do trabalho

poderiam ficar pendentes de conceitos relacionados a um tipo de sistema produtivo. Neste trabalho, evitou-se realizar comparações entre casos selecionados que possibilitasse afirmar que um caso seriam melhor do que outro.

#### **4.4.4 Geração de Relatório de Casos Cruzados e teste de validação**

Seguindo o fluxograma do método de estudo de caso múltiplo indicado na figura 4.2, após a redação de cada relatório de estudo de caso, desenvolve-se o relatório de casos cruzados. A realização dos estudos de caso compôs a base de um relatório de casos cruzados, que nesta tese é uma planilha de análise e classificação de elementos do período de retomada que conclui o Método de Classificação dos Elementos do Período de Retomada que se encontra no capítulo seguinte. Dessa forma, os capítulos 5 e 6 foram criados de forma simultânea, mas são apresentados separadamente de forma que o conceito fique mais claro.

No capítulo 7 apresenta-se outros estudos de caso em que são realizados testes de validação da Planilha de Análise. Com isso há acompanhamento da virada de produção em outras situações diferentes dos casos que fundamentam o conceito. Com isso, a Planilha pode ser testada de forma independente e as conclusões finais sobre a proposição de classificação dos elementos do período de retomada poderão ser mais consistentes.

#### **4.5 COMENTÁRIOS**

Este trabalho propõe-se a seguir o método de estudo de caso buscando descobrir o “como” e “porque” das características do período de retomada. Conforme requisitos estabelecidos, três casos foram escolhidos para identificar os elementos do período de retomada. A realização de diversas visitas enriqueceu a pesquisa por proporcionar mais critérios de avaliação, fortalecer a observação científica. Em seguida, outros dois estudos de caso para validação do conceito elaborado possibilitam o teste independente da proposta de classificação desenvolvida.

Pode-se afirmar que os casos escolhidos contribuíram para o conhecimento científico e, em especial, para a elaboração da classificação proposta neste trabalho.

## **CAPÍTULO 5**

### **ELABORAÇÃO DO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DO PERÍODO DA RETOMADA**

#### **5.1 INTRODUÇÃO**

Conforme comentado no capítulo anterior, nesta parte do trabalho serão apresentadas as proposições que estruturam esta tese. Este capítulo está dividido em cinco partes: na primeira, descreve-se a importância de se fazer uma classificação dos elementos do período da retomada e de estudar o *changeover* em arranjos celulares ou linha de produção; na segunda parte, identificam-se as causas de perda de capacidade produtiva no período da retomada, partindo do Diagrama de Ishikawa e separando-os em fatores de projeto e organizacional; em seguida, apresenta-se a fase preliminar da proposta de classificação; na quarta etapa, encontram-se as categorias de classificação dos elementos do período da retomada, o Método de Classificação dos Elementos do Período da Retomada e a Planilha de Classificação de Sentenças.

#### **5.2 IMPORTÂNCIA DA PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO**

O período da retomada não tem sido objeto de estudos científicos embora seja a fase da virada de produção em que alguns sistemas produtivos têm contabilizado maiores perdas de produção, conforme observado na revisão bibliográfica. A principal preocupação quando se

comenta sobre *setup* ou *changeover* é o tempo decorrido entre lotes e pouco se comenta sobre a perda da capacidade produtiva no período da retomada.

O mérito da “descoberta” do período da retomada é da equipe ICP, mas não foram feitos muitos estudos sobre as causas de perda de produção nesta fase. Dessa forma, é possível realizar maiores aprofundamentos para aumentar a produtividade dos sistemas produtivos assim como oferecer dados reais da perda de capacidade por conta da realização de *setups*.

A proposta de classificar os elementos possibilita orientar passos concretos para melhoria no desempenho da virada de produção. O conhecimento das causas ajudará a formular soluções adequadas para esta melhoria, ao invés de procurar saídas por tentativa e erro sem efetivamente resolver o problema.

Este trabalho segue a metodologia de pesquisa de estudo de caso, com três casos brevemente descritos no capítulo anterior. Conforme este método, indicado na figura 4.2, a formulação dos conceitos teóricos do capítulo 5 e os estudos de caso presentes no capítulo 6 desenvolveram-se de forma interdependente. Não seria errôneo afirmar que os capítulos 5 e 6 desta tese nasceram juntos. Algumas definições dos elementos do período da retomada que serão feitas a seguir surgiram por conta dos estudos de caso que fundamentam a elaboração do método de classificação dos elementos do período da retomada. Todavia, como forma de apresentação didática, divulga-se a formulação de hipóteses e o método antes dos detalhamentos destes casos que fundamentam o método.

Naturalmente, o método não esgota o tema e as possíveis causas do período da retomada. Dentro do conjunto das causas primárias e secundárias podem surgir inúmeras variações que são possibilidades que podem ampliar as perdas de produção no período da retomada. A cada novo caso podem-se oferecer contribuições para esta análise, como também, surgiriam novos aspectos a serem considerados na classificação. Embora os casos escolhidos para fundamentar a tese sejam ricos em detalhes, não resumem toda a realidade em termos de *setup*. Portanto, trata-se de uma proposta nova, que procura estabelecer contribuições reais na avaliação das causas de perdas no período da retomada dentro do *changeover*.

### **5.2.1 Estudo do *changeover* em linha de produção e arranjo celular**

Na revisão bibliográfica, as melhorias do desempenho do *changeover* estão focalizadas em apenas uma máquina. Fora os estudos de Van Goubergen (item 3.3.2), não há estudos em células ou linhas de produção. Surge, portanto, a necessidade de um estudo de todas as fases do *changeover* em um conjunto de máquinas no formato de linha de produção ou arranjo celular.

Uma célula de produção é uma unidade produtiva onde um grupo de equipamentos com diferentes funções são alocados com certa proximidade e são dedicados a produzir uma família de produtos ou componentes com características similares (BURBIDGE 1979). Vários são os benefícios da manufatura celular, mas os que mais se destacam são: redução do *lead time*, redução do estoque e de custos, aumento da qualidade e aumento da satisfação do trabalhador.

O Sistema Toyota de Produção estimula o uso de arranjo celular por aplicar, pelo menos em teoria, o fluxo unitário de produção, um dos seus pilares para a diminuição de estoque e fluxo de produção (ROTHER e HARRIS 2002).

O acompanhamento da virada de produção em estudos de caso de linha de produção e de arranjo celular pode oferecer conceitos novos que seriam importantes contribuições desta tese.

### **5.3 IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DE PERDA DE PRODUÇÃO NO PERÍODO DE RETOMADA**

No que diz respeito às causas do comportamento do período da retomada, a aplicação do Diagrama de Ishikawa (diagrama de causa e efeito) pode auxiliar na identificação das principais dentre elas. Este diagrama, também conhecido como gráfico espinha-de-peixe, é aplicado usualmente na gestão da qualidade. O estudo das causas será separado em fatores de projeto e fatores organizacionais como postula o ICP e está detalhado no item 3.2.2 desta tese.

### 5.3.1 Diagrama de causa e efeito - Causas Primárias

Para esta tese o Diagrama de Ishikawa (diagrama de causa e efeito) será um apoio para a divisão das causas que afetam o pós-*setup*. Conforme o sistema produtivo observado, um fator pode ser mais influente do que outro. Desta forma, a apresentação inicial é mais genérica, utilizando os “6Ms”, iniciais das causas primárias (máquinas, matéria-prima, método, mão de obra, meio-ambiente e medidas). Esta ferramenta é usual quando se trata de produção e nos casos em que se deseja promover um amplo levantamento das causas potenciais que afetam dada situação. Embora não esgotem todas as causas possíveis, oferecem uma boa gama das possíveis causas das perdas ocorridas no período da retomada (VIEIRA 1999).

A figura 5.1 apresenta as causas primárias das perdas e oscilações do período da retomada. A apresentação das causas primárias serve de orientação no estudo das causas geradoras das perdas no período da retomada. Conforme Viera (1999), nem sempre é fácil identificar as causas de um problema embora elas surjam devido à variação no processo. Deve-se buscar as causas dessas variações, cuidando de investigar de forma precisa, sem termos abstratos ou idéias muito genéricas.

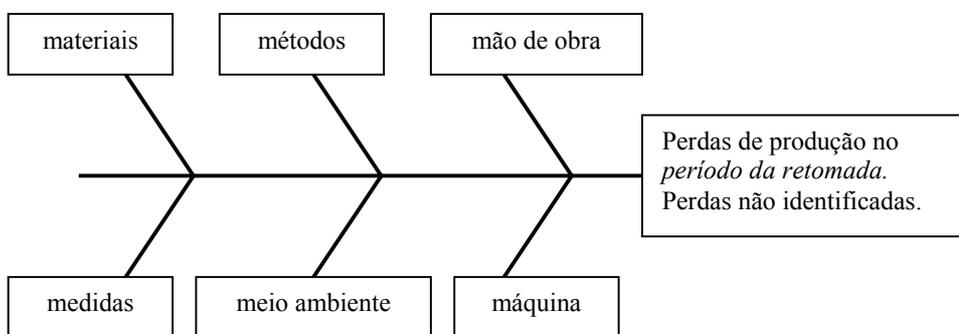


Figura 5.1: Possíveis causas primárias de oscilações no período da retomada

Vieira (1999) também sugere que as sugestões sejam resumidas em poucas palavras concentrando-se nas causas passíveis de serem sanadas. A partir da análise das causas primárias, pode-se iniciar a identificação das causas secundárias que estão separados em elementos de projeto e elementos organizacionais, seguindo divisão prevista pelo grupo ICP.

### 5.3.2 Elementos de Projeto e Causas Secundárias

Elementos de projeto, conforme visto no item 3.2.2, têm maior custo e levam mais tempo para alcançar as melhorias. Todavia, o potencial de melhoria é alto e influi fortemente no período da retomada. No conjunto de elementos de projeto encontram-se a causa primária “máquinas” e um elemento de projeto associado “ferramentas e dispositivos” que foram subdivididos em conceitos descritivos.

#### A) Máquinas:

##### 1. Grau de projeto de máquina para realização do *changeover*:

A perda de produção no período da retomada aumenta quando a máquina ou linha não foi projetada para realização de *changeover*. Os ajustes de máquinas que são feitos por tentativa e erro reduzem a estabilidade do período da retomada, aumentando a perda pela geração de refugo e, se o sistema de produção for empurrado, há ainda uma geração de estoques intermediários, que é indício de presença de desperdício segundo os conceitos do Sistema Toyota de Produção.

O conceito de Estratégia de Redução elaborada pelo ICP oferece algumas explicações oportunas para a existência de um período da retomada mais longo e imprevisível. Conforme visto no item 3.2.3, os **ajustes** tornam o tempo do período da retomada mais extenso.

As demais categorias da Estratégia de Redução (Atividades *On line*, Variedade e Esforço), conforme McIntosh *et al.* (2001b) não foram relacionadas diretamente à melhoria do desempenho no período da retomada embora possam influir de forma indireta.

O caso Alfa apresentado no capítulo seguinte ressalta a importância do investimento em melhorias em projeto. Os ganhos em desempenho indicam diminuição do tempo de *setup* e domínio das perdas no período da retomada.

2. Operações realizadas com recursos em paralelo: Para que a produção siga em fluxo contínuo, é necessário que cada operação produtiva seja realizada no mesmo ritmo em cada etapa. Para que isto seja possível, pode ser necessário que uma mesma operação seja realizada

por duas ou mais máquinas, realizando a atividade em paralelo. Neste caso, a virada de produção implica que as atividades de troca de ferramentas, ajustes e testes serão multiplicadas pelo número de máquinas em paralelo. Mesmo com o reinício da produção, embora se tenha a impressão de que a produção está normalizada simplesmente por ter sido reiniciada, a capacidade produtiva fica comprometida até que todos os recursos em paralelo estejam em plena atividade ou no ritmo previsto.

Esta causa se verifica em alguns arranjos celulares e linhas de produção que utilizam a multiplicação de recursos para manter o ritmo da produção. Os casos Beta e Gama do capítulo 6 dão base a esta constatação.

3. Interdependência do *setup* das máquinas: A virada em linhas ou células de produção pode gerar perdas de capacidade produtiva se a preparação for realizada em cada máquina da linha ou celular de forma sequenciada. Tratando-se de um processo interligado, a produção será reestabelecida quando a última máquina que realize o *setup* estiver liberada para produção. Este fato pode ampliar o tempo de *setup* e o período da retomada. Como o tempo de *setup* dificilmente é igual para cada máquina, o período da retomada pode ficar mais extenso e com perdas de produção imprevisíveis. Novamente, os casos Beta e Gama oferecem base para esta afirmação.

4. Processo de ajuste: Há processos de ajuste em que há a necessidade de terceiros (preparador extra, laboratório de metrologia, analista de qualidade, etc.) para a análise ou aprovação da peça manufaturada ou a liberação de produção do lote que pode tornar o processo de virada de produção mais extenso. O caso Beta traz um exemplo muito claro desta realidade na qual o ciclo de ajuste depende dos contínuos laudos da análise metrológica.

5. Manutenção: O caso Beta ressalta um problema relacionado à manutenção de máquinas que é, em sua essência, um fator de projeto. Máquinas antigas ou com uma deficiência em manutenção diminuem a confiabilidade em seu uso gerando perdas de produção. O tema manutenção não é escopo deste trabalho, mas como forma de indicar a sua presença, a Planilha de Análise e o Método de Classificação consideram sua importância por influir de alguma maneira no desempenho do *changeover*.

## **B) Ferramentas e dispositivos:**

Equipamentos para setup: Em circunstâncias que há muito improviso na utilização de ferramentas ou que as mesmas não estão dedicadas ao uso exclusivo das atividades de virada de produção, é muito provável que haja dificuldades para a boa realização da virada de produção.

### **5.3.3 Elementos Organizacionais e Causas Secundárias**

As melhorias organizacionais, conforme trabalhos do ICP, são de menor custo e são rapidamente aplicadas. Todavia, as atenções requeridas para a manutenção das melhorias devem ser contínuas, exigindo controle ou auditoria. Embora não sejam determinantes na melhoria do desempenho de *changeover*, os elementos organizacionais são condições necessárias para o bom andamento das atividades de *setup*. Embora haja esta separação conceitual, os dois fatores são interdependentes e necessitam estar acompanhados.

## **A) Meio ambiente:**

1. Aspectos organizacionais: A busca do melhor desempenho em *changeover* deve estar envolvida na estratégia de produção da empresa. Sem este aspecto, qualquer iniciativa de melhoria pode se tornar ineficiente ou isolada. A importância do apoio gerencial é citada no item 3.2.5 desta tese.

2. Compreensão do período da retomada: Pôde ser notado nos estudos de caso do capítulo 6 que se há compreensão por parte dos operadores e supervisores quanto ao conceito de período da retomada e de suas perdas de produção, as ações de melhoria de redução de perdas neste período serão mais eficazes. Nas situações em que há uma indiferença quanto ao que ocorre após o *setup*, sejam ajustes, testes, correções, etc., é mais provável que as perdas no período da retomada acabem perdurando-se. O caso Beta oferece uma ilustração clara deste problema.

## **B) Mão de Obra:**

1. Dependência do preparador: A dependência do preparador pode ser causada por diversos motivos e é um sintoma associado à dificuldade na realização da virada de produção. Caso o conhecimento da troca seja dominado por poucos preparadores, o sistema completo ficará dependendo do bom desempenho desses profissionais. Isto influencia nas características do pós-*setup*, alterando também a capacidade produtiva. Sempre que um destes preparadores for substituído por um outro com pouca experiência, os ajustes serão feitos em tentativas e erros em um árduo processo de “aprendizagem” que aumenta o número de ajustes, o tempo de retomada e o índice de refugos.

A importância deste item é observada no caso Gama com a dependência grande do preparador e sem o qual a virada de produção não acontece.

2. Motivação e treinamento: Em uma empresa onde não há investimento em treinamento dos operadores para a realização de um método de trabalho, dificilmente a realização de um *changeover* seguirá o mesmo procedimento para diferentes turnos de trabalho. Estas variações podem tender à realização de hábitos menos sistemáticos e que despendem mais tempo para a realização do *changeover*.

No item 3.3.1 desta tese há comentários da importância da motivação dos funcionários na realização do *changeover*, sendo um dos elementos-chave no modelo elaborado por Van Goubergen (item 3.3.1 desta tese). Trata-se de um elemento de gestão de recursos humanos relevante para realização de melhorias e base importante na melhoria de desempenho em *changeover*.

3. Melhoria contínua: Os preparadores são as pessoas que mais podem oferecer soluções de melhorias em *changeover*. Uma causa do período da retomada é falta de reuniões de *kaizen*<sup>\*</sup>, de busca de melhorias que conduzem a uma evolução do desempenho em *changeover*.

---

\* **Kaizen**: do japonês, literalmente "melhoria contínua"

A questão da melhoria contínua abrange de forma indireta a importância do trabalho em equipe e a integração entre operadores e preparadores, uma vez que o *changeover* é realizado por várias pessoas. Em ambiente pouco amistoso, a realização da virada é menos eficaz.

### **C) Método:**

1. Método de trabalho: A seqüência de atividades a serem realizadas durante o *setup* deve ser padronizada de tal forma que qualquer turno que assuma esta atividade possa realizá-la com igual competência e consistência. Sem método de trabalho, há maior variabilidade de resultados no período da retomada. A importância da engenharia industrial (tempos e métodos) já foi citada em 2.5.1.

2. Seqüência de lotes: A importância da seqüência de lotes é comentada no item 3.4 deste trabalho. Diversos tipos de produto podem ser feitos em uma mesma linha sem que a mesma sofra muitas variações no período da retomada. Isto se explica no caso em que a seqüência seja bem planejada e haja a devida preparação na produção. O despreparo e desinformação com relação à seqüência de lotes podem provocar muitas variabilidades tanto no tempo de *setup* como no período da retomada. Os casos mais graves de mudanças da programação de produção, com conseqüentes *setups* não programados, em uma linha de produção em atividade geram mais desperdícios e refugos.

O caso citado em Sugai *et al.* (2005) ilustra a importância do conhecimento antecipado da seqüência de lotes de produção na qual a política entre vendas e produção não estava bem coordenada. O caso Beta reforça esta posição.

### **D) Medida:**

Tempos de troca calculados e perda auferida: Quando há medição do tempo gasto em *changeover* é possível realizar algum tipo de controle e realizar medidas de melhoria. Um *changeover* tem seu período da retomada previsível quando é auditado com freqüência e estas informações conduzem ações de melhorias. Os dados históricos ajudam a controlar o

desempenho da virada de produção. No item 2.5.3 há um aspecto da importância do controle de tempo.

#### **E) Matéria -prima**

Matéria prima: A importância da qualidade da matéria-prima segue sendo importante tanto na produção como nas atividades de *changeover*. Embora sua influência não seja determinante, é um fator importante no processo.

### **5.4 MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO – FASE PRELIMINAR**

A proposição de um método de classificação dos elementos do período da retomada inicia-se com o ensejo de responder, com base na literatura consultada, às perguntas desenvolvidas no item 4.4.1. Em uma primeira fase, há uma proposta de fluxograma de ação que procura justificar a aplicação do Método de Classificação. Em seguida, examina-se a base de dados iniciais que serão informados pela gerência e o cálculo de dados reais oferecendo-se assim um comparativo entre o informado e o realizado. Há uma discussão sobre a correlação possível entre os sistemas produtivos e o período da retomada. Contudo, por ser uma análise conceitual, o uso do Método de Classificação pode ser feito de forma independente de possíveis discrepâncias entre real/informado.

#### **5.4.1 Fluxograma de ação**

A aplicação do Método de Classificação pode ser realizada em situações na qual há desconhecimento de perdas reais no *changeover*. Seu uso também seria importante nos casos em que há a diferença entre a perda que é informada pela gerência e as perdas reais ocorridas no *changeover*. A partir dessa diferença, há uma justificativa para o uso da planilha de análise. Para tornar mais clara a seqüência de ações, segue-se o fluxograma de ações. Na figura 5.2 indica-se inicialmente a coleta de dados iniciais informados pela gerência a respeito do desempenho do *changeover*. A comparação com dados reais pode dar origem ao uso da planilha.

O uso do Método de Classificação também pode ser fonte de informações de possíveis melhorias no desempenho em *changeover* pelo conjunto de informações disponíveis na tabela de análise.

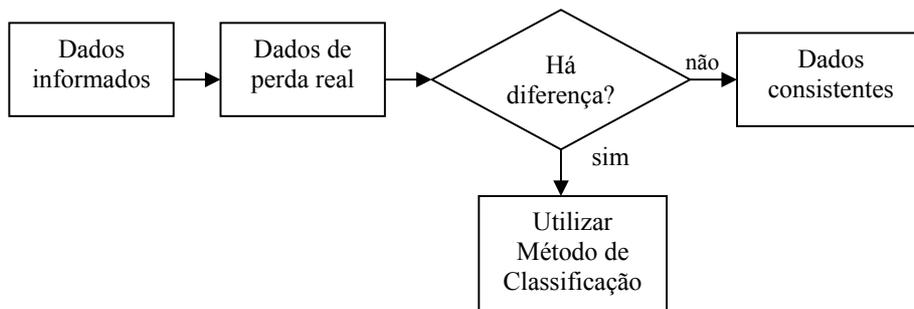


Figura 5.2: Fluxograma de ação para aplicação da proposta de classificação

#### 5.4.2 Coleta de dados históricos ou gerenciais

Há uma grande preocupação com o tempo de preparação e, conforme visto na revisão bibliográfica, é calculado como o tempo entre a última peça do lote A até a primeira peça com qualidade do lote B. O uso de metodologias de redução de tempo de *setup* é intenso e o foco é a diminuição do tempo que é utilizado no cálculo do custeio do produto e planejamento de produção.

As primeiras informações a serem utilizadas estão apresentadas no quadro 5.1.

Quadro 5.1: Dados iniciais a serem coletados

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Como é definido <i>setup/changeover</i> na empresa: _____</li> <li>2. Tempo de preparação: _____</li> <li>3. Produto (lote inicial): _____</li> <li>4. Produto (lote seguinte): _____</li> <li>5. Sistema produtivo: _____</li> <li>6. Quantidade de máquinas em <i>setup</i>: _____</li> </ol>
---

Estes dados são amplos e genéricos para o início da análise. O primeiro item oferece um posicionamento conceitual do analista de forma a identificar quais atividades são consideradas

internas ao *setup* e ao *changeover*. Conforme a definição dada pela empresa, os tempos serão diferenciados e as considerações conceituais podem entrar em desacordo.

Os demais itens oferecem dados brutos a serem considerados na análise. Contudo, é possível que todos os dados não sejam possíveis de serem obtidos a partir da gerência, mas compõem a base de análise da metodologia e de comparação com os dados reais a serem calculados, conforme o item a seguir.

### 5.4.3 Cálculo de perda de produção

O cálculo de perda de produção real pode ser feito a partir de diversas formas. A forma simples é a análise de dados históricos de tempo de preparação. De forma imediata é possível contrapor diferença entre o dado de tempo de preparação informado conforme o item anterior e o dado de tempo real.

Para casos em que não há dados históricos de tempo ou que o sistema produtivo é mais complexo, pode-se calcular a taxa de produção por unidade de tempo do sistema produtivo. Para isso é necessário acompanhar o tempo de duração de saída de cada peça ou calcular o número de peças por unidade de tempo. É importante ressaltar que o mais importante é a taxa de produção por unidade de tempo e não a produção total. Com estes dados, é possível determinar a produção realizada em qualquer período estipulado (período de desaceleração, fase do *setup* e período da retomada). Dessa forma, o cálculo da produção perdida (PP) será a subtração entre a produção esperada (PE) e a produção realizada (PR) em um período de tempo (n).

$$PP(n) = PE(n) - PR(n) \quad [5.2]$$

onde:

$$PE(n) = (Tc \div Tciclo) \times tx \quad [5.3]$$

Para o cálculo da produção esperada, deve-se dividir o tempo de *changeover* ( $T_c$ ) pelo tempo de ciclo de processo ( $T_{ciclo}$ ) e depois multiplicar pela taxa de eficiência do processo ( $tx$ ). O tempo de ciclo é o tempo que o sistema produz uma peça em condições normais.

A produção perdida pode ser transformada em unidade de tempo, multiplicando o número de peças que se deixou de fazer pelo ritmo da produção.

$$T_{pp} = PP \times T_{ciclo} \quad [5.4]$$

As fórmulas [5.2] e [5.4] são as mais adequadas para se calcular a perda nos períodos que compõem o *changeover*. A partir da produção perdida, pode-se atribuir valores financeiros à produção que se deixou de produzir.

As peças ou lotes descartados por conta do ajuste de máquina e corrida de teste dos equipamentos devem ser agregados ao cálculo de perda financeira. Os refugos ou descartes são desperdícios onerosos por envolver matéria-prima, mão de obra e uso de equipamentos. Este valor torna-se mais grave caso o produto tenha um alto valor agregado.

Foram analisadas em Sugai, Novaski e Bacci (2005a) outras fórmulas e metodologias de cálculo de perdas ocasionadas pelo *changeover* e utilizadas na literatura, tais como “Lote Econômico de Compras”, *payback*, OEE, mas foram consideradas inadequadas para esta análise. Utilizando as informações de perda geradas no período da retomada com os cálculos gerados pelas fórmulas acima é possível calcular o retorno sobre o investimento em melhoria do desempenho em *changeover*.

## **5.5 MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DO PERÍODO DA RETOMADA**

Feito o levantamento dos elementos do período da retomada, é importante classificá-los conforme as circunstâncias quando este elemento gera instabilidade ou oferece condições de

domínio no período da retomada. Serão feitos alguns comentários dos conceitos básicos do modelo e as categorias principais antes de apresentar o modelo na íntegra.

### 5.5.1 Categorias de classificação

Com base na revisão bibliográfica, é possível afirmar que há dois pólos para classificar os elementos. Por um lado, há a classificação de *gerador de instabilidade* na qual o elemento dificulta o controle sobre o tempo de retomada de produção ou torna complexo o conhecimento da taxa de perda de produção no período da retomada; por outro lado, há um pólo *geração de domínio* na qual o elemento não oferece problemas em termos de oscilações no período da retomada nas variáveis “tempo de retomada” e “taxa de perda neste período”.

A elaboração de uma gradação *instabilidade–domínio* segue o modelo de classificação inspirado no “spectrum” organizacional–projeto (item 3.2.2 desta tese) e consolidada nas diversas visitas em empresas realizadas durante a pesquisa. A gradação é ilustrada na figura 5.3.

O ideal é, sempre que possível, a classificação dos elementos migre cada vez mais para a direita nesta gradação. Isto é possível na medida que são tomadas as decisões que levam a aumentar o domínio sobre perdas e ampliar o conhecimento do tempo da retomada de produção.

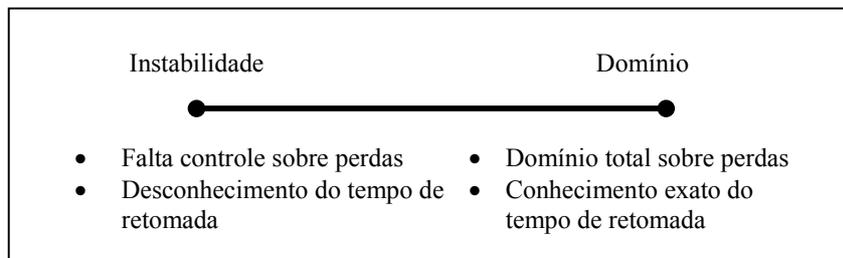


Figura 5.3: Gradação entre classificação geração instabilidade–domínio

A partir desta gradação se fixa um binômio de conceitos antagônicos: descontrolo/controle; desconhecimento/conhecimento; desinformação/domínio. É provável que exista um nível intermediário entre estes pólos. Para esta proposta criou-se um nível “intermediário” indicado na figura 5.4.

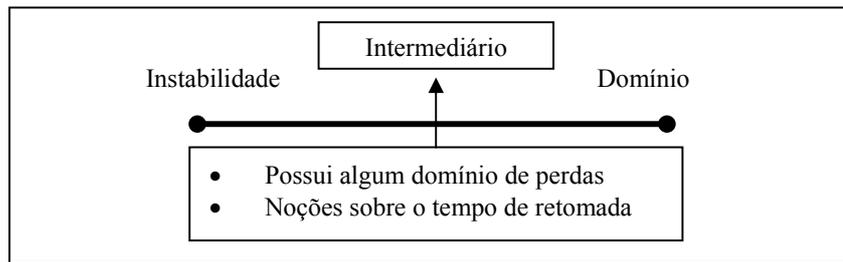


Figura 5.4: Presença do nível intermediário na graduação instável–previsível

O nível intermediário acomoda uma classificação de período da retomada cujo *changeover* está sendo objeto de melhorias e que por diversas razões não oferece bom desempenho em sua totalidade. Não significa total instabilidade, mas não há controle como seria próprio de uma categoria previsível.

### 5.5.2 Método de Classificação dos Elementos do Período da Retomada

Para realizar a Classificação dos Elementos do Período da Retomada, é necessário formular juízos ou sentenças a respeito de cada elemento organizacional ou de projeto. Isto supõe um grande conhecimento de processos, máquinas e atividades dos funcionários. O Método de Classificação proposto foi dividido em etapas.

A seqüência ou passos de aplicação do Método de Classificação tem como principal objetivo identificar as causas críticas responsáveis pelas perdas de produção durante o *changeover*. O Método tem como referência a Planilha de Classificação de Sentenças utilizando as sentenças apresentadas no item seguinte para orientar na classificação dos elementos observados.

O Método compõe-se de cinco passos para a classificação dos elementos do período da retomada e é conveniente que esta atividade seja realizada por um analista de *changeover* que deverá acompanhar as atividades, que porventura podem ser filmadas.

O primeiro passo é entender o conteúdo do trabalho do *changeover* calculando o tempo decorrido em cada atividade por meio da cronometragem ou utilizando um sistema de tempos pré-determinados. Feito o sequenciamento das atividades e com tempos atribuídos, as atenções devem se voltar para aquelas cujo tempo decorrido seja maior ou que o esforço empregado seja mais significativo.

Em um segundo momento, deve-se identificar as causas de perdas de produção discernindo a influência proveniente dos elementos organizacionais e dos elementos de projeto. Para isso, algumas vezes será necessário conversar com preparador ou com equipe de engenharia que podem esclarecer detalhes de cada atividade, processo ou máquina.

O terceiro passo, realiza-se a formulação de juízos ou sentenças para cada elemento do *changeover*. Esta etapa é a mais complexa uma vez que a descrição da realidade pode não ser ideal ou corresponder a uma situação não representativa. Seja como for, o exercício de redação das sentenças para cada conceito é muito importante para melhor conhecer cada atividade do *changeover* e desenvolver possibilidades de melhoria. Deve-se ter cuidado para ser objetivo e não se deixar influenciar por fatores externos.

A quarta etapa corresponde à classificação conforme a gradação *instabilidade-domínio* das categorias de classificação indicadas no item anterior. É possível que a constatação final leve à reavaliação das sentenças e ajustes da classificação.

Por fim, o quinto e último passo é a realização de projetos ou planos de melhoria para os elementos que são reconhecidamente causas de perdas de produção ou “geradores de instabilidade”. Seria uma conclusão das fases acima indicadas, sendo uma etapa voltada para a melhoria contínua. Com esta etapa, o Método proposto orienta o trabalho de classificação dos elementos do período da retomada, indicando caminhos de possíveis melhorias na realização do *changeover* e minimização de perdas de produção.

O Método está resumido no quadro 5.2.

## Quadro 5.2: Método de Classificação dos Elementos do Período da Retomada

- Passo 1: Identificar as atividades de *changeover*, associando o tempo por meio de cronometragem ou sistema de tempos pré-determinados;
- Passo 2: Identificar as causas de perdas de produção, separando os elementos organizacionais dos elementos de projeto;
- Passo 3: Formular juízos ou sentenças para cada elemento do período da retomada;
- Passo 4: Classificar os elementos conforme gradação instabilidade–domínio;
- Passo 5: Realizar um plano de ação para melhorias dos itens classificados como “geradores de instabilidade”

### 5.5.3 Planilha de Classificação de Sentenças

A Planilha de Classificação de Sentenças é a apresentação final do Método de Classificação dos Elementos do Período da Retomada. A concepção da Planilha de Classificação de Sentenças inspirou-se na “Metodologia Matricial” elaborada pelo ICP (item 3.2.4 desta tese), estruturando-se em conceitos, técnicas e exemplos. As causas identificadas são conceitos; as sentenças associadas às classificações são “técnicas” ou aplicações conceituais e os estudos de caso são exemplos das técnicas. Ao identificarem-se as causas, é possível detalhar a forma de realização de melhorias.

Com a descrição dos elementos e da classificação realizados nos itens anteriores, começou-se a formular uma Planilha de Classificação de Sentenças em formato de tabela (tabela 5.1). Na coluna da esquerda estão descritos os possíveis elementos do período da retomada separados em dois blocos: projeto e organizacional. São no total quinze itens de análise que partem das causas primárias e procuram identificar os principais aspectos que causam do período da retomada. As colunas de classificação indicam descrições qualitativas para cada uma das causas.

Para realizar a classificação dos elementos do período da retomada, o analista do *changeover* deve ter cuidado na observação dos elementos. É possível que para cada item deva questionar o supervisor de área, o preparador ou o operador do sistema para identificar se os elementos são circunstanciais ou são causa perene de alterações no período da retomada.

As sentenças existentes no interior de cada célula da planilha indicam uma orientação para a classificação do elemento do período da retomada. Pode ser possível que a realidade do elemento não consiga ser enquadrada exatamente à sentença. Neste caso, cabe ao analista adaptar a utilização do *spectrum* oferecido pela classificação.

Alguns elementos trazem sentenças muito semelhantes. Isto é de se esperar, uma vez que as causas não são totalmente independentes. Percebe-se também que na medida em que os problemas são solucionados, diversos elementos recebem melhor classificação simultaneamente.

Por se tratar de elementos conceituais, não há uso de pontuação para uma análise quantitativa. A aplicação de pontos seria muito variável conforme o tipo de máquina, tipo de sistema produtivo, setor industrial e também do próprio analista. Isto por que para alguns analistas de formação de engenharia os fatores de projeto deveriam receber maior peso do que fatores organizacionais. Todavia, para analistas com viés de relações humanas, aspectos motivacionais deveriam receber maior consideração. Dessa forma, a análise em indicação entre dois extremos “gera instabilidade” e “domínio” possibilita uma liberdade de decisão embora exija maior conhecimento de cada elemento por parte de quem analisa.

O uso de cores (vermelho, amarelo e verde) ajuda a indicar a classificação dos elementos, facilitando a imediata identificação dos problemas que possam estar acontecendo no período da retomada. É importante indicar que se trata de um processo de análise qualitativa, não sendo oportuno atribuir uma pontuação a cada item de classificação ou realizar uma análise estatística. Algumas conclusões sobre a importância dos itens críticos (identificados em vermelho) podem ser feitas, com devida cautela, tendo base na revisão bibliográfica e experiência técnica.

A planilha possibilita melhorias no período da retomada e também no conjunto de toda a virada de produção. Ao realizar uma análise de elementos de projeto e organizacional, pode-se estabelecer melhorias mais adequadas que beneficie todo o conjunto.

Tabela 5.1: Planilha de Classificação de Sentenças

Elementos do Período da retomada	Classificação de Sentenças		
	Geram instabilidade	Intermediário	Domínio no período da retomada
<b>Fatores de Projeto</b>			
<b>Máquina</b> Grau de projeto de máquina para realização de <i>setup</i>	Máquinas projetadas para produção dedicada	Máquinas adaptadas para realizar <i>setup</i>	Máquinas projetadas a realizar <i>setup</i>
Operação realizada com recursos emparelhados	Operação feita por mais de uma máquina	Operação feita por mais de uma máquina mas troca simultânea	Operação feita por apenas uma máquina
Interdependência do <i>setup</i> das máquinas	<i>Setup</i> seqüenciado	<i>Setup</i> coordenado em várias máquinas	<i>Setup</i> independente
Processo de aprovação de ajuste	Processo dependente de terceiros	Há processo mas é independente	Sem ajustes ou ajustes simplificados
Manutenção	Baixa confiabilidade nas máquinas	Manutenção realizada por demanda	Manutenção preventiva
<b>Ferramentas e dispositivos</b> Equipamentos para <i>setup</i>	Ferramentas improvisadas	Ferramentas pouco adequadas para <i>setup</i>	Ferramentas e dispositivos adequados
<b>Fatores Organizacionais</b>			
<b>Meio ambiente</b> Aspectos organizacionais	Sem apoio gerencial	Gerência apóia melhorias	Melhoria do desempenho do <i>changeover</i> é estratégico
Compreensão do período da retomada	Indiferença com pós <i>setup</i>	Certa atenção com período da retomada	Conceitos distintos para <i>changeover</i> e <i>setup</i>
<b>Mão de obra</b> Dependência de preparador após reinício da produção	Preparador é especialista de produção	Preparador com mais formação técnica	Preparador apenas auxilia nas atividades
Motivação e treinamento	Preparadores sem treinamento	Preparador com alguma instrução	Preparadores de todos os turnos com treinamento do mesmo método
Melhoria contínua	Não há processo de melhoria contínua	Há reuniões esporádicas de melhoria contínua	Presença de processo completo de melhoria contínua
<b>Método</b> Método de trabalho	Desorganizado e sem controle	Método com inconsistências	Padronizado e constantemente auditado
Planejamento da seqüência de lotes	<i>Changeover</i> imprevisível	Indicação do <i>changeover</i> com pouca antecipação	<i>Changeover</i> planejado
<b>Medida</b> Registro de tempo de troca e da perda de produção	Não há controle de tempo e da perda de produção	Há um certo controle de tempo e perda de produção	Auditoria freqüente
<b>Materiais</b> Matéria prima	Matéria prima sem qualidade ou não há controle de qualidade	Certo controle da qualidade de materiais	Matéria prima com qualidade

Com a planilha, é possível tornar mais evidente o(s) fator(es) que prejudicam a retomada da produção e dificultam o melhor desempenho do *changeover*. A partir das indicações dos elementos críticos é possível, portanto, gerar estudos mais aprofundados em cada caso analisado.

A vantagem de classificar os tipos de períodos de retomada e apresentar os seus elementos possibilita o conhecimento das características próprias da atividade de *setup* e seus pontos de possível melhoria. A partir deste conhecimento, pode-se iniciar um projeto de desenvolvimento de soluções para problemas existentes.

## **5.6 COMENTÁRIOS**

O Método de Classificação proposto possibilita identificar e classificar os elementos do fenômeno industrial do período da retomada. O empenho em classificar é resultado do exercício de medir, calcular e apurar detalhes do *changeover*. Dessa forma, amplia-se a capacidade de análise e os elementos necessários para a observação dos casos.

As etapas do Método de Classificação oferecem uma possibilidade de discernimento dos conceitos e das atividades de *changeover*.

O uso do método, além ampliar a capacidade de análise de viradas de produção de máquinas individuais, possibilita também observar viradas em células de produção e linhas produtivas.

A Planilha de Classificação de Sentenças é a ferramenta mais importante do Método. A Planilha reflete o resultado do estudo sobre as causas do período da retomada. A formulação das sentenças parte de uma revisão bibliográfica, dos estudos de caso selecionados e demais visitas realizadas pelo pesquisador. Os estudos do grupo ICP foram de grande valia para o desenvolvimento do método apresentado. Importante é observar que a Planilha de Classificação de Sentenças não é estática e pode receber melhorias para melhor adequação ou compreensão.

Para que o Método de Classificação seja uma contribuição conceitual, ele será aplicado em alguns estudos de caso. Portanto, segue-se agora a apresentação dos estudos de caso que fundamentam a Método de Classificação dos Elementos do Período da Retomada. Em seguida, no capítulo 7 dispõem-se os casos que validam o conceito.

## **CAPÍTULO 6**

### **CASOS QUE FUNDAMENTAM A PROPOSTA**

#### **6.1 INTRODUÇÃO**

Conforme previsto, segue-se agora a apresentação dos estudos de caso que fundamentam o Método de classificação com algumas análises preliminares e com resultados da planilha de análise descrita no capítulo anterior. Procurou-se fazer uma escolha criteriosa dos casos de forma a apoiar e dar conteúdo para o Método proposto no capítulo 5. Estes casos estão bastante detalhados por serem origem de dados que fundamentam a proposta de classificação da tese.

Este capítulo inicia-se com um caso de *changeover* em uma máquina injetora plástica; no segundo caso realizou-se um estudo de um *changeover* em uma célula de manufatura; por fim, o último caso, aborda a coleta de dados de tempo de saída de produtos em uma linha de produção com alto grau de automatização. Os três casos são do setor automotivo, com produção discreta e sistemas produtivos em que já foram aplicados os passos da metodologia SMED.

#### **6.2 CASO ALFA: CHANGEOVER EM UMA MÁQUINA INJETORA PLÁSTICA**

Nos tempos mais atuais, com a presença cada vez maior de produtos plásticos embarcados em um veículo automotivo, é muito comum encontrar máquinas injetoras dentro de uma indústria

metal-mecânica. Surge o desafio de reduzir o tempo de troca de moldes destas máquinas injetoras para produzir uma maior diversidade de produtos com intuito de atender uma demanda variável. Uma mesma máquina pode produzir diferentes tipos de produtos com eficácia desde que tenha bom desempenho na troca de moldes de injeção plástica. O primeiro estudo de caso denominado Alfa está relacionado com esta realidade.

Realizado dentro de uma multinacional de origem alemã, o estudo de caso foi o acompanhamento das atividades desenvolvidas para que o tempo de troca do molde fosse reduzido. O desafio inicialmente lançado era reduzir o tempo gasto com a troca de molde de 150 minutos para ser feita em apenas um dígito, como postula a metodologia SMED. A máquina cuja ferramenta seria trocada é uma Engel E175, ilustrada na figura 6.1. Esta máquina está dedicada à produção de uma mesma família de produtos, que utiliza a mesma matéria prima. Um exemplo de produto feito nesta máquina injetora é ilustrado na figura 6.2.



Figura 6.1: Máquina injetora na qual foi realizado o *changeover*



Figura 6.2: Produto injetado sendo retirado da máquina pelo operador

Após a aprovação da atividade de melhoria de desempenho no *changeover* pela direção da empresa, definiu-se a equipe de trabalho, cuja primeira atividade foi um acompanhamento detalhado das atividades de troca da ferramenta desta máquina. Neste evento participaram, além do coordenador do evento, os operadores do equipamento dos três turnos de trabalho, um funcionário de manutenção, o preparador e o engenheiro de tempos e métodos.

Resumidamente, os estágios realizados pela equipe seguem a metodologia SMED e estão resumidas no quadro 6.1.

Quadro 6.1: Atividades previstas para aplicação da metodologia

Estágio 1: Análise do processo atual de troca de ferramenta; Estágio 2: Separação das atividades internas e externas; Estágio 3: Conversão das atividades internas em externas, na medida do possível; Estágio 4: Eliminar / simplificar atividades internas; Estágio 5: Eliminar / simplificar atividades externas.
--

Apenas para retomar os conceitos, as atividades internas são realizadas enquanto a máquina estiver parada; as atividades externas são realizadas enquanto a máquina estiver em funcionamento.

As melhorias realizadas pela equipe de trabalho podem ser classificadas em “organizacionais” ou “em projeto”, conforme definição elaborada pelo ICP e recolhido no item 3.2.2 desta tese.

### **6.2.1 Melhorias organizacionais**

Em uma primeira etapa de melhoria, sugeriram-se melhorias organizacionais. Foram realizadas ações tais como dispor ferramentas e equipamentos utilizados na virada de produção em um “carrinho de *setup*” para fácil acesso das ferramentas; padronizar as tarefas realizadas pelos operadores no *setup* e a adoção de dispositivos para evitar perda de tempo e facilitar o abastecimento de matéria prima do próximo lote.

No caso estudado, nas três figuras a seguir são apresentadas algumas das melhorias organizacionais. A figura 6.3 ilustra a realização de programação antecipada do lote seguinte pelo preparador de *changeover*. Na figura 6.4 há outra atividade externa que é a preparação do molde do lote seguinte. Por fim, na figura 6.5, há uma ilustração da atividade em paralela entre operador e preparador, demonstrando o treinamento na execução da atividade.



Figura 6.3: Preparador instalando programa de produção do novo lote.



Figura 6.4: Preparação do molde do novo lote, com exemplar do produto sobre o mesmo.



Figura 6.5: Atividade em paralelo, com métodos de trabalho previstos para cada funcionário.

Embora tenham ocorrido ganhos de tempo a partir de melhorias organizacionais, ainda foram insuficientes com a meta programada. A solução foi partir para soluções de projeto.

### 6.2.2 Melhorias em projeto

Soluções de projeto, tais como compras de equipamentos de apoio, de ferramentas especiais, instalação de placas magnéticas de fixação foram estudadas pela engenharia uma vez que é necessário conhecer especificações da máquina para que o investimento não seja mal aplicado. Apesar do alto custo que significam, alguns produziram resultados importantes na redução do tempo do *changeover*.

Grande parte do ganho de tempo envolvia mudanças no projeto de máquina e dispositivos de apoio. Isto ocorreu após estudos mais detalhados do setor de engenharia que ofereceu soluções avançadas para aumentar a velocidade da troca de ferramenta, conforme alguns exemplos dispostos nas três figuras a seguir.

Na figura 6.6 ilustra-se o sistema de engate rápido de cabos que alimentam o molde da máquina injetora. Trata-se de um dispositivo que precisa ter um projeto “robusto” e com poucas falhas para não prejudicar as outras trocas.

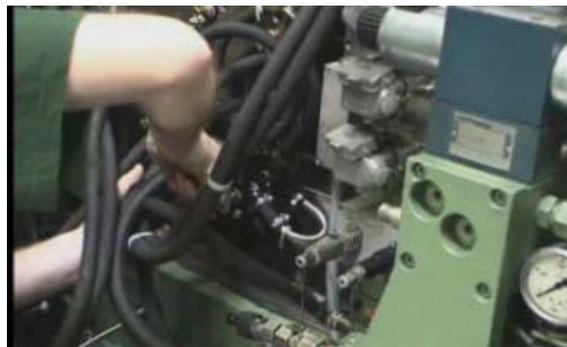


Figura 6.6: Operador acionando o engate rápido que acopla cabos e tubos no molde

Na figura 6.7 há uma ilustração do sistema de pré-aquecimento de moldes do lote seguinte. Os aquecedores têm termostato eletrônico e atingem a temperatura digitada pelo preparador e assim entram em regime de operação mais rápido e sem prejudicar a qualidade dos produtos.



Figura 6.7: Aquecedor eletrônico do molde a ser utilizado no próximo lote

Finalizando as melhorias em projeto, na figura 6.8 nota-se o uso de uma grua dedicada para o *changeover* desta máquina assim como a placa magnética instalada que facilita fixação e desengate dos moldes.

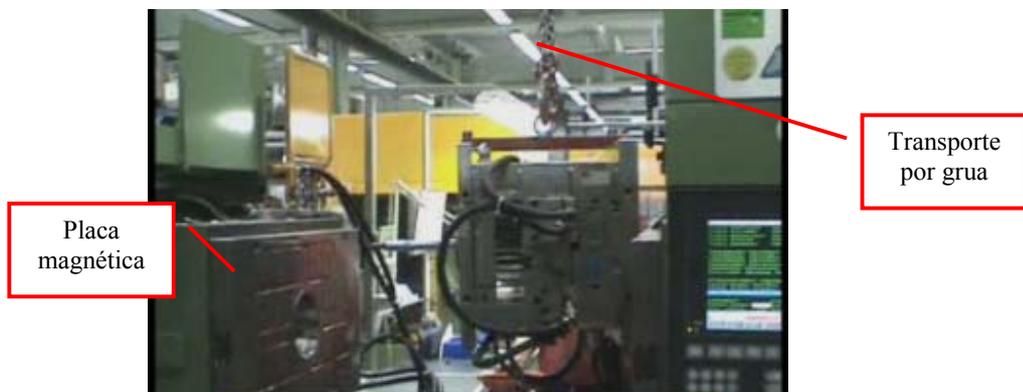


Figura 6.8: Placa magnética que fixa moldes e transporte por grua.

As melhorias em projeto ofereceram resultados satisfatórios, conforme quadro 6.2. Todavia vale notar que as melhorias organizacionais, tais como treinamento e desenvolvimento de atividades externas são muito importantes embora não fossem as decisivas para o resultado final.

## Quadro 6.2: Dados do *changeover* na máquina injetora

Tempo do <i>changeover</i> inicial = 150 minutos
Tempo do <i>changeover</i> final = 7min 40 s
Perda fixa no período da retomada = 3 peças

A empresa não divulgou os valores gastos no investimento realizado em melhorias em projeto. Conforme objetivos da empresa, a redução de tempo de *changeover* atendeu às expectativas esperadas. A redução do tempo de *setup* foi elevada e muitos ganhos foram obtidos com esta melhoria.

A perda fixa de três peças é uma determinação da empresa para elementos injetados. Apenas a quarta peça é examinada visualmente pelo preparador, sendo também uma atividade prevista no conjunto total do método de trabalho (figura 6.9).



Figura 6.9: Preparador realizando análise visual da qualidade da quarta peça do lote novo

O foco ao realizar o estudo de caso era identificar as características do período da retomada. Como este caso o período da retomada é muito rápido, seguem no próximo item alguns comentários sobre interferências do *changeover* da máquina injetora sobre o período da retomada.

### 6.2.3 Utilização do Método de Classificação no caso Alfa

O período da retomada deste estudo de caso reduziu-se à produção de três peças que, conforme padrão da empresa, foram descartadas. Segue na tabela 6.1 a aplicação da planilha no caso Alfa.

Tabela 6.1: Resultado do Método de Classificação no estudo de caso Alfa

<b>Descrição</b>		
Máquina com <i>changeover</i> em 7 minutos, com a realidade de descarte em conformidade com determinação gerencial. Sistema com grande investimento em máquinas e dispositivos garante baixa oscilação do período da retomada e bom desempenho do <i>changeover</i> .		
<b>Elementos – Caso Alfa</b>	<b>Sentença</b>	<b>Classificação</b>
<b>Fatores de Projeto</b>		
<b>Máquina</b>	Investimento em projeto de máquina	<b>Domínio</b>
Grau de projeto de máquina para realização de <i>setup</i>		
Operação realizada com recursos emparelhados	(máquina individual)	
Interdependência do <i>setup</i> das máquinas	(máquina individual)	
Processo de aprovação de ajuste	Sem ajuste	<b>Domínio</b>
Manutenção	Manutenção Preventiva	<b>Domínio</b>
<b>Ferramentas e dispositivos</b>	Investimento em dispositivos	<b>Domínio</b>
Equipamentos para <i>setup</i>		
<b>Fatores Organizacionais</b>		
<b>Meio ambiente</b>	Apoio gerencial	<b>Domínio</b>
Aspectos organizacionais		
Compreensão do período da retomada	Perda fixa	<b>Domínio</b>
<b>Mão de obra</b>	Preparador auxilia nas atividades	<b>Domínio</b>
Dependência de preparador após reinício da produção		
Motivação e treinamento	Preparador com treinamento	<b>Domínio</b>
Melhoria contínua	(não informado)	
<b>Método</b>	Método de trabalho consolidado pela engenharia industrial	<b>Domínio</b>
Método de trabalho		
Planejamento da seqüência de lotes	Conhecimento antecipado do lote seguinte	<b>Domínio</b>
<b>Medida</b>	Tempos auditados pela engenharia industrial	<b>Domínio</b>
Registro de tempo de troca e da perda de produção		
<b>Materiais</b>	(não informado)	
Matéria prima		

No caso Alfa foram poucas as interferências do *setup* dos elementos, pois não há um período da retomada oscilante. Isso se entende por alguns elementos que recebem destaque abaixo:

1) Investimento em projeto: Equipamentos, dispositivos e ferramentas adequadas tornam o *setup* mais confiável e, conseqüentemente, o período da retomada mais simplificado e sem ajustes.

2) Treinamento / método de trabalho: Tanto operador como preparador têm consciência da seqüência de atividades que devem realizar. O treinamento e o uso de uma seqüência de método de trabalho pré-determinado auxilia na realização do *changeover*, fixando tempo e padrão de descarte. Isto leva a uma estabilidade do período da retomada.

3) Previsibilidade: A confiabilidade de máquina e ferramentas leva à realização de poucos ajustes, fator que tornaria o período da retomada mais instável.

Vale notar que a realização do estudo do *changeover* em apenas uma máquina também torna quase imperceptível a presença do período da retomada. O estudo de perda de produção é imediato. Dessa forma, as maiores atenções se voltam para virada de produção em sistemas de produção mais diversificados.

### **6.3 CASO BETA: CHANGEOVER EM CÉLULA DE PRODUÇÃO DE EIXO**

O segundo estudo de caso ocorreu em uma unidade fabril de uma empresa de auto-peças, multinacional de origem americana. Localizada na região de Campinas, é uma fornecedora original de peças para montadoras de veículos de passeio, caminhões e máquinas agrícolas.

O estudo de caso dedica-se a acompanhar o *changeover* em uma célula de manufatura de eixo carretel, elemento que transmite força motriz em uma caixa de câmbio. Para isso, será oportuno conhecer as etapas do processo de fabricação. A motivação de realizar o estudo de caso

nesta célula baseou-se na análise de dados históricos de produção desta célula e constatou-se a presença de perda de produção no período da retomada. A diminuição de capacidade produtiva da célula após a realização do *setup* estimulou a realização deste estudo de caso, embora não fosse permitido o registro de dados de tempos. Este estudo concentra-se em acompanhamento do *changeover* e análise dos elementos do período da retomada.

### **6.3.1 Descrição da célula**

A célula analisada é composta por 18 máquinas ferramentas, produz uma família de 5 modelos de peças dividida em duas sub-famílias chamadas “close” e “wide” As sub-famílias têm uma variação entre diâmetro e número de dentes em algumas engrenagens. A célula é operada por 4 funcionários e o ritmo de produção é de 43 segundos por peça em fluxo contínuo. Embora busquem o fluxo unitário de peças, há estoques intermediários no interior da célula.

Conforme a nomenclatura própria da empresa, esta célula é denominada “crítica” por apresentar seguintes características: alto tempo gasto em manutenção, alta perda pelo *setup*, alta quantidade de refugo e dificuldade em atingir qualidade desejada.

O arranjo físico das máquinas do estudo de caso segue na figura 6.10. Os números assinalados em destaque referem-se ao número das operações que são descritas no tabela 6.2.

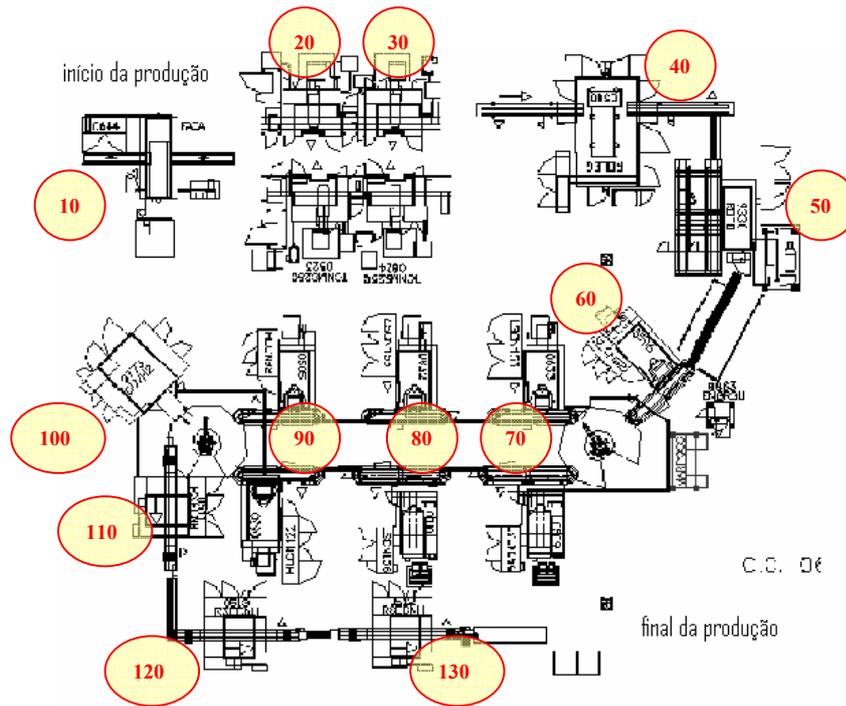


Figura 6.10: Arranjo celular do estudo de caso

Tabela 6.2: Etapas do processo de produção do eixo carretel

Número da operação	Descrição da operação	Descrição da máquina	Número de máquinas	Ocorre troca?
10	Facear e Centrar	Faceadora Centradora	1	Não
20	Tornear	Torno	2	Sim
30	Tornear	Torno	2	Sim
40	Rolar estrias	Roladora de estrias	1	Não
50	Rolar estrias	Roto Flo	1	Não
60	Cortar dentes (marcha 1 <sup>a</sup> )	Hobber	1	Não
70	Cortar dentes (marcha 2 <sup>a</sup> )	Shaper CNC	2	Sim
80	Cortar dentes (marcha ré)	Shaper CNC	2	Não
90	Cortar dentes (marcha 3 <sup>a</sup> e 4 <sup>a</sup> )	Hobber	2	Sim
100	Chanfrar dentes (marcha ré)	Chanfradora CNC	1	Não
110	Acabar dentes (ré) e chanfrar (marcha 4 <sup>a</sup> )	Rotary Shaver CNC	1	Sim
120	Acabar dentes (marcha 2 <sup>a</sup> ) e chanfrar (marcha 2 <sup>a</sup> )	Rotary Shaver CNC	1	Sim
130	Chanfrar dentes (marcha 3 <sup>a</sup> )	Rotary Shaver CNC	1	Sim

Algumas operações, conforme indicados na tabela acima, são realizadas por duas máquinas. Com as máquinas dispostas em paralelo propõe-se garantir o ritmo de produção.

A matéria prima da célula são elementos forjados brutos produzidos na forjaria da empresa. A primeira operação (10) realiza o ajuste do comprimento da peça e faz um desbaste inicial da peça. Em seguida o elemento forjado bruto é usinado em duas operações (20 e 30). A operação de usinagem é a mais longa e impõe o ritmo da célula.

Há em seguida a conformação mecânica que produz as estrias nas extremidades do eixo (operações 40 e 50). O corte de dentes é feito nas operações 60 a 90. A operação 90 realiza o corte de dentes em duas engrenagens simultaneamente. A operação 80 produz os dentes da marcha ré, que não tem formato helicoidal como as demais engrenagens. As operações finais (100 a 130) referem-se ao chanframento e acabamento do dentado e são realizados conforme a tabela 6.2, com alterações conforme o modelo de peça que é elaborado.

Depois de passar por esta célula, as peças são reunidas em lotes para seguir ao tratamento térmico.

### **6.3.2 Aspectos gerais do *changeover* na célula**

A empresa do estudo de caso tem se empenhado na aplicação das ferramentas de Manufatura Enxuta e, para cada unidade fabril, há um engenheiro responsável pela melhoria do desempenho do *changeover*. Os procedimentos de troca, o uso de ferramentas próprias, método de trabalho foram determinados e previstos conforme a metodologia SMED.

De acordo com a última coluna da tabela 6.2, na virada de produção ocorre troca de ferramentas e ajustes em apenas algumas máquinas. Conforme a seqüência de lotes de produção, o número de máquinas cujas ferramentas serão trocadas pode alterar. Especialmente em mudanças de lotes de peças entre sub-famílias o desempenho será prejudicado, pois mais máquinas serão envolvidas na troca de ferramentas e ajuste.

Ainda que as peças que passam por esta célula componham uma família, as mudanças nos parâmetros de máquinas significam a realização de ajustes até que se atendam as especificações definidas pelos clientes. Dessa forma, as trocas mais críticas ocorrem nas máquinas de corte de dentes, não pela dificuldade da troca da ferramenta, mas pelos ajustes e espera de aprovação realizada pela metrologia, que obedece a exigências de tolerância esperadas pelo cliente.

### 6.3.3 Dificuldade de aprovação das peças

Um elemento que torna a operação de ajuste mais complexa é o fato de que as ferramentas de corte quando perdem o fio não são descartadas, mas são afiadas. Isto tem dificultado na inserção de parâmetros na máquina-ferramenta. Essa é mais uma razão de que a liberação do lote só pode ser realizada com a aprovação da metrologia, conforme fluxograma apresentado na figura 6.11.

Todavia, a metrologia atende solicitações diversas dentro da fábrica. Embora as atividades de virada de produção tenham prioridade na análise metrológica, estima-se que a espera de cada análise dure entre 5 a 10 minutos. Enquanto isso, o preparador e a máquina ficam aguardando o parecer do laboratório. Se a peça for reprovada, a metrologia entrega uma ficha de parâmetros de ajuste de máquina para o preparador. Mesmo que o ajuste seja feito, a peça seguinte será analisada e assim sucessivamente até que a peça seja aprovada e o lote liberado. Este ciclo torna o período de virada mais longo e o período da retomada muito imprevisível.

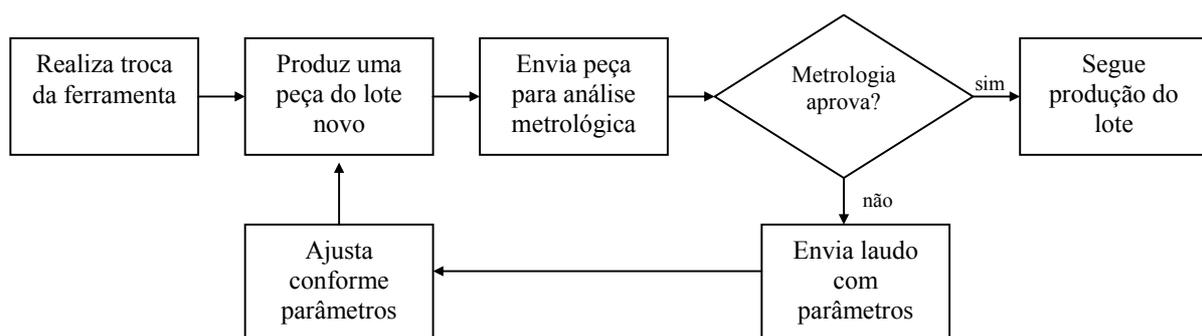


Figura 6.11: Fluxograma de aprovação de peças pela metrologia

No quadro 6.3 estão descritas as análises da metrologia, feitas após a realização de cada operação no eixo-carretel.

Quadro 6.3: Atividades de análise do eixo carretel pela metrologia

- Análise tridimensional
- Análise de perfil
- Ângulo de hélice
- Espaçamento entre dentes
- Excentricidade

Algumas análises tais como diâmetro entre esfera e diâmetro de raiz são feitas pelo próprio operador assim que a peça é feita pela máquina. Todavia, o processo de análise mais demorado envolve a participação do laboratório de metrologia.

Esta realidade de perda pode ser constatada com a figura 6.12 que traz um Gráfico de Pareto com o desempenho da célula em termos de efetividade. Em uma análise das causas de perda, pode-se identificar que a célula tem parado por manutenção e pela virada de produção, além de estar sujeita a perdas por tempo padrão e pela dificuldade de aprovação da metrologia entre outras causas. Cada item tem uma porcentagem sendo que a maior participação nesta perda está por conta da manutenção da célula com 16,7%. Isto indica que as máquinas podem ter problema de confiabilidade. Um item que prejudica o desempenho da virada é a dificuldade de aprovação, como já foi dito anteriormente. Este item tem contribuído com 9,4% de tempo de máquina parada. Conforme o setor de engenharia, o *changeover* tem tempo de 50 minutos e ocupa 3,3% das paradas.

Estes dados são importantes por estarem interligados com o estudo do período da retomada e é importante tê-los em conta na análise de dados.

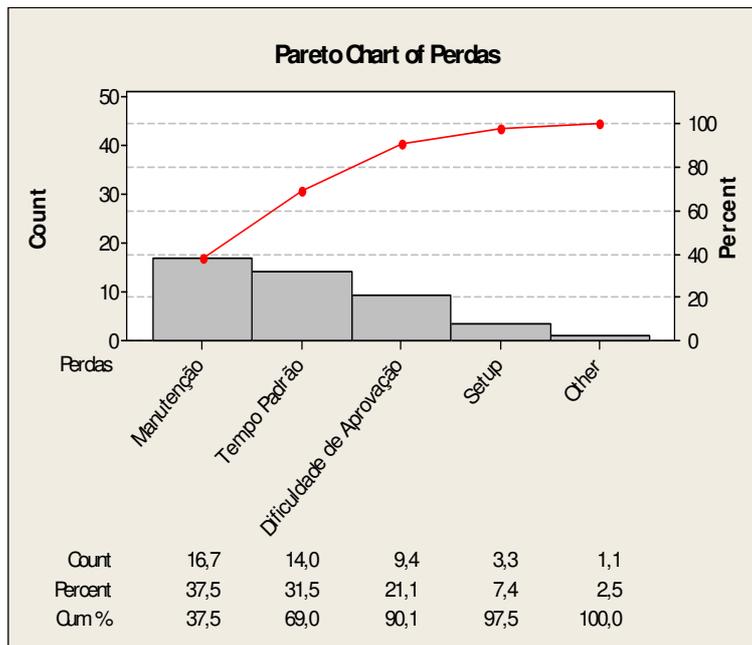


Figura 6.12: Análise de Pareto das causas de parada da célula  
 Fonte: empresa do caso Beta

As perdas por “tempo padrão” indicadas na figura 6.12 são os tempos de operação de atividades que excedem o tempo padrão previsto. Por exemplo, se o ritmo de produção de uma máquina for de 6 segundos e no dia estiver produzindo por qualquer razão em 8 segundos, estes dois segundos extras são computados como perda de tempo padrão.

### 6.3.4 Perdas de produção

Como já foi apontado no item anterior, há uma dificuldade especial no *changeover* por conta de ajustes e aprovação pela metrologia. Embora na figura 6.12 aponte que a maior razão de perdas indicadas pelo índice OEE tenha sido gerado pela manutenção, é importante ressaltar a grande correlação entre *changeover* e dificuldade de aprovação, que pode ser observada na tabela 6.3 Nesta tabela, os dias que são apresentados são aqueles em que ocorreu apenas a virada de produção, sendo eliminados os dias que tenham ocorrido paradas por manutenção de máquinas, paradas programadas e perdas por tempo padrão. Os dados da tabela referem-se aos dias em que

houve *setup*, o tempo causado pela dificuldade na aprovação, o turno em foi realizado e o número de refugos contabilizados.

Tabela 6.3: Dados de OEE, tempo de *setup*, tempo para aprovação e refugo de um mês

<b>Dia</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>média</b>
<b>OEE (%)</b>	85	76	70	78	77	97	98	65	71	75	46	55	73	<b>74</b>
<b>Setup (min)</b>	40	30	60	30	60	45	30	40	30	45	50	75	75	<b>47</b>
<b>Dificuldade Aprovação (min)</b>	90	70	130	150	60			120	40	60	195	90	120	<b>102</b>
<b>Turno realizado</b>	2	3	2	2	2	2	1	2	2	3	1	3	3	
<b>Refugo (peças)</b>										1	2	6	2	

Fonte: empresa do caso Beta

Nota-se a presença de tempo gasto em *setup* e em dificuldade de aprovação em muitos dias do mês e em apenas duas vezes no mês não houve dificuldade de aprovação com *setup*. No valor médio mensal, o tempo por dificuldade de aprovação é 2,17 vezes maior que o tempo de *setup*.

A empresa utiliza a tradicional definição de *setup* como o tempo entre a última peça de um lote e a primeira peça com qualidade do próximo lote. Mas as dificuldades de aprovação não estão inseridas no tempo de *setup*.

Esta forma da empresa calcular o tempo de *setup*, sem assimilar o tempo gasto pelas atividades de análise da metrologia (dificuldades de aprovação), dificulta realizar considerações sobre o comportamento do período da retomada no conjunto do *changeover*. A empresa perde a oportunidade de realizar melhorias concretas nas ações de virada de produção por transferir o “problema” da análise metrológica como “dificuldade de aprovação” e não trata-lo como uma realidade própria da virada de produção. Considerando a dificuldade de aprovação como parte do período da retomada, temos uma realidade de perda produtiva grande que deveria ser, pelo menos, objeto de melhoria organizacional.

A linha que informa qual o turno em que o *setup* foi realizado oferece uma informação importante: há variações entre turnos e também entre *setups* feitos no mesmo turno. Conforme setor de engenharia, isto ocorre pela falta de método de trabalho entre turnos.

De qualquer forma, este estudo de caso de célula de manufatura oferece informações sobre os elementos do período da retomada e que serão comentadas no próximo item.

### **6.3.5 Classificação dos elementos do período da retomada do Caso Beta**

Após a descrição do Caso Beta, a tabela 6.4 recolhe a classificação dos elementos do período da retomada. Em uma primeira análise, ficam ressaltados os problemas que ocorrem na virada da produção na célula, destacando-se os fatores de projeto. Entre os elementos críticos estão “operações em paralelo”, “interdependência de máquinas”, “processo de ajuste” e “manutenção”. Alguns destes elementos são mais bem descritos abaixo:

#### **A) Utilização de máquinas em paralelo que realizam a mesma operação**

O uso de máquinas em paralelo é muito importante na manutenção do ritmo de produção da célula. Todavia, a realização da virada em todas as máquinas cuja disposição física pode não ser a mais adequada para a troca de ferramentas, as ferramentas e ajustes sejam multiplicados e, no caso concreto, a espera pela análise do laboratório de metrologia, também será multiplicado. Como efeito disso, a produção levará mais tempo para recuperar sua condição ideal. Embora se possa afirmar que a célula tenha voltado a produzir com uma máquina liberada, o seu ritmo e o seu período da retomada certamente estarão prejudicados. A figura 6.13 ilustra o caso de alteração na taxa de produção e no comportamento do período da retomada conforme liberação de duas máquinas para operação em paralelo.

Esta informação é importante no estudo das características e causas de oscilações do período da retomada. A presença de operações feitas por máquinas em paralelo que sofrerão troca de alguma ferramenta deve ser considerada nas perdas de produção e na duração do tempo total do *changeover*.

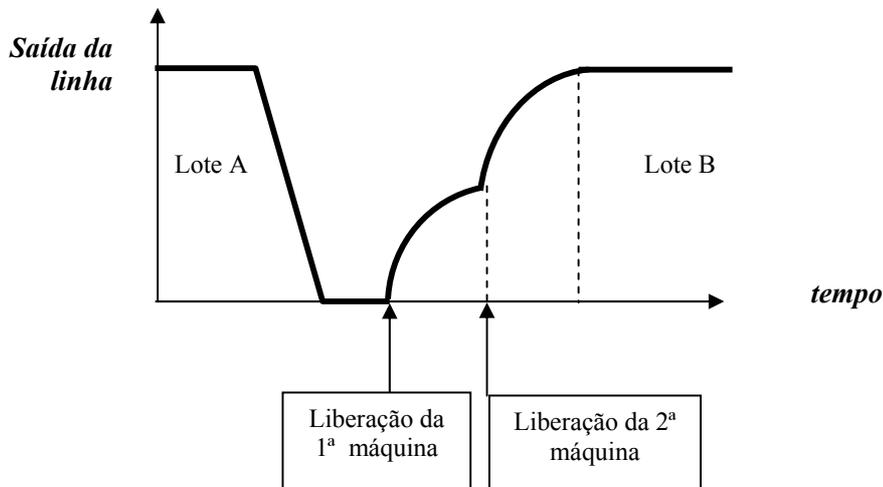


Figura 6.13: Efeito na taxa de produção pela liberação de duas máquinas

### B) Interdependência de máquinas

A seqüência de produção existente neste caso e o tempo desigual de *setup* nas diferentes máquinas gera mais oscilações no período da retomada. Somente quando a última operação estiver liberada é que o *setup* encerra, mas ainda o período da retomada aglutinará as atividades de ajustes que ocorrem entre máquinas.

### C) Processo de aprovação de ajustes

A presença de ajustes não é novidade no período da retomada. Todavia, a forma de aprovação de peça pode prejudicar o desempenho da virada de produção, aumentando a perda de capacidade produtiva. Embora no estudo de caso os exames de metrologia das peças feitas no *changeover* tenham prioridade, ainda são necessárias mudanças em projeto para melhorar o desempenho da célula.

### D) Manutenção

O problema da manutenção é especialmente grave neste caso. Como as máquinas são antigas e não há interesse em adquirir novos equipamentos, o trabalho de manutenção é muito comum, diminuindo a confiabilidade da máquina.

Tabela 6.4: Resultado do Método de Classificação no estudo de caso Beta

<b>Descrição</b>		
Célula de manufatura de eixo-carretel com grande perda no período da retomada por conta da dificuldade de aprovação de peças pelo laboratório de metrologia. Há também problemas de manutenção de máquinas e interferências do cliente na produção.		
<b>Elementos – Caso Beta</b>	<b>Sentenças</b>	<b>Classificação</b>
<b>Fatores de Projeto</b>		
<b>Máquina</b> Grau de projeto de máquina para realização de <i>setup</i>	Troca de ferramenta relativamente simples. Ferramentas de corte sofrem variação por serem afiadas	<b>Intermediário</b>
Operação realizada com recursos emparelhados	5 operações em paralelo em total de 13	<b>Gera instabilidade</b>
Interdependência do <i>setup</i> das máquinas	<i>Setup</i> seqüenciado	<b>Gera instabilidade</b>
Processo de aprovação de ajuste	Depende de análise e aprovação de laboratório de metrologia	<b>Gera instabilidade</b>
Manutenção	Máquinas antigas. Baixa confiabilidade	<b>Gera instabilidade</b>
<b>Ferramentas e dispositivos</b> Equipamentos para <i>setup</i>	Investimento em dispositivos	<b>Domínio</b>
<b>Fatores Organizacionais</b>		
<b>Meio ambiente</b> Aspectos organizacionais	Apoio gerencial. Faz parte da estratégia empresarial.	<b>Domínio</b>
Compreensão do período da retomada	Tempo de aprovação separado do tempo de <i>setup</i>	<b>Gera instabilidade</b>
<b>Mão de obra</b> Dependência de preparador após reinício da produção	Preparador auxilia nas atividades	<b>Domínio</b>
Motivação e treinamento	Preparador com treinamento	<b>Domínio</b>
Melhoria contínua	Processo de <i>kaizen</i>	<b>Domínio</b>
<b>Método</b> Método de trabalho	Método de trabalho não é estável entre turnos	<b>Gera instabilidade</b>
Planejamento da seqüência de lotes	Interferência do cliente na produção	<b>Gera instabilidade</b>
<b>Medida</b> Registro de tempo de troca e da perda de produção	Tempos de <i>setup</i> é sempre calculado	<b>Domínio</b>
<b>Materiais</b> Matéria prima	(não informado)	

Entre os fatores organizacionais presentes na planilha que geram instabilidade, são “compreensão do período da retomada”, “método de trabalho” e “planejamento da seqüência de lotes”.

O primeiro elemento ficou evidente na apresentação da tabela 6.3, na qual há uma separação do tempo de *setup* da dificuldade de aprovação.

Os outros dois elementos citados estão vinculados ao método. No caso Beta, não há método de trabalho entre turnos o que gera oscilação entre diferentes *setup* (tabela 6.3). Outro aspecto de método de trabalho é a interferência do cliente na programação de produção. Estas mudanças são críticas para o período da retomada.

Com este mapeamento disposto pela planilha, fica claro que o problema do baixo desempenho do *changeover* no caso Beta não é porque se trata somente de um arranjo celular, mas por outras diversas razões de projeto e organizacionais.

#### **6.4 CASO GAMA: CHANGEOVER EM LINHA DE PRODUÇÃO DE VÁLVULAS INJETORAS**

A empresa em que foi realizado o terceiro estudo de caso tem sua sede administrativa para a América do Sul na cidade de Campinas. Nesta mesma área há uma unidade fabril de produtos para o setor automotivo.

O estudo foi realizado em uma linha de produção de uma família de válvulas injetoras. A válvula injetora é um atuador do sistema de injeção eletrônica e é encarregada de pulverizar o combustível para que se possa dar a combustão. Na empresa são feitos quatro modelos divididos em duas sub-famílias chamadas “longos” e “curtos”.

No setor produtivo existem duas linhas de produção de válvulas que se caracterizam pelo alto grau de automatização, com diversos processos de fabricação integrados realizados por 26

postos de trabalho com 4 operadores no total. O transporte das peças entre as máquinas é por linha *transfer* controlado por computador.



Figura 6.14: Exemplo de linha *transfer* para movimentação de peças entre postos

Pode-se citar duas razões para que a linha seja tão automatizada. Em primeiro lugar, o produto final atua diretamente com materiais combustíveis e não pode falhar durante seu funcionamento. O controle de qualidade é muito rigoroso e realizado logo após alguns postos por diagnóstico por imagem computadorizada; somente no final da linha há uma análise visual. Dessa forma, o manuseio é bastante minimizado durante o processo de produção.

A segunda razão de automatização é porque o valor agregado do produto é alto e interessa que sua produção tenha baixa ociosidade. Por este segundo motivo, compreende-se a necessidade e exigência de rápidos *changeovers* para ter maior taxa de ocupação da linha.

Nesta linha já foi aplicada a metodologia SMED e, conforme previsto após aplicação da metodologia, o tempo esperado para cada *setup* é de 15 minutos. Este é o tempo que a gerência acreditava ser o tempo de máquina parada e de perda real de produção a cada atividade de *setup* da linha, antes de realizar-se a pesquisa.

#### **6.4.1 Estudo do desempenho do *changeover***

Nesta linha, como requisito básico desta pesquisa, já foram aplicadas as melhorias possíveis a partir da aplicação da metodologia SMED. Para as viradas de produção, é chamado um preparador que tem a responsabilidade da troca de ferramentas e do ajuste de máquinas, em trabalho conjunto com operadores de produção. Conforme a seqüência de lotes de produção, o número de postos a serem ajustados pode variar entre 8 no mínimo e 20 no máximo.

Para este estudo de caso, acompanhou-se o desempenho de uma virada de produção mais complexa: passou-se de um lote de peça “longa” para um lote de peça “curta”. Formou-se uma equipe com membros da engenharia industrial e de pesquisadores da universidade que acompanharam as atividades de virada de produção desta linha. O único material especial utilizado para este trabalho foi um cronômetro com nove memórias com registro de minutos centesimais. Este aparelho foi utilizado por um cronoanalista treinado para este tipo de tarefa.

A coleta de dados consistia de cronometragem do tempo de saída de cada peça e nove minutos depois se iniciou o *changeover* da linha, com a troca de ferramentas da primeira máquina, uma injetora plástica. Como o *lead-time* desta linha de produção é de aproximadamente 60 minutos, até a parada total de produção, 684 peças A ainda saíam da linha.

Após trinta minutos de linha totalmente parada, o primeiro produto B começou a ser produzido e os tempos seriam cronometrados por mais 87 minutos.

No total, a equipe permaneceu durante 188 minutos acompanhando a virada da produção. Ao final deste período, acreditava-se que a linha já estaria com capacidade de produção estabilizada. Realizou-se a contagem de produtos por minuto e o resultado desta primeira análise gerou a figura 6.15 que está associada com o quadro 6.4.

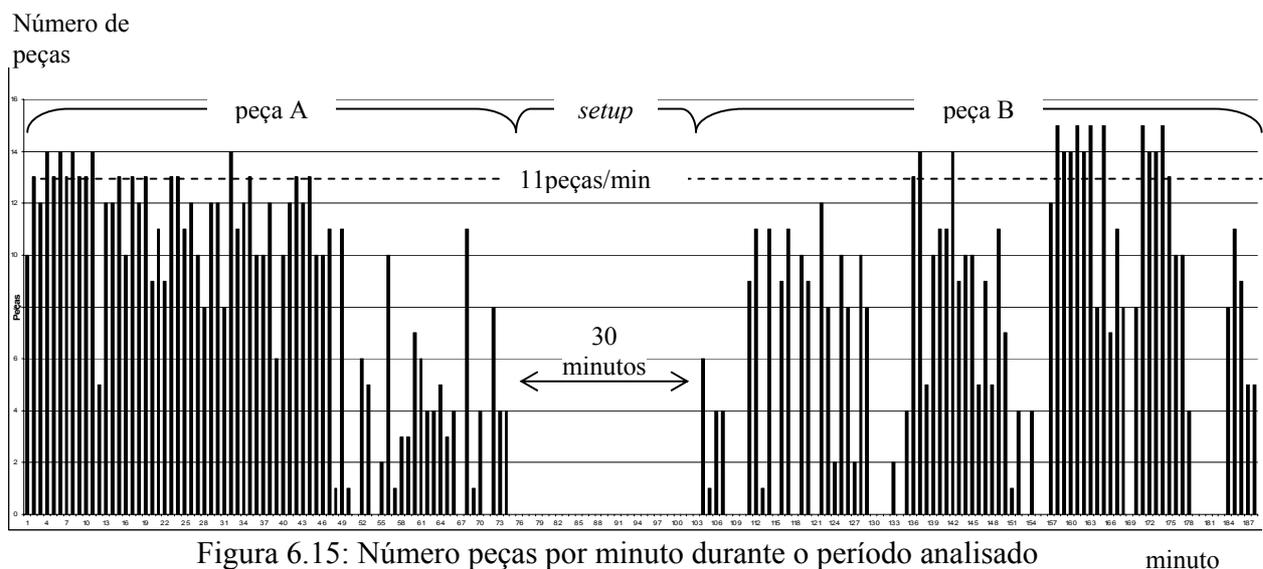


Figura 6.15: Número peças por minuto durante o período analisado

minuto

#### Quadro 6.4: Dados do *changeover* no caso Gama

Tempo de permanência da última peça A na linha de produção = 68 minutos  
Tempo de permanência da primeira peça B na linha de produção = 95 minutos  
Tempo do *setup* = 30 minutos  
Tempo total de análise = 188 minutos  
Tempo de *changeover* ( $T_c$ ) = 178 minutos  
Número total de peças feitas na análise = 1.243 peças  
Número de peças feitas no  $T_c$  = 1.126 peças

Observando a figura 6.15, o tempo real de linha parada pelo *setup* foi de 30 minutos (do minuto 74 ao minuto 103). Percebe-se também que a taxa de produção oscila em duas situações: na primeira, após o 9º minuto, quando se iniciou a virada de produção ou período de desaceleração; na segunda, durante o período da retomada da produção da peça B, notou-se a marcante presença de muitos períodos sem produção. Foram 14 minutos sem produção, mesmo após 30 minutos de *setup* (linha sem produção).

Segue-se agora um cálculo sistemático da perda de produção ocorrida neste período avaliado.

#### 6.4.2 Cálculo da perda de produção

Aplicando o modelo apresentado na fórmula [5.2] do capítulo anterior, inicia-se o cálculo da perda de produção. Foi informado pela empresa que o tempo médio que a linha libera uma peça em plena produção é de 4,63 segundos. No período analisado, o tempo disponível de produção foi de 178 minutos, isto é, início no minuto 9 até o fim da tomada de tempo, o minuto 188. Com estes dados, pode-se calcular a produção esperada neste intervalo de tempo:

$$PE (178 \text{ min}) = [(178 \times 60) \div 4,63] \times 85\% = 1.961 \text{ peças} \quad [6.1]$$

A taxa de eficiência desta linha é de 85% e é utilizada pela engenharia da empresa como índice de ajuste de cálculo de capacidade produtiva. Conforme quadro 6.4, a produção do período

foi de apenas 1.243 peças, então se calcula a diferença de peças que esperava ser produzida e o tempo que significou de máquina parada:

$$PP (178 \text{ min}) = (1.961 - 1.126) \times 4,63 = 835 \times 4,63 = 3.865 \text{ s ou } 64,4 \text{ min} \quad [6.2]$$

A perda total de produção nos períodos de desaceleração, tempo de *setup* e retomada igualou-se então a 64,4 minutos de linha parada. Utilizando-se a mesma fórmula para cada um dos períodos, na tabela 6.5 há uma avaliação de perda conforme tempo e peças não produzidas.

Tabela 6.5: Perda real de peças e tempo associado

	Peças não produzidas	Tempo associado
Período de desaceleração	118	9,1 min
<i>Setup</i> (período sem produção)	388	30 min
Período da retomada	329	25,3 min
<b>TOTAL</b>	835	64,4 min

Estes resultados indicam uma perda na virada de produção muito acima dos 15 minutos previstos pela gerência de área. Trata-se de uma perda de produção ignorada e certamente não considerada nos custos produtivos.

Com relação aos descartes ou refugos, os engenheiros afirmam que não há existência de perdas dessa natureza. Não foi possível analisar possíveis refugos em setores além da linha observada. Provavelmente, após a análise visual ao final da linha, orienta-se algumas peças para possíveis retrabalhos. Todavia, de acordo com dados informados, não é possível computar perdas pelos descartes por conta da virada de produção.

#### 6.4.3 Fim do período da retomada

A linha tracejada da figura 6.15 refere-se à quantidade ideal para um minuto de produção e utilizou-se a fórmula [5.1] para calcular a taxa ideal de produção para 1 minuto:

$$PE (1 \text{ min}) = [60 \div 4,63] \times 85\% = 11 \text{ peças} \quad [6.3]$$

Comparando com os dados do quadro 6.3, as médias nos dois períodos ficaram muito aquém da meta de 11 peças/minuto o que significa grande perda de capacidade de produção.

Para conhecer o tempo de retomada, é necessário saber quando a taxa de produção atinge seu nível esperado. Com a linha tracejada na figura 6.15, fica visível a dificuldade para se estabelecer o momento final do período da retomada. Aparentemente, calculando-se as colunas de peças por minuto, pode-se considerar o minuto 136 como o momento que se encerraria o período da retomada por atingir a meta de produção. Mas, pelo gráfico, percebe-se que há ainda muitos períodos de menor taxa de produção.

Tais oscilações demonstram que a produção não conseguiu sua estabilização, por conta principalmente das atividades de ajustes de máquinas. Para compreender esta realidade com outra perspectiva, experimentou-se calcular a quantidade de peças produzidas em intervalos de tempo de 10 min. A taxa de produção esperada para este intervalo de tempo calcula-se da seguinte forma:

$$PE (10 \text{ min}) = [(10 \times 60) \div 4,63] \times 85\% = 110 \text{ peças} \quad [6.4]$$

Na figura 6.16 estão representadas colunas de quantidade de peças produzidas em espaços de 10 minutos. Realizou-se a contagem de peças produzidas neste intervalo de tempo e, conforme fórmula [6.4], a meta de produção neste período de tempo desta linha era de 110 peças. Curiosamente nesta organização dos dados, analisando 70 minutos de retomada de produção, o nível esperado de capacidade produtiva na taxa de produção para 10 minutos não havia sido alcançado. Isto se compreende que em intervalos de tempo mais longos, incorporam-se as deficiências da retomada de produção.

Pelo fato de não ter atingido a meta de 110 peças por 10 minutos, permanece a dúvida de quanto tempo a mais seria necessário calcular a saída de peças para que se descobrisse o término do período da retomada. Percebe-se, portanto, a dificuldade de definir o fim do período da retomada, assim como a possível influência negativa das atividades de *setup* na capacidade de produção.

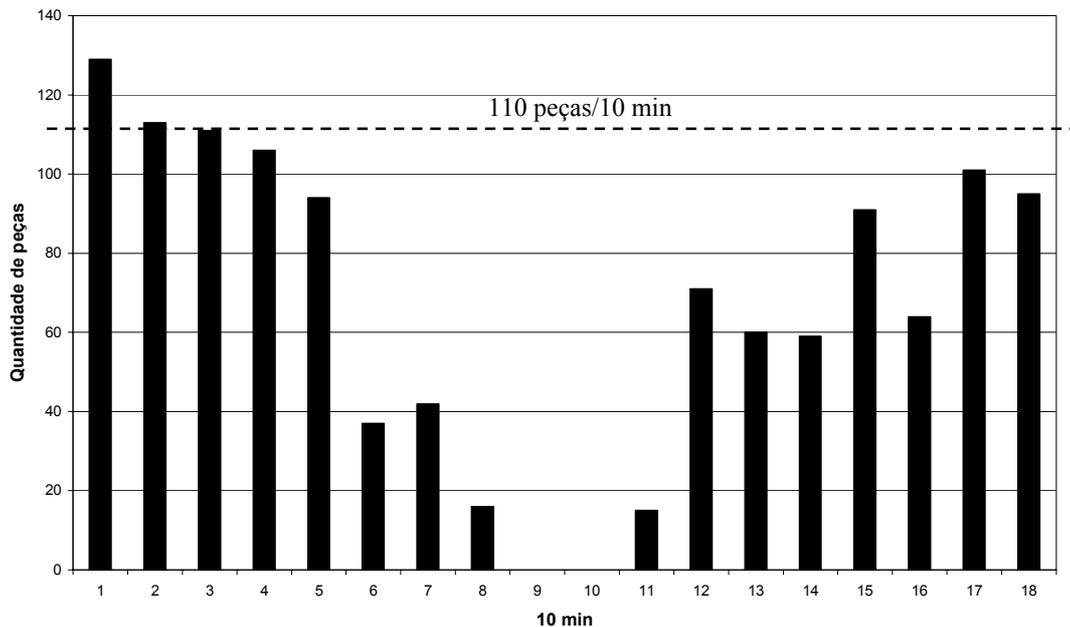


Figura 6.16: Períodos de desaceleração e retomada em intervalo de 10 minutos

#### 6.4.4 Ajuste em posto crítico

Após a coleta e análise de dados numéricos de perda de produção, iniciou-se um questionamento aos engenheiros de produção em busca do conhecimento das causas da perda de produção no período da retomada.

Para isso, procurou-se correlacionar as perdas de produção com as atividades da virada de produção na linha do tempo. O primeiro resultado foi a figura 6.17 na qual estão indicados os pontos que indicam os momentos das principais atividades de *changeover* realizadas. Na tabela 6.6 estão citadas as legendas das indicações. Vale notar que a indicação da operação na linha do tempo não conseguiu ser preciso para os índices  $\underline{c}$  e  $\underline{d}$  sendo que alguns cabeçotes ficaram aglutinados. No conjunto da virada, destaca-se o tempo gasto com a troca de ferramentas da estação 18, um posto ou estação de ajustes de vazão dinâmica e medição da vazão estática da válvula de injeção. O posto consiste de uma máquina com 8 cabeçotes que funcionam em paralelo para manter o ritmo de produção da linha

A troca e ajuste nesta estação são feitos em seqüência nos 8 cabeçotes e o preparador libera cada cabeçote para a produção de um novo produto somente a aprovação dos parâmetros.

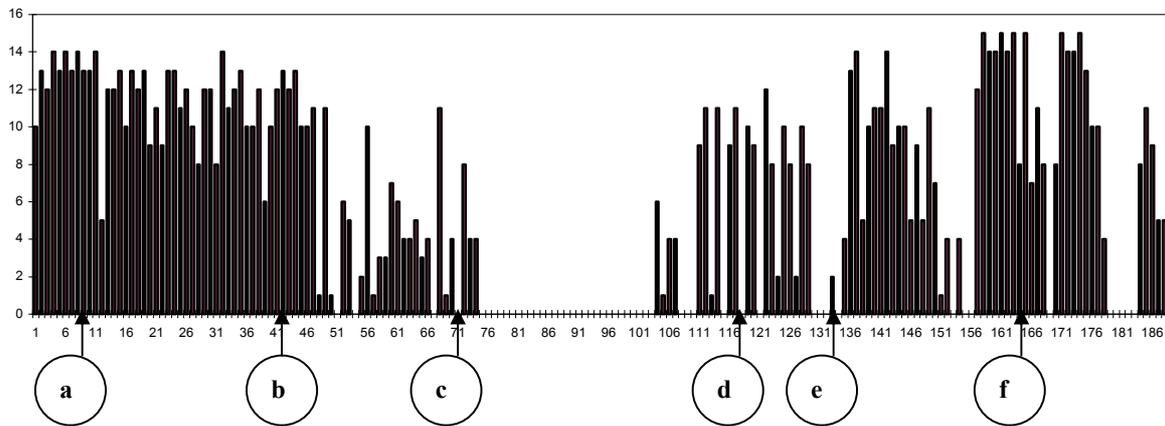


Figura 6.17: Correlação atividade de *setup* nas unidades de tempo

Tabela 6.6: Descrição das atividades

índice	momento	Atividade
a	9 min 01s	<i>Setup</i> máquina injetora : início da virada de produção
b	42 min 10s	Início na <b>estação 18</b> (posto crítico), cabeçote 1
c	73 min 36s	<b>Estação 18</b> , cabeçote 2, 3 e 4
d	119 min 01s	<b>Estação 18</b> , cabeçote 6 e 7
e	134 min 48 s	<b>Estação 18</b> , cabeçote 8
f	167 min 03 s	Fim <b>estação 18</b>

O ajuste de cada cabeçote é manual e não indexado, sendo então um procedimento crítico na virada de produção. O ajuste depende do conhecimento técnico do preparador e a virada de produção desta linha fica na dependência desta habilidade.

Soluções organizacionais possíveis já foram implementadas tais como melhoria de método, treinamento. Todavia, não resolvem o problema que é a existência do ajuste que é possível de ser solucionado com um projeto de engenharia ou de elaboração de projeto para *changeover*.

A realização do *changeover* na estação 18 foi de 126 minutos, isto é, 70% do tempo total da virada da linha considerando 126 minutos em um total de 178 minutos de *changeover* conforme quadro 6.4. Este tempo distribuiu-se desigualmente entre os cabeçotes, conforme tabela 6.7:

Tabela 6.7: Tempo gasto no *changeover* de cada cabeçote do posto crítico

	Cabeçote								Outros	Total
	1	2	3	4	5	6	7	8		
min	21,4	15,4	19,6	4,4	0	9,6	6,1	30,6	18,9	126

Alguns comentários sobre os dados da tabela precisam ser feitos. O cabeçote cinco estava em manutenção e por isso o tempo de troca está nulo. Embora a falta do cabeçote possa ter prejudicado a retomada da produção a linha operava em bom ritmo sem o mesmo. O tempo gasto com transporte de ferramentas, saída para outras atividades do preparador, etc. está computado em “outros”. Percebe-se uma grande variação do tempo de troca e que os valores individuais são altos em sua maioria. A média de *changeover* por cabeçote foi de 18 min, considerando o tempo total de 126 minutos dividido entre sete cabeçotes.

A grande dificuldade na realização da troca encontra-se no ajuste de cada cabeçote até que a peça fosse aprovada. Neste caso, há uma dependência do preparador que detém o conhecimento do ponto exato de posicionamento dos instrumentos. A falta de um ajuste indexado prejudica o desempenho da preparação e amplia a variação. Pode-se concluir que o posto crítico ampliou as imprevisões do período da retomada. O grande número de operações paralelas que devem ser preparadas para novo lote somado às dificuldades do ajuste prejudicaram o desempenho do *changeover*. A retomada da taxa de retomada depende muito de que os cabeçotes que operam em paralelo estejam todos em iguais condições de produção. Enquanto a operação de ajuste não for melhorada, a perda no período da retomada seguirá alta, conforme identificado no estudo de caso.

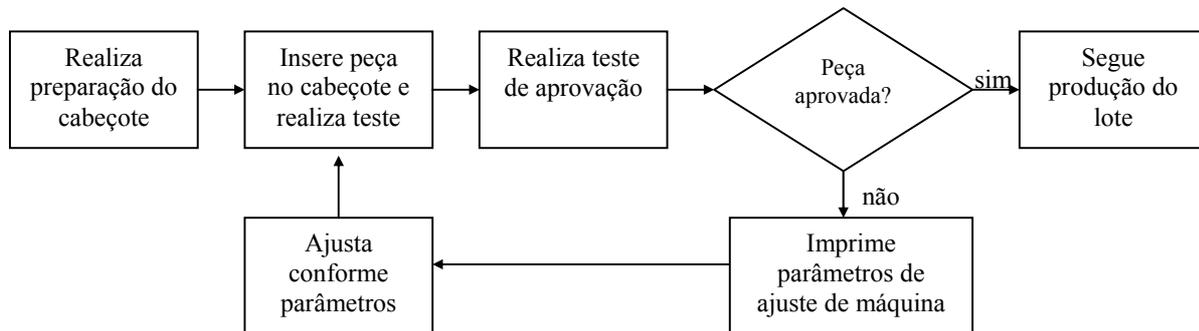


Figura 6.18: Procedimento de ajuste de cabeçote na estação 18

#### **6.4.5 Aplicação do Método de Classificação no Caso Gama**

No estudo de caso Gama foi possível realizar todas as análises previstas na proposição desta tese. Com os dados de tempo de saída de cada peça foi possível realizar análise de perda de produção em dois gráficos e em todos os períodos que compõem o *changeover*. Com estas análises, dirigiu-se melhor o estudo das causas de oscilações do período da retomada destacando qual o posto crítico e seu desempenho.

Observando a tabela 6.8 na página seguinte, é possível identificar três elementos geradores de instabilidade que são: “operações em paralelo”, “interdependência de máquinas” e “dependência de preparador”.

##### **A) Operações em paralelo**

No caso Gama, constatou-se o problema das operações em paralelo, de forma mais aguda por haver uma máquina com 8 cabeçotes em operações em paralelo. Notou-se maior perda de produção no período da retomada e tempo mais que esperado até atingir a taxa de produção.

##### **B) Interdependência de máquinas**

Há uma dificuldade em ajustar cada cabeçote da estação 18 porque a mesma não possui chaveamento simples. A experiência do preparador é que posicionará o ajuste do cabeçote no ponto correto para o lote seguinte.

##### **C) Dependência do preparador**

Mais do que uma causa, a habilidade do preparador é também uma consequência dos problemas do projeto de máquina. Ele se torna imprescindível para o bom desempenho da máquina e sem ele, não é possível iniciar as operações de *changeover*. De certa forma, a virada de produção e toda a linha de produção ficam na dependência deste profissional. Ele ditará a velocidade de retomada da produção da linha.

Tabela 6.8: Resultado do Método de Classificação no estudo de caso Gama

<b>Descrição</b>		
Linha de produção com alto grau de automatização com 26 postos. Destaca-se a dificuldade de realização de ajustes da estação 18.		
<b>Elementos – Caso Gama</b>	<b>Sentenças</b>	<b>Classificação</b>
<i>Fatores de Projeto</i>		
<b>Máquina</b> Grau de projeto de máquina para realização de <i>setup</i>	Troca de ferramenta relativamente simples	<b>Intermediário</b>
Operação realizada com recursos emparelhados	Máquina crítica com 8 cabeçotes em paralelo	<b>Gera instabilidade</b>
Interdependência do <i>setup</i> das máquinas	<i>Setup</i> seqüenciado	<b>Gera instabilidade</b>
Processo de aprovação de ajuste	Ajuste e aprovação dependem do preparador	<b>Gera instabilidade</b>
Manutenção	Linha com TPM	<b>Domínio</b>
<b>Ferramentas e dispositivos</b> Equipamentos para <i>setup</i>	Investimento em dispositivos	<b>Domínio</b>
<i>Fatores Organizacionais</i>		
<b>Meio ambiente</b> Aspectos organizacionais	Melhoria do <i>setup</i> é estratégico	<b>Domínio</b>
Compreensão do período da retomada	Empenho em reduzir perdas no <b>período da retomada</b>	<b>Intermediário</b>
<b>Mão de obra</b> Dependência de preparador após reinício da produção	Preparador especialista. <i>Changeover</i> não ocorre sem este profissional.	<b>Gera instabilidade</b>
Motivação e treinamento	Preparador com treinamento	<b>Domínio</b>
Melhoria contínua	Processo de <i>kaizen</i>	<b>Domínio</b>
<b>Método</b> Método de trabalho	Método de trabalho é estável entre turnos	<b>Domínio</b>
Planejamento da seqüência de lotes	Conhecimento do próximo lote com antecedência	<b>Domínio</b>
<b>Medida</b> Registro de tempo de troca e da perda de produção	Tempos de <i>setup</i> é sempre registrado	<b>Domínio</b>
<b>Materiais</b> Matéria prima	Controle de qualidade rigoroso	<b>Domínio</b>

## **6.5 COMENTÁRIOS**

Este capítulo ilustrou a tese com três estudos de caso que fundamentam a proposta de classificação elaborada no capítulo cinco. Foi possível aplicar o Método de Classificação nestes mesmos casos. Embora sejam casos de indústria metal-mecânica, são muito diferentes entre si por abordarem sistemas de produção diferenciados. Cada um deles trouxe luzes novas sobre o tema.

Com os estudos de casos, foram realizados muitos acertos e ajustes conceituais na Planilha de Classificação de Conceitos do período da retomada. Ao final, as sentenças internas da Planilha orientaram bem na classificação dos elementos dos casos.

O método de pesquisa com estudo de casos múltiplos revelou-se muito importante na geração e testes de conceitos. O resultado final foi satisfatório e com contribuições muito relevantes para a compreensão da virada de produção e, em destaque, as causas do período da retomada. Trata-se de um método que depende da qualidade do pesquisador que deve procurar ser isento do objeto analisado e deve ser capaz de observar discernindo os detalhes mais relevantes de sua pesquisa.

A apresentação dos resultados do Método de Classificação nos casos deste capítulo oferece uma rápida visualização das causas possíveis do período da retomada, com separação entre fatores de projeto e organizacional. A estrutura do Método traz muitos conceitos relevantes ao conhecimento científico por coordenar diversos tópicos de engenharia de produção. Trata-se de uma contribuição importante desta tese.

No capítulo 7, são apresentadas aplicações em outras empresas para buscar uma validação do modelo proposto.

## **CAPÍTULO 7**

### **APLICAÇÃO EM ESTUDOS DE CASO PARA VALIDAR A PROPOSTA**

#### **7.1 INTRODUÇÃO**

Como forma de validar a proposição desta tese e examinar a consistência dos conceitos, neste capítulo serão apresentadas duas aplicações do Método de Classificação em duas empresas. As empresas também são do ramo metal-mecânico, mas com dimensões bem diferentes. Uma delas é uma multinacional de grande porte e a outra é uma pequena empresa familiar na área de usinagem de precisão. Apesar de diferentes dimensões e tipo de gerenciamento, em ambos os casos o acompanhamento da virada de produção foi “puxada” pelo cartão *kanban* o que significa que as empresas estão comprometidas em realizar a implantação do sistema de produção nos moldes do STP de forma integrada.

Ao assistir os casos, foi utilizada o Método para captar o *status* de cada elemento do período da retomada, questionando o preparador e o responsável pela produção para esclarecer aspectos concretos do desenvolvimento do *changeover*. Foi possível preencher os dados necessários para mapear os principais problemas na virada de produção dos estudos de caso. Os resultados foram diferentes para cada caso e, o que é importante para esta tese, o uso do Método e da Planilha de Classificação de Sentenças auxiliou bastante a análise da virada de produção.

## 7.2 CASO DELTA – CÉLULA DE MONTAGEM

O estudo de caso Delta foi realizado em uma célula de montagem de componentes de autopeças em uma empresa metal-mecânica na cidade de Campinas. A empresa é uma multinacional de origem alemã, com intenso trabalho de padronização de atividades. Os componentes produzidos nesta célula têm demanda alta e atendem clientes diversificados. Há uma exigência de rápidas viradas de produção para ter capacidade de atendimento.

O arranjo celular estudado é composto de 10 postos de trabalho, operada por 9 funcionários e acompanhada por 1 preparador. O tempo de ciclo de produção varia entre 10 a 15 segundos. Nesta célula foram analisadas duas viradas de produção sendo uma delas com mudanças em apenas dois postos e outra virada com alterações em todos os postos. O quadro 7.1 traz alguns aspectos específicos desta célula.

Quadro 7.1: Dados do estudo de caso Delta

- Como é definido *setup/changeover* na empresa:  
Há uma atenção ao que significa período da retomada.
- Tempo de preparação:
  - Virada simples (dois postos): 5 minutos
  - Virada total (todos os postos): 8 minutos
- Sistema produtivo: célula de montagem
- Número de operadores: 9
- Número de preparadores: 1

Conforme quadro 7.1, o conceito de *changeover* nesta empresa considera relevante o período da retomada, o que leva a uma busca de redução de perdas no período pós-*setup*. O tempo de virada é bastante curto, atingindo nas duas viradas observadas, menos de 10 minutos para a virada completa. Na virada simples, a troca é quase imperceptível. Estas informações demonstram como esta empresa está bastante avançada em termos de *changeover*.

Na tabela 7.1 são apresentados os resultados do estudo de caso de acordo com o Método de Classificação. A utilização deste Método exigiu uma atenção aos pormenores da virada de produção e também uma melhoria das sentenças sugeridas.

Tabela 7.1: Classificação do estudo de caso Delta conforme modelo proposto

<b>Descrição</b>		
Célula de montagem com 10 postos, 9 operadores e 1 preparador. Em todo turno há pelo menos uma virada de produção que dura no máximo 10 minutos.		
<b>Elementos – Caso Delta</b>	<b>Sentença</b>	<b>Classificação</b>
<b>Fatores de Projeto</b>		
<b>Máquina</b>		
Grau de projeto de máquina para realização de <i>setup</i>	Não há troca de ferramentas	<b>Domínio</b>
Operação realizada com recursos emparelhados	Não há operações em paralelo	<b>Domínio</b>
Interdependência do <i>setup</i> das máquinas	Independente em cada posto	<b>Domínio</b>
Processo de aprovação ajuste	Ajustes muito simples e independentes	<b>Domínio</b>
Manutenção	Linha com TPM	<b>Domínio</b>
<b>Ferramentas e dispositivos</b>		
Equipamentos para <i>setup</i>	Forte investimento em dispositivos	<b>Domínio</b>
<b>Fatores Organizacionais</b>		
<b>Meio ambiente</b>		
Aspectos organizacionais	Apoio gerencial	<b>Domínio</b>
Compreensão do período da retomada	Compreensão do conceito	<b>Domínio</b>
<b>Mão de obra</b>		
Dependência de preparador após reinício da produção	Preparador coordena a troca	<b>Domínio</b>
Motivação e treinamento	Funcionários com treinamento	<b>Domínio</b>
Melhoria contínua	Processo de <i>kaizen</i>	<b>Domínio</b>
<b>Método</b>		
Método de trabalho	Método de trabalho é estável entre turnos (MTM)	<b>Domínio</b>
Planejamento da seqüência de lotes	Conhecimento do próximo lote com antecedência ( <i>kanban</i> )	<b>Domínio</b>
<b>Medida</b>		
Registro de tempo de troca e da perda de produção	Tempo de <i>setup</i> é sempre registrado e auditado	<b>Domínio</b>
<b>Materiais</b>		
Matéria prima	Controle de qualidade rigoroso	<b>Domínio</b>

Observando a tabela 7.1, percebe-se que não há elementos que provoquem o alongamento período da retomada. De fato, ao observar a virada de produção no estudo de caso Delta, percebeu-se que não há um período de recuperação com perdas produtivas. Tanto os elementos de projeto como os elementos organizacionais geram domínio, sendo que neste estudo de caso destacam-se alguns conceitos:

#### **A) Célula de montagem com muitos operadores**

Este caso destacou-se por ser uma montagem sem troca de ferramentas, isto é, nesta célula trocavam-se alguns dispositivos que não tinham necessidade de intensos ajustes. Há um trabalho muito forte de padronização de atividades, registro de tempos e controle da retomada da produção. É importante ressaltar que os próprios operadores realizam o *changeover* em seu posto de trabalho com coordenação de um preparador.

#### **B) Setup independente**

Sendo um arranjo celular de montagem, há uma característica própria deste caso que o faz distinto do caso Beta, descrito no capítulo anterior: a virada é independente entre os postos de trabalho. Conclui-se que o Método está bem ajustado neste quesito.

#### **C) Integração entre preparador e operadores**

Os operadores têm dinâmica de equipe, com rodízio de funções e apoio mútuo caso haja alguma sobrecarga de trabalho. Cada operador realiza as mudanças sem necessitar de auxílio do preparador e a retomada da produção é instantânea e simultânea. Uma novidade percebida neste estudo de caso *changeover* é a existência de um caderno de liberação, uma espécie de diário de bordo que registra os dados após o *setup*, que é uma exigência das normas ISO e QS. Informações da máquina e manutenção de dispositivos são preenchidas no caderno a cada virada.

#### **D) Nivelamento da produção**

Nesta empresa existem várias células de montagem semelhantes ao estudado, mas dedicados a outras famílias de produtos. Na célula deste caso, as diferenças entre os produtos são

pequenas o que possibilita o baixo tempo de troca, possibilitando muitas viradas de produção por dia. Como foi indicada no quadro 7.1, a virada simples é de apenas 5 minutos e envolve apenas dois postos da célula inteira.

Com isso, há um nivelamento de produção semanal, distribuindo para cada dia a produção de lotes fixos de diversos modelos. Por exemplo, de acordo com a estratégia de produção de um cliente, há um acordo de produção diária de um item que é expedido diariamente. A virada de produção acaba sendo planejada em horário fixo por conta da entrega fixa e diária.

Com este nivelamento é possível planejar o momento de algum *setup* crítico, realizando-o no turno em que é possível receber atenção da área de qualidade e controle de produção. Com isso, as demais trocas menos críticas são feitas em outros turnos da empresa.

#### **E) Controle de *setup***

No estudo de caso, foi possível perceber a utilização de “apontadores de pontos críticos” em *setup*. Os dados de troca são computados e nos casos em que o tempo de troca for incomum, há uma busca das razões que geraram o problema.

#### **F) Influência do MTM**

Nesta empresa, o uso de tempos pré-determinados MTM (*Methods Time Measurement*) é intenso e influencia os trabalhos de racionalização de atividades. O trabalho de padronização de atividades de *setup* é conduzido por especialistas em MTM o que significa melhorias consistentes em elementos organizacionais, em especial, método de trabalho e tempo. Pode-se afirmar que a auditoria de tempo de troca é precisa e mantém o padrão das atividades de *setup*.

#### **E) Possibilidades futuras**

Embora esteja em condições ótimas, oportunidades de melhoria foram identificadas na virada de produção: há a possibilidade de realizar trabalhos conjuntos com a engenharia de postos de trabalho para que futuros postos favorecessem a realização de viradas mais rápidas. Uma espécie de engenharia simultânea associada ao Projeto para *Changeover*.

### 7.3 CASO EPSILON – TORNO AUTOMÁTICO

O estudo de caso Epsilon foi o acompanhamento de troca de ferramentas de um torno automático em uma empresa de usinagem de precisão situada na cidade de São Paulo. Um dos seus clientes é uma empresa que produz bancos para caminhões e, junto com os demais fornecedores desta empresa, participam de um programa de desenvolvimento de fornecedores nos conceitos de manufatura enxuta. Responsáveis pela empresa do caso Epsilon afirmam que já implantaram o programa de 5S\* e o sistema de produção puxada com uso do quadro de cartões. Na visita realizada, percebe-se um empenho real na aplicação destas metodologias embora, como será visto mais adiante, ainda há muito a evoluir no uso das mesmas.

Foi possível acompanhar uma virada de produção que, de acordo com preparador, não era das mais complexas, mas significava a troca e ajustes de 15 ferramentas (trem de engrenagem, dispositivos, curvas e bedame). O próprio preparador realizava a análise de dimensão de cada corte realizado na peça do novo lote. A peça concluída ainda seria verificada pelo analista de qualidade antes da liberação do lote. O tempo de ajuste é muito alto e ocupa uma grande parcela do tempo total da preparação (2 horas e 15 minutos). Os dados gerais seguem no quadro 7.2.

Quadro 7.2: Dados do estudo de caso Epsilon

- Como é definido *setup/changeover* na empresa:  
*Setup* é o tempo entre lotes. Metodologia SMED ainda em consolidação
- Tempo de preparação: 2 horas e 15 minutos
- Sistema produtivo: torno automático
- Número de operadores: 1
- Número de preparadores: 1

Ainda há muito a realizar em termos de melhorias na virada de produção na empresa do caso Epsilon. A preocupação com o período da retomada ainda está muito remota, sendo que há mais atenção com o tempo de *setup* e melhorias de atividades básicas. Contudo, na tabela 7.2 há a aplicação do Método no caso estudado com comentários em seguida.

---

\* metodologia utilizada para melhorar a organização dos ambientes de trabalho, graças à mudança de atitude das pessoas ao seguirem os 5 passos recomendados pelo programa.

Tabela 7.2: Classificação do estudo de caso Epsilon conforme modelo proposto

<b>Descrição</b>		
Acompanhamento de <i>setup</i> em torno automático. Projeto ainda inicial de aplicação da metodologia SMED, e tempo total de <i>changeover</i> de 2 horas e 15 minutos.		
<b>Elementos – Caso Epsilon</b>	<b>Sentença</b>	<b>Classificação</b>
<i>Fatores de Projeto</i>		
<b>Máquina</b> Grau de projeto de máquina para realização de <i>setup</i>	Máquina simples; troca com muitos parafusos	<b><i>Gera instabilidade</i></b>
Operação realizada com recursos emparelhados	(máquina individual)	
Interdependência do <i>setup</i> das máquinas	(máquina individual)	
Processo de ajuste	Processo de ajustes de ferramenta dependente de conferência e aprovações	<b><i>Gera instabilidade</i></b>
Manutenção	Máquina antiga mas com manutenção	<b><i>Intermediário</i></b>
<b>Ferramentas e dispositivos</b> Equipamentos para <i>setup</i>	Nível de organização das ferramentas insuficiente para bom andamento do <i>changeover</i>	<b><i>Intermediário</i></b>
<i>Fatores Organizacionais</i>		
<b>Meio ambiente</b> Aspectos organizacionais	Apoio gerencial	<b><i>Domínio</i></b>
Compreensão do período da retomada	Total desconhecimento	<b><i>Gera instabilidade</i></b>
<b>Mão de obra</b> Dependência de preparador após reinício da produção	Troca depende da habilidade do operador que realiza análise visual para ajuste	<b><i>Gera instabilidade</i></b>
Motivação e treinamento	Fase de conhecimento da metodologia	<b><i>Intermediário</i></b>
Melhoria contínua	Aplicação básica dos conceitos de <i>kaizen</i>	<b><i>Intermediário</i></b>
<b>Método</b> Método de trabalho	Não há método padronizado	<b><i>Gera instabilidade</i></b>
Planejamento da seqüência de lotes	Produção puxada com <i>kanban</i> , cliente influencia no planejamento	<b><i>Intermediário</i></b>
<b>Medida</b> Registro de tempo de troca e da perda de produção	Tempos registrados pelo preparador. Não há controle de perda	<b><i>Intermediário</i></b>
<b>Materiais</b> Matéria prima	Normas ISO em implantação	<b><i>Intermediário</i></b>

Como na empresa do caso Epsilon não há controle de *setup*, não há padrão de tempo e também não há conhecimento de número de peças descartadas. Várias peças são produzidas em tentativa e erro para chegar até a primeira peça boa avaliada pelo analista de qualidade e pelo operador. Com liberação do lote, finaliza-se a atividade de troca.

Destaca-se na planilha preenchida a realidade de que há apenas um elemento que já se encontra sob domínio. Os demais itens geram instabilidade ou são intermediários. Isto é compreensível nesta empresa, pois a implantação da metodologia SMED ainda se encontra em estágio inicial. De qualquer forma, é possível extrair algumas lições deste caso analisado.

#### **A) Níveis de maturidade em *Changeover***

O caso Epsilon ocorre em uma empresa que ainda se encontra em uma fase inicial da implantação da metodologia SMED. Ainda há muitas etapas a serem seguidas. Com isso, o Método de Classificação captou informações do desempenho do *setup* e dos problemas existentes na empresa. Uma possibilidade de trabalho é a geração de uma escala de níveis de maturidade em *changeover*, na qual se pode ter casos principiantes como é o Epsilon e casos mais avançados como o Delta. O desenvolvimento de níveis de maturidade pode ser elaborado em trabalho futuro.

#### **B) Uso de *kanban* não considera a seqüência ótima**

A produção puxada pelo sistema *kanban* dita a seqüência de produção pelo critério “primeiro em prioridade, primeiro a sair” para o atendimento da demanda. Por não considerar familiaridade entre peças, a troca pode ter tempo muito variável conforme seqüência. Contudo, a empresa utiliza um tempo fixo de *setup* entre lotes para programação de produção. Para solucionar este problema, como a empresa possui 5 tornos automáticos, é possível que o planejamento de produção considerasse a seqüência ótima de forma a coordenar algum tipo de nivelamento de produção mais adequado. Assim os tempos poderiam ser reduzidos pelo planejamento da seqüência.

### **C) Dependência do operador**

Conforme informado pela gerência, há uma correlação muito grande entre qualificação do preparador e o tempo de *setup*. Para o mesmo caso Epsilon, um outro operador faria a troca em 3 horas. A habilidade requerida no ajuste fino, escolha de ferramentas, calço, etc são feitas com análise visual e em tentativas e erros.

### **D) Trabalho em paralelo**

Associado ao item anterior, o tempo de *setup* poderia ser reduzido com trabalho em paralelo. Com isso, facilitaria o processo de treinamento de novos operadores e diminuiria a dependência de um funcionário mais qualificado.

Um aspecto positivo deste caso estudado é que pelo menos há boa disposição da gerência, que no Método acaba sendo o único item de domínio.

## **7.4 COMENTÁRIOS**

O Método de Classificação possibilitou captar o estágio em que se encontra cada elemento que causa o período da retomada em *changeover*. Os casos analisados neste capítulo confirmam que os conceitos estão adequados e as sentenças de aplicação conceitual bem dirigidas. Embora os casos fossem bastante distintos, a aplicação do método possibilitou a classificação de forma clara orientando o analista dos pontos mais graves do *setup* com possíveis melhorias ou os pontos positivos em que há um desempenho satisfatório de domínio no período da retomada.

Sua limitação é que sua aplicação depende do grau de conhecimento do analista dos conceitos descritos. Não se trata de uma análise imediata e exige um certo cuidado para realizar a classificação de cada elemento com certo critério. Vale dizer que o mesmo acontece com a “Metodologia Matricial” elaborada pelo ICP que, embora tenha consistência conceitual, para que seja aplicado, requer que o analista conheça muito bem sua estrutura, que não é simples.

## **CAPÍTULO 8**

### **CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS**

#### **8.1 CONCLUSÕES**

Este trabalho teve como objetivo geral propor uma classificação dos elementos do período de aceleração e, partindo das causas primárias do Diagrama de Ishikawa, foram utilizadas as informações da revisão bibliográfica e dos estudos de casos múltiplos gerando-se, por fim, o Método de Classificação dos elementos do período de aceleração. Tal método foi aplicado em outros dois estudos de caso para confirma o seu conteúdo.

A revisão bibliográfica foi ampla e trouxe informações importantes sobre o SMED, metodologia de Shigeo Shingo, e sobre o estado da arte em *changeover*, na qual se destacam os trabalhos do grupo ICP que formaram a base para o desenvolvimento desta tese. A troca de informações com um dos seus participantes possibilitou o intercâmbio de artigos e comentários recíprocos sobre as pesquisas realizadas.

O estudo sobre as causas do período de aceleração conduziu à formação de um conjunto de conceitos divididos em fatores de projeto e fatores organizacionais. Cada causa ou elemento causador poderia, por sua vez, ser classificado nas categorias “geração de instabilidade”, “intermediário” e “domínio” no período de aceleração.

A geração do Método de Classificação foi muito auxiliada pelos estudos de casos múltiplos, metodologia de pesquisa adotada nesta tese para fundamentar os conceitos. Os casos que fundamentam a tese tinham muitos elementos críticos e, embora não cubram toda a realidade do setor industrial, indicaram causas muito relevantes do período de aceleração.

Esta planilha foi aplicada em outros dois estudos de caso sendo o primeiro, duas viradas em células de montagem, e o segundo, uma virada em torno automático. A aplicação foi satisfatória e verificou-se que Planilha tem potencial de facilitar a análise do desempenho do *changeover* completo e não apenas no período de aceleração. Com estes novos estudos de caso conclui-se também que o conceito da Planilha de Análise está consistente e com possibilidade de que seja utilizada em outros sistemas produtivos.

A proposta não teve como objetivo realizar comparações entre os casos uma vez que são muito diferentes entre si. Por se tratar de uma análise qualitativa do desempenho das diferentes trocas de lote, não seria possível indicar se um caso é melhor do que outro. Pode-se afirmar que há níveis diferentes de evolução ou maturidade em *changeover*, tendo como base a classificação dos elementos, sem compará-los quantitativamente.

Este trabalho oferece contribuições científicas importantes ao incorporar conceitos desenvolvidos na Universidade de Bath e Universidade de Ghent, mas não utilizados no Brasil. A Planilha de Análise contém diversas inovações que podem ser citadas, tais como a combinação dos fatores de projeto e organizacional com o período de aceleração o que tornou possível realizar uma classificação dos elementos com discernimento. Com isso, percebeu-se com melhor clareza a influência do **processo de aprovação de ajustes** no conjunto da virada de produção nos estudos de casos que fundamentam a tese. Estes estudos de casos, por sua vez, auxiliaram a perceber o quão significativo é a **manutenção** na análise dos fatores de projeto.

Uma outra contribuição é o estudo de *changeover* realizado em arranjo celular e em linha de produção que têm aspectos bastante específicos. Nestes sistemas produtivos, embora haja a separação de produtos por família, há elementos do período de aceleração como “operações em

paralelo” e “seqüência de troca de ferramentas” que são determinantes serem conhecidas e depois controladas para a plena retomada da produção.

Esta tese ressalta a influência da “dependência do preparador” como elemento causador do período de aceleração e no conjunto da virada. É importante captar esta realidade pois o nível distinto de habilidade entre preparadores leva a oscilações no período de aceleração. Este elemento reforça a necessidade de cuidar de outros aspectos relacionados a recursos humanos tais como “motivação e treinamento” e “trabalho em equipe” que tiveram relevância neste estudo e estão citados na planilha de análise e classificação dos elementos do período de aceleração.

Outro destaque promovido neste trabalho foi ressaltar a necessidade do planejamento da seqüência de lotes pois há grandes diferenças de tempo de *setup* e desempenho do *changeover* conforme a seqüência adotada. Os trabalhos de pesquisa operacional deveriam ser mais bem integrados no corpo de conhecimento de *changeover* para serem elaboradas soluções sobre seqüenciamento de lotes.

Por último, mas não menos importante, esta tese contribui por dar atenção ao estudo do “método de trabalho”, que tem sua origem nos estudos da engenharia industrial. Esta técnica busca a padronização da atividade de *changeover* para não haver diferenças no método entre diversos turnos gerando tempos de *setup* desiguais o que prejudicaria o planejamento de produção.

## **8.2 SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS**

Esta tese possibilita o desenvolvimento de novos projetos de pesquisa tais como:

- Elaboração de uma proposta de Níveis de Maturidade no planejamento e execução do *changeover*, com base no desempenho dos elementos do período da retomada;

- Estudo do desempenho do *changeover* e do perfil do período de aceleração em outros tipos de produção: produção contínua e produção sob encomenda;
- Estudar os tipos de ajustes, que provocam ampliações no período de aceleração, e o grau de influência na virada de produção.

Espera-se que este trabalho possa ter realmente contribuído para o estudo e melhorias em *changeover* e auxilie futuros desenvolvimentos sobre o tema.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALLAHVERDI, A.; GUPTA, J. N. D.; ALDOWAISAN, T. A review of scheduling involving setup considerations. **Omega**, v. 27, p. 219-239, 1999.

ALVES, J.M.; REIS, M. E. P. Cálculo do ganho para se investir na redução de *setup*: estudo de caso na indústria de produtos hospitalares. **Anais do 4º COBEF** – Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação - 15 a 18 de abril de 2007. Estância de São Pedro – SP – Brasil 2007a.

\_\_\_\_\_. Proposta de um método de utilização do DMAIC para se diminuir o tempo de *setup*. **Anais do 4º COBEF** – Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação - 15 a 18 de abril de 2007. Estância de São Pedro – SP – Brasil 2007b.

ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 153 p.

ARKADER, R. A. A importância da metodologia de pesquisa em operações. SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS. **Anais do VII SIMPOI**. FGV/EAESP. São Paulo. Seminário apresentado em 19 de outubro de 2004. Slides de apresentação disponível em <http://www.simpoi.fgvsp.br/simpoi/index.cfm?FuseAction=arquivo&Tipo=EA&Ano=2004>

\_\_\_\_\_. A pesquisa científica em gerência de operações no Brasil, **Revista de Administração de Empresas – RAE**. v. 43, n.1, Jan/Fev. p. 70-80, 2003.

BARROS, A. D.; MOCCELIN, J. V. Análise da flutuação do gargalo em flow shop permutacional com tempos de *setup* assimétricos e dependentes da seqüência. **Gestão e Produção**, v. 11, n. 1, p. 101-108, jan-abr, 2004.

BENHABIB, B. **Manufacturing: Design, Production, Automation and Integration**. New York: Marcel Dekker, 2003. 448 p.

BERTO, R. M. V. S. e NAKANO, D. N. A Produção Científica nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Um Levantamento de Métodos e Tipos de Pesquisa. **Produção**, v. 9, n. 2, p. 65-76, 2000.

\_\_\_\_\_. Métodos de Pesquisa na Engenharia de Produção. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO 17. **Anais do XVII ENEGEP**, Niterói, 1998. CD ROM.

BICHENO, J.; HOLWEG, M.; NIESSMANN, J. Constraint batch sizing in a lean environment. **International Journal of Production Economics** v. 73, 2001. p. 41-49.

BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998. 288 p.

BLECKER, T.; FRIEDRICH, G. (org) **Mass Customization. Challenges and Solutions**. New York: Springer (Book series). International Series in Operations Research & Management Science. July, 2006.

BOOTHROYD G.; DEWHURST P.; KNIGHT W. **Product Design for Manufacture and Assembly**. New York: Marcel Dekker, 1994. 540 p.

BRADSHAW, K. Toyota passa a GM e se torna a maior montadora do mundo. **O Estado de São Paulo**. 25 de abril de 2007, Caderno de Economia. B16.

BRALLA, J. G. **Design for Excellence**. McGraw-Hill Professional Publishing, 1995. 324p.

BURBIDGE, J. T. **Group technology in the engineering industry**. London: Mechanical engineering Publication. 1979.

CALARGE, F. A.; CALADO, R. D. A troca rápida de ferramentas em linha de tubos e chapas. **Máquinas e Metais**, n. 447, p. 290-315, 2003.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia Científica**. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil, 1975. 158 p.

CHANGEOVER.COM. **Essential books**. Disponível em <http://changeover.com/books.htm>  
Acesso em dezembro de 2006.

COSTA, A.; ZEILMANN, R. P.; SCHIO, S. M. Análise de Tempos de Preparação em Máquinas CNC. **O Mundo da Usinagem**, n. 4, 2004.

CULLEY, S. J.; McINTOSH, R. I.; MILEHAM, A. R.; OWEN, G. W. Sustaining changeover improvement. Proc. Instn Mech Eng. v. 217 Part B: **Journal of Engineering Manufacturing**, 2003.

CUSUMANO, M. A. **The Japanese Automobile Industry: Technology and Management at Nissan and Toyota**. Cambridge, Mass.: Harvard East Asia Monographs, 3ª edição, 1989. 487 p.

DRUCKER, Peter Ferdinand. **Concept of the corporation**. Boston, Ma.: Beacon Press, 1960. 301 p.

ELDRIDGE, C.; McINTOSH, R. I.; CULLEY, S. J.; MILEHAM, A. R.; OWEN, G. W.; NEWNES, L. Rapid Changeovers – The Run-up Problem. Proc. 18<sup>th</sup> ISPE/IFAC Int. Conf. On CAD/CAM, **Robotics and Factories of the Future**, Porto, INESC Porto (Manufacturing System Design Dept), July 2002, p.161-167

ESROCK, Y. The impact of reduced set-up time. **Production and Inventory Management**, v. 26, p. 94-101, 1985.

FLYNN, B. B. The effects of setup time on output capacity in cellular manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 25, n. 12, p. 1761-1772, 1987.

FOGLIATTO, F. S.; FAGUNDES, P. Troca Rápida de Ferramentas: proposta metodológica e estudo de caso. **Gestão & Produção**. v. 10, n. 2, p. 163-181, 2003.

FORD, Henry. **Os princípios da prosperidade**. Rio de Janeiro: Editora Brand Ltda. 3<sup>a</sup> ed. 1954. 412 p.

GARVIN, David A. **Managing quality : the strategic and competitive edge**. New York: Free. 1988. 319 p.

GHINATO, P. A. Intervenção Rápida de Manutenção Programada, LEAN SUMMIT. **Anais do Lean Summit 2006**. São Paulo, 15 e 16 de maio de 2006.

GILMORE, M.; SMITH, D. J. Set-up reduction in pharmaceutical manufacturing: an action research study. **International Journal of Operations and Production Management**. v. 16, n. 3, p. 4-17, 1996.

GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F. Manufatura Enxuta: Uma Revisão que Classifica e Analisa os Trabalho Apontando Perspectivas de Pesquisas Futuras. **Gestão & Produção**. v. 11, n. 1, p. 1-19, jan-abr, 2004.

GONÇALVES, Elisa Pereira. Escolhendo o percurso metodológico. In: \_\_\_\_\_. **Conversas sobre iniciação à pesquisa**. São Paulo: Alínea, p. 63-73, 2001.

HADDAD, R. B. B.; CARVALHO, M. F. H. ; ROCHA, R. B.; “Integração entre ERP e Programação Matemática – Um Estudo de Caso na Indústria de Autopeças”; **Revista Produção on Line**, v. 4, n. 1, Fevereiro 2004.

HALL, R. W. **Zero Inventories**. Homewood, Ill: Dow Jones-Irwin, 1983. 329 p.

HARMON, R. L.; PETERSON, L. D. **Reinventando a Fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática**. Rio de Janeiro: Campus, 1991. 463 p.

HAY, E. Any machine setup time can be reduced by 75%. **Industrial Engineering**. v. 19, p. 62-67, 1987.

HERRIOTT e FIRESTONE, apud in YIN, R. K., **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HIGGINS, E. Faster better changeover. **FoodEngineering**. July/August 2001

HOUNSHELL, David A., **From the American System to Mass Production 1800-1932**. The Development of Manufacturing Technology in the United States. Baltimore ; London: The John Hopkins University Press, 1984. 411 p.

IMAI, M. **Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo**. São Paulo: IMAM. 1994. 235 p.

IMC INTERNACIONAL. The Japan Institute of Plant Maintenance. 2001. **Apostila IMC Internacional – Brasil**. Slides de Apresentação.

JABER, M. Y.; BONNEY, M. Lot sizing with learning and forgetting in set-up and in product quality. **International Journal of Production Economics** v. 83, 2003. p. 95-111

KANNENBERG, G. **Proposta de Sistemática para Implantação de Troca Rápida de Ferramentas**. Porto Alegre, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

KONRAD, G., 1997/8, Dynachange – “on-the-fly” jog changeover for newspaper production, **MAN Research Engineering Manufacturing**, p 12-15.

LEAHY, M. J., **Kaizen for Quick Changeover** (Comentários sobre o livro). Disponível em [http://www.amazon.com/Kaizen-Quick-Changeover-Going-Beyond/dp/0915299380/sr=1-4/qid=1159455863/ref=sr\\_1\\_4/104-7508082-8487926?ie=UTF8&s=books](http://www.amazon.com/Kaizen-Quick-Changeover-Going-Beyond/dp/0915299380/sr=1-4/qid=1159455863/ref=sr_1_4/104-7508082-8487926?ie=UTF8&s=books). Acessado em janeiro de 2007.

LEAN INSTITUTE BRASIL, **Set-up de forja aprendida na Toyota do Brasil de Taiichi Ohno**. Disponível em [http://www.lean.org.br/bases.php?&interno=artigo\\_042006](http://www.lean.org.br/bases.php?&interno=artigo_042006), Acessado em dezembro 2006.

LEE, D. L. Set-up reduction: making JIT work. **Management Services**. May, p. 8-13, 1986.

LESCHKE, J. P. The set-up reduction process: part 1. **Production and Inventory Management Control**. v. 38, n. 1, p. 32-37, First Quarter 1997.

LI, Jiang-Wen. Improving the performance of job shop manufacturing with demand-pull production control by reducing set-up/processing time variability. **International Journal of Production Economics** v. 84, 2003. p. 255-270

LIKER, J. **O Modelo Toyota. 14 Princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 316 p.

LU, L. F.; YUAN, J. J. The single machine batching problem with identical family setup times to minimize maximum lateness is strongly NP-hard. **European Journal of Operational Research** v. 177, 2007. p. 1302-1309

MARCONI, Maria de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1982. 205 p.

McINTOSH, R. I.; CULLEY, S. J.; GEST, G.; MILEHAM, A. R.; OWEN, G.W. An Assessment of the role of design in the improvement of changeover performance. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 16. n. 9, 1996, p. 5-22

McINTOSH R.I., CULLEY S.J., MILEHAM A.R., OWEN G.W. Rapid changeover – a prerequisite for responsive manufacture. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 19, n. 8, 1999, p. 785-796

\_\_\_\_\_. Changeover improvement: reinterpreting Shingo's SMED methodology, **Journal of IEEE Transactions on Engineering Management**. (Aceito para publicação) July 05.

\_\_\_\_\_. A critical evaluation of Shingo's 'SMED' methodology. **International Journal of Production Research**, v. 38, n. 11, p. 2377-2395, 2000.

\_\_\_\_\_. Changeover improvement: a maintenance perspective. **International Journal of Production Economics**, n.73, p. 153-163, 2001a.

\_\_\_\_\_. **Improving Changeover Performance**. Oxford: Butterworth Heinemann, 2001b. 351 p.

MIGUEL, P. A. C. An Investigation of Qualitative Research in an Industrial Engineering Post graduate Program. SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais do XI SIMPEP**, Bauru, 2004.

\_\_\_\_\_. Uma Reflexão sobre Metodologia de Pesquisa na Gestão de Operações. SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS. **VIII SIMPOI**. FGV/EAESP São Paulo. Seminário apresentado em 31 de agosto de 2005. Slides de apresentação disponível em <http://www.simpoi.fgvsp.br/simpoi/index.cfm?FuseAction=arquivo&Tipo=EA&Ano=2005>

MONDEN, Y. **Produção sem estoques: uma abordagem prática ao sistema de produção da Toyota**. São Paulo: IMAM, 1984. 141 p.

MTM-MEK. **Apostila de treinamento**. A/JE. MTM-Institut. 2005

MOXHAN, C.; GREATBANKS, R. Prerequisites for the implementation of the SMED methodology. A study in the textile-processing environment. **The International Journal of Quality & Reliability Management**. v. 18, n. 4/5, p. 404-414, 2001.

- NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM – Total Productive Maintenance**. Cambridge, MA: Productivity Press, 1998. 129 p.
- NEUMANN, C. S. R.; GIACOMET, G. T. S. P.; NARDI, K. C.; SILVA, S. C. Otimização do gargalo produtivo: do levantamento à implementação das melhorias. Anais do XXIV Encontro Nacional de Eng. de Produção – Florianópolis, SC, Brasil, 03 a 05 de nov. 2004.
- NEUMANN, C. S. R.; RIBEIRO, J. L. D. Desenvolvimento de fornecedores: um estudo de caso utilizando a troca rápida de ferramentas. **Revista Produção**. v. 14, n. 1, 2004.
- NEUMANN, C. S. R.; RIBEIRO, J. L. D., SILVA, S. C. A Troca Rápida de Ferramentas Aplicada ao Desenvolvimento de Fornecedores. **O Mundo da Usinagem**, v. 4, p. 7-11, 2002.
- NOAKER, P. Pressed to reduce setup? **Manufacturing Engineering**. v. 107, p. 45-49, 1991.
- \_\_\_\_\_. Stamp it JIT. **Manufacturing Engineering**. v. 108, p. 65-68, 1992.
- NOVASKI, O. **Introdução à engenharia de fabricação mecânica**. São Paulo: E. Blucher, 1984. 105 p.
- OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997. 154 p.
- OWEN, G.W.; McINTOSH, R. I.; CULLEY, S. J.; MILEHAM, A. R.; REIK, M.; GUESS, M. D.; ELDRIDGE, C. Identifying and addressing run-up losses during changeover. (artigo submetido para publicação e aguarda aprovação) 2006.
- PATEL, S.; DALE, B. G.; SHAW, P. Set-up time reduction and mistake proofing methods: an examination in precision component manufacturing. **The TQM Magazine**. v. 13, n. 3, p. 175-179, 2001.
- PEOPLE\_BATH 2006. **Antony Mileham**. Disponível em <http://people.bath.ac.uk/ensarm/> Acesso em dezembro de 2006.
- PRANCIC, E.; MERGULHÃO, R. C.; ZUIN, L. F. S.; DORNA, M. A. S. Panorama da utilização de iniciativas de apoio à gestão de operações na região de Campinas–SP. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais do XXIV ENEGEP**. Florianópolis, SC, Brasil, 03 a 05 de nov. de 2004.
- RECH, G. **A transparência de processos como princípio para a troca rápida de ferramentas: a experiência de uma metalurgia**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 13 de dezembro de 2004.

REIK, M.; McINTOSH, R. I.; CULLEY, S. J.; MILEHAM, A. R.; OWEN, G.W. A Formal Design for Changeover (DFC) Methodology Part 1 – Theory and Background. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B – **Journal of Engineering Manufacture**. v. 220, n. 8, 2006a.

\_\_\_\_\_. A Formal Design for Changeover (DFC) Methodology Part 2 – Methodology and case study. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B – **Journal of Engineering Manufacture**, v. 220, n. 8, 2006b.

\_\_\_\_\_. Design for Changeover: enabling the design of highly flexible, highly responsible manufacturing process, International Mass Customization Meeting (**IMCM' 05**) Concepts – tools – realization, Klagenfur Austria, June 2005.

REIS, Mario Eduardo Pauka. **Proposta de um método de utilização do DMAIC para se diminuir o tempo de setup – Estudo de caso na indústria de produtos hospitalares** Dissertação de mestrado apresentada na Faculdade de Eng Mecânica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica. 14 de dezembro de 2006.

RENAUX, F.; BURGER, M.; FERNANDES, A. Intervenção Rápida de Manutenção Programada na Gerdau, LEAN SUMMIT. **Anais do Lean Summit 2006**, São Paulo, 15 e 16 de maio de 2006 CD ROM.

ROTHER, M.; HARRIS, R., **Criando Fluxo Contínuo. Um Guia de ação para Gerentes, Engenheiros e Associados da Produção**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002. 96 p.

SANTOS, Antonio Raimundo dos. **Metodologia Científica: a construção do conhecimento**. 5. ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2002. 164 p.

SATOLO, E. G.; CALARGE, F. A. A melhoria do desempenho de sistemas produtivos baseada na diminuição do tempo de preparação de máquinas: um estudo de caso exploratório no setor metal-mecânico. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais do XXIV ENEGEP**. Florianópolis, SC, Brasil, 03 a 05 de nov. 2004.

SCHONBERGER, R. J. **Fabricação Classe Universal: as lições de simplicidade aplicadas**. São Paulo: Editora Pioneira, 1988. 263 p.

SEKINE, K. A., TALBOT, B. **Kaizen for Quick Changeover: Going Beyond SMED**. Cambridge, Mass: Productivity Press, 1992. 292 p.

SELLTIZ, C.; WRIGHTSMAN, L. S.; COOK, S. **Métodos de Pesquisa nas Relações Sociais**. 2. ed. São Paulo: EPU, 1987. 133 p.

SHINGO, S. **A Revolution in Manufacturing: The SMED System**. Cambridge, MA: Productivity Press, 1985. 361 p.

\_\_\_\_\_. **Non-stock production: the Shingo system for continuous improvement.** Cambridge, MA: Productivity Press, 1988. 215 p.

\_\_\_\_\_. **O Sistema de Troca Rápida de Ferramentas. Uma revolução nos Sistemas Produtivos.** Porto Alegre: Bookman Editora, 2000. 327 p.

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

SILVA, I.; DURAN, O. Reduzindo os tempos de preparação em máquinas em uma fábrica de autopeças. **Máquinas e Metais.** São Paulo, n. 385, p. 70-89, 1998.

SLOAN, Alfred P. Jr. **Meus anos com a General Motors.** São Paulo: Negócio Editora, 2001. 408 p.

SMED/SR. **Curso para formação de consultores internos.** Apostila de treinamento. TPMI – Total Performance Management International Ltda, 2005.

SMITH, D. **Quick Die Change.** 2nd ed. Dearborn, Michigan: SME – Society of Manufacturing Engineers, 2005. 425 p.

SOUTH WEST MAS. **Changeover Reduction – SMED.** Disponível em [http://www.swmas.co.uk/Lean\\_Tools/Changeover\\_Reduction-SMED.php](http://www.swmas.co.uk/Lean_Tools/Changeover_Reduction-SMED.php). Acesso em 14/01/2007.

SPEAR, S. J. Learning to Lead at Toyota. **Harvard Business Review.** May 2004. p. 78-86

SPEAR, S. J.; BOWEN, H. K. Decoding the DNA of the Toyota Production System. **Harvard Business Review.** September – October, 1999. p. 97-106

SUGAI, M.; NOVASKI, O.; BACCI, M. N. Análise dos Modelos de Avaliação Financeira e Operacional de Troca Rápida de Ferramentas (TRF). SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS. **Anais do VIII SIMPOI.** FGV-EAESP. São Paulo. 2005a.

\_\_\_\_\_. Proposta de modelo de tomada de decisão para aplicação da metodologia SMED. SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais do XII SIMPEP.** Bauru, SP, Brasil, 7 a 9 de Novembro. 2005b.

SUGAI, M.; NOVASKI, O.; JESUS, D. O.; FUJIOKA, L. Estudo de caso em empresa de derivado de petróleo. SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais do XII SIMPEP.** Bauru, SP, Brasil, 7 a 9 de Novembro de 2005.

SUGAI, M.; NOVASKI, O.; McINTOSH, R. Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso. **Gestão e Produção.** São Carlos, v. 14, n. 2, p. 323-335, mai-ago. 2007.

SUGAI, M.; NOVASKI, O.; MORAES, F. D. Proposta de um modelo para classificação da fase pós *setup* conforme características do período de aceleração – Pesquisa ação em uma empresa metal-mecânica. SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS. **Anais do IX SIMPOI**. São Paulo. FGV-EAESP 2006.

VAN GOUBERGEN. Página da consultoria. Disponível em <http://www.vangoubergen.com> Acesso em dezembro de 2006.

VAN GOUBERGEN, D. Set-up reduction as an organization-wide problem. **Solutions 2000**. Cleveland, Ohio(USA), May 22-24, 2000.

VAN GOUBERGEN, D.; VAN LANDEGHEM, H. An Integrated methodology for more effective set-up reduction. **Solutions 2001**. Dallas, Texas (USA), May 21-23, 2001.

\_\_\_\_\_. Reducing Set-up times of Manufacturing Lines. International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing 2002. Dresden, Germany, 2002a.

\_\_\_\_\_. Rules for integrating fast changeover capabilities into new equipment design. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing** 18, 2002b. p. 205-214

VIEIRA, S. **Estatística para a Qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1999 – 10ª reimpressão. 198 p.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management, **International Journal of Operations & Production Management**. v. 22, n. 2, 2002. p. 195-219.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. **A Máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992. 247 p.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Campus: Rio de Janeiro, 1998. 428 p.

\_\_\_\_\_. From Lean Production to the Lean Enterprise. **Harvard Business Review**. March – April, 1994 p. 93-103

WOMACK, J. **The lean way forward at Ford**. Disponível em <http://www.lean.org/WhoWeAre/LEINewsStory.cfm?NewsArticleId=38> Acesso em 21-11-2006.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, reimpressão 2005. 105 p.

## **ANEXO 1**

Casos rejeitados e suas razões.

### **Caso 1: Linha de produção de remédio líquido**

Produção contínua com dependência da batelada. Virada de produção com muito tempo dedicado à assepsia e limpeza em conformidade com orientações da Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária).

### **Caso 2: Linha de produção de mantas asfálticas**

Produção com dependência da batelada. Muitas interferências do setor de vendas que tem provocado variações da seqüência de forma abrupta. Caso estudado em Sugai *et al.* (2005).

### **Caso 3: Máquina enroladora de fio em alternadores**

Sistema de produção muito complexa e com SMED não estabilizado. Percebeu-se que não seria um bom caso que fundamentasse a tese pela seqüência de operações e ferramental muito específicos.

### **Caso 4: Máquina entortadora de tubo de cobre**

SMED não estabilizado e método de trabalho não respeitado. Processo de fabricação muito específico e não seria amplo o suficiente para fundamentar a proposta de classificação.