

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO**

**PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA A
IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
PLANEJAMENTO FINO DA PRODUÇÃO BASEADO
NA TEORIA DAS RESTRIÇÕES**

MÁRCIO SOARES TORRES

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA À UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL COMO REQUISITO
PARCIAL À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ORIENTADOR: LUIS HENRIQUE RODRIGUES, Ph.D.

PORTO ALEGRE, DEZEMBRO DE 1999.

AGRADECIMENTOS

A todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

Ao professor Luis Henrique Rodrigues, por sua valorosa orientação, por seu incentivo e por sua amizade.

Ao professor José Antônio Valle Antunes Júnior, pela relevante contribuição a este trabalho, pela convivência fraternal e amizade.

Aos grandes amigos Gustavo Borba, Francisco Hörbe, Marco Borges, Flávio Pizzato, Marcelo Klippel.

Ao grande amigo e sócio Fábio Leitão pelas inúmeras contribuições e aprendizado conjunto.

Aos amigos Anselmo Passos e Paulo César Vigolo, pela ajuda no trabalho prático.

À CAPES, pela bolsa de estudos.

Aos professores e todo o pessoal do PPGEP, em especial à Vera e Andréa.

Aos meus pais, Gorgolino Torres e Lígia Soares Torres por seu amor e apoio, que permitiu o cumprimento bem-sucedido de mais uma etapa de minha vida.

ÍNDICE ANALÍTICO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	1
ÍNDICE ANALÍTICO	2
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABELAS.....	9
RESUMO	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO 1.....	1
1.1- JUSTIFICATIVA DO TRABALHO:	1
1.2- OBJETIVOS DO TRABALHO:.....	4
1.2.1- <i>Objetivo Principal:</i>	4
1.2.2- <i>Objetivos Específicos:</i>	4
1.3 - MÉTODO DE TRABALHO:.....	5
1.4 - DELIMITAÇÕES DO TRABALHO:.....	6
1.5 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO:.....	7
CAPÍTULO 2.....	10
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 – O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP).....	11
2.2 - EVOLUÇÃO HISTÓRICA DE SISTEMAS COMPUTADORIZADOS DE PCP	17
2.2.1- <i>Sistemas de Planejamento Macro MRP</i>	18
2.2.1.1 – Material Requirements Planning - MRP	18
2.2.1.2 – O MRP II.....	22
2.2.1.3 – Deficiências dos sistemas MRP/MRP II na programação da produção ..	25
2.2.2 - <i>Sistemas de Planejamento Fino da Produção (PFP)</i>	30
2.2.2.1 - A Complexidade da Programação Finita.....	30
2.3 – TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO OTIMIZADA (OPTIMIZED PRODUCTION TECHNOLOGY - OPT).....	32
2.3.1 - <i>Lógica de Programação Tambor-Pulmão-Corda - TPC</i>	36
2.3.1.1- O Tambor.....	37
2.3.1.2-O Pulmão	37
2.3.1.3 -A Corda.....	38
2.3.2- <i>Princípios Básicos da Manufatura Sincronizada Segundo a TOC</i>	39
2.4- A TEORIA DAS RESTRIÇÕES (<i>THEORY OF CONSTRAINTS</i> - TOC).....	45
2.4.1- <i>Elementos da TOC</i>	45

2.4.2- <i>Etapas de Focalização da TOC</i>	49
2.4.3- <i>Indicadores de Desempenho da TOC</i>	50
2.4.4- <i>A Programação da Produção na TOC</i>	52
2.4.4.1- <i>O Gerenciamento dos Pulmões</i>	53
2.5 – <i>CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO</i>	57
CAPÍTULO 3	58
FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DE PLANEJAMENTO FINO DA PRODUÇÃO (PFP)	58
3.1 - <i>PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PFP</i>	59
3.2 - <i>PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE PFP BASEADOS EM ‘PROGRAMAÇÃO DE RESTRIÇÕES’</i>	65
3.2.1- <i>MOOPI</i>	65
3.2.2- <i>Goal System</i>	66
3.2.3- <i>Priority</i>	67
3.2.4- <i>DRUMMER</i>	67
3.2.5 – <i>Rhythm</i>	68
3.2.6- <i>Thru-Put</i>	69
3.2.7 – <i>Preactor 200</i>	70
3.3 - <i>O ST-POINT</i>	72
3.4 – <i>CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO</i>	80
CAPÍTULO 4	81
PROPOSTA DE MÉTODO DE TRABALHO PARA A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE PFP	81
4.1– <i>ELEMENTOS BÁSICOS DA MANUFATURA SINCRONIZADA</i>	81
4.2 – <i>MÉTODO DE IMPLANTAÇÃO</i>	83
4.2.1 - <i>Aquisição do Sistema de PFP</i>	86
4.2.1.1 – <i>Modelos Pilotos</i>	87
4.2.1.2 – <i>Análise de adaptação à Estratégia de Manufatura da empresa</i>	87
4.2.2 - <i>Pré-implantação</i>	89
4.2.2.1 - <i>Definição da equipe e cronograma de trabalho</i>	90
4.2.2.2- <i>Preparação e ajustes do banco de dados</i>	91
4.2.2.3- <i>Educação e treinamento</i>	93
4.2.2.4- <i>Modelagem inicial</i>	95
4.2.2.5 - <i>Verificação do modelo e ajustes</i>	96
4.2.3 - <i>Operacionalização</i>	97
4.2.3.1- <i>Definição dos Pulmões</i>	97
4.2.3.3- <i>Execução do software de PFP</i>	98
4.2.3.4 - <i>Saídas do software de PFP</i>	101
4.2.4 – <i>Manutenção e Controle</i>	105
4.2.4.1 - <i>Monitoramento da Aderência da Programação</i>	105
4.2.4.2 - <i>Critérios para a Reprogramação</i>	106
4.2.5 – <i>Melhorias</i>	107

4.2.5.1- Elevar a Capacidade da(s) Restrição (ões)	108
4.2.5.2- Gerenciamento de Pulmões	112
4.3- CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	112
CAPÍTULO 5.....	113
APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO	113
5.1 BREVE DESCRIÇÃO DA EMPRESA ONDE O TRABALHO FOI REALIZADO	114
5.2 - SITUAÇÃO INICIAL DO PCP DA EMPRESA.....	115
5.3 - IMPLANTAÇÃO DO PFP	119
5.3.1 <i>Método de Trabalho</i>	119
5.4- APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS INICIAIS.....	124
5.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	132
CAPÍTULO 6.....	134
AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE IMPLANTAÇÃO BASEADA NA APLICAÇÃO PRÁTICA NA EMPRESA	134
6.1 AVALIAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS	135
6.1.1 <i>Aplicação dos Princípios da Manufatura Sincronizada</i>	137
6.2 – DIFICULDADES NA REALIZAÇÃO DO TRABALHO	139
6.3 - AVALIAÇÃO DO MÉTODO	144
6.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	147
CAPÍTULO 7.....	148
CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.....	148
7.1 – CONCLUSÕES FINAIS	149
7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS	154
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	156
ANEXO A.....	163
PRÉ-REQUISITOS BÁSICOS PARA SOFTWARES DE SUPORTE A METODOLOGIAS DE GESTÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC).....	163
ANEXO B.....	169
CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DE AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA	169
ANEXO C.....	175
DESCRIÇÃO RESUMIDA DO PROCESSO DE PENSAMENTO DA TOC	175
ANEXO D.....	181

CONSTRUINDO UM BANCO DE DADOS PARA O ST-POINT A PARTIR DE
ARQUIVOS MRP ASCII PADRÃO – DADOS BÁSICOS 181

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - FIGURA 2. 1 - A INTERRELAÇÃO DAS ATIVIDADES DO SISTEMA DE PCP, ADAPTADO DE PEDROSO (1996).....	13
FIGURA 2. 2 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO PLANEJAMENTO DAS NECESSIDADES DE MATERIAIS (FONTE: SLACK ET ALLI,1996 – P.444).	19
FIGURA 2. 3 - MRP DE CICLO FECHADO (CLOSED LOOP MRP). FONTE: SACOMANO (1990).	24
FIGURA 2. 4 - ORGANIZAÇÃO TRADICIONAL DE ARQUIVOS DE LISTA DE MATERIAIS, ROTEIROS E ESTOQUES EM PROCESSO. FONTE: RODRIGUES (1994).	33
FIGURA 2. 5 - A ESTRUTURA DE REDE DE ATIVIDADES (TASK NET STRUCTURE). FONTE: RODRIGUES (1994).	34
FIGURA 2. 6 - A LÓGICA TAMBOR-PULMÃO-CORDA. ADAPTADO DE GOLDRATT (1989)..	39
FIGURA 2. 7 - A REDUÇÃO DO <i>LEAD TIME</i> DEVIDO À SOBREPOSIÇÃO DAS OPERAÇÕES.	43
FIGURA 2.8 – COMPONENTES BÁSICOS DA TOC. ADAPTADO DE SPENCER E COX 1995).....	49
FIGURA 3. 1 - A ‘REDE DE ATIVIDADES’ DO ST-POINT.	73
FIGURA 3. 2 - A ‘TABELA DE RECURSOS’ DO ST-POINT.....	74
FIGURA 3. 3 -RELATÓRIO GRÁFICO DE ORDENS DE PRODUÇÃO.	75
FIGURA 3. 4 - GRÁFICO DE GANTT DOS RECURSOS DO ST-POINT.	76
FIGURA 3. 5 - RELATÓRIO DE UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS EM FORMA DE HISTOGRAMA. .	78
FIGURA 3. 6 - RELATÓRIO DE COMPRAS.	79
FIGURA 4. 1 - ALICERCES DA MANUFATURA SINCRONIZADA.	83
FIGURA 4. 2 - ETAPAS DO MÉTODO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE PFP.....	85
FIGURA 4. 3 - OS OBJETIVOS DE DESEMPENHO DO SISTEMA DE PCP COMO ELO DE LIGAÇÃO ENTRE AS RESPECTIVAS DECISÕES E OS CRITÉRIOS COMPETITIVOS DA MANUFATURA. ADAPTADO DE PEDROSO (1996).....	88
FIGURA 5. 1 - DIAGRAMA DO SISTEMA PRODUTIVO.....	115
FIGURA 5. 2 - A ARA DA EMPRESA, ELABORADA NA FASE ANTERIOR À IMPLANTAÇÃO DO NOVO PCP.....	119
FIGURA 5.3 – PERCENTUAL DE ATRASOS NO ATENDIMENTO DOS PEDIDOS.....	126
FIGURA 5.4 - FATURAMENTO MENSAL (EM REAIS).....	127
FIGURA 5. 5 - ESTOQUES EM PROCESSO (EM NÚMERO DE PEÇAS EM RELAÇÃO AO TEMPO.....	129
FIGURA 5. 6 - ESTOQUES MENSIS DE MATÉRIAS-PRIMAS (EM REAIS).....	130
FIGURA 5. 7 - ESTOQUES MENSIS DE PRODUTOS ACABADOS (EM REAIS).....	131
FIGURA 5. 8 – SOMATÓRIO DOS ESTOQUES TOTAIS (EM REAIS).....	131
FIGURA 5. 9 - O INDICADOR "HORAS APLICADAS" DIÁRIO.....	132

FIGURA 6. 1 - VARIAÇÃO DA CARTEIRA DE PEDIDOS EM MAIO.	136
FIGURA 6.2 – A ETAPA DE PRÉ-IMPLANTAÇÃO REDEFINIDA, EM COMPARAÇÃO COM A MESMA ETAPA PROPOSTA INICIALMENTE.....	147
FIGURA A. 1 - COMO INTERPRETAR A ÁRVORE DA REALIDADE ATUAL.....	177

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 3. 1 - OS PRINCIPAIS SISTEMAS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO COM CAPACIDADE FINITA (ADAPTADO DE CORRÊA E PEDROSO, 1996).....	64
TABELA 5. 1 - GANHOS OBSERVADOS APÓS A IMPLANTAÇÃO.....	132
TABELA B. 1 DADOS DA EMPRESA.....	170
TABELA B. 2 - DADOS DETALHADOS DOS PEDIDOS.....	171
TABELA B. 3 - SEQÜÊNCIA DE PRODUÇÃO INICIAL.....	172

RESUMO

Esta dissertação propõe um método de trabalho para a implantação de um sistema de Planejamento Fino da Produção baseado na Teoria das Restrições. É apresentada uma revisão bibliográfica sobre Planejamento e Controle da Produção, destacando a abordagem da Teoria das Restrições. É realizado um estudo sobre ferramentas computacionais de Planejamento Fino da Produção e suas particularidades. A seguir é desenvolvido o método de trabalho, que foi seguido de sua aplicação prática em uma empresa industrial do ramo metal-mecânico. O estudo apresenta as modificações no sistema de Planejamento e Controle da Produção da empresa, que foi adequado as práticas e princípios da Manufatura Sincronizada. As melhorias decorrentes da implantação podem ser constatadas através dos resultados divulgados. Este trabalho explora as particularidades e dificuldades da implementação desta ferramenta de apoio à tomada de decisão, e discute aspectos referentes às mudanças na “filosofia” de produção impostas pela sincronização da manufatura.

ABSTRACT

This dissertation presents a proposition of a method to a finite capacity scheduling system implementation, based in Theory of Constraints. A bibliographic revision about Production Planning and Control is presented, focusing the Theory of Constraints. A study about finite capacity scheduling software is done. The development of the method was followed of it's practical application in a metal-mechanic industry. The study presents the changes in the production planning and control system, that was adequate to Synchronous Manufacturing practices and principles. The benefits of this implementation can be observed through the results. This work explores some implementation features and difficults, and discusses production filosofy changes, necessary to synchronization.

CAPÍTULO 1

1.1- JUSTIFICATIVA DO TRABALHO:

No panorama econômico atual, onde o aumento da competitividade ameaça a possibilidade de sobrevivência das empresas, buscam-se cada vez mais alternativas para satisfazer melhor o mercado consumidor. Qualidade, preço, flexibilidade, e rapidez de resposta ao mercado são exigências correntes.

Em uma empresa manufatureira, um melhor atendimento ao cliente implica em flexibilização e redução do tempo de atravessamento das peças na fábrica, para responder rapidamente a um mercado cada vez mais exigente. Além disto, atualmente exigem-se empresas capazes de atender no prazo às mudanças qualitativas e quantitativas de demanda.

Na busca destes objetivos, observa-se um aumento crescente da função de Planejamento e Controle da Produção¹ (PCP), que necessita trabalhar mais dinamicamente, programando a produção no chão de fábrica e controlando as conseqüências das constantes alterações na demanda do mercado. Segundo Pedroso e Corrêa (1996), o PCP se constitui em uma área de decisão prioritária para os executivos nos anos 90.

Em virtude do dinamismo e da complexidade de um ambiente de manufatura é oportuna a inserção de um sistema que planeje e programe com exatidão a utilização mais adequada dos recursos produtivos, visando equilibrar ao máximo possível a capacidade fabril disponível de acordo com a demanda, contribuindo, desta forma, para a redução de perdas no sistema produtivo.

Visando responder a essas necessidades, surgem os sistemas de Planejamento Fino da Produção (PFP), que são ferramentas de auxílio ao planejamento da produção de uma empresa de manufatura que possibilitam que se faça a programação da produção de forma interativa, permitindo simulações e reprogramações devido a diversas ocorrências no chão de fábrica, considerando a capacidade finita de produção, sua ocupação real e tempos de fabricação precisos (Favaretto, 1993).

Ligado ao aspecto administrativo e de controle, o conceito de sistemas de PFP apresenta-se adequado a esta tarefa de integrar o chão de fábrica a outras áreas da empresa e coordenar suas atividades, tanto a atividade produtiva propriamente, como atividades paralelas necessárias à produção, como transporte, preparação e fornecimento de ferramental, entre outros (Mello, 1993).

Atualmente existem duas abordagens principais distintas em relação ao suporte computacional ao PCP: os sistemas de PFP, que executam programações detalhadas para os recursos produtivos, e os sistemas conhecidos como Planejamento

¹ O termo PPCP - Planejamento, Programação e Controle da Produção, que destaca a importância da Programação, também é encontrado na literatura. No transcorrer deste trabalho será usado o termo PCP, porém a Programação da Produção está implícita neste conceito.

das Necessidades de Materiais (*Material Requirements Planning* - MRP) que executam um planejamento macro.

Existem diferenças fundamentais entre os sistemas de PFP e os sistemas do tipo MRP, especialmente porque os sistemas computadorizados de planejamento macro não atendem a todo o dinamismo e detalhamento que uma programação real exige. Os sistemas MRP proporcionam informações valiosas, porém apresentam deficiências² no aspecto de programação da produção (Mozeson, 1991).

Dentro deste cenário, surge o PFP como alternativa para responder à necessidade de uma programação que considere, tanto quanto possível, a realidade de um processo de manufatura.

Pedroso e Corrêa (1996) argumentam que o desenvolvimento rápido da área de PFP não tem sido acompanhado por discussões na literatura. A crescente expansão destas ferramentas no mercado, aliadas ao fato desta abordagem ser relativamente recente, abre espaço para o debate de questões relevantes, tais como: as diferenças entre os sistemas disponíveis atualmente, a adequação do sistema de PFP à estratégia produtiva da empresa, e a implantação do PFP.

Os sistemas de PFP possuem diversas abordagens em relação ao método de seqüenciamento das operações de manufatura. Dentre elas, destacam-se os sistemas baseados na Teoria das Restrições (*Theory Of Constraints* – TOC).

A tendência de aumento na utilização de ferramentas baseadas na lógica da TOC justifica-se pela focalização na sincronização da produção, reduzindo as perdas no sistema produtivo. A programação da produção baseada na TOC visa a movimentação rápida e uniforme dos materiais pela fábrica, o atendimento da demanda do mercado no prazo, e a redução dos estoques.

² As deficiências dos sistemas MRP serão discutidas no Capítulo 2 desta dissertação.

Este trabalho apresentará um estudo sobre um sistema de PFP baseado na TOC, devido às vantagens da técnica de PFP na programação da produção, e devido aos benefícios da abordagem TOC, expostos acima.

1.2- OBJETIVOS DO TRABALHO:

São os seguintes os objetivos principal e específicos do presente trabalho:

1.2.1- Objetivo Principal:

O objetivo principal do presente trabalho consiste em estudar a viabilidade e a potencialidade da utilização de um sistema de PFP baseado na TOC, bem como os requisitos básicos para a sua implantação prática.

1.2.2- Objetivos Específicos:

Os objetivos específicos do presente trabalho consistem em:

- Propor um método de implantação de um sistema de PFP baseado na TOC, para empresas de manufatura repetitiva do ramo metal-mecânico.
- Realizar uma revisão bibliográfica crítica sobre planejamento fino e planejamento de capacidade infinita da produção.
- Realizar um estudo de caso em uma empresa do ramo metal-mecânico, discutindo o método proposto e apresentando os benefícios da utilização da ferramenta computacional.
- Apresentar uma abordagem crítica da implantação, explicitando as dificuldades de implementação de um novo sistema de PCP, voltado para a sincronização da produção.

1.3 - MÉTODO DE TRABALHO:

Visando alcançar os objetivos acima, o método de trabalho utilizado incluiu as seguintes etapas:

1. **Revisão bibliográfica:** nesta etapa, com a finalidade de fundamentar teoricamente o trabalho, foram buscadas informações da área de planejamento e programação da produção documentadas em publicações técnicas relativas à área.

2. **Domínio da ferramenta de PFP:** tendo em vista que o PFP se baseia na utilização de um software, é fundamental adquirir conhecimento da sua operacionalidade, potencialidades e limitações, especialmente em relação à sua aplicação prática. Além disso foram pesquisadas outras ferramentas computacionais de PFP

3. **Escolha da Empresa objeto da aplicação do Método proposto:** foi escolhida uma indústria de manufatura repetitiva³ do ramo metal-mecânico para a aplicação prática do Método de implantação do sistema de PFP. Esta indústria está situada na grande Porto Alegre e utilizava inicialmente um sistema do tipo MRP.

4. **Desenvolvimento do Método de Implantação do sistema de PFP:** esta etapa contempla o desenvolvimento do projeto de implantação do PFP baseado na TOC, transformando o sistema de PCP utilizado na empresa em um sistema de Manufatura Sincronizada.

5. **Aplicação prática do Método de Implantação:** a partir da execução do projeto, os resultados foram analisados, o que permitiu que o Método proposto fosse avaliado.

³ Os produtos são conhecidos e padronizados. Os roteiros de produção se repetem para cada tipo de produto, que é fabricado sob encomenda.

6. **Correções e otimização do Método:** através da análise dos resultados do trabalho prático, o Método proposto pôde ser aperfeiçoado.

7. **Formalização da pesquisa:** o conjunto deste trabalho foi escrito, formalizando a presente dissertação.

1.4 - DELIMITAÇÕES DO TRABALHO:

As principais delimitações do presente trabalho são:

- O presente trabalho não pretende estudar em profundidade o tema planejamento fino da produção, bem como não pretende abordar todas as implicações da implantação da ferramenta. Os sistemas de PFP possuem diversas abordagens e características diferentes, o que possibilita amplas discussões e pesquisas na área. Este estudo focalizará uma destas abordagens - os sistemas desenvolvidos a partir da TOC – ressaltando os benefícios potenciais de sua utilização e o método necessário para a sua implantação.
- O estudo está associado a uma empresa de processo discreto repetitivo e os resultados não podem ser generalizados para qualquer tipo de empresa, uma vez que o método de trabalho desenvolvido foi aplicado e testado em uma empresa de processo discreto.
- A pesquisa se restringirá a estudar os aspectos técnicos da Administração/Engenharia da Produção, sem considerar demais questões ligadas à gestão empresarial. Alguns aspectos importantes identificados no decorrer do estudo não serão abordados por fugirem do foco deste trabalho, como por exemplo: o gerenciamento do projeto de implantação, as resistências culturais às mudanças impostas pela implementação de um novo sistema de PCP, a questão da venda de uma ferramenta computacional para a Empresa, etc.

- O software de PFP utilizado é o ST-POINT, que é embasado nos princípios da Manufatura Sincronizada e na TOC⁴. Este aplicativo foi escolhido por ser a versão para microcomputador do software OPT - *Optimized Production Technology*, o qual originou a abordagem de programação baseada em restrições.

1.5 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO:

O trabalho foi estruturado em 7 capítulos, cada um deles, com os tópicos descritos a seguir:

CAPÍTULO 1 - Introdução

Este capítulo procura basicamente fornecer as informações relevantes para a compreensão inicial do enfoque do presente trabalho. São apresentados a justificativa e os objetivos do trabalho. Posteriormente, são descritos o método de trabalho empregado e são explicitadas as delimitações do estudo proposto. No final deste capítulo é apresentada a estrutura da dissertação.

CAPÍTULO 2 - Revisão Bibliográfica

Neste capítulo procurou-se evidenciar alguns tópicos gerais importantes para o desenvolvimento do trabalho, principalmente relacionados à inserção da programação da produção no âmbito geral do PCP. Inicialmente apresenta-se uma definição do PCP na empresa industrial. Após é descrita a evolução histórica dos sistemas informatizados de apoio ao PCP. A seguir são apresentadas a abordagem de Manufatura Sincronizada - que derivou do software OPT - e a Teoria das Restrições.

⁴ As diferenças e semelhanças entre os termos OPT, TOC e Manufatura Sincronizada, que muitas vezes são utilizados como sinônimos na literatura, serão discutidas no Capítulo 2, através de uma perspectiva histórica.

CAPÍTULO 3 - Sistemas de PFP

Este capítulo apresenta questões específicas a respeito de aplicativos informatizados de PFP. É apresentada uma proposta de classificação dos sistemas de PFP, bem como é realizado um levantamento de alguns destes sistemas existentes no mercado brasileiro. Em seguida são analisadas algumas características de alguns sistemas de PFP, especialmente aqueles baseados na TOC⁵. Finalmente é apresentado sucintamente o software ST-POINT, que utiliza a lógica da Manufatura Sincronizada e da TOC, escolhido para o estudo de caso.

CAPÍTULO 4 - Método de Trabalho para a Implantação do Sistema

Este capítulo explicita o Método de Trabalho proposto para a implantação do sistema de PFP e dos conceitos da Manufatura Sincronizada, aos quais a ferramenta está vinculada. Todas as etapas necessárias à implementação da abordagem proposta neste trabalho são explicitadas.

CAPÍTULO 5 - Estudo de Caso

Nesse capítulo a ênfase é dada ao estudo de caso realizado. Em um primeiro momento apresenta-se a empresa onde foi realizado o estudo de caso e é discutido o sistema anterior de PCP adotado pela Empresa objeto de análise. A seguir descreve-se

⁵ Segundo informações de seus fabricantes e representantes, estes softwares baseiam-se na lógica da TOC. Oficialmente, porém, o Instituto Goldratt reconhece apenas três aplicativos que utilizam o algoritmo de sincronização da TOC “*Drum-Buffer-Rope*” - DBR (Tambor-Pulmão-Corda – TPC): ST-POINT, OPT 21, e Thru-Put. Fonte: Instituto Goldratt do Brasil (O Anexo A apresenta um questionário fornecido por este instituto a respeito de “**Pré-requisitos básicos para softwares de suporte a metodologias de Gestão da Teoria das Restrições (TOC)**”).

a aplicação do método de trabalho descrito no Capítulo 4. Finalmente, são apresentados e comentados os resultados obtidos a partir do trabalho realizado.

CAPÍTULO 6 - Avaliação do Trabalho

Neste capítulo apresenta-se uma avaliação do trabalho realizado na empresa. Em um primeiro momento, são enfocados os resultados apresentados no Capítulo 5. Posteriormente, são avaliados os pontos críticos da implantação do sistema e as dificuldades encontradas no decorrer do trabalho de campo realizado. No final deste capítulo é avaliado criticamente o método de trabalho aplicado, e são apresentadas algumas alternativas para a melhoria da abordagem proposta.

CAPÍTULO 7 - Conclusões e Trabalhos Futuros

Este capítulo apresenta um breve resumo do estudo desenvolvido e as principais conclusões do trabalho. Além disso, são propostos possíveis trabalhos futuros, visando o aprofundamento do tema em questão.

CAPÍTULO 2

Revisão Bibliográfica

Este capítulo analisa alguns tópicos importantes para o desenvolvimento do presente trabalho, em uma perspectiva de evolução histórica das ferramentas de apoio ao Planejamento e Controle da Produção (PCP). Primeiramente será apresentada uma definição do Planejamento e Controle da Produção, seus objetivos e os diferentes horizontes de planejamento no tempo, destacando a inserção da Programação da Produção neste contexto. Serão expostas as primeiras técnicas computacionais desenvolvidas para o PCP. Em seguida será descrita a abordagem ‘Manufatura Sincronizada’ e seus princípios - que derivaram do software “Tecnologia de Produção Otimizada (*Optimized Production Technology* - OPT) - cuja evolução culminou com o desenvolvimento de uma teoria global, não apenas para a área de produção de uma empresa, mas para toda a organização, chamada Teoria das Restrições (*Theory Of Constraints* - TOC).

2.1 – O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)

O PCP é a área da manufatura responsável pelo gerenciamento das atividades da operação produtiva de modo a satisfazer a demanda dos consumidores (Slack et alli, 1996).

Segundo Corrêa & Pedroso (1996), os sistemas de PCP objetivam apoiar as decisões de ‘o que’, ‘quanto’, ‘quando’ e ‘onde’ produzir e ‘o que’, ‘quanto’ e ‘quando’ comprar. Estas decisões definem quatro determinantes fundamentais do desempenho destes sistemas:

- Os níveis, em volume e *mix*, de estoques de matérias-primas, produtos em processo e produtos acabados;
- Os níveis de utilização e de variação da capacidade produtiva;
- O nível de atendimento à demanda dos clientes, considerando a disponibilidade dos produtos em termos de quantidades e prazos de entrega;
- A competência quanto à reprogramação da produção, abordando as formas como a empresa reage às mudanças não previstas nos seus recursos de produção e na demanda dos clientes.

Russomano (1995) identifica o PCP como uma função de coordenação e apoio global para os setores de produção e compras das empresas cumprirem suas finalidades de acordo com o setor de vendas.

Os principais objetivos de desempenho do PCP relatados na literatura (Chase e Aquilano, 1995; Russomano, 1995; Buffa e Miller, 1979) são:

- Melhoria do desempenho no atendimento da demanda no prazo;

- Redução dos tempos de atravessamento
- Maximização da utilização da capacidade produtiva dos recursos;
- Manutenção dos níveis de estoque desejados;

Conforme Pedroso (1996), a operação do sistema de PCP é formada por atividades que abrangem decisões tomadas em diferentes horizontes de tempo, períodos de replanejamento e nível de agregação, podendo ser caracterizadas em:

- Planejamento de longo prazo;
- Planejamento de médio prazo; e
- Planejamento de curto prazo.

A separação das decisões do sistema de PCP em diferentes horizontes de tempo está relacionada ao denominado planejamento hierárquico da produção, uma abordagem que propõe decompor o problema do planejamento da produção de larga escala em sub-problemas menores, resolvendo-os seqüencialmente – do maior horizonte de tempo para o menor – e iterativamente – as decisões nas hierarquias superiores são restrições aos problemas seguintes, bem como são realimentadas por estes (Corrêa & Pedroso, 1996).

O relacionamento entre as atividades do PCP, considerando os diferentes horizontes de tempo, é ilustrado pela Figura 2.1.

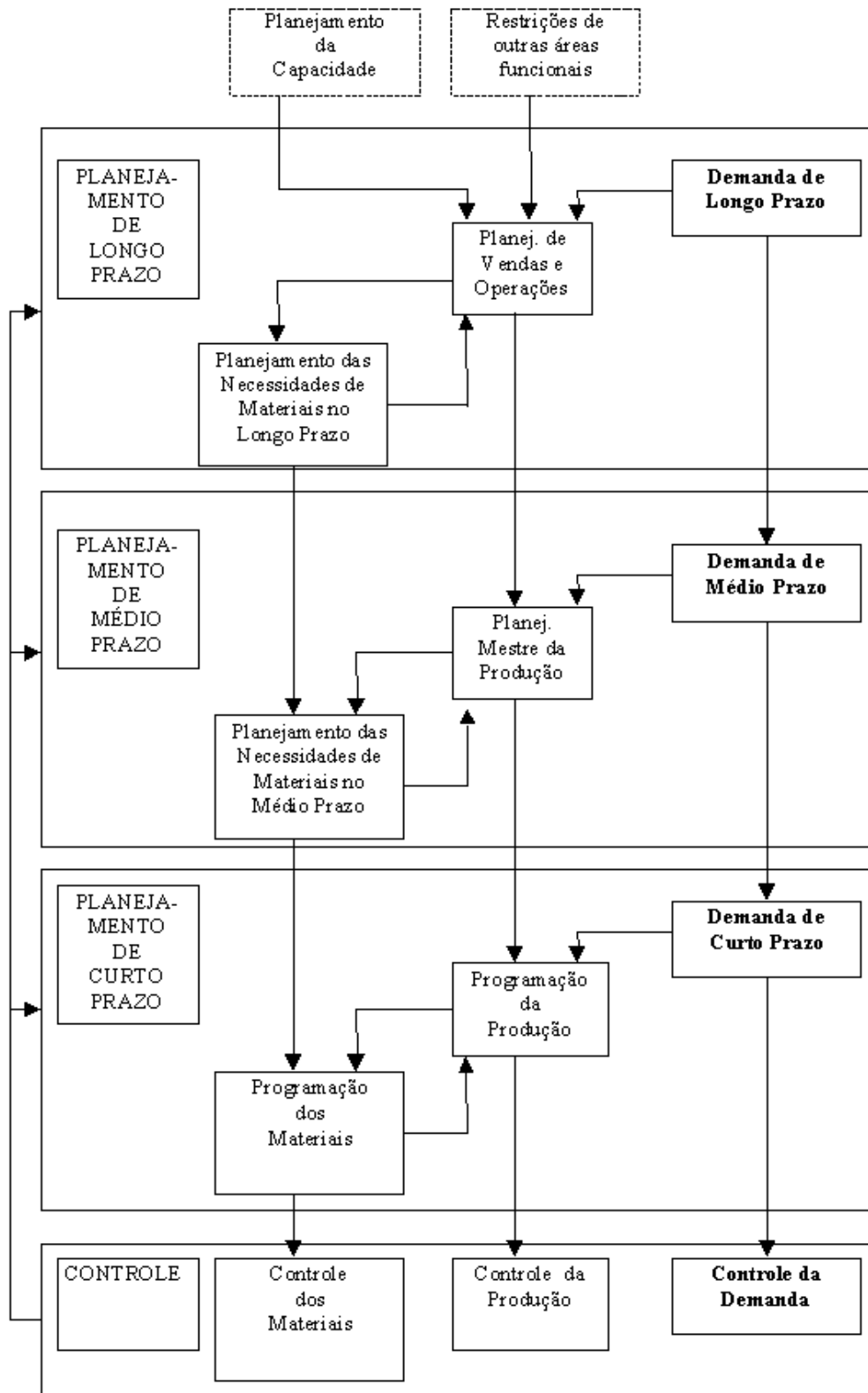


Figura 2. 2 - A Interrelação das Atividades do Sistema de PCP (adaptado de Pedroso, 1996)

Pedroso (1996) caracteriza estas atividades da infra-estrutura, ou operação, do sistema de PCP como segue:

a) Demanda

- **A Demanda de Longo Prazo:** define a previsão de demanda – geralmente de maneira agregada, ou seja, ao nível de tipos ou famílias de produtos – por período, em horizontes que englobam pelo menos um ciclo de sazonalidade destes;
- **A Demanda de Médio Prazo:** determina a previsão da demanda dos produtos finais por período no médio prazo;
- **A Demanda de Curto Prazo:** determina a demanda dos produtos finais por período no curto prazo, atualizando as informações da Demanda de Médio Prazo através da confirmação e/ou alteração dos pedidos.
- **O Controle de Demanda:** monitora a Demanda de Curto Prazo;

b) Planejamento

- **O Plano Agregado de Produção:** define a quantidade agregada de produtos – ao nível de tipos ou famílias de produtos – a ser produzida por período durante um horizonte de longo prazo para atender a Demanda de Longo Prazo. Este planejamento determina, conseqüentemente, as necessidades agregadas de recursos humanos, o nível de ocupação da capacidade produtiva e as necessidades de subcontratação, bem como os níveis de estoques, de atrasos de não-atendimento da demanda para cada período;
- **O Planejamento Mestre da Produção:** define a quantidade de produtos finais a ser produzida por período durante um horizonte de médio prazo, visando atender a Demanda de Médio Prazo e as quantidades agregadas de

produtos decididas pelo Planejamento de Vendas e Operações nos períodos equivalentes. Desagrega, assim, as necessidades de recursos humanos, o nível de ocupação da capacidade produtiva e as necessidades de subcontratação, bem como determina os níveis de estoque, de atrasos e de não atendimento da demanda para cada produto por período;

- **A Programação da Produção:** define a seqüência – ou o momento de início e término das atividades a serem realizadas no chão-de-fábrica, bem como as subcontratadas, dentro de um horizonte de curto prazo, visando atender a Demanda de Curto Prazo e as quantidades de produtos finais decididas pelo Plano Mestre de Produção nos períodos equivalentes. Estas decisões consideram as restrições de capacidade e tecnológicas do chão-de-fábrica e realimentam o Plano Mestre de Produção;
- **O Controle da Produção:** monitora a execução das atividades decididas pela Programação da Produção, bem como os estoques em processo e acabados. A partir destas informações, realimenta o Planejamento de Vendas e Operações, o Plano Mestre de Produção e a Programação da Produção;

c) Materiais

- **O Planejamento das Necessidades de Materiais no Longo Prazo:** define as necessidades agregadas de materiais – ao nível de tipos ou famílias de materiais - a serem compradas por período durante um horizonte de longo prazo.
- **O Planejamento das Necessidades de Materiais no Médio Prazo:** determina as necessidades de materiais a serem supridas por período durante um horizonte de médio prazo para atender as respectivas quantidades de produtos finais decididas pelo Plano Mestre de Produção, e

considerando as limitações impostas pelo Planejamento dos Materiais no Longo Prazo.

- **A Programação dos Materiais:** determina as necessidades dos materiais e os respectivos prazos de recebimento durante um horizonte de curto prazo para atender a seqüência de atividades decidida pela Programação da Produção, e considerando as limitações impostas pelo Planejamento dos Materiais no Médio Prazo.
- **O Controle dos Materiais:** monitora a execução das atividades referentes ao suprimento de materiais e os respectivos estoques. A partir destas informações, realimenta o Planejamento dos Materiais no Longo Prazo e no Médio Prazo, bem como a Programação dos Materiais;

Como pode ser observado na classificação apresentada, a Programação da Produção envolve o planejamento no curto prazo. Basicamente, a Programação da Produção consiste em decidir quais atividades produtivas (ou ordens de trabalho) devem ser realizadas, quando (momento de início ou prioridade na fila) e quais recursos serão utilizados (matérias-primas, máquinas, operadores, ferramentas, entre outros) para atender a demanda, informada ou através das decisões do plano mestre de produção ou diretamente da carteira de pedidos dos clientes (Corrêa & Pedroso, 1996).

Outro fato que pode ser constatado na classificação proposta pelo autor, se relaciona às atividades de planejamento, programação e controle dos materiais, que foram desacopladas das relativas ao planejamento, programação e controle das operações, particularmente para atender à lógica da abordagem 'MRP'. Outras abordagens, tais como o 'OPT' e alguns Sistemas com Capacidade Finita tomam estas decisões simultaneamente⁶ (Pedroso, 1996).

⁶ A questão do planejamento da capacidade separado do planejamento dos materiais, nos sistemas MRP, e as implicações deste método serão discutidas no item 2.2.1.2 deste capítulo.

A atividade de programação é uma das mais complexas tarefas no gerenciamento da produção, pois o número de programações possíveis cresce rapidamente à medida que o número de atividades e processos aumenta (Slack et ali, 1996). A complexidade decorre do volume de variáveis envolvidas e sua capacidade de influenciar os diferentes e conflitantes objetivos de desempenho do sistema de PCP (Corrêa & Pedroso, 1996).

Se for considerado, por exemplo, o caso de uma máquina apenas que possua 3 trabalhos para seqüenciar, existem seis permutações possíveis, - ou seja fatorial de 3 (3!) - uma delas, ou um conjunto, sendo a melhor opção. Neste caso seria necessário analisar-se apenas 6 opções, mas no caso desta mesma máquina possuir 10 trabalhos para seqüenciar, seria preciso considerar $10! = 3.628.800$ alternativas para encontrar a melhor seqüência para a programação destes trabalhos.

O número de programações possíveis para m máquinas e n trabalhos é $n!$ elevado à m potência, o que torna a complexidade da tarefa ainda maior para mais de uma máquina. Em situações reais de programação na manufatura, os problemas são mais complexos do que o exemplificado (milhares de trabalhos e dezenas de máquinas, por exemplo).

Todas estas dificuldades tornaram o computador, devido à sua rapidez e poder de processamento, uma ferramenta necessária à Programação da Produção.

2.2 - Evolução Histórica de sistemas computadorizados de PCP

No início da década de 60, os computadores começaram a ser utilizados em empresas industriais, nas atividades de planejamento e programação da produção e controle de inventário. Foram desenvolvidas duas abordagens computacionais distintas para a execução destas tarefas que, até então, eram realizadas manualmente:

os sistemas MRP e os sistemas de Planejamento Fino da Produção - PFP (Goldratt, 1988).

2.2.1- Sistemas de Planejamento Macro MRP

A primeira das abordagens de criação de um sistema de programação computadorizado objetivou “informatizar” os procedimentos manuais de planejamento e programação da produção e controle de inventário, com cálculos aritméticos simples, afastando a possibilidade do erro humano (Goldratt, 1988).

Esta foi uma tendência natural na época, pois os computadores já eram usados nas empresas para tarefas de contabilidade, que empregavam o poder e a rapidez computacional em rotinas aritméticas.

Estes sistemas denominaram-se MRP - *Material Requirements Planning*, ou seja, Planejamento das Necessidades de Material. Posteriormente foram aperfeiçoados, com novas funções tais como finanças, engenharia distribuição, e outras, e passaram a ser denominados sistemas de Planejamento de Recursos de Manufatura (*Manufacturing Resource Planning* - MRP II).

2.2.1.1 – Material Requirements Planning - MRP

O MRP é um sistema de planejamento que objetiva programar a quantidade certa de material no tempo certo, baseado em pedidos combinados com previsões (Vollmann, 1988). Os cálculos são executados visando atender a dois tipos de demanda: a demanda independente, relacionada com os itens finais e possivelmente por alguns componentes (quando estes são vendidos como peças de reposição, por exemplo), que se origina fora do sistema, e a demanda dependente, relacionada com os itens que compõe os produtos da demanda independente (Spearman, 1996). A demanda dependente é mais facilmente calculada e conhecida, uma vez que é derivada de cada produto final.

As informações necessárias para a execução do MRP e alguns de seus resultados são mostrados resumidamente na Figura 2.2. Inicialmente, o Plano Mestre de Produção (PMP) é formado pela carteira de pedidos, isto é, os pedidos firmes dos clientes, e pela previsão de vendas, que são estimativas de vendas futuras baseadas em técnicas estatísticas e experiência histórica. O PMP refere-se à demanda independente, pois é um plano para os itens finais.

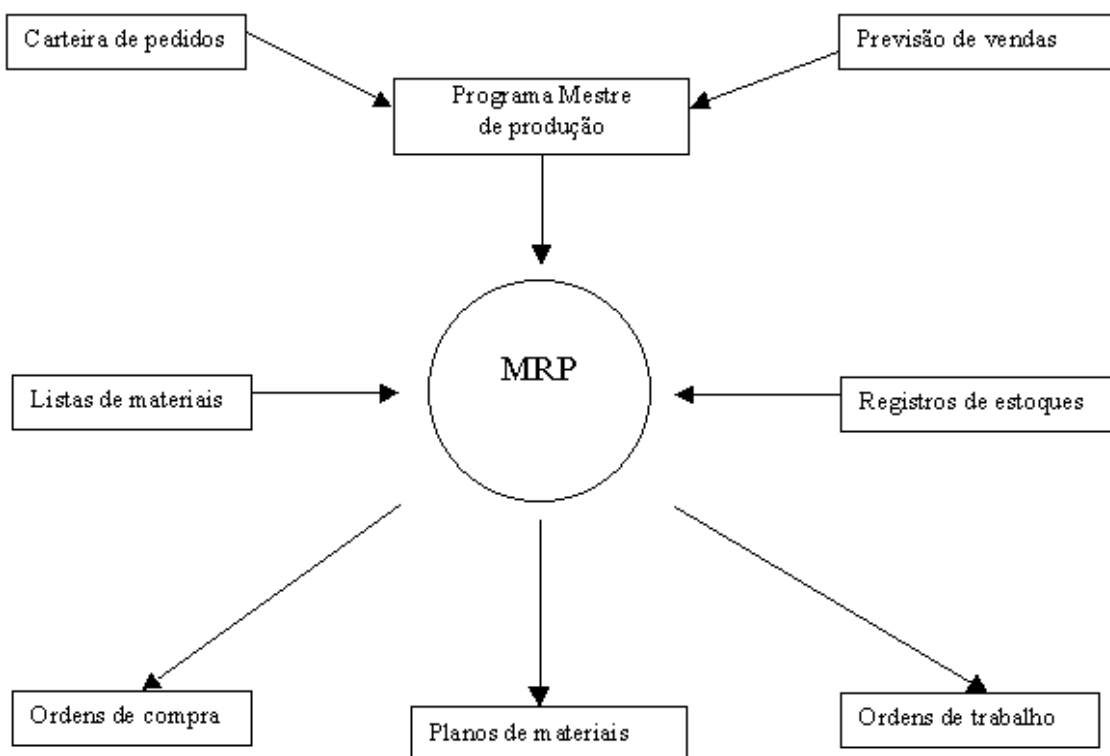


Figura 2.3 - Desenho esquemático do planejamento das necessidades de materiais (Fonte: Slack et alli,1996 – p.444).

O relacionamento entre os itens finais e os componentes que os constituem, chamados itens de nível inferior⁷, é descrito pela lista de materiais (Spearman, 1996). Estes arquivos, que também são uma informação de entrada para o MRP, contém a estrutura dos produtos nível a nível, com as respectivas quantidades de cada componente que formará o produto final.

O arquivo de lista de materiais fornece a base de dados dos ingredientes ou estrutura dos produtos. Ao invés do MRP simplesmente tomar estes ingredientes e multiplicá-los pela demanda, de modo a determinar as necessidades totais de materiais, ele reconhece que alguns dos itens necessários podem já estar em estoque. Este estoque pode estar na forma de produtos finais, estoque em processo ou matérias-primas. É então necessário, começando pelo nível 0 de cada lista, verificar a quantidade de estoque disponível de cada produto final, submontagens e componentes, para que se possa calcular o que é chamado de necessidade “líquida”- a quantidade extra necessária para, juntamente com o estoque, atender a demanda (Slack et alli, 1996). Para tanto, o MRP necessita dos registros de estoque, conforme ilustra a Figura 2.1.

Uma vez de posse dos dados necessários à entrada, o MRP pode iniciar o seu procedimento, que, segundo Spearman (1996), se constitui dos seguintes passos para cada componente:

- 1. Necessidades líquidas:** são calculados tomando-se os requisitos brutos e diminuindo-se os estoques existentes e os requisitos já programados.
- 2. Tamanho do lote:** a demanda de requisitos líquidos é dividida em lotes para formar trabalhos. Vários métodos de cálculo de tamanho de lote

⁷ A lista de materiais reproduz a estrutura do produto, onde alguns componentes formam outros, que formam terceiros. Estes níveis são codificados, sendo o produto final considerado nível zero, uma montagem usada pelo item final sendo nível 1, um item usado apenas por esta montagem tendo o nível 2, e assim por diante. O nível inferior do item não se refere a este código, pois pode ser observado que quanto mais inferior é o item, maior é o seu código. Ocorre que quando a estrutura do produto é representada graficamente, em forma de árvore, por exemplo, os itens mais inferiores são aqueles que

podem ser usados, incluindo: quantidades de pedido fixas; quantidades de Lote Econômico de Compra (LEC) e Lote Econômico de Fabricação (LEF); lote por lote, que é a quantidade exata de requisitos líquidos para cada período; requisitos de período fixo; várias abordagens de custo mínimo, por exemplo, custo unitário mínimo e custo total mínimo (Monks, 1988).

3. **Escalonamento no tempo:** o MRP assume os *lead times*⁸ fixos e, a partir da data de entrega do pedido e do tamanho dos lotes, calcula o tempo em direção ao passado, para definir as datas iniciais de cada trabalho.
4. **Explosão:** usando os tempos de início, os tamanhos de lote e a lista de materiais, são gerados os requisitos brutos para os componentes do próximo nível.
5. **Interação:** estes passos são repetidos até que todos os níveis sejam processados.

Como resultado de seu processamento, o MRP apresenta relatórios de ordens de compras, planos de materiais e ordens de fabricação para cada componente.

A primeira geração de sistemas MRP considerava que as linhas de produção sempre tivessem capacidade suficiente para a execução dos planos de produção. Ou seja, o MRP considerava a capacidade infinita do sistema produtivo. O cálculo de capacidade, bem como outras funções, foi incorporado posteriormente, no sistema que se denominou MRP II.

se encontram mais distantes do produto final, que está na parte superior da árvore.

⁸ *Lead time* significa o tempo de atravessamento de uma peça pela fábrica. As aproximações efetuadas pelo MRP, na consideração destes tempos, causarão distorções na programação, que serão explicitadas no tópico 2.2.1.3 - Deficiências dos Sistemas MRP/MRP II na programação.

2.2.1.2 – O MRP II

O “Planejamento de Recursos de Manufatura” (*Manufacturing Resource Planning* - MRP II), é definido por Wight (1984, p. 64) como: “um plano global para o planejamento e monitoramento de todos os recursos de uma empresa de manufatura: produção, marketing, finanças e engenharia.”

Além de simplesmente tratar de deficiências do MRP, como a consideração da capacidade infinita, o MRP II traz juntamente outras funções, para produzir um verdadeiro sistema de gestão integrado de manufatura. Estas funções adicionais incluem gerenciamento de demanda, previsões, planejamento de capacidade, plano mestre de produção, planos de capacidade bruta, Planos de Necessidade de Capacidade (*Capacity Requirements Planning* - CRP), distribuição, e controle de entrada e saída (Spearman, 1996).

Os módulos de capacidade foram introduzidos para que os planos de produção fossem comparados com os recursos disponíveis. Este processo de confrontação ocorre ciclicamente, até que um plano viável seja encontrado. Os primeiros sistemas que utilizaram este método de confrontação do planejamento com a capacidade disponível e revisão do plano ficaram conhecidos como “MRP de ciclo fechado”. A Figura 2.3 ilustra o procedimento do MRP de ciclo fechado. A capacidade é verificada em vários níveis, desde o longo até o curto prazo, e, segundo Slack (1996), são utilizadas três rotinas para realizar a comparação:

- Plano de necessidades de recursos: são planos estáticos que envolvem a análise do futuro de longo prazo, de forma a prever as necessidades de grandes partes estruturais da unidade produtiva, como o número, a localização e o tamanho de novas unidades.
- Planos de capacidade bruta (*rough cut capacity plan*): confronta o Plano Mestre de Produção contra os recursos-chaves. Se o Plano Mestre não é viável, ele deve ser ajustado.

- Planos de necessidades de capacidade (*CRP-Capacity Requirements Plans*): projeta a carga das ordens de trabalho do MRP sobre equipamentos ou operadores, em uma base diária.

Além das rotinas de planejamento, o MRP de ciclo fechado contempla uma fase de execução, onde o realismo do plano é avaliado, as ordens de produção e compras são monitoradas, e os resultados são avaliados, conforme Figura 2.3.

Pode ser observado que o MRP programa os materiais em um primeiro momento e, em seguida confronta este plano com a capacidade produtiva disponível. Segundo Franks (1993), o tratamento separado de capacidade e disponibilidade de materiais se constitui no maior problema na operação dos sistemas MRP. Franks (1993) argumenta que a avaliação simultânea de materiais e capacidade, além de ser mais lógica, é a avaliação que ocorre na prática. Em uma fábrica, o responsável pela produção naturalmente considera se existem materiais suficientes e capacidade disponível no momento de programar uma operação.

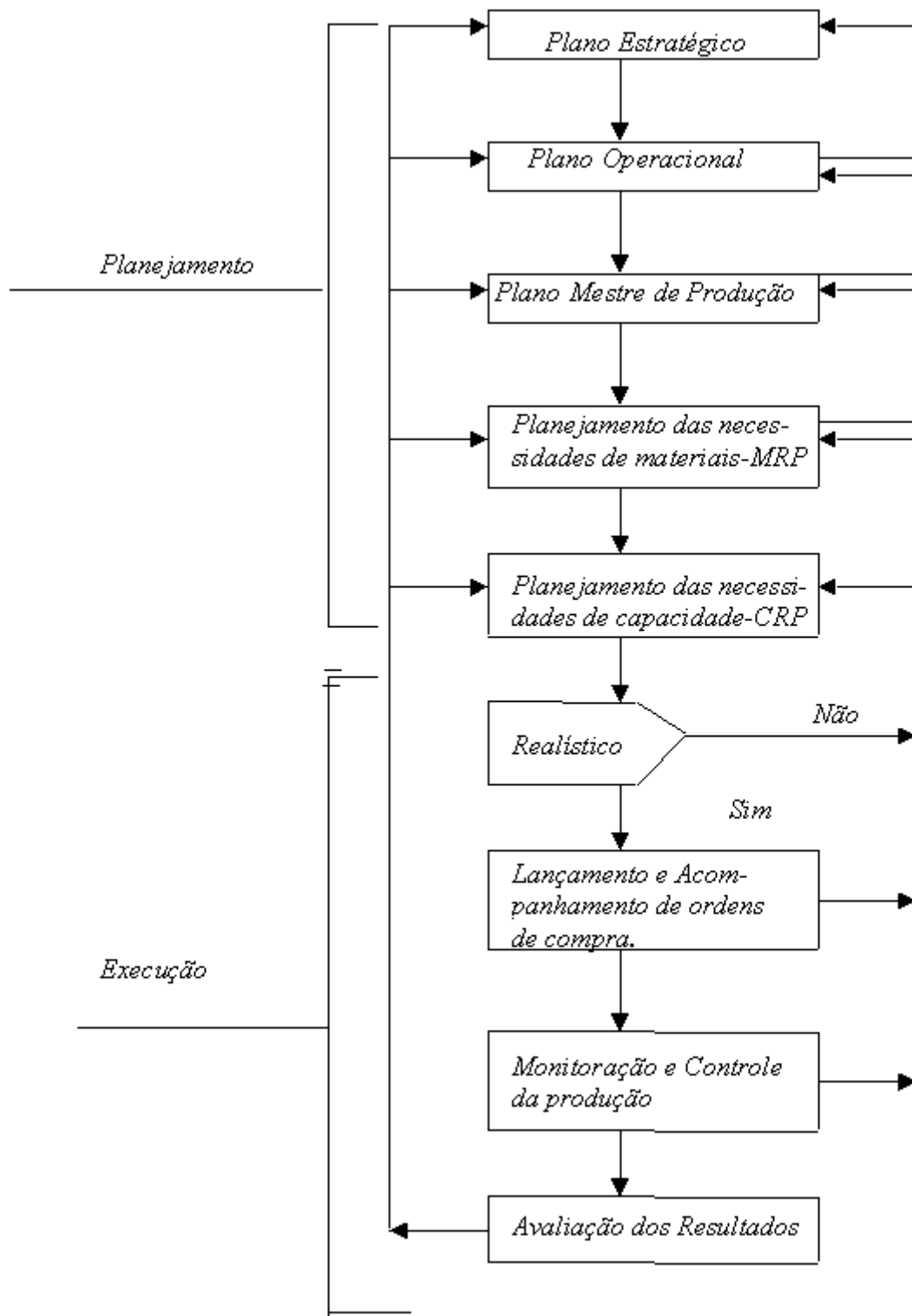


Figura 2. 4 - MRP de ciclo fechado (Closed loop MRP). Fonte: Sacomano (1990).

Franks (1993) considera que uma ferramenta computacional de programação da produção deve, inicialmente, responder a três perguntas básicas:

- existe demanda a ser satisfeita?
- existem materiais disponíveis?
- existe capacidade para produzir?

Se um sistema computacional de programação da produção não é capaz de responder a estas questões simultaneamente, serão necessárias simulações iterativas multi-cíclicas para que soluções razoáveis sejam encontradas. A grande quantidade de tempo e de intervenção humana necessária dificultam fortemente esta tarefa.

2.2.1.3 – Deficiências dos sistemas MRP/MRP II na programação da produção

O MRP/MRP II incorpora uma base de dados valiosa para a empresa, porém apresenta deficiências no aspecto de programação da produção. Estas limitações podem ser classificadas em dois tipos: limitações da abordagem teórica – que ocorre principalmente devido aos pressupostos, muitas vezes errôneos, dos quais o MRP/MRP II parte para programar – e as limitações dos softwares comerciais.

a) Limitações da Abordagem Teórica:

- **Capacidade infinita:** o MRP/CRP usa uma estratégia de programação *backward*⁹ infinita, a partir das datas de entrega dos pedidos, isto é, estes sistemas ignoram disponibilidade real ou finita de materiais e capacidade

⁹ O início de uma atividade é programado de maneira reversa, ou seja, o término de uma atividade corresponde à uma data final pré-determinada. Assim, o início desta é programado de maneira que a atividade termine o mais tarde possível (Pedroso, 1996).

(Franks, 1993). Assim, a utilização da abordagem *backward* pode resultar em programas de produção inviáveis ao gerar datas de início anteriores à data atual – ou seja, no passado (Chang et alli, 1994 *apud* Pedroso, 1996).

- **Seqüenciamento:** o MRP/MRP II, apesar de calcular a capacidade, não programa o seqüenciamento das operações de manufatura. Como consequência, o planejamento gerado terá um nível de agregação que pode não ser realizável na prática¹⁰.
- **Lead times pré-determinados:** os *lead times* são fixos e pré-determinados para cada componente em todos os níveis da lista de materiais. Ocorre que os tempos de manufatura são variáveis e o MRP/MRP II faz uso de aproximações. Além disso, um dos componentes destes *lead times* estimados é a folga, que é necessária pois a capacidade não é adequadamente considerada na programação e porque alguns imprevistos acontecem no chão de fábrica (Fox, 1988). Porém, os *lead times* são resultados de uma programação e não podem ser pré-determinados (Darlington, 1996). O *lead time* de um determinado componente é formado pelo tempo de fabricação e pelo tempo das esperas:

$$LT = T.fabric + \sum T.esperas$$

onde: LT = *lead time* do componente

T.fabric = tempo de fabricação

T.esperas = tempo de esperas do componente por processamento

¹⁰ O Anexo B traz um exemplo da diferença entre a capacidade produtiva estimada de uma linha de produção e a capacidade real observando-se o seqüenciamento.

O tempo de fabricação deste componente é formado pelo tempo de *set up* e pelo tempo de processamento multiplicado pelo número de peças do lote:

$$T.fabric = T.setup + Q \times T.process$$

onde: T.setup = tempo de preparação da máquina

Q = número de peças do lote

T.process = tempo de processamento unitário do componente

Como o MRP/MRP II não seqüencia as atividades, isto influencia no aumento dos tempos de espera, bem como força a agregação de lotes para aproveitamento de *set up*. Por exemplo, supondo-se que um componente possua:

- tempo de processamento de 1 minuto (T.process = 1 min);
- tempo de *set up* de 100 minutos (T.setup = 100 min.);
- Existem três pedidos para a produção desta peça, com diferentes datas de entrega: O pedido 1 (P1) de 100 peças, o pedido 2 (P2) de 200 peças e o pedido três (P3) de 300 peças.

Desconsiderando-se os tempos de espera, para facilidade de cálculo, e levando em conta que a seqüência de produção, realizada para atender os clientes no prazo, definiria a execução de três *set ups*, o lead time destas peças seria:

$$LT = T.fabric. = T.setup + Q \times T.process$$

$$LT = T.fabric. = 100 \times 3 + 600 \times 1 = 900 \text{ minutos}$$

Porém, como o sistema MRP não leva em conta a seqüência de atividades na avaliação de capacidade, o *lead time* calculado poderia ser:

$$LT = T.fabric. = 100 \times 1 + 600 \times 1 = 700 \text{ minutos}$$

Isto é, o MRP realiza uma aproximação não condizente com a realidade, podendo considerar apenas um *set up* e agregando todos os lotes de produção. Esta simplificação causa uma distorção nos tempos de atravessamento, que podem inviabilizar a execução de seus planos de produção.

- **Lotes fixos:** regras de lotes fixos ajustados aos estágios distorcem o processo de programação ainda mais, pois estão desconectadas das verdadeiras necessidades no curto prazo, os pedidos de clientes (Franks, 1993). A divisão de lotes é desencorajada no MRP II; esta não é considerada uma maneira de aumentar a flexibilidade e eficiência da produção (Darlington, 1996).

b) Limitações dos Softwares Comerciais

- **Velocidade:** na época em que foram criados estes sistemas computacionais, não havia grande capacidade de memória residente (RAM), o que limitava o poder de cálculo. A opção feita foi gravar e recuperar blocos de dados no seu meio de armazenagem, os discos (Goldratt, 1990). Esta alternativa passou a ser utilizada pelos pacotes disponíveis comercialmente - que utilizam o procedimento de ir e voltar ao disco para buscar a gama de dados que poderia ser recalculada muito mais rápido. Naturalmente, este último método de recalculer os dados precisa manter mais alguns dados na memória *on-line*, porém as limitações sobre a memória se reduziram drasticamente (Goldratt, 1990). Além disso, a estrutura do produto está separada em arquivos de lista de materiais (*Bill of*

Materials - BOM) e roteiros (*Routings* - ROT), o que leva à necessidade de movimentação constante entre estes dois arquivos durante o processo de explosão¹¹, aumentando significativamente o tempo de resposta do computador (Goldratt, 1990).

- **Realidade do chão de fábrica:** os sistemas MRP/MRP II são centrados no cálculo agregado de materiais e capacidade, e muitas vezes podem não considerar alguns aspectos importantes para a programação da produção, tais como tempos de *set ups* dependentes¹², roteiros de produção alternativos e recursos substitutos. Esta restrição do sistema é também consequência do não seqüenciamento das operações pelo MRP/MRPII. A sua visão macro da produção encobre a necessidade de um detalhamento dos processos de manufatura. Sendo assim, apesar desta ser uma restrição de software, ela pode ser considerada como efeito de uma limitação da “Abordagem MRP”.

Estas dificuldades e limitações motivaram a procura por soluções que abrangessem o dinamismo e o detalhamento de um sistema produtivo - os sistemas de PFP, conhecidos também como Sistemas de Programação da Produção com Capacidade Finita, ou como eram denominados originalmente “*Finite Scheduling*”.

¹¹ Explosão significa começar a nível do pedido, os requisitos externos, e penetrar na estrutura do produto para determinar as necessidades, tanto em quantidade como em tempo, nos níveis inferiores: níveis de montagem, produção de componentes e compras (Goldratt, 1990).

¹² O tempo de preparação em uma máquina, da operação A para a operação B pode ser diferente do tempo necessário de preparação da operação B para a A. Logo, os tempos de set up são dependentes da operação anterior no mesmo recurso. Por exemplo, em uma operação de pintura, o tempo necessário para a troca de uma tinta de cor branca para uma tinta de cor preta pode ser de uma hora. Na situação inversa, isto é, a preparação da injetora da tinta preta para a tinta branca, é necessária uma limpeza mais detalhada, tornando o tempo de troca igual a duas horas.

2.2.2 - Sistemas de Planejamento Fino da Produção (PFP)

Ao mesmo tempo que o MRP era criado, uma abordagem totalmente distinta para a utilização da computação na programação da produção foi desenvolvida. Esta abordagem foi baseada em programações detalhadas para o chão de fábrica, levando em conta a capacidade finita de todas as máquinas. Em meados dos anos 60, esta abordagem se tornou conhecida como PFP, ou “*finite scheduling*”, e seu desenvolvimento iniciou na Alemanha (Goldratt, 1988).

Os sistemas de *finite scheduling* não foram bem sucedidos em implementações reais na época e decaíram, apesar de todos os esforços, até a quase extinção, até mesmo em seu país de origem (Goldratt, 1988). A principal dificuldade consistia em lidar com a complexidade da programação finita com os recursos computacionais existentes até então.

Estes sistemas só voltariam ao cenário em 1985, conhecidos ainda como “*finite scheduling*”, PFP, ou como “*Leitstand*,” na Alemanha, sendo que as primeiras aplicações práticas, principalmente na Europa, iniciaram-se em 1988 (Piemonte, 1992).

2.2.2.1 - A Complexidade da Programação Finita

A geração de uma programação que considere a capacidade finita de todos os recursos produtivos e o detalhamento das operações de manufatura envolve inúmeras variáveis, o que exige uma grande capacidade computacional.

Quando elementos caóticos adicionais são introduzidos - por exemplo, diferentes calendários de turnos de trabalho, fatores de eficiência, disponibilidade de ferramentas e atendimento - os resultados começam a ficar imprevisíveis, tornando a programação finita, visando a otimização, uma ferramenta impraticável, exceto para centros de trabalho isolados (Inglesby, 1991).

Ocorre que muitos dos problemas de programação da produção se situam na categoria “*NP-hard*”, que são aqueles problemas para os quais não há algoritmo polinomial conhecido, o que faz com que o tempo para encontrar uma solução aumente exponencialmente (Spearman, 1996)¹³.

Assim, para problemas muito grandes, mesmo que o modelo seja uma boa representação do mundo real, e mesmo que exista um bom potencial computacional disponível, o tempo para a solução do problema é tão grande que inviabiliza a utilização de métodos de otimização. Nestas situações, o único meio praticável para a resolução do problema passa a ser o uso da abordagem heurística (Pidd, 1998).

A abordagem heurística busca soluções viáveis e possíveis para a programação, que, não necessariamente, seriam as soluções ótimas. Segundo Spearman (1996), um sistema eficaz de programação deve permitir a intervenção humana. Para fazer uso eficaz da inteligência humana, tal sistema deveria avaliar a possibilidade (e não buscar a otimização) de uma determinada programação.

Dentre as soluções heurísticas para a programação da produção, destaca-se a Tecnologia de Produção Otimizada (*Optimized Production Technology - OPT*), que inovou ao priorizar a programação dos recursos restritivos.

¹³ Uma exemplificação do impacto no tempo de resposta computacional que este tipo de problema produz, é descrita por Spearman (1996): para o caso já exposto anteriormente de uma máquina e 20 trabalhos para serem programados, e utilizando-se um computador que possa analisar 1.000.000 seqüências por segundo, o tempo necessário para considerar todas as possibilidades é de 77147 anos.

2.3 – TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO OTIMIZADA (OPTIMIZED PRODUCTION TECHNOLOGY - OPT)

No final dos anos setenta, uma nova abordagem para a programação da produção foi desenvolvida por Goldratt através da criação do software OPT - *Optimized Production Technology*.

Apesar de ser alimentado pelos mesmos tipos de arquivos de dados dos sistemas MRP/MRP II, o software os estruturava de uma maneira diferente. Os arquivos de listas de materiais (BOM) e de roteiros de produção (ROT) foram unidos formando o que passou a ser conhecido pelo termo “rede.” Esta alteração permitiu uma maior velocidade de processamento do programa, uma vez que não era mais necessária a movimentação entre estes dois arquivos (Goldratt, 1990).

A Figura 2.4 mostra a separação, que existe tradicionalmente na abordagem ‘MRP’, entre os arquivos de Lista de Materiais (BOM), de Roteiros (ROT) e de Estoques em Processo (*Work in Process* - INV). A segmentação original destes arquivos ocorreu devido à restrições tecnológicas na armazenagem dos dados, que existiam na época do desenvolvimento do MRP, porém foram superadas posteriormente (Goldratt, 1988). A estrutura sugerida por Goldratt (1988), é composta de estações que representam estágios na ‘jornada’ dos materiais desde a compra, passando por estágios de processamento e montagem, até serem entregues como pedidos de clientes. Esta estrutura, denominada rede de atividades (*task-net*), é mostrada na Figura 2.5.

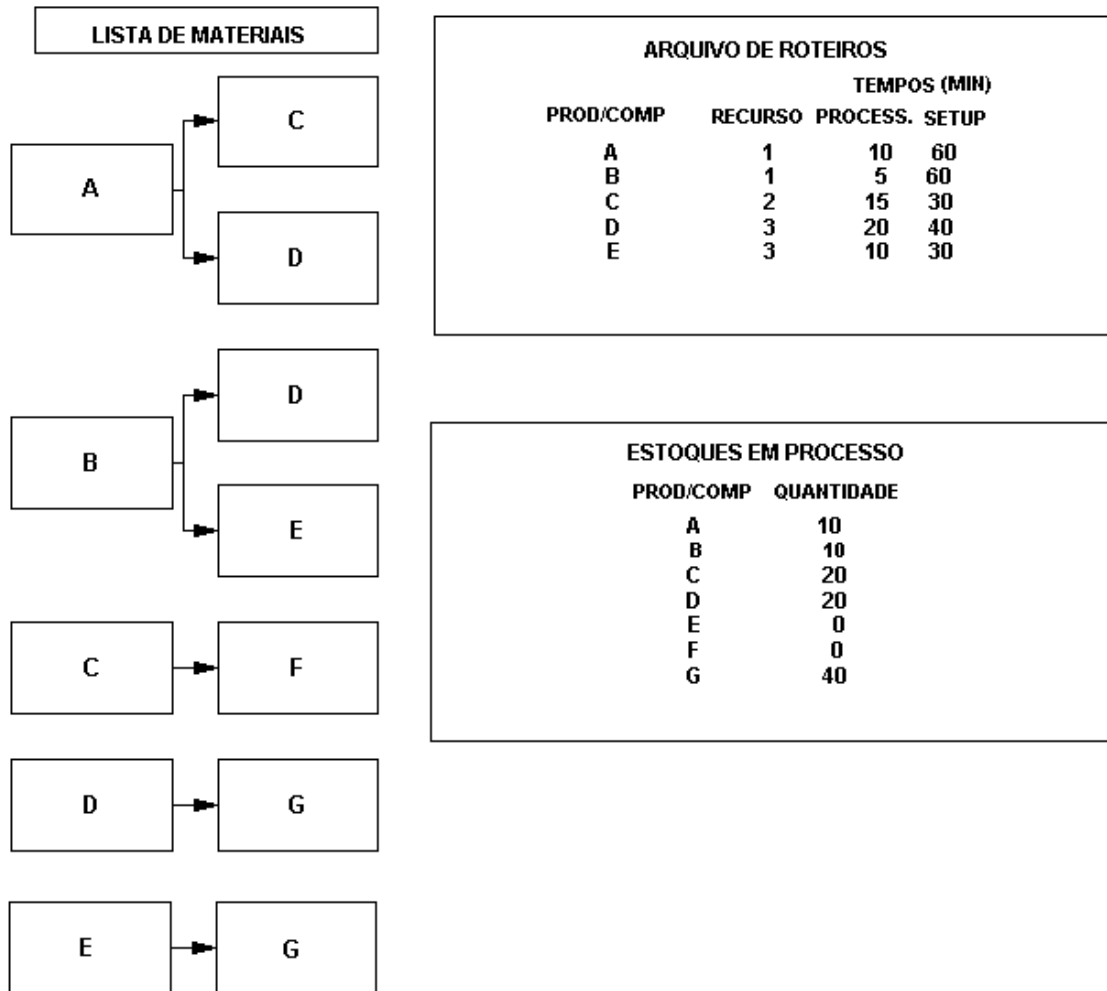
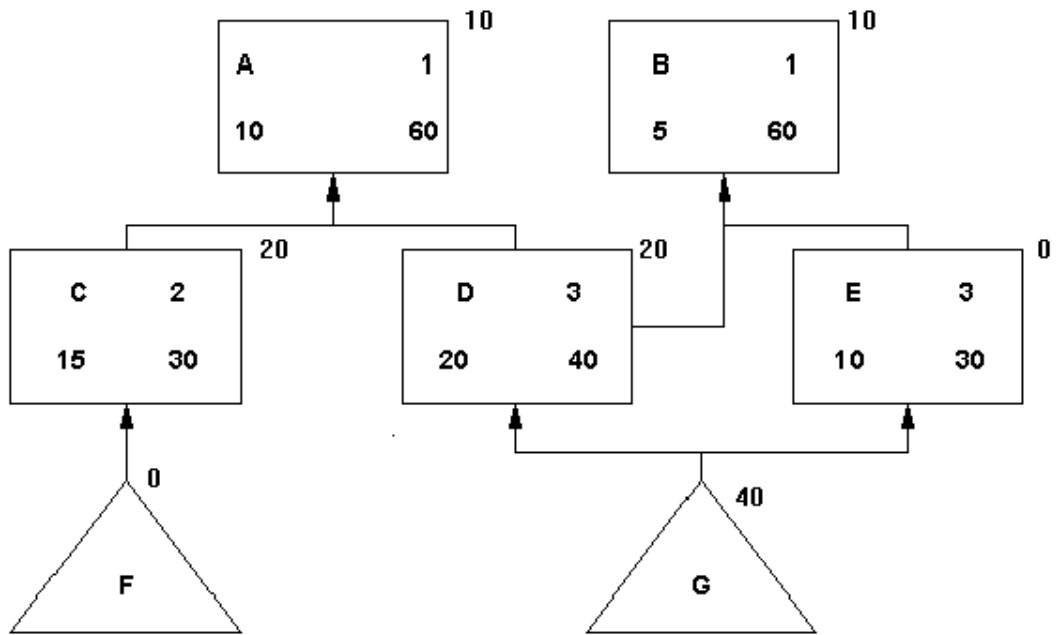


Figura 2.5 - Organização tradicional de arquivos de Lista de materiais, Roteiros e Estoques em Processo. Fonte: Rodrigues (1994).



LEGENDA:

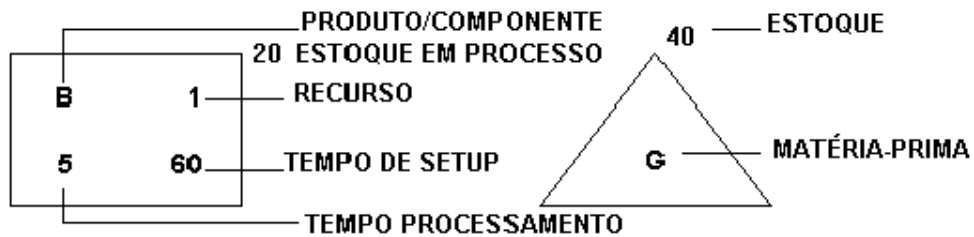


Figura 2. 6 - A estrutura de Rede de Atividades (Task Net Structure). Fonte: Rodrigues (1994).

Além disso, o OPT “executa” a programação utilizando a memória residente (memória RAM), tornando o seu processamento mais rápido do que o processamento dos sistemas MRP/MRP II, que utilizam acesso a discos (Goldratt, 1990).

Segundo Goldratt (1988), o OPT foi concebido inicialmente por sua empresa *Creative Output* com a lógica de um Kanban eletrônico, apesar de na época a sua equipe não ter o conhecimento das técnicas de programação japonesas.

O Kanban é uma técnica de execução e não de programação na fábrica, porém o OPT procurou informatizar o aspecto de controle de inventário entre duas operações. A lógica era transformar o procedimento manual de limitação do estoque em processo, executado pelo Kanban através de cartões, em um procedimento informatizado. Este processo foi sendo aperfeiçoado através do desenvolvimento de alguns módulos dentro do programa OPT.¹⁴

Para amenizar a supersensibilidade à acurácia de dados, foi feita uma separação entre a forma de programação dos gargalos¹⁵ e dos não gargalos. Se os gargalos são os únicos que têm que produzir durante todo o tempo, eles deveriam ser programados para a frente (*forward*), ignorando a capacidade dos recursos não gargalos, e uma vez que esta programação é ajustada, todas as outras operações não gargalos deveriam ser programadas para trás no tempo (*backward*), para dar suporte à programação dos gargalos (Goldratt, 1988). Esta distinção entre recursos gargalos e não gargalos permitiu uma priorização para a acurácia de dados nos recursos críticos e rompeu conceitualmente com a lógica de programação do Kanban.

Após algumas implementações do software, Goldratt percebeu a necessidade de redefinir o uso de inventário e tempo como mecanismos de proteção contra o desconhecido, e desenvolveu o conceito de Pulmão de Tempo (*Time Buffer*); tornou-se evidente que inventário e tempo não são dois mecanismos de proteção separados, mas apenas um (Goldratt, 1988). A proteção ocorre através da produção de estoque. Porém o estoque do Pulmão de Tempo se constitui em antecipações de demandas existentes, ou mesmo previstas no futuro, ao contrário da produção de inventário físico para o qual não existe demanda.

¹⁴ A descrição detalhada da evolução do software OPT encontra-se em Goldratt (1988).

Através dos sucessivos aprimoramentos do programa, Goldratt finalmente chegou à técnica de programação e sincronização da produção Tambor-Pulmão-Corda - TPC (*Drum-Buffer-Rope* - DBR), revelada em seu livro “A Corrida” (Goldratt e Fox, 1989).

2.3.1 - Lógica de Programação Tambor-Pulmão-Corda - TPC

Através do desenvolvimento do software OPT, Goldratt aperfeiçoava um algoritmo capaz de obter a **sincronização** da produção. Segundo Goldratt e Fox (1989), A Manufatura Sincronizada é qualquer maneira sistemática que tenta movimentar o material rápida e uniformemente através dos vários recursos da fábrica, de acordo com a demanda do mercado. Goldratt necessitava de uma analogia para expressar o dilema da redução do inventário de estoque em processo sem afetar as vendas (ganho) negativamente e sem aumentar a despesa operacional.

A lógica de Goldratt era:

- desenvolver uma analogia;
- encontrar a solução dentro da analogia;
- transferir esta solução para o ambiente de fábrica;
- testar a sua viabilidade.

A analogia de uma tropa de soldados em marcha forçada foi escolhida e serviu de base para o desenvolvimento do algoritmo TPC¹⁶.

¹⁵ Gargalo é todo o recurso que possui capacidade menor ou igual à demanda colocada nele (Goldratt, 1989).

¹⁶ Uma tropa de soldados em marcha forçada foi comparada com uma linha de produção. Desta forma o soldado mais lento seria a máquina gargalo, o estoque intermediário seria a distância entre os soldados, etc. A descrição completa deste raciocínio encontra-se em Goldratt e Fox (1989).

Os três elementos logísticos da técnica de programação TPC são:

2.3.1.1- O Tambor

O gargalo¹⁷ é o recurso que verdadeiramente limita a capacidade da fábrica, pois possui a capacidade inferior à demanda.

Goldratt (1989) diz que a lógica do TPC reconhece que esta restrição (a menor capacidade) imporá o índice de produção da Fábrica inteira. Portanto, o recursos com menor capacidade - o gargalo - devem dar a ‘batida’ da produção da Fábrica, ou seja, metaforicamente deve ser considerado o Tambor da Fábrica. Sendo assim, o índice de produção do recurso principal que restringe a Capacidade da Fábrica “servirá como batida do Tambor para a Fábrica inteira” (Goldratt, 1989, p.98).

O fluxo de produção é ajustado à capacidade do gargalo. A produção nos recursos anteriores ao gargalo é puxada no ritmo deste, e as peças que são processadas neste recursos crítico são empurradas para a frente.

2.3.1.2-O Pulmão

‘A máquina Tambor’ deve receber um tratamento especial na Fábrica, na medida em que é muito relevante para a determinação do desempenho econômico-financeiro do sistema como um todo. Mais objetivamente, o ‘Tambor’ deve ser protegido quanto aos eventuais problemas que possam ocorrer nas máquinas que antecedem o mesmo, por exemplo, variabilidades de tempos de processo, problemas associados à qualidade, quebra de máquinas, falta de matérias-primas (Antunes, 1998).

Esta proteção - Pulmão - será denominado de Pulmão de Tempo (*Time Buffer*), na medida em que assegurará um certo tempo de abastecimento do gargalo de modo que as perturbações que ocorrem nas operações que antecedem o gargalo, que não

¹⁷ O termo é usado neste trabalho no singular, porém os conceitos também se aplicam à mais de uma

ultrapassarem os tempos do Pulmão de tempo, não afetarão os Ganhos do Sistema Produtivo (Goldratt, 1989).

Porém, não é apenas o gargalo que necessita de proteção e, portanto, foi desenvolvido o Pulmão de Montagem (*Assembly Buffer*). Visando assegurar que todas as peças que passam pelo gargalo sejam realmente montadas é necessário estabelecer um Pulmão em frente a todas as demais linhas de alimentação das montagens que vão utilizar as peças que passam pelo gargalo. Os Pulmões de Tempo na montagem servem para prevenir eventuais problemas que venham a acontecer em qualquer das linhas não-gargalo (Antunes, 1998). Ou seja, “o propósito deste Pulmão de Tempo consiste em proteger o programa de montagem contra as interrupções que poderiam ocorrer na compra e manufatura de peças que não passam por um Recurso com Restrição de Capacidade” (Goldratt, 1989, p. 102).

Um terceiro Pulmão é utilizado pela TOC e é denominado de Pulmão de Entrega/Mercado (*Shipping Buffer*). Este Pulmão, que é colocado logo após o final do fluxo produtivo antecedendo assim o mercado, objetiva possibilitar a entrega dos produtos dentro do prazo estabelecido (Antunes, 1998).

2.3.1.3 -A Corda

A Corda é o terceiro elemento desta lógica de programação. Sua função consiste em autorizar a liberação de matérias primas para os gargalos e para os pulmões. A Corda limita o índice pelo qual a matéria-prima é liberada para a fábrica, para que os pulmões não tenham inventário em excesso (Goldratt, 1989).

As Cordas ligam as operações onde existem pulmões de tempo, as operações iniciais do sistema produtivo, ou seja, aquelas operações onde são liberadas as matérias-primas (Antunes, 1998). O diagrama esquemático simplificado da lógica Tambor-Pulmão-Corda é ilustrado pela Figura 2.6.

2.3.2- Princípios Básicos da Manufatura Sincronizada Segundo a TOC

O software OPT é um programa norteado por uma série de princípios, que vão além do próprio programa. “As técnicas de programação descritas em ‘A Meta’¹⁸ podem ser usadas sem implementar o software OPT.” (Spencer & Cox, 1995).

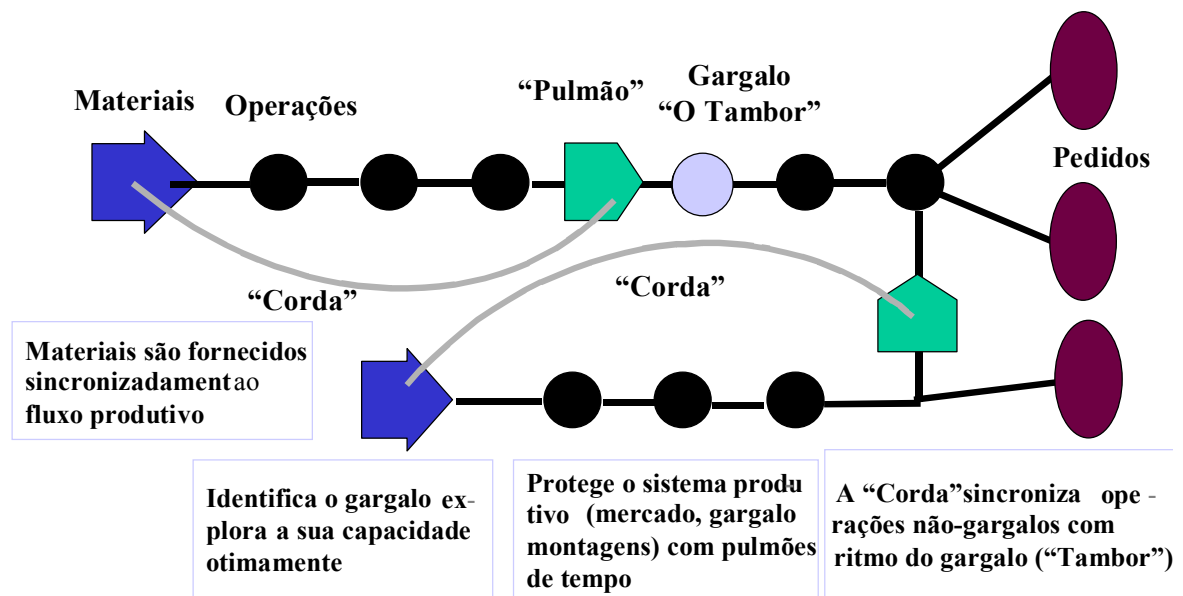


Figura 2. 7 - A lógica Tambor-Pulmão-Corda. Adaptado de Goldratt (1989).

Estes princípios, por serem independentes do software proprietário OPT, passaram a ser conhecidos como princípios da manufatura sincronizada. Os Princípios básicos da manufatura sincronizada, segundo Corrêa & Gianesi (1993) *apud* Pedroso (1996) são os seguintes:

- **Princípio 1 – Balancear o fluxo e não a capacidade.**

Este princípio enfatiza a importância de se obter um fluxo de materiais balanceado em detrimento do balanceamento de capacidade. Ele parte do pressuposto de que é praticamente impossível se obter uma capacidade perfeitamente balanceada – neste caso não haveriam CCR's¹⁹ -, bem como de que esta situação não seria desejável em função das flutuações estatísticas acumuladas (Goldratt, 1992). Assim o CCR preferencialmente deveria ser aquele de maior custo relativamente aos demais recursos (Ronem e Spector, 1992) – e estes manteriam uma capacidade adicional para proteger o sistema produtivo das flutuações estatísticas acumuladas (Atwater e Chakravorty, 1994). Desta forma, segundo este princípio, o CCR - que limitará o fluxo de todo o sistema produtivo - deve ser identificado.

- **Princípio 2 – O nível de utilização de um recurso não-gargalo não é determinado pelo seu próprio potencial e sim por outra restrição do sistema.**

Este princípio é consequência do princípio anterior. Assim como o CCR governa o fluxo de materiais, a utilização de todos os demais recursos deve ser determinada por este; ou, se a restrição é externa à empresa, esta limita o nível de utilização dos recursos da empresa.

- **Princípio 3 – A utilização e a ativação de um recurso não são sinônimos.**

Este princípio enfatiza a distinção entre a utilização e a ativação de um recurso, e é uma extensão do princípio anterior. Assim, a utilização de um recurso contribui para a empresa atingir os objetivos propostos pela abordagem 'OPT'²⁰ – e deve ser limitada pelas restrições do sistema; ao contrário, a utilização de um recurso

¹⁸ “A Meta” (Goldratt, 1984) – Livro onde foram revelados pela primeira vez os princípios da “Manufatura Sincronizada”.

¹⁹ CCR's podem ser recursos não-gargalo que, na média, têm excesso de capacidade (Goldratt, 1988); estes recursos, dependendo de como são programados e seqüenciados podem, temporariamente, ter sua capacidade inferior à demanda requerida, tornando-se, portanto, restrições para o sistema produtivo.

²⁰ O termo OPT é atualmente utilizado para designar apenas o software de mesmo nome, logo entenda-

além do necessário – ou simplesmente ativação – em nada contribui para atingir estes objetivos, chegando até a prejudicá-los devido à formação de estoques desnecessários.

- **Princípio 4 - Uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro.**

Este princípio reforça a importância da gestão do gargalo: como este limita a capacidade produtiva da empresa – quando a demanda é maior do que esta - , qualquer tempo perdido neste implica uma redução proporcional na capacidade produtiva da empresa.

- **Princípio 5 – Uma hora economizada em um não-gargalo é apenas uma ilusão.**

Este princípio é uma extensão do anterior: como os recursos não-gargalos não limitam a capacidade da empresa, qualquer tempo economizado neste não contribui para o aumento do fluxo de materiais. Este princípio é de particular importância em relação ao tempo de preparação (*set up*); assim, por exemplo, uma redução do tempo total de preparação de um recurso não-gargalo através do aumento dos tamanhos dos lotes e conseqüente diminuição do número de preparações somente aumentaria o tempo ocioso.

- **Princípio 6 – O lote de transferência pode não ser e freqüentemente não deveria ser igual ao lote de processamento.**

O lote de processamento é o tamanho de lote que é processado em determinado recurso; o lote de transferência é o tamanho de lote que é movimentado deste para o recurso da operação posterior. Assim a abordagem ‘OPT’ sugere que os lotes de transferência sejam sempre uma fração dos lotes em processamento, permitindo que uma parte deste lote seja transferida para a operação posterior: esta sobreposição – ou “*overlapping*” – de operações reduziria o tempo de atravessamento dos produtos e o estoque em processo. A Figura 2.7 ilustra este princípio.

A redução do *lead time* devido ao *overlapping* dos lotes ocorrerá apenas após o processamento no recurso gargalo. Neste caso o fracionamento dos lotes após o recurso restritivo permite a entrega das peças mais rapidamente, devido à redução do tempo de atravessamento. A divisão dos lotes antes do gargalo apenas antecipará a chegada das peças no pulmão de proteção do gargalo, onde os lotes ficarão na espera pelo processamento neste recurso. Sendo assim, o paracionamento dos lotes antes do gargalo não reflete na redução dos *lead times*.

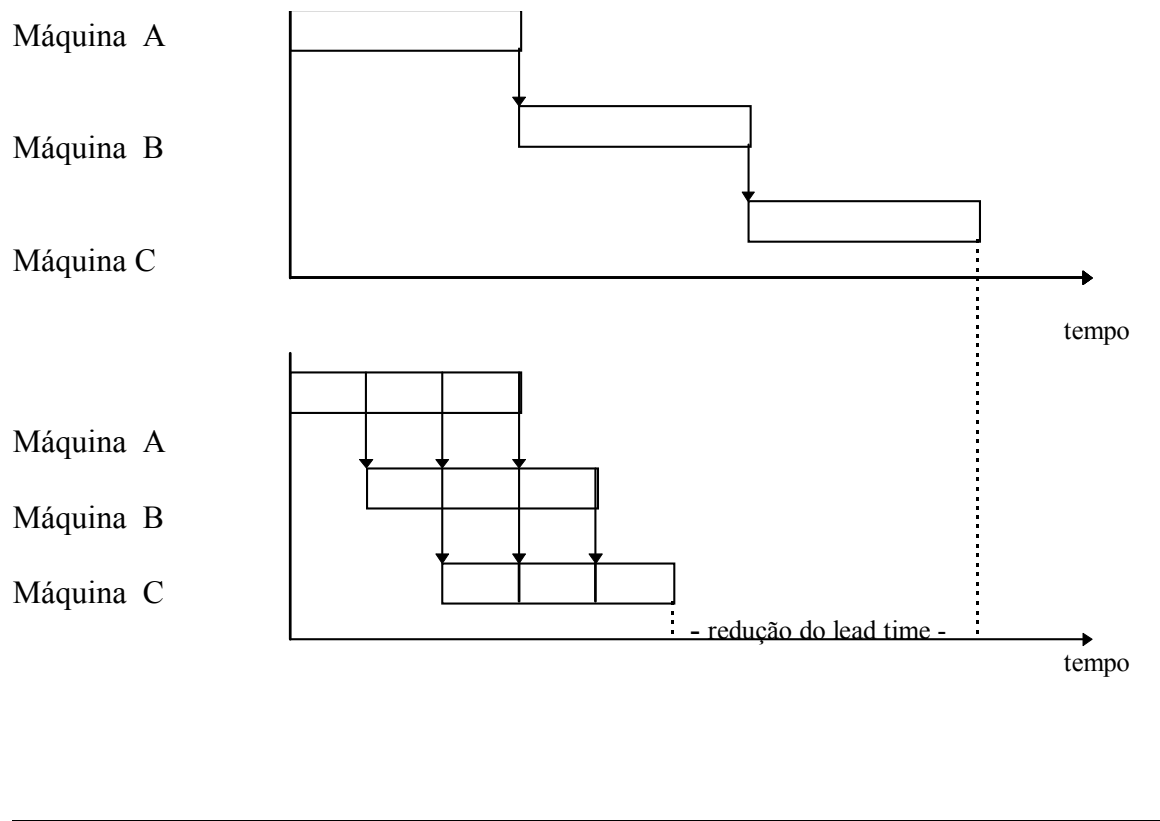


Figura 2. 8 - A redução do *lead time* devido à sobreposição das operações.

- **Princípio 7 – O lote de processamento deve ser variável e não fixo.**

Este princípio diz que o tamanho do lote de processamento não deve ser, necessariamente, fixo – ou seja, ele pode variar de operação para operação em função de condicionais tais como o custo de manter estoques, o custo de preparação, a necessidade de fluxo de determinados produtos, se um recurso é gargalo ou não, etc. Este seria o caso, por exemplo, de se utilizar um maior número de preparações em recursos não-gargalos, dividindo o lote (*'split'*) entre recursos que realizem a mesma operação – este fato reduziria o tempo de processamento e o estoque em processo caso o lote fosse fabricado em operações semelhantes e paralelas.

- **Princípio 8 – Os gargalos determinam não somente o fluxo de**

materiais, como também os estoques.

Este princípio reforça que os gargalos definem o fluxo do sistema produtivo por serem os limitantes de capacidade. E ainda, considerando os conceitos de flutuações estatísticas, sugere que os estoques sejam posicionados antes dos gargalos, de modo que estes possam absorver as variações acumuladas nas operações anteriores e proteger os gargalos de interrupções. Estes estoques, segundo a abordagem ‘OPT’, ocorrem na forma de tempos de segurança, ou seja, são estoques decorrentes da programação da chegada dos materiais antes do início previsto da respectiva operação – este espaço de tempo antecipado absorveria as flutuações estatísticas.

- **Princípio 9 – A programação da produção deve considerar todas as restrições simultaneamente. Os *lead times* são resultantes da programação e não podem ser assumidos ‘a priori’.**

Este princípio questiona a abordagem ‘MRP’ em dois aspectos. Em primeiro lugar, a abordagem ‘OPT’ considera que a programação das atividades deve considerar a capacidade produtiva simultaneamente e não ‘a posteriori’ – como é o caso da abordagem ‘MRP’. Esta consideração visa obter programas de produção viáveis, e que, em função de prioridades estabelecidas, busque maximizar o desempenho da manufatura. Como estas prioridades podem variar, bem como outros parâmetros tais como o volume de carregamento da fábrica e as datas de entrega dos produtos, os *lead times* também variam, uma vez que são resultantes das decisões referentes à programação da produção. Assim, estes tempos não poderiam ser utilizados como dados de entrada para o processo de tomada de decisão em programação do produção; e este é o segundo questionamento deste princípio em relação à abordagem ‘MRP’.

A partir de 1986, Goldratt passou a observar mais profundamente as empresas que aplicavam os conceitos e a lógica da Manufatura Sincronizada, descritos em seus livros “A Meta” e “A Corrida.” O resultado mais importante desta investigação foi a

formulação de uma teoria geral para toda a organização. Goldratt considerou que tudo o que havia feito até então era tão somente uma derivação desta teoria, que foi chamada Teoria das Restrições (*Theory Of Constraints* – TOC) (Goldratt, 1988).

2.4- A TEORIA DAS RESTRIÇÕES (*THEORY OF CONSTRAINTS* - TOC)

A seguir será apresentada sucintamente a TOC, destacando os aspectos referentes à programação da produção, que se enquadram principalmente na parte logística da TOC. Serão descritos os elementos formadores da TOC, as regras ou etapas desta teoria, os indicadores de desempenho, e as características da programação da produção na TOC.

2.4.1- Elementos da TOC

A TOC, em termos de produção, segundo Spencer e Cox (1995), consiste dos seguintes componentes básicos:

a) Uma parte **Logística**, que envolve basicamente os seguintes tópicos:

- Os cinco passos envolvendo o foco na melhoria dos processos, que visa a melhoria contínua de um sistema, com o objetivo bem definido de seguir enfocando as poucas restrições que o sistema vai apresentando ao longo do processo;

- O processo de programação (*scheduling process*) envolvendo o gerenciamento via a lógica Tambor/Pulmão/Corda – TPC e o gerenciamento dos “pulmões” (*buffer management*);

- A análise dos Sistemas Produtivos adotando a classificação V-A-T²¹.

²¹ A classificação V-A-T tem por objetivo possibilitar a análise dos Sistemas Produtivos, agrupando as indústrias a partir da “natureza do fluxo do produto, da estrutura dos roteiros de produção e da estrutura dos produtos” (Lockamy & Cox, 1991). Desta forma, as plantas industriais são classificadas de acordo com a semelhança de seus fluxos de materiais com as letras V, A, ou T, ou com as

b) Uma proposição de um **Sistema de Performance/Desempenho**, que envolve os seguintes tópicos:

- Definição dos Ganhos, Inventários e Despesas Operacionais da Empresa;
- O *mix* de produtos que deverá ser produzido visando maximizar os resultados econômico-financeiros da Empresa;
- A lógica dos Ganhos por dia (*Throughput dollars days*) e dos Inventários por dia (*Inventory dollars days*).

c) Um **Processo de Pensamento visando à solução de problemas**, que envolve os seguintes tópicos²²:

- Os diagramas de efeito-causa-efeito (Árvore da Realidade Atual, Árvore da Realidade Futura, Árvore dos Pré-Requisitos e Árvore de Transição);
- A auditoria das árvores;
- A lógica da 'Evaporação das Nuvens'.
- Os cinco passos envolvendo o foco na melhoria dos processos, quando não utilizado no campo estrito da logística.

O presente trabalho enfocará os aspectos da TOC pertinentes à programação da produção, ou seja, inseridos no domínio da Manufatura Sincronizada. A Figura 2.8 apresenta os componentes básicos da TOC e mostra a inserção da Manufatura Sincronizada dentro desta abordagem.

combinações mistas destas. Maiores detalhes em Umble & Srikanth (1990); Antunes (1998); Lockamy & Cox, (1991) .

²² O Processo de Pensamento da TOC pode ser considerado o método de identificação, análise e solução de problemas adotado na lógica mais ampla da TOC. O Processo de Pensamento da TOC e os tópicos que o compõem são apresentados resumidamente no Anexo C.

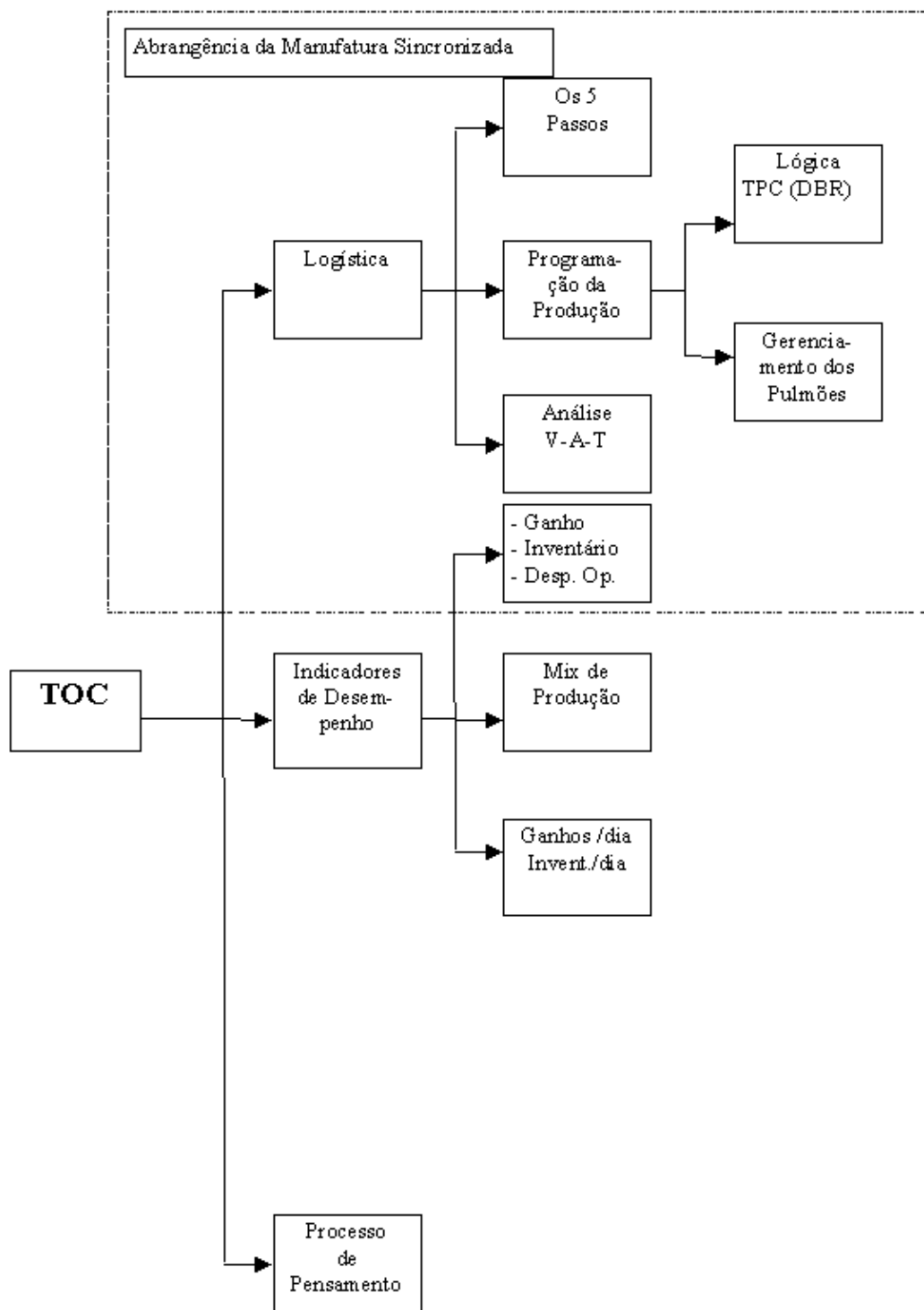


Figura 2. 9 - Componentes básicos da TOC adaptado de Spencer e Cox (1995).

2.4.2- Etapas de Focalização da TOC

Goldratt definiu restrição como “qualquer coisa que seja uma limitação para que o sistema atinja a sua meta” (Goldratt, 1988) e baseou a TOC em cinco passos, descritos por Antunes (1998), como segue:

- **Passo 1** - Identificar a(s) restrição(ões) do sistema. As restrições podem ser internas ou externas. Quando a demanda total de um dado *mix* de produtos é maior do que a capacidade da Fábrica diz-se que tem-se um gargalo de produção. Trata-se de uma questão estrutural do sistema produtivo. Cabe ressaltar que, neste caso, a Capacidade da Fábrica é igual à capacidade do(s) gargalo(s). Quando a capacidade de produção é superior à demanda de produção a restrição é externa ao Sistema Produtivo, ou seja, a restrição está relacionada com o mercado.

- **Passo 2** - Utilizar da melhor forma possível a(s) restrição(ões) do sistema. Se a restrição é interna à Fábrica, ou seja se existe(m) gargalo(s), a melhor decisão consiste em maximizar o Ganho no(s) gargalo(s). No caso da restrição ser externa ao sistema em um dado tempo não existem gargalos na Fábrica e, portanto, o Ganho estará limitado pelas restrições do mercado. Observe que neste passo trabalha-se conjuntamente e de forma associada com as restrições físicas do sistema e a lógica dos Indicadores de Desempenho.

- **Passo 3** - Subordinar todos os demais recursos à decisão tomada no passo 2. A lógica deste passo, independentemente da restrição ser externa ou interna, consiste no interesse de reduzir ao máximo os Inventários e as Despesas Operacionais e ao mesmo tempo garantir o Ganho teórico máximo do Sistema de Produção, definido a partir da utilização do passo 2.

- **Passo 4** - Elevar a capacidade da(s) restrição(ões). Se a restrição for interna (gargalo) a idéia consiste em aumentar a capacidade de produção dos

gargalos. Este passo pode ser levado adiante via uma série de ações físicas sobre o sistema, por exemplo, compra de máquinas (recursos), redução dos tempos de preparação no gargalo, etc... Se as restrições forem externas são necessárias ações diretamente vinculadas ao aumento da demanda no mercado e/ou a política de preços. Isto pode implicar, por exemplo, em ações de marketing via a segmentação de mercados, alteração no preço dos produtos baseados na lógica de elasticidade de demanda, criação de novos produtos, etc...

- **Passo 5** - Voltar ao passo 1, não deixando que a inércia tome conta do sistema. Os passos 4 e 5 são muito importantes porque deixam claro o caráter de melhorias contínuas buscadas na TOC. Na lógica da TOC as melhorias não devem ter fim, ou seja, a TOC visa um processo de mudanças contínuas visando o atingimento permanente e sistemático da meta global do sistema.

Goldratt (1996) define a TOC como uma “nova filosofia de gerenciamento global”. A procura contínua pelo atingimento da meta da Empresa, através dos cinco passos, necessita da avaliação de medidores de desempenho adequados a este objetivo.

2.4.3- Indicadores de Desempenho da TOC

Conforme Goldratt (1996), a meta de uma empresa qualquer, com fins lucrativos, é definida por seus Proprietários/Acionistas como sendo: ganhar mais dinheiro agora e no futuro. Feita esta definição, tornou-se necessário selecionar um conjunto de medidas para a avaliação do desempenho da empresa em relação à sua meta. Goldratt (1996) afirma que existem duas Medidas de Desempenho Global, uma absoluta - **Lucro Líquido** e uma relativa - **Retorno Sobre Investimentos**. Existe também a medida de sobrevivência, uma condição necessária para a manutenção da empresa, o **Fluxo de Caixa**.

Porém, as medidas que se procuram para realizar a análise, são aquelas com as quais se pode dimensionar o impacto de uma decisão local no desempenho global. Para isto, as medidas acima são insuficientes. Comparando uma Empresa com uma máquina de ganhar dinheiro, de acordo com sua Meta, deve-se analisar quais as medidas que melhor definem as características desta máquina. Existem intuitivamente três medidas para avaliar esta Empresa (Goldratt, 1996):

1. **Ganho:** índice pelo qual o sistema gera dinheiro através das vendas.

É o preço líquido da venda (sem impostos e comissões) menos o custo das matérias-primas e despesas totais variáveis em uma unidade de tempo. É importante frisar o “através das vendas”, pois o material produzido e não vendido (estoques de produtos acabados) não gera Ganho para a Empresa.

2. **Inventário:** Todo o dinheiro que o sistema investe na compra de coisas que pretende vender.

Isto inclui a compra de matéria-prima, máquinas e instalações. Segundo este raciocínio, o produto acabado é contabilizado no estoque apenas pelo valor de compra das matérias-primas utilizadas. O conceito de valor agregado ao produto durante a produção é uma distorção da realidade, pois durante o processo só se agrega custos. O único momento em que se agrega valor à Empresa é o da venda.

3. **Despesa Operacional:** Todo o dinheiro que o sistema gasta transformando o Inventário em Ganho.

Isso inclui o que se paga pela mão-de-obra direta, pelos salários de toda a mão-de-obra indireta e administrativa, e todos os demais gastos incorridos independente de se realizarem vendas, tais como: pesquisa, desenvolvimento, refugos, depreciação de máquinas, despesas bancárias (juros), etc.

Os indicadores locais da TOC avaliam o desempenho da programação da produção, que será discutida no item a seguir.

2.4.4- A Programação da Produção na TOC

A Programação da Produção planejará ações visando o aumento do Ganho, em primeiro lugar, a diminuição do Inventário, em segundo, e a redução das Despesas Operacionais, em último lugar. Este ordenamento de prioridades se opõe à visão tradicional de ênfase em “cortes de custos”, e se constitui em uma mudança de paradigma para os gerentes (Dugdale, 1996).

O aumento do Ganho, a diminuição do Inventário, e a redução das Despesas Operacionais causa um aumento nos Indicadores de Desempenho Global, **Lucro Líquido, Retorno Sobre o Investimento e Fluxo de Caixa**. As ações locais programadas obviamente seguirão os princípios da TOC e da Manufatura Sincronizada, o que significa priorizar a utilização dos gargalos e CCR's - que são os recursos restritivos que verdadeiramente limitam a capacidade produtiva e governam o Ganho da empresa. Desta forma objetiva-se aumentar o Ganho através da maximização do rendimento destes recursos.

Ocorre que muitas empresas utilizam indicadores de “eficiência” para os recursos produtivos, independentemente da sua capacidade, ou seja, estas empresas avaliam a utilização dos gargalos e não-gargalos indistintamente.²³ Neste caso a programação da produção será forçada a maximizar a utilização dos não-gargalos para satisfazer estas medidas de desempenho - e a consequência desta decisão será, apenas, a de aumento de inventário. A maximização da utilização de todos os recursos produtivos é uma característica do sistema tradicional “*Just in Case*”²⁴, onde

²³ Alguns destes indicadores são conhecidos como Hora Padrão (*Standard Labour Hours*), Horas Aplicadas, etc.

²⁴ Segundo Antunes et alli (1989), o sistema *just-in-case* está intimamente relacionado às estratégias de mercado caracterizadas pelo paradigma do “fordismo”, sendo baseada, tecnicamente, a nível de fábrica, nas idéias de tarefas e máquinas especializadas e linhas de montagem dedicadas, e, economicamente, na idéia de ganhos de escala. O princípio básico desta filosofia de administração da produção é maximizar a utilização dos meios de produção engajados. Em função disso, todos os

capacidade ociosa, seja de máquinas ou pessoas, é considerada ineficiência. Este aspecto de oposição dos indicadores tradicionais em relação aos indicadores da TOC se constitui em uma das principais dificuldades na implantação desta Teoria.²⁵

A programação da produção dentro da abordagem TOC, conforme pode ser observado na Figura 2.6, é realizada através da lógica TPC e do gerenciamento dos pulmões, que será descrito a seguir.

2.4.4.1- O Gerenciamento dos Pulmões

O gerenciamento dos pulmões, segundo Schragenheim & Ronem (1991), habilita os gerentes a focalizarem as ações corretivas certas para manter o desempenho do sistema intacto, monitorar o equilíbrio entre proteção e *lead time*, e avaliar o impacto das principais mudanças e/ou melhorias que serão implementadas.

O gerenciamento dos pulmões, de acordo com Lockamy & Cox (1994), é realizado em dois ciclos distintos: o ciclo de rotinas e o ciclo de melhorias contínuas.

a) Ciclo de rotinas

A descrição dos passos do ciclo de rotinas do gerenciamento dos pulmões é feita por Lockamy & Cox (1994) apud Antunes (1998) como segue:

- Identificar as restrições.
- Determinar o tamanho do ‘Pulmão de Tempo’. Para a determinação do tamanho inicial do ‘Pulmão de Tempo’ propõe-se adotar como princípio de constituição do mesmo a soma dos tempos de *Set up* e dos tempos de processamento nas operações que vão da primeira operação até o recurso

esforços são concentrados no sentido de minimizar a ociosidade destes meios, planejando, controlando e supervisionando todos os recursos da empresa, de forma integrada e externa ao processo produtivo propriamente dito.

²⁵ Este assunto será explorado em mais detalhes no Capítulo 6.

restritivo, multiplicando este tempo por 5.²⁶ Divide-se o ‘Pulmão de Tempo’ em três partes: A região 1 contém os materiais que serão processados nas restrições em um futuro imediato, enquanto a região 3 contém material recentemente liberado pelas primeiras operações do sistema. Caso não apareçam ‘buracos’ na região 1, o primeiro terço do Pulmão, e poucos ‘buracos’ aparecerem na região 2, então o ‘Pulmão’ estará sempre cheio e, portanto, é muito grande e deveria ser reduzido. Se estão continuamente sendo feitas expedições de peças da região 1, então o Pulmão é muito pequeno e deve ser incrementado.²⁷ Portanto, pode-se concluir que o dimensionamento inicial do(s) ‘Pulmão(ões) de Tempo’ não é um fator crítico na medida em que a utilização do método como um todo imporá, como descrito acima, correções imediatas caso os valores utilizados no dimensionamento inicial não estiverem adaptados à realidade da Fábrica em questão.

- Subtrair do tempo de início da ordem na programação do gráfico de Gantt o total de tempo do ‘Pulmão de Tempo’ na restrição para determinar o tempo de liberação no recurso inicial para uma determinada ordem.
- Determinação do tamanho do ‘Pulmão de Entrega’. O tamanho do ‘Pulmão de Entrega’ é calculado de forma semelhante ao ‘Pulmão de Tempo’ dos gargalos.

Tanto os pontos de divergência – V – quanto os pontos de convergência – A – deverão ser dimensionados visando prever as eventuais faltas de materiais.²⁸

²⁶ Srikanth & Umble (1997) propõe para a constituição inicial do ‘Pulmão de tempo’ a utilização de um valor correspondente à metade do atual tempo de atravessamento (*lead-time*) de manufatura para um dado produto.

²⁷ Observe-se que trata-se de um procedimento do tipo tentativa e erro muito semelhante à lógica do *Kanban*.

²⁸ Portanto, os pontos de controle adotados na TOC são: Pulmões junto ao gargalo, Pulmões de Montagem, Pulmões de Tempo, pontos de liberação de materiais no início da linha e pontos de divergência na estrutura do produto. Segundo Lockamy & Cox (1994) estes recursos representam menos do que 10% dos recursos das plantas industriais.

b) Ciclo de melhorias contínuas

Lockamy & Cox (1994) apud Antunes (1998) propõem os seguintes passos lógicos para o gerenciamento das melhorias:

- O processo parte do dimensionamento do tamanho dos ‘pulmões’ tal como descrito no Subsistema de Rotinas.
- Acompanhar o processo pelo gráfico de Gantt, de tal maneira que seja possível observar que todas as ordens listadas pelo planejamento na região 1 estejam realmente em frente à restrição, aproximadamente 2/3 das ordens previstas para a região 2 estejam presentes em frente à restrição e 1/3 das ordens previstas para a região 3 estejam presentes.²⁹
- Caso qualquer das ordens da região 1 não tenha material disponível, expedir imediatamente este material. Neste caso, é necessário identificar as ordens em atraso e registrar as fontes dos problemas, ou seja, deve-se manter um registro do ‘porquê’ as ordens não chegaram no tempo certo na região 1.
- No final de cada semana, deve ser conduzida uma análise de Pareto para verificar as causas dos atrasos visando determinar quais recursos necessitam melhorias e que ações são necessárias.
- Com as atividades de melhorias implementadas, poucos ‘buracos’ serão observados nas regiões 1 e 2 do Pulmão. Isto significa, na prática, que o Pulmão tornou-se muito grande. Deve-se, então, reduzir o tamanho do Pulmão.³⁰

²⁹ Reimer (1991) descreve um caso prático de utilização da TOC na *Valmont Industries*. Na operação desta indústria utilizava-se um estoque de 2 dias na região 1, onde não se admitem, teoricamente, ‘buracos’. Na região 2 adotavam-se também 2 dias, porém com a lógica de manter 50 a 60% do espaço do Pulmão cheio. Na região 3, adotava-se 1 dia de Pulmão com 25% completo. Ou seja, os valores encontram-se próximos aos propostos por Lockamy e Cox. Reimer (1991) também descreve que no início da implantação do TPC adotava-se um Pulmão global de 6 dias, porém com as melhorias na parte física do sistema, este Pulmão de tempo foi rapidamente reduzido para 5 dias.

³⁰ Lockamy & Cox (1994) observam que, em alguns casos, devido à redução do tamanho dos Pulmões

- No final de cada semana, deve ser conduzida uma análise de Pareto para verificar as causas dos atrasos visando determinar quais recursos necessitam melhorias e que ações são necessárias.

- Com as atividades de melhorias implementadas, poucos ‘buracos’ serão observados nas regiões 1 e 2 do Pulmão. Isto significa, na prática, que o Pulmão tornou-se muito grande. Deve-se, então, reduzir o tamanho do Pulmão.³¹

isto significará imediatamente a redução dos tempos de atravessamento dos produtos. Nestes casos um contato imediato com o pessoal de Marketing torna-se relevante para que eles possam atuar visando melhorar o desempenho das vendas dos produtos no mercado, o que poderá se tornar possível em função da melhoria efetiva dos prazos de entrega.

³¹ Lockamy & Cox (1994) observam que, em alguns casos, devido à redução do tamanho dos Pulmões isto significará imediatamente a redução dos tempos de atravessamento dos produtos. Nestes casos um contato imediato com o pessoal de Marketing torna-se relevante para que eles possam atuar visando melhorar o desempenho das vendas dos produtos no mercado, o que poderá se tornar possível em função da melhoria efetiva dos prazos de entrega.

2.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

As atividades do PCP se constituem em tarefas extremamente complexas, devido ao número de variáveis existentes, bem como à dinâmica dos sistemas produtivos, que são marcados por constantes mudanças. Algumas consequências práticas da ineficiência do PCP em uma empresa são:

- o atendimento dos pedidos de clientes ocorre fora do prazo de entrega;
- o excesso de estoques na fábrica;
- o uso excessivo de horas-extras;
- o fenômeno conhecido como “síndrome do final do mês”, onde a produção é acelerada nos últimos dias do mês para que se satisfaçam os resultados contábeis projetados;

Nos anos 80 a TOC propôs a sincronização da manufatura para lidar com a problemática do PCP.

Em uma empresa industrial real, que possui um certo nível de complexidade - *mix* de produção variável, diferentes roteiros, recursos substitutos, etc. - a programação da produção necessita do apoio de um software de PFP, que planeje o seqüenciamento e a sincronização das operações, uma vez que o planejamento de curto prazo não encontrou nos sistemas do tipo MRP uma resposta satisfatória.

O Capítulo a seguir enfocará os aplicativos informatizados de PFP, especialmente os que se destinam ao suporte da programação da produção na abordagem TOC.

CAPÍTULO 3

Ferramentas Computacionais de Planejamento Fino da Produção (PFP)

Este capítulo analisa especificamente questões a respeito de softwares de PFP. Será apresentada uma proposta de classificação dos sistemas de PFP, bem como um levantamento de alguns destes sistemas existentes no mercado brasileiro. Em seguida serão analisadas algumas características de alguns sistemas de PFP, especialmente aqueles que programam priorizando restrições, baseados na TOC. Finalmente será apresentado sucintamente o software ST-POINT, que utiliza a lógica da Manufatura Sincronizada e TOC, escolhido para a aplicação prática do Método focado neste trabalho.

3.1 - PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PFP

Os sistemas de PFP, também conhecidos na literatura como Sistemas de Programação da Produção com Capacidade Finita, possuem cada um sua lógica própria de solução do problema de seqüenciamento da produção', normalmente baseada em simulação em computador, sem que se tenha chegado ainda a um *design* básico que, como ocorre com o MRPII, domine a abordagem adotada pelos diversos fornecedores de sistemas, uma vez que existem conceitos diferentes na concepção e no escopo das decisões apoiadas por eles (Corrêa & Pedroso, 1996).

Corrêa e Pedroso (1996) propõe uma classificação dos Sistemas de Programação da Produção com Capacidade Finita, baseada em três critérios:

a) **método de solução do problema de seqüenciamento, ou seja, de acordo com a abordagem utilizada para gerar o programa da produção:**

- **sistemas baseados em regras de liberação:** estes sistemas utilizam regras que decidem qual ordem, dentre uma fila de ordens disputando um recurso, será processada primeiro. A literatura apresenta cerca de uma centena destas regras³². Os sistemas baseados em regras de liberação adotam o conceito de programação finita para a frente, onde a capacidade do recurso vai sendo preenchida seqüencialmente em função da decisão de liberação das ordens. Estes sistemas são os mais difundidos atualmente dada a relativa simplicidade da modelagem e rapidez de processamento; por outro lado, existem critérios na escolha das regras - geralmente determinadas a partir de simulação e comparação dos resultados segundo parâmetros mensuráveis, bem

³² Alguns exemplos destas são: FIFO – First In First Out (Primeiro trabalho a entrar é o primeiro a sair); Priorização pela data de entrega acertada com o cliente, etc.

como pode, dependendo da escolha da regra e do ambiente em que este sistema é implantado, gerar resultados relativamente ‘pobres’³³.

- **sistemas matemáticos otimizantes:** a característica principal destes sistemas reside na utilização de algoritmos matemáticos otimizantes, ou seja, o resultado da decisão é o melhor possível uma vez definido o objetivo que se deseja atingir. As soluções típicas destes sistemas são aquelas que utilizam algoritmos da pesquisa operacional. Na prática, os sistemas matemáticos otimizantes estão limitados a problemas restritos - basicamente aplicados a resolução de modelos de pequeno porte e simplificados, não suficientes para modelar situações reais.

- **sistemas matemáticos heurísticos:** estes sistemas são caracterizados por apresentarem algoritmos matemáticos heurísticos, que garantem soluções viáveis e relativamente ‘boas’, porém não necessariamente ótimas. Geralmente estes sistemas utilizam algoritmos de busca - desenvolvidos segundo o conceito de inteligência artificial - e métodos baseados em gargalos (**predominantemente derivados do conceito da Teoria das Restrições**). Os avanços nos recursos computacionais e o desenvolvimento das técnicas tem permitido que estes sistemas sejam disponibilizados comercialmente - muitas vezes na forma de soluções proprietárias fechadas, em que os algoritmos são mantidos em segredo pelos fornecedores, por serem eles os possíveis diferenciais competitivos do produto. Os sistemas matemáticos heurísticos podem, em teoria, gerar soluções melhores do que os

³³ Estes resultados ‘pobres’ consistem em planos de produção gerados por sistemas baseados em uma ou mais regras de liberação que, devido à simplificação desta abordagem, não lidam com todo o detalhamento que a programação da produção exige. Por exemplo, o sistema de PFP gera um plano priorizando a minimização de *set ups*. A programação é feita em função desta regra, o que pode causar um impacto indesejável em algum outro critério, como por exemplo o desempenho de entregas de pedidos.

sistemas baseados em regras de liberação, porém eles são relativamente mais complexos.

- **sistemas especialistas puros:** estes sistemas - baseados em conceitos de inteligência artificial - consistem em, através da coleta do conhecimento de especialistas em determinado assunto, transformá-lo em uma série de regras de decisão que, através do denominado “motor de inferência”, chegam a uma solução. São geralmente soluções *ad hoc*, com limitada disponibilização em pacotes comerciais; a sua aplicação maior ocorre no desenvolvimento de aplicativos de software específicos.

- **sistemas apoiados em redes neurais:** estes sistemas são um desenvolvimento da inteligência artificial que tentam simular o processo de aprendizagem da mente humana. As pesquisas quanto à aplicação no âmbito da programação da produção são recentes e ainda se limitam principalmente ao campo acadêmico e à algumas indústrias específicas.

b) grau de interação com o usuário:

- **sistemas abertos:** a principal característica destes sistemas reside na necessidade de interação com o usuário. A metodologia de resolução do problema é de conhecimento do usuário e este pode definir as regras inerentes ao processo de tomada de decisão, bem como alterar as decisões geradas pelo sistema.

- **sistemas fechados:** nestes, a responsabilidade pela decisão é do próprio sistema. A interação com o usuário se resume à definição de alguns critérios, como por exemplo, a localização dos gargalos, ou a ponderação de objetivos de desempenho que o sistema deve buscar.

Na realidade, esta classificação define dois extremos. Na prática, existem também soluções intermediárias, em que os sistemas fechados mantêm a responsabilidade pela decisão, porém permitem uma interação maior com o usuário na definição das regras de decisão (podendo ser classificados como ‘sistemas semi-fechados’); e os ‘sistemas semi-abertos’, onde o usuário é responsável pela decisão, porém o sistema limita a escolha da metodologia de decisão.

c) abrangência das decisões no âmbito do planejamento da produção:

- **sistemas de apoio ao plano mestre de produção:** determinam o plano referente às quantidades e itens de produtos finais a serem produzidos, período a período.
- **sistemas de apoio à programação da produção:** definem as seqüências de ordens a serem executadas nos recursos produtivos em um determinado horizonte de tempo.
- **sistemas que executam a gestão dos materiais integrada à capacidade produtiva:** gerenciam os estoques de matéria-prima sincronizadamente à capacidade produtiva, determinando as necessidades de aquisição de materiais - em termos de quantidades e de tempos.
- **sistemas que executam o controle da produção:** permitem monitorar a realização do plano ou das ordens planejadas.

Um trabalho de pesquisa realizado por Corrêa & Pedrosa (1996) identificou os principais sistemas de programação da produção disponíveis comercialmente no

Brasil naquela data.³⁴ Os resultados, obtidos a partir de entrevistas com os fornecedores locais, são apresentados na Tabela 3.1, bem como as características principais destes, baseadas na classificação proposta pelos autores.

Apesar de os diversos sistemas de PFP diferirem entre si, uma tendência cada vez mais evidente é o surgimento de softwares de programação de ‘restrições’ ou ‘gargalos’. Um número de pacotes de software para sistemas de programação de gargalos estão disponíveis, entre eles estão OPT 21, OPIS, MICRO-BOSS, MOOPI, PRIORITY (Aquilano et alii, 1998). Além destes também destacam-se: ST-POINT, SWS, DRUMMER, e outros.

A justificativa desta tendência é a priorização e o foco nos recursos críticos da empresa, que se constitui na idéia central da TOC. Segundo Spearman (1996), muitas vezes é possível simplificar o processo de programação, programando os processos gargalos e então propagando esta programação para as estações não-gargalos.

³⁴ Final de 1995. O software ST-POINT não estava disponível comercialmente no Brasil nesta época.

Tabela 3. 1 - Os Principais Sistemas de Programação da Produção com Capacidade Finita (adaptado de Corrêa e Pedroso, 1996).

Software	Fabricante	Origem	Método de Solução	Grau de Interação	Funções
AHP-Leitstand	AHP	Alemanha	Regras de liberação	Aberto	- programação - controle
FI-2 Leitstand	IDS Scheer	Alemanha	Regras de liberação	Aberto	- programação - controle
FMS Leitstand	Siemens	Alemanha	Regras de liberação	Aberto	- programação - controle
Preactor 200	Cimulation Centre	Inglaterra	Regras de liberação	semi-aberto	- programação
MOOPI	Berclain	Canadá	Matemático Heurístico	Fechado	- programação - materiais - controle
Schedulex	Numetrix	Canadá	Matemático Heurístico	semi- fechado	- plano mestre - programação
MRS	Taylor Indl Software	Canadá	Regras de liberação	Aberto	- programação - controle
AutoSched	Auto Simulations	EUA	Regras de liberação	Aberto	- programação
Scheduler	Magnugistics	EUA	Regras de liberação	semi- fechado	- plano mestre
Rhythm	I2 Technologies	EUA	Matemático heurístico	semi- fechado	- plano mestre - programação - materiais
The Goal System	Goal System	EUA	Matemático heurístico	Fechado	- programação - materiais
Factor	Pritsker Corp	EUA	Regras de liberação	Aberto	- programação - controle
Jobbing	INT	Brasil	regras de liberação	Aberto	- programação
Prodira 1000	Coprodin Eletrônica	Brasil	Regras de liberação	semi- aberto	- programação

Algumas das principais características dos sistemas de PFP disponíveis, dentro desta proposta de programação da produção, serão analisadas a seguir.

3.2 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE PFP BASEADOS EM ‘PROGRAMAÇÃO DE RESTRIÇÕES’.

Neste tópico será feita uma exposição de alguns dos principais sistemas que seguem esta abordagem de programação. As principais características e objetivos serão enumeradas, a partir de informações disponíveis nos manuais dos programas, internet, e entrevistas com os representantes e fabricantes de software. Pode-se observar que muitas destas características são semelhantes, o que corrobora a utilização da mesma abordagem.

3.2.1- MOOPI

O software MOOPI anteriormente de propriedade da empresa canadense Berclain, e atualmente pertencente à empresa BAAN, é um sistema de PFP matemático heurístico, fechado na interação com o usuário, e acumula as funções de programação da produção baseado em restrições (*constraint-based planning*), gerenciamento de materiais integrado à capacidade produtiva, e controle da produção.

O MOOPI tem como objetivos reduzir os ciclos de tempos de fabricação, aumentando a velocidade de fluxo de materiais através da fábrica, maximizar o ganho (*throughput*), e melhorar o desempenho de entrega de pedidos de clientes.

Visando atingir estas metas o software procura sincronizar máquinas, operadores, ferramentas e materiais, coordenando as atividades de manufatura para a execução no momento exato em que são necessárias. A utilização dos recursos gargalo é maximizada pelo programa.

O MOOPI realiza simulações do tipo “o que aconteceria se...” (*what-if analysis*), testando diferentes alternativas de programação e possui uma característica

chamada *Dinamic Materials Buffering* - uma espécie de Kanban dinâmico que calcula o nível de estoque em processo para o ótimo ganho da fábrica.

3.2.2- Goal System

O Goal System, desenvolvido pela empresa de mesmo nome nos Estados Unidos, é um sistema matemático heurístico, fechado, que possui as funções de programação da produção e gestão dos materiais integrada. É baseado nos princípios de gerenciamento desenvolvidos por Goldratt e incorporados na TOC. O Goal System é uma evolução do software DISASTER.

O software identifica e programa as restrições e a liberação de material, maximizando o ganho e minimizando o inventário. Gerencia as restrições interativamente promovendo a sincronização das atividades.

O Goal System utiliza o algoritmo DBR e, segundo Simons e Simpson III (1997) não possui uma função objetivo específica, mas claramente procura minimizar o atraso na entrega de pedidos.

O sistema é operacionalmente construído em torno dos 5 passos da TOC. Primeiramente proporciona maneiras para auxiliar a identificar as restrições sem pré-determiná-las antes da programação. Cria o “tambor” - a programação para a restrição, inicialmente “para trás” (*backward*) para estabelecer a maneira ideal de usar as restrições, garantindo as datas de entrega, e então programando “para a frente” (*forward*) para resolver conflitos. O processo de subordinação às restrições verifica a capacidade finita nos recursos não-restritivos e identifica recursos potencialmente problemáticos.

Através de simulações, o software ajuda a avaliar os efeitos de investimentos de capital, previsões de venda e planos estratégicos.

3.2.3- Priority

O Priority é um sistema de ERP (*Enterprise Resource Planning*) que possui um módulo de programação da produção com capacidade finita.

O software opera realizando simulações de situações de manufatura do tipo “o que aconteceria se...”, procurando manter baixos custos de inventário, garantindo a utilização eficiente das máquinas, e objetivando satisfazer a demanda flutuante dos clientes.

O sistema permite a tomada de decisão em relação à priorização de ordens de produção. Os algoritmos de programação otimizam os ciclos de tempo nos gargalos, realizam a otimização de *set ups*, permitem o balanceamento de carga de trabalho, o seqüenciamento eficiente de trabalhos e a otimização de tamanhos de lote.

3.2.4- DRUMMER

O DRUMMER opera de forma aderente aos conceitos da TOC (segundo seus fabricantes e representantes - Linter Sistemas Ltda.), sincronizando a fábrica através da seguinte metodologia:

1. Identificar a restrição da produção, que limita as quantidades fabricadas ou a entrega dos produtos nos prazos;
2. Explorar a restrição, de forma a melhorar o desempenho de toda a fábrica;
3. Subordinar o resto da fábrica ao ritmo da restrição;

Utilizando esta metodologia baseada nos conceitos da TOC, o software gera programas de produção que levam em consideração as limitações de recursos e sincronizam a fábrica ao ritmo dos gargalos.

O sistema não opera com *lead times* fixos de fabricação, determinando as filas dinamicamente em função da carga e capacidade dos recursos. O Drummer utiliza os conceitos de Tambor-Pulmão-Corda, gerenciando a produção através do uso de “*buffers*” que absorvem as flutuações do mercado e do processo, inerentes aos ambientes complexos de manufatura.

O sistema foi desenvolvido em linguagem Delphi, para operar em ambiente cliente-servidor, importando dados de sistemas corporativos e com processamento em memória, permitindo simulações rápidas.

O DRUMMER tem módulos para manutenção de dados de Engenharia (Roteiros, estruturas, etc.), programação e otimização do gargalo, e ainda um módulo para apontamento de operações e gerenciamento de pulmões.

Existe ainda um novo módulo que implementa as análises financeiras descritas pelo Instituto Goldratt do Brasil como Bússola³⁵.

3.2.5 – Rhythm

O software Rhythm, fabricado pela empresa norte-americana I2 Technologies, é um sistema do tipo matemático heurístico, fechado, e possui as funções de plano mestre de produção, programação da produção e gestão dos materiais integrada.

Segundo seus fabricantes, o Rhythm proporciona soluções para planejamento estratégico, plano mestre, seqüenciamento de recursos, planejamento de distribuição e reposição de produtos, logística e transportes, planejamento e previsões de demanda, e planejamento de datas de entrega para clientes.

O sistema tem por objetivos melhorar o desempenho de entregas para os clientes, reduzir os *lead times*, aumentar o ganho, reduzir o inventário e a despesa operacional. O software considera simultaneamente todas as restrições ao sistema

³⁵ Este módulo simula o Plano Agregado de Produção dentro da lógica da TOC, isto é, o planejamento do *mix* de produtos que maximiza os resultados econômico-financeiros da Empresa.

produtivo: material, capacidade operadores, ferramentas, etc., e gera um plano de produção viável e realizável.

Inicialmente o Rhythm cria um plano que considera os materiais finitos, mas a capacidade infinita, para ilustrar o nível ideal de capacidade de recursos necessária para atender a demanda dos clientes. Os recursos sobrecarregados são evidenciados para que o usuário possa tomar ações corretivas. O usuário pode então escolher a programação baseada em restrições para criar um plano de capacidade finita otimizado para as restrições.

O sistema executa um planejamento rápido em memória residente, e é apto para vários ambientes - produção para estoque, produção por encomenda, montagem para encomenda, etc. – e para diversos tipos de indústrias.

3.2.6- Thru-Put

O Thru-Put Manufacturing 5.0, fabricado pela empresa norte-americana Thru-Put Technologies, é um software de PFP que gerencia os gargalos ou restrições do sistema produtivo.

O sistema tem por objetivo melhorar o atendimento aos pedidos dos clientes, aumentando o ganho e reduzindo o inventário e a despesa operacional. Promove a sincronização das operações internas das plantas industriais juntamente com operações de clientes e fornecedores, acelerando a transformação de materiais em produtos acabados para os consumidores.

O Thru-Put Manufacturing, baseado em restrições de capacidade, material e trabalho, gera o Plano Mestre de Produção, a programação detalhada da produção, e o plano de compras de materiais. O planejamento estratégico também é uma das opções do sistema, que possibilita analisar o impacto financeiro de fatores como mudanças no *mix* de produção, demanda, utilização de recursos e capacidade.

O software utiliza o algoritmo DBR, alocando pulmões em locais estratégicos, para assegurar continuidade na produção e entrega, protegendo o desempenho do atendimento aos clientes contra flutuações e eventos incertos. Possui ainda um módulo de planejamento de datas de atendimento ao cliente.

3.2.7 – Preactor 200

O Preactor 200 é um software de programação finita da produção, fabricado pela empresa inglesa CIMulation Centre. É baseado em regras de liberação e possui grau de interação semi-aberto com o usuário.

O sistema realiza o seqüenciamento das atividades dos pedidos de clientes, trabalhando de forma análoga aos quadros de planejamento manual da produção - o sistema calcula e carrega cada pedido completo por vez. A programação pode então ser acompanhada através dos gráficos de Gantt. O usuário define a regra que será usada para a seqüência de pedidos. Algumas destas regras são:

- Por prioridade - simples prioridade numérica, valores menores primeiro;
- Por prioridade reversa - como prioridade, mas valores maiores primeiro;
- Por data final - data final mais próxima primeiro;
- Primeiro a entrar, primeiro a sair - usa a seqüência na qual os pedidos foram inseridos no sistema. Este é também o desempate para as outras opções;

Além de escolher as regras de liberação dos pedidos, o usuário também pode escolher o sentido da programação, programando um pedido a partir do tempo atual para a frente (*forward*), ou trabalhando a partir das datas finais dos pedidos para trás (*backward*). Existe também a possibilidade de começar do meio de um pedido e

programar todas as operações anteriores (*upstream*) para trás, e todas as operações posteriores (*downstream*) para frente (programação bi-direcional).

Apesar de o Preactor 200 diferir dos outros sistemas de planejamento fino de capacidade apresentados neste trabalho, por não ser exatamente baseado em restrições, os seus fabricantes orientam para o uso da programação bi-direcional, utilizando um seqüenciamento inicial para a frente ou para trás para identificar o gargalo. A partir daí o gargalo pode ser otimizado, programando-se as operações manualmente. Estas operações no recurso gargalo são então fixadas pelo sistema e as demais são programadas de forma bi-direcional, de forma a suportar o seqüenciamento otimizado do recurso gargalo.

Dentre estes sistemas que executam a programação da produção baseada na TOC, destaca-se o software pioneiro nesta abordagem, o ST-POINT/OPT³⁶.

³⁶ O sistema ST-POINT, juntamente com o software OPT 21 (executado em *workstation*), pertence à família OPT.

3.3 - O ST-POINT

O software ST-POINT é um sistema de PFP, de propriedade da empresa Scheduling Technology Group – STG, baseado na TOC. O ST-POINT é a versão para microcomputador do software OPT, utilizando portanto o algoritmo *Drum-Buffer-Rope - DBR* (Tambor-Pulmão-Corda - TPC).

O ST-POINT objetiva aumentar o desempenho relativo ao atendimento das datas de entrega para os clientes, sincronizando a produção e minimizando os inventários, utilizando simulações na lógica “o que acontecerá se...” (“*what if*”), permitindo que o usuário teste várias alternativas e cenários até encontrar uma programação ‘realizável’.

O programa pode ser classificado de acordo com o método de solução como um sistema matemático heurístico, já que busca soluções viáveis e possíveis. De acordo com o grau de interação com o usuário, o ST-POINT é classificado como um sistema fechado, pois é baseado no algoritmo DBR e na lógica proprietária da OPT. Segundo o suporte às funções do planejamento da produção, o ST-POINT abrange as decisões de programação da produção e gestão dos materiais integrada.

Inicialmente o ST-POINT necessita ser alimentado pelo sistema de banco de dados da empresa com os dados referentes à estrutura dos produtos, roteiros de produção, pedidos de clientes, recursos produtivos, inventários de matérias-primas, produtos acabados e estoques em processo. Através do módulo de importação, estes dados são transferidos da base de dados para o ST-POINT, e é formada a ‘Rede de Atividades’, que dispõe os dados graficamente³⁷, e as tabelas de dados. Todas as

³⁷ A rede de atividades mescla a estrutura do produto com os roteiros de produção, conforme exposto no Capítulo 2 - OPT.

tabelas e relatórios podem ter seu formato alterado e permitem consultas e classificações de acordo com diversos critérios.

A Figura 3.1 mostra a Rede de Atividades do ST-POINT. A parte superior é formada por um estágio de ordem de produção; logo abaixo estão dispostos os estágios de produção, com o nome do recurso produtivo responsável abaixo do retângulo. Na parte mais inferior, finalizando a rede, se encontram os estágios de matérias-primas.

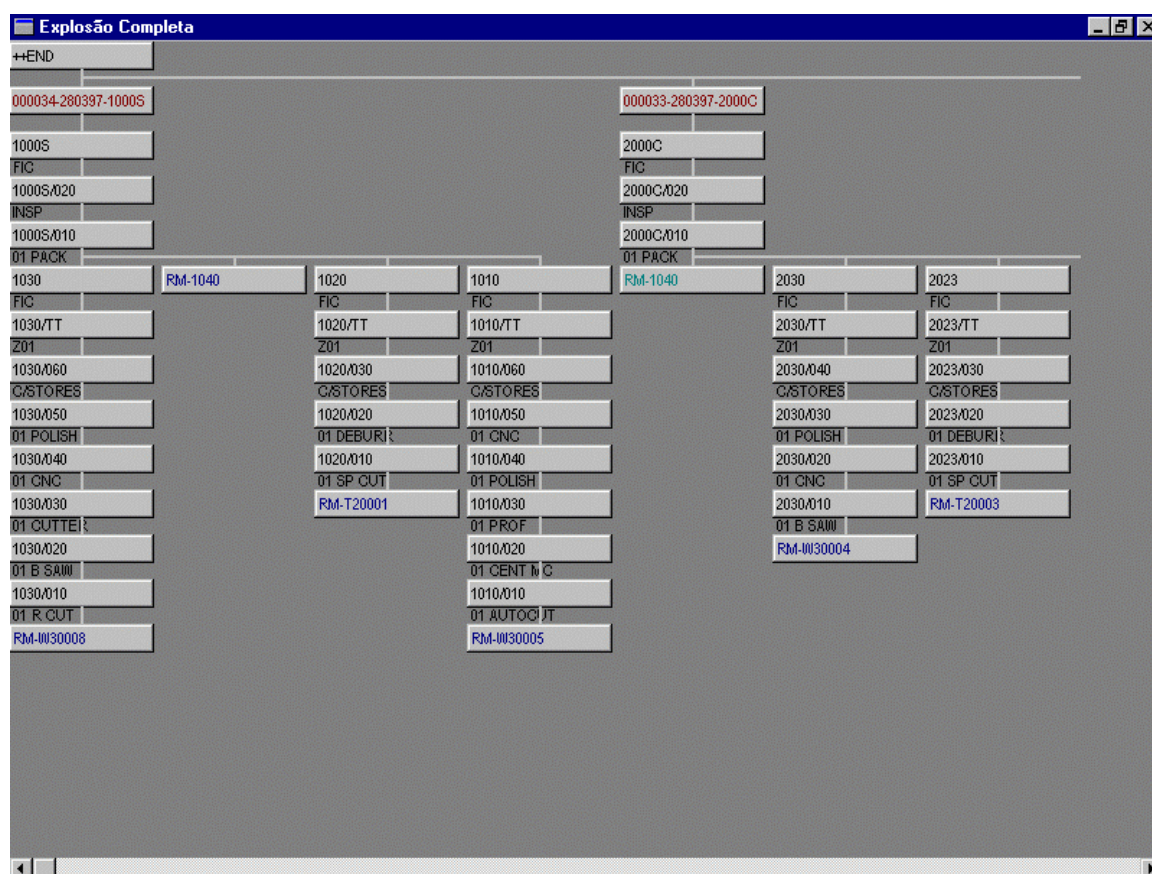


Figura 3. 1 - A ‘Rede de Atividades’ do ST-POINT.

Após a importação, os dados dos recursos produtivos são dispostos na ‘Tabela de Recursos’ do ST-POINT. Os recursos, tais como máquinas, operadores, recursos

auxiliares, preparadores e fornecedores são expostos em formato tabular. Algumas características destes recursos, tais como quantidades, possíveis recursos substitutos, permissão para aproveitamento de *set up*, calendários com turnos de produção, entre outras são disponibilizadas nesta tabela. A Figura 3.2 mostra a Tabela de Recursos.

#	Nome do Recurso	Qty. do Grupo	Nome do Grupo	Nome do Substituto	Taxa de Subst	Cal.	Operador	Preparador
1	01 AUTOCLUT	1	01 AUTOCLUT		1	0	01 OPS	
2	01 B SAW	1	01 B SAW		1	0	01 OPS	
3	01 CENT MC	1	01 CENT MC		1	0	01 OPS	
4	01 CNC	1	01 CNC	01 DRILL1	1	1	01 CNC OP	
5	01 CNC OP	1	01 CNC OP		1	0		
6	01 CUTTER	1	01 CUTTER		1	0	01 OPS	
7	01 DEBURR	1	01 DEBURR		1	0	01 OPS	
8	01 DRILL1	1	01 DRILL1		1	0	01 OPS	
9	01 OPS	7	01 OPS		1	0		
10	01 PACK	1	01 PACK		1	0	01 PACKERS	
11	01 PACKERS	3	01 PACKERS		1	0		
12	01 POLISH	2	01 POLISH		1	0	01 OPS	
13	01 PROF	2	01 PROF		1	0	01 OPS	
14	01 R CUT	1	01 R CUT		1	0	01 OPS	
15	01 SP CUT	1	01 SP CUT		1	0	01 OPS	
16	01 TEMP OP	1	01 TEMP OP		1	0		
17	CARR	1	CARR		1	0		
18	CARRO	75	CARRO		1	0		
19	INSP	1	INSP		1	0		
20	Z01	1	Z01		1	0		

Figura 3. 2 - A ‘Tabela de Recursos’ do ST-POINT.

O software programa a produção a partir de alguns parâmetros definidos pelo usuário, tais como a data inicial e final do planejamento, e os pulmões, isto é, a permissão para antecipação de atividades e liberação de materiais.

O sistema disponibiliza uma estatística, após realizar a programação, contendo os percentuais e o número de ordens de produção, o número de ordens que serão

completadas no prazo e a quantidade de ordens que atrasarão, entre outras informações.

O ST-POINT apresenta vários tipos de relatórios de produção. A figura 3.3 mostra o relatório gráfico de ordens de produção, que permite a verificação das ordens em relação ao tempo (desvio), os recursos e/ou materiais críticos que comprometem o atendimento, e as datas e horários programados, entre outras opções.

#	Nome do Pedido	Nome do Cliente	Quantidade do Pedido	Data Programada do Pedido	Horário Programado do Pedido	Data de Entrega do Pedido	Desvio	Recurso Crítico	Material Crítico
1	000001-120196	GROSSMANS	300	070197	07:30	100197	64:30	FIC	
2	000003-120196	THISENDUP	390	070197	12:11	100197	59:48	C/STORES	
3	000002-120196	RAIDERS	250	100197	14:47	100197	-14:47	01 CNC	
4	000005-190196	CHANNEL	250	140197	08:44	170197	63:15	01 DRILL1	
5	000004-190196	LEVITZ	300	150197	19:09	170197	28:50	01 CNC	
6	000006-190196	LEVITZ	390	160197	15:51	170197	08:08		RM-3010
7	000009-260196	ETHANALLEN	390	210197	14:51	240197	57:08		RM-3040
8	000008-260196	ETHANALLEN	250	210197	20:56	240197	51:03	01 DRILL1	
9	000007-260196	CHANNEL	300	230197	17:14	240197	06:45	01 CNC	
10	000012-020296	EASTBUTCH	390	280197	07:30	310197	64:30	01 CNC	
11	000011-020296	ROTTMANS	250	280197	09:25	310197	62:34	01 DRILL1	
12	000010-020296	ETHANALLEN	300	300197	15:20	310197	08:39	01 DRILL1	
13	000014-090296	RUDERMANS	250	040297	07:30	070297	64:30	01 DRILL1	
14	000015-090296	MAYNARD H	390	040297	07:30	070297	64:30	01 DRILL1	
15	000013-090296	GROSSMANS	300	040297	13:51	070297	58:08	01 DRILL1	
16	000017-160296	SITWELL S	250	110297	07:30	140297	64:30	01 CNC	
17	000018-160296	JORDANS	390	110297	07:30	140297	64:30	01 DRILL1	
18	000016-160296	LEVITZ	300	110297	13:51	140297	58:08	01 DRILL1	
19	000021-210297	KAYCEE	450	180297	07:30	210297	64:30	01 CNC	
20	000020-210297	KAYCEE	250	180297	07:59	210297	64:00	01 PACK	
21	000019-210297	KAYCEE	585	180297	22:00	210297	49:59	01 CNC	
22	000023-280297	KAYCEE	300	250297	07:30	280297	64:30	01 PACKER:	
23	000022-280297	KAYCEE	390	250297	07:46	280297	64:13	01 PACKER:	
24	000025-070397	KAYCEE	300	040397	07:30	070397	64:30	01 OPS	
25	000024-070397	KAYCEE	682	040397	14:46	070397	57:13	01 PACK	
26	000028-140397	KAYCEE	525	110397	07:30	140397	64:30	01 OPS	
27	000027-140397	KAYCEE	300	110397	10:52	140397	61:07	01 OPS	
28	000026-140397	KAYCEE	390	110397	20:29	140397	51:30	01 OPS	
29	000031-210397	KAYCEE	225	180397	07:30	210397	64:30	INSP	
30	000029-210397	KAYCEE	585	180397	10:32	210397	61:27	01 SP CUT	

Figura 3.3 -Relatório gráfico de ordens de produção.

Na Figura 3.4 é mostrado o gráfico de Gantt³⁸ dos recursos produtivos, que permite o acompanhamento das atividades dos recursos, visualizando-se os períodos de *set up* (na cor amarela), processamento (verde) e ociosidade (cinza). O *status* dos recursos pode ser igualmente visualizado nos relatórios de utilização, que demonstram o uso da capacidade disponível e ajudam na identificação dos recursos críticos. Um dos relatórios de utilização, em formato de histograma, é mostrado na Figura 3.5.

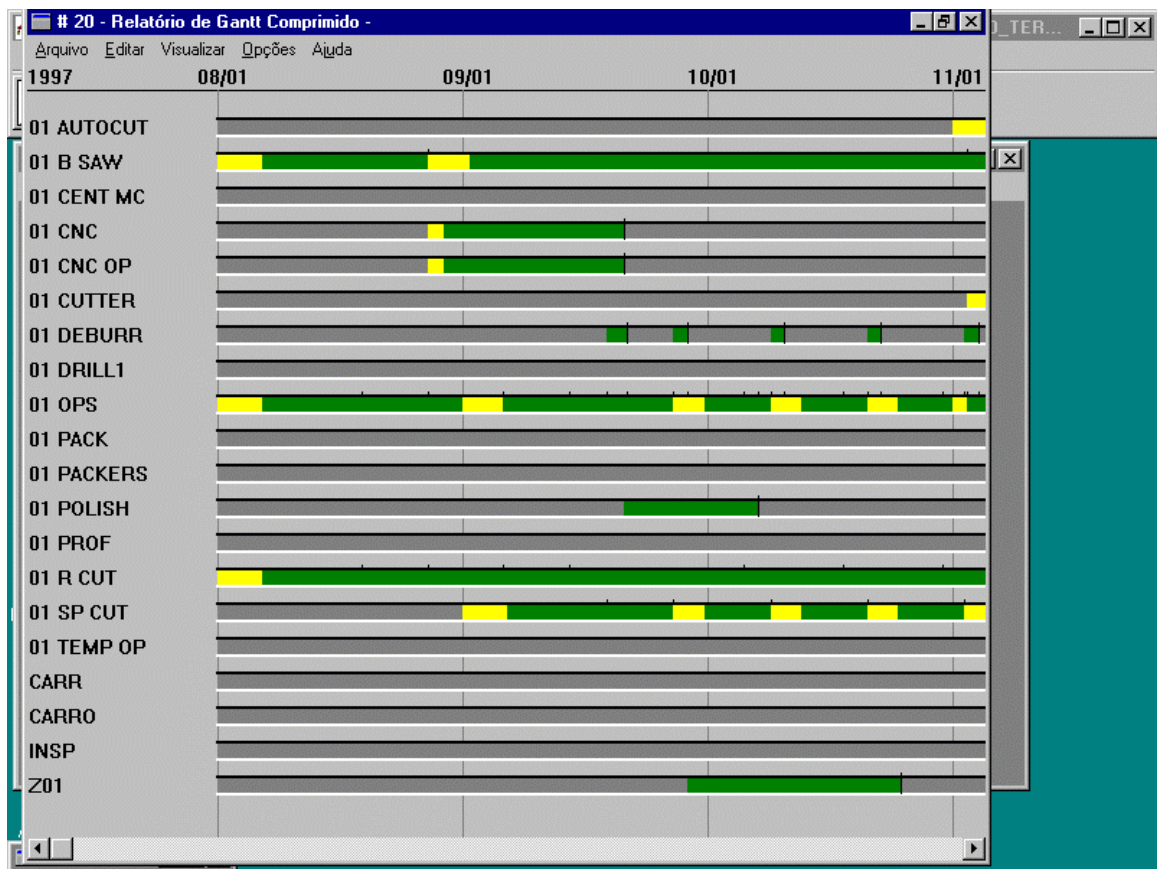


Figura 3. 4 - Gráfico de Gantt dos recursos do ST-POINT.

³⁸ De acordo com Chase & Aquilano, 1995 *apud* Pellegrin, 1999, as Cartas ou Gráficos de Gantt foram propostas por Henry L. Gantt em 1917, e costumam ser empregadas para auxiliar no planejamento e acompanhamento das ordens de produção, tanto em fábricas de pequeno e médio porte como em departamentos de fábricas maiores. Nesse caso a Carta de Gantt é um tipo de gráfico de barras onde é representada a ocupação dos recursos produtivos contra o tempo.

A tarefa de controle de materiais, incluindo compras, chegadas e posições de estoque, pode ser executada a partir das informações disponíveis no relatório de compras do ST-POINT, conforme ilustra a Figura 3.6.

O ST-POINT possui módulos para cadastro de matrizes de *set up* dependentes, paradas de recursos - onde é possível programar manutenção de máquinas, ausência de operadores, etc., roteiros de produção alternativos e um módulo independente denominado Planejamento de Datas de Entrega, onde é possível prever a data de atendimento de um ou mais pedidos novos sem a alteração da seqüência prevista originalmente. Estes pedidos ou ordens de produção podem ainda ser priorizados, tendo a sua programação preferência às demais. Neste caso, obviamente a seqüência original será alterada.

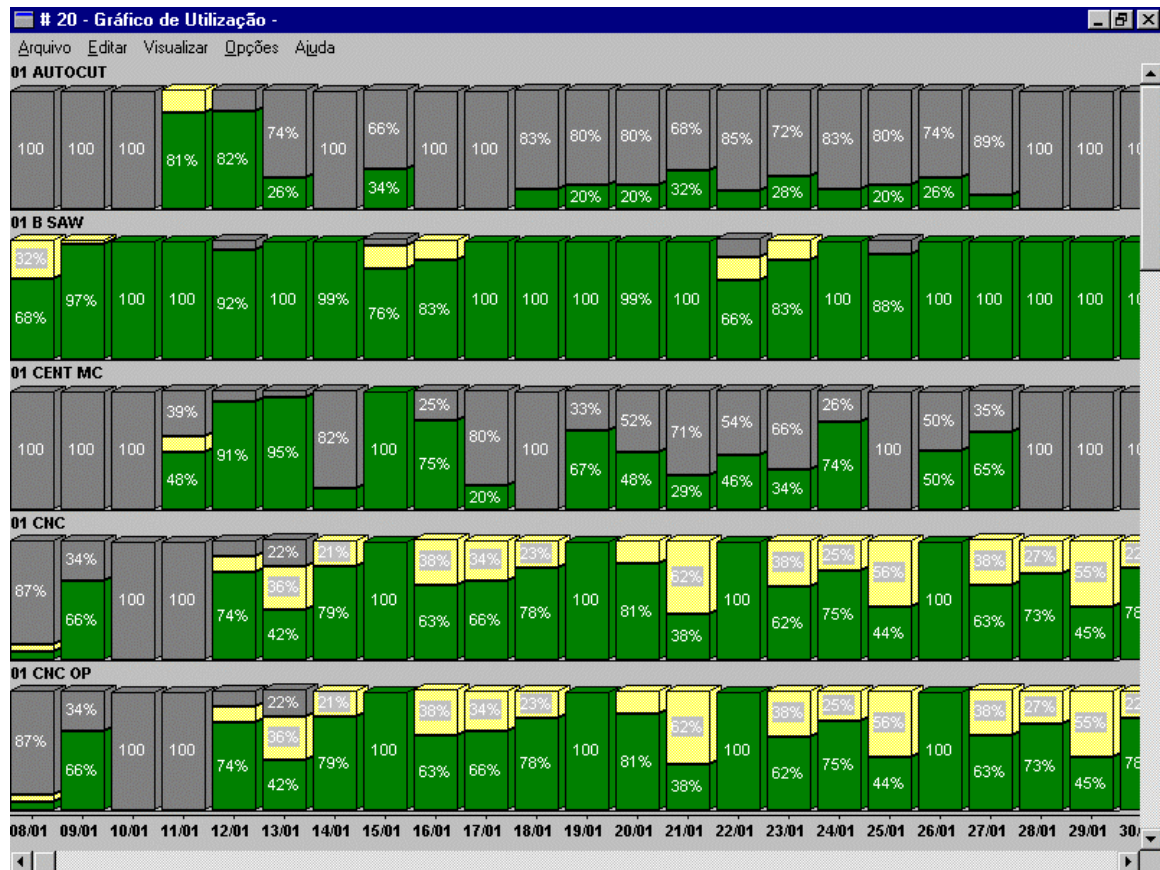


Figura 3. 5 - Relatório de Utilização dos recursos em forma de histograma.

[dollars] # 11 - Relatório de Compras -											
Arquivo Editar Visualizar Opções Ajuda											
01/1997	Total	06/01	13/01	20/01	27/01	03/02	10/02	17/02	24/02	03/03	
RM-1040 COM=RUBBER STOPPERS											
Consumo	6100	0	300	200	225	200	525	300	0	300	
Do Estoque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
A Receber	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
De Compras	6100	0	300	200	225	200	525	300	0	300	
RM-3010 COM=TABLE STAND											
Consumo	5557	0	0	585	0	585	0	0	390	682	
Do Estoque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
A Receber	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
De Compras	5557	0	0	585	0	585	0	0	390	682	
RM-3030 COM=TABLE FRAME											
Consumo	5557	0	0	585	0	585	0	0	390	682	
Do Estoque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
A Receber	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
De Compras	5557	0	0	585	0	585	0	0	390	682	
RM-3040 COM=TABLE GLASS TOP											
Consumo	5557	0	0	585	0	585	0	0	390	682	
Do Estoque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
A Receber	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
De Compras	5557	0	0	585	0	585	0	0	390	682	
RM-T20001 COM=CHAIR/STOOL RAILS											
Consumo	8800	1325	1725	1750	1850	1850	300				
Do Estoque	0	0	0	0	0	0	0				
A Receber	0	0	0	0	0	0	0				
De Compras	8800	1325	1725	1750	1850	1850	300				
RM-T20002 COM=STOOL CROSS BAR											
Consumo	2450	400	300	500	750	500					
Do Estoque	0	0	0	0	0	0					
A Receber	0	0	0	0	0	0					
De Compras	2450	400	300	500	750	500					

Figura 3. 6 - Relatório de Compras.

3.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou uma classificação dos aplicativos informatizados de PFP, proposta por Corrêa e Pedroso (1996). Foram descritas algumas características de softwares existentes no mercado, especialmente aqueles construídos a partir da lógica da TOC. Foi realizada uma análise mais detalhada no sistema ST-POINT, que foi o software original da abordagem TOC.

O Capítulo a seguir abordará o método de implantação de um sistema de PFP baseado na TOC.

CAPÍTULO 4

Proposta de Método de Trabalho para a Implantação do Sistema de PFP

Este capítulo apresenta uma proposta, desenvolvida pelo autor, de um método de trabalho para a implantação de um sistema de PFP. Inicialmente será abordada a inserção da ferramenta computacional de PFP no sistema de Manufatura Sincronizada e serão descritos os elementos básicos que compõem este sistema. Em seguida será apresentado o método de trabalho, explicitando as etapas necessárias para a implantação do sistema.

4.1– ELEMENTOS BÁSICOS DA MANUFATURA

SINCRONIZADA

A Figura 4.1 ilustra o contexto onde se insere o sistema de PFP. Pode ser observado que esta ferramenta computacional tem como objetivo sincronizar a manufatura, e através disso reduzir os estoques, os *lead times*, e melhorar o desempenho no atendimento de pedidos.

A aplicação prática dos **Princípios Teóricos da Manufatura Sincronizada** se constitui em um elemento essencial para a implantação de um sistema de PCP voltado à Manufatura Sincronizada, pois tanto o **Algoritmo de Programação** (o software de PFP deve incorporar o algoritmo DBR, que sincroniza a produção na lógica da TOC), como **Os Indicadores de Desempenho da TOC** (a avaliação do desempenho da programação da produção deverá ser realizada preferencialmente através dos indicadores da TOC, uma vez que estes são compatíveis com a sincronização da manufatura) são direcionados para estes princípios.

Além do Algoritmo Estruturado (DBR), a **Ferramenta de Planejamento Fino da Produção** necessita do suporte de um sistema de **Banco de Dados**, onde o software buscará as informações para a geração dos planos de produção.

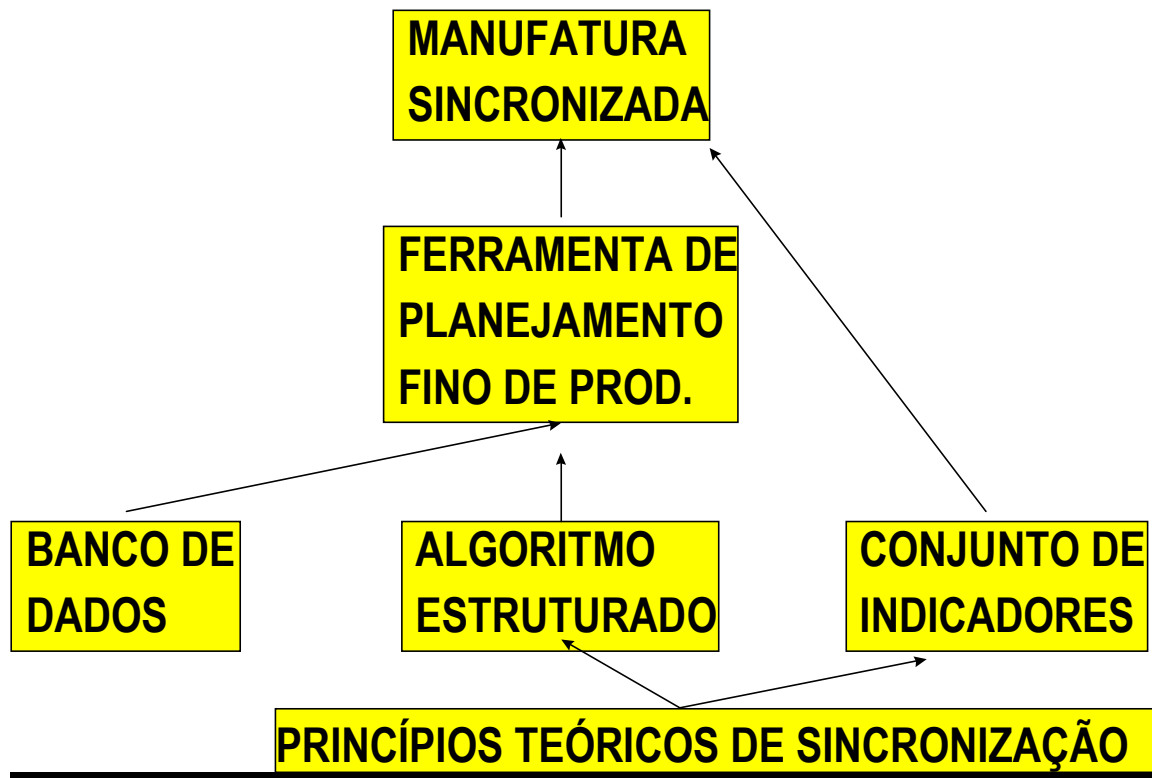


Figura 4. 1 - Alicerces da Manufatura Sincronizada.

Para se obter a sincronização da manufatura, é necessário um método de implantação do sistema de PFP que considere e organize cada um destes elementos básicos, mostrados na Figura 4.1, que compõe o sistema.

4.2 – MÉTODO DE IMPLANTAÇÃO

O Método de Implantação proposto é constituído em cinco etapas seqüenciais (Figura 4.2):

1. Aquisição do sistema de PFP;

2. Pré-implantação;

3. Operacionalização;

4. Manutenção e controle;

5. Melhorias;

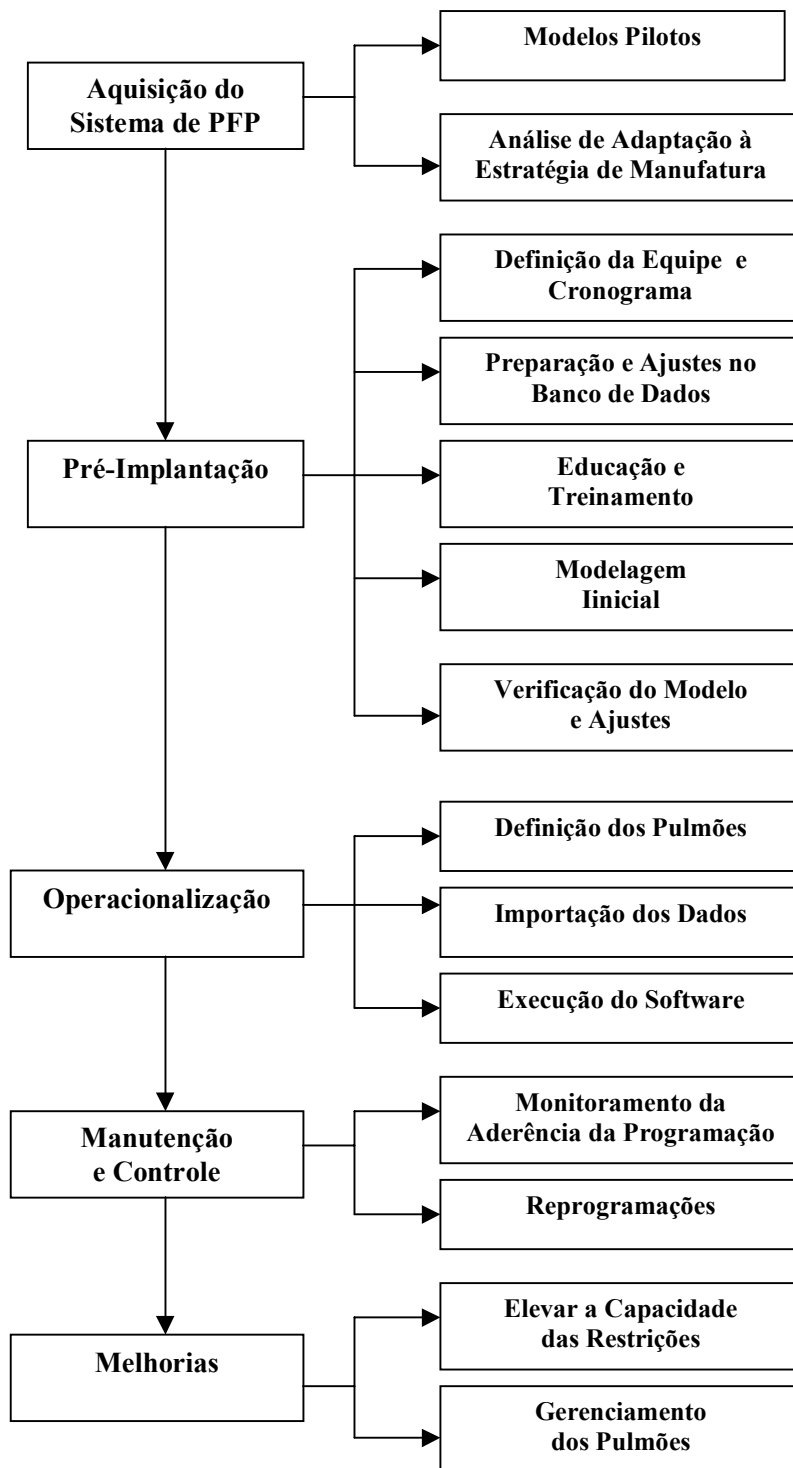


Figura 4. 2 - Etapas do Método de Implantação do Sistema de PFP.

4.2.1 - Aquisição do Sistema de PFP

A implantação de um sistema de PFP é iniciada a partir da aquisição da ferramenta computacional pela empresa. A aquisição destes sistemas apresentam algumas particularidades, tais como:

- a aquisição de um sistema de PFP envolve investimentos significativos de tempo e recursos financeiros, para a média das empresas;
- a venda deste tipo de ferramenta é acompanhada de uma etapa posterior de implantação, que pode ser realizada pela mesma empresa vendedora, o que caracteriza um relacionamento contínuo durante certo tempo, entre vendedor e comprador;
- existem várias opções de sistemas de PFP disponíveis no mercado, apresentando diferenças na abordagem conceitual, no método de solução do problema de seqüenciamento, e na abrangência das decisões que apoiam;
- A decisão de compra e implementação destes sistemas pode trazer mudanças de conceitos e procedimentos na manufatura, que impactarão em outras áreas da empresa;

Devido a estas características, pode ser concluído que a empresa interessada em adquirir um sistema de PFP necessita de uma gama diversa de informações a respeito da ferramenta e dos conceitos nos quais ela se fundamenta, seus benefícios potenciais e possíveis alterações no sistema de PCP, bem como o investimento financeiro e o envolvimento necessário para a implantação.

4.2.1.1 – Modelos Pilotos

A utilização de modelos pilotos é uma forma de apresentar, de maneira mais tangível e prática, as características do sistema de PFP e algumas de suas respostas. De posse de alguns dados da empresa, é construído um modelo simplificado para uma melhor compreensão e visualização do software pelo provável futuro usuário.

A empresa interessada na aquisição da ferramenta pode, a partir destes modelos, realizar algumas simulações, testando as principais características do sistema, seus benefícios e respostas em relação aos objetivos de desempenho do seu sistema de PCP.

4.2.1.2 – Análise de adaptação à Estratégia de Manufatura da empresa

O sistema de PFP dá suporte à tomada de decisão, que deve estar de acordo com a Estratégia de Manufatura. Para tanto, torna-se necessária uma análise das características e particularidades do sistema de PFP em relação à Estratégia de Manufatura.

Estratégia de Manufatura pode ser definida como um conjunto coordenado de decisões entre áreas de decisão da manufatura, visando atingir desempenho em critérios competitivos consistentes com os objetivos da empresa (Platts e Gregory, 1990; Corrêa e Gianesi, 1993).

Os critérios competitivos da manufatura³⁹, segundo Slack (1993), são:

- qualidade
- velocidade
- pontualidade
- flexibilidade
- custo

A ligação entre as decisões do PCP, apoiadas pelo sistema de PFP, e os critérios competitivos da manufatura ocorre através da definição de objetivos de desempenho do sistema de PCP, conforme ilustra a Figura 4.3.

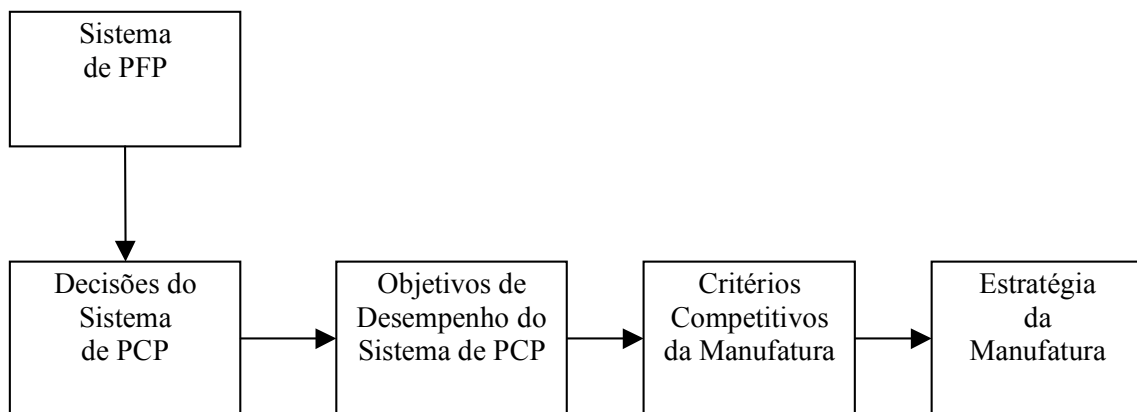


Figura 4.3 - Os Objetivos de Desempenho do Sistema de PCP como Elo de Ligação entre as Respektivas Decisões e os Critérios Competitivos da Manufatura. Adaptado de Pedroso (1996).

³⁹ Alguns autores consideram também alguns critérios competitivos além destes, tais como variedade de produtos, inovação, preço e serviços.

Portanto, uma análise do impacto das decisões do sistema de PFP nos objetivos de desempenho do PCP, produzirá um perfil do grau de adequação da ferramenta computacional aos objetivos estratégicos da empresa.

4.2.2 - Pré-implantação

Esta etapa que antecede a operacionalização do sistema de PFP é fundamental, pois é o momento em que ocorrem algumas ações básicas importantes, tais como:

- a definição da equipe de trabalho de implantação do sistema e o planejamento do cronograma das atividades;
- a preparação, no banco de dados da empresa, dos dados nos quais o software vai se basear para programar a produção;
- a educação e o treinamento, em diversos níveis hierárquicos, dos colaboradores envolvidos com o novo sistema de PCP.
- a modelagem inicial, no software, das características físico-operacionais dos processos e operações industriais da empresa.
- a verificação da adequação do modelo computacional à realidade, e eventuais correções no sistema.

4.2.2.1 - Definição da equipe e cronograma de trabalho

O projeto de implantação do PFP necessita um gerenciamento detalhado, contendo um cronograma de atividades e equipes de trabalhos com os respectivos responsáveis. Os seguintes grupos de trabalhos serão necessários:

- **Integração do banco de dados da empresa com o software de PFP:** o conteúdo e o formato pré-estabelecidos dos dados da manufatura devem ser disponibilizados através do sistema gerenciador de banco de dados da empresa.
- **Correção/incremento dos dados:** a exatidão dos dados é um dos fatores importantes para a geração de um programa de produção viável pelo software de PFP.
- **Educação:** o treinamento e o entendimento conceitual da Manufatura Sincronizada torna-se uma necessidade para a realização das mudanças impostas por esta abordagem.
- **Modelagem do processo produtivo:** é necessária uma equipe de trabalho para a configuração das características operacionais da fábrica no software.
- **Procedimento para a execução dos programas de produção:** a sincronização da produção requisita mudanças nos procedimentos de produção, que devem se adequar aos princípios da Manufatura Sincronizada.

4.2.2.2- Preparação e ajustes do banco de dados

O trabalho de preparação é executado visando três objetivos básicos:

a) **obter a acurácia das informações do banco de dados**: um sistema de PFP necessita de um número maior e mais detalhado de informações que, mesmo estando disponíveis na base de dados da empresa, provavelmente podem estar desatualizadas ou conter erros. Este possível problema de exatidão dos dados ocorre porque dificilmente o sistema de planejamento da produção utilizado anteriormente necessitava destas informações na sua totalidade⁴⁰.

A correção de toda a base de dados é praticamente impossível e certamente desnecessária. Assim sendo, a melhor abordagem de trabalho é o direcionamento das ações de melhoria da base de dados, utilizando-se os seguintes critérios:

- Focar nos recursos críticos do processo;
- Utilizar o software como identificador e priorizador das correções a serem efetuadas. Neste caso, o resultado da simulação auxiliaria na identificação das distorções mais críticas dos dados.

b) **incrementar a abrangência do banco de dados**: pode ser necessário coletar e cadastrar alguns tipos de dados que não se encontram disponíveis no sistema, porém são fundamentais para uma melhor aproximação da realidade da fábrica. Por exemplo: roteiros alternativos de fabricação, matrizes de *set up* dependentes, recursos produtivos substitutos,

⁴⁰ Os sistemas baseados na lógica MRP focalizam a atenção na estrutura de produto e na informação agregada de estoques. Assim, é comum que existam problemas de acurácia de alguns dados, tais como os tempos operacionais dos roteiros de produção, pois estes sistemas não costumam utilizar a informação detalhada a este nível.

matérias-primas substitutas e tempos operacionais onde ocorre processamento por lote⁴¹.

c) **integrar o banco de dados ao sistema de PFP**: os procedimentos e especificações de importação e exportação das informações entre o banco de dados e o sistema de PFP devem ser definidos. Os arquivos importados do banco de dados contém informações que podem ser classificadas em dois tipos: os dados estáticos, que possuem pouca variação no curto prazo (estrutura do produto, roteiros de fabricação, recursos produtivos) e os dados dinâmicos, que podem variar a qualquer momento (pedidos de clientes, estoques de matéria-prima, estoques em processo). De maneira análoga ao processo de importação das informações do banco de dados da empresa, será necessária a especificação da exportação dos resultados dos programas de produção do software de PFP para os diferentes módulos do sistema corporativo da empresa. Basicamente os seguintes módulos poderão ser integrados com o software:

- **Produção**: as informações a respeito das seqüências de produção, quantidades produzidas e demais detalhes podem ser enviadas ao sistema gerenciador de banco de dados da empresa, para consultas remotas, geração de ordens de fabricação, etc.
- **Manutenção**: as datas de manutenção programada pelo software de PFP podem ser exportadas para o sistema de dados, para que ocorra a integração entre os setores de programação e manutenção.
- **Compras**: o sistema de PFP programa o seqüenciamento de compras de materiais. A partir desta programação, que considera os tempos e

⁴¹ Neste caso, o processamento não ocorre peça a peça, e sim por lotes (exemplos: operações de lavagem e tratamento térmico).

quantidades necessárias reais, o setor de compras da empresa pode agir de acordo com uma previsão mais precisa.

- Custos: as informações geradas pelo sistema de PFP podem ser integradas com o controle de custos da empresa, para a análise de custos de inventário, de materiais, utilização de capacidade, não-atendimento de pedidos, atrasos, refugos, etc.
- Gerenciamento de Pedidos: o *status* dos pedidos de clientes, que se constituem em uma valiosa informação gerencial, pode ser informado ao sistema de banco de dados da empresa.
- Capacidade: os dados sobre a utilização de capacidade de recursos, disponíveis no software de PFP, podem ser utilizadas para o cálculo de eficiência e rendimento dos recursos.

4.2.2.3- Educação e treinamento

A implantação de uma lógica de Manufatura Sincronizada requer uma grande mudança de paradigma, principalmente na maneira como a fábrica é gerenciada, operacionalizada e medida. Entretanto, a real efetivação dessa abordagem está sustentada na educação, em diferentes níveis, de todos os colaboradores que estarão relacionados com a mesma. Assim sendo, faz-se necessário a execução de um conjunto de treinamentos envolvendo os seguintes colaboradores:

- Nível Gerencial: treinamento cobrindo os princípios básicos da Manufatura Sincronizada, características da ferramenta computacional e questões de gerenciamento da produção em ambientes de manufatura sincronizada.

- Programadores de Produção e CPD: treinamento contendo os princípios básicos da Manufatura Sincronizada, com o detalhamento sobre o funcionamento e operação do software e questões da operacionalização da programação da produção em ambientes de manufatura sincronizada.
- Chefias e Supervisão da Fábrica: treinamento destacando os princípios básicos da Manufatura Sincronizada, características da ferramenta, questões de execução dos programas de produção em ambientes de manufatura sincronizada e habilitação para que os mesmos realizem os treinamentos para os operadores da fábrica subordinados.
- Operadores da Fábrica: treinamento cobrindo os princípios básicos da Manufatura Sincronizada (noções conceituais sobre gargalos e não-gargalos, pulmões, variabilidade do processo, sincronização, etc.) e os impactos na execução e medição das atividade fabris.

Um aspecto fundamental que deve ser enfatizado durante o processo de educação e treinamento diz respeito aos Indicadores de Performance: os princípios da TOC defendem um conjunto de indicadores relacionados diretamente com os resultados da empresa (Lucro Líquido, Retorno sobre Investimento e Caixa). Indicadores do tipo eficiência local e produtividade por homem, os quais motivam, muitas vezes, a superprodução e conseqüentemente a estoques elevados, devem ser repensados.

A aprendizagem da TOC, segundo Goldratt, pode ser realizada através de elementos tais como:

- **livros** em forma de romance para explicar os aspectos mais importantes da TOC, por exemplo os livros A Meta (1986), Mais que Sorte... Um Processo de Raciocínio (1994) e A Corrente Crítica (1998);

- **Jogos**, por exemplo, o jogo dos dados para demonstrar a questão da influência da variabilidade estatística nos resultados globais dos Sistemas de Produção e a importância dos gargalos no gerenciamento da produção;
- **Software educacionais**⁴², por exemplo o jogo OPT (*OPT game*)⁴³ para demonstrar a relação entre os Indicadores Operacionais e Globais do sistema e os princípios da Manufatura sincronizada;
- Uma **peça teatral** onde é encenada o livro “Mais que Sorte... Um processo de Raciocínio”;
- **Vídeos educacionais**.⁴⁴

4.2.2.4- Modelagem inicial

Segundo Antunes (1998), de uma maneira geral, uma Empresa industrial apresenta um elevado grau de complexidade no que tange aos seus aspectos físico-operacionais. Desta forma, quando da construção dos modelos que visam representar esta realidade física torna-se necessário estabelecer um conjunto de simplificações que permitam equacionar de forma prática o problema.

A modelagem, ou seja, a representação da realidade física da fábrica é realizada através da configuração de algumas características operacionais específicas do processo produtivo, como tamanhos de lotes de transferência, aproveitamento de

⁴² Os softwares educacionais baseiam-se em “jogos sérios” que, segundo Pellegrin (1999), são exercícios de simulação seqüenciais dinâmicos, isto é, a representação simulada de atividades reais cotidianas ou atividades futuras planejadas, considerando-se as dependências físicas e temporais significativas envolvidas no processo em análise. Dentre os softwares educacionais desenvolvidos para auxiliar no aprendizado de conceitos de Engenharia/Administração da Produção destaca-se o Jogo PSP (Pellegrin, 1999).

⁴³ O *OPT Game* é um simulador industrial desenvolvido pela Empresa *Creative Output* que, originalmente, comercializava o *software* OPT (Antunes, 1998).

⁴⁴ Foi elaborado um vídeo didático, tendo como roteiro o livro “A Meta”, apresentando os conceitos expostos neste livro.

*set up*⁴⁵, configuração de operadores e equipes de trabalho, calendários com os turnos de trabalho para máquinas e operadores, substituições de recursos, entre outros detalhes. O software oferece recursos de modelagem que permitem lidar com características técnicas complexas de diversos tipos de indústrias.

4.2.2.5 - Verificação do modelo e ajustes

O modelo computacional da fábrica, construído na etapa anterior, deve ser analisado e testado para que o grau de adesão à realidade seja verificado. Os processos e as operações industriais são simulados no programa, ainda que através de simplificações, de uma forma determinística, e devem refletir a realidade da maneira mais próxima possível.

As distorções no modelo computacional podem ocorrer pelas seguintes razões:

- Problemas na acurácia do banco de dados - ocorre quando os dados não possuem a exatidão necessária para garantir a simulação da realidade fabril em um nível aceitável.
- O modelo não foi construído adequadamente - quando algumas características físico-operacionais críticas para o sistema são modeladas de forma errada, ou quando é necessário um maior detalhamento destas características. As simplificações muitas vezes podem tratar um problema de forma agregada, porém algumas situações demandam um maior refinamento do modelo.

⁴⁵ Aproveitamento ou salvamento de setup significa permitir a antecipação de algumas atividades para aproveitar a preparação corrente de uma determinada máquina. Através disso o lote de fabricação é aumentado para que o número de setups diminua. Pela lógica da Manufatura Sincronizada e TOC, esta prática resulta em ganhos para o sistema se for executada nos gargalos.

Uma vez verificada a inadequação do modelo, devem ser realizados os devidos ajustes no ponto causador da distorção, ou seja, correções no modelo computacional ou nos dados.

O processo de verificação e correção do modelo é contínuo, pois à medida que a implantação do sistema avança, podem ocorrer alterações de processos e operações na fábrica, o que provoca a necessidade de uma nova modelagem.

4.2.3 - Operacionalização

De posse de um modelo suficientemente acurado, definem-se nesta etapa os procedimentos para a entrada em operação do sistema de PFP. Serão detalhadas algumas ações rotineiras que devem ser realizadas a cada geração de um novo plano de produção.

4.2.3.1- Definição dos Pulmões

Nesta etapa é feito o dimensionamento dos pulmões que “protegerão” a programação, isto é, garantirão que os materiais e componentes programados estarão disponíveis no tempo necessário.

A definição da dimensão dos pulmões depende do nível de proteção requisitado para os pontos críticos do processo, tais como o gargalo, montagens, e expedição (Pulmão do gargalo, Pulmão da Montagem e Pulmão de Entrega/Mercado, respectivamente).

O gerenciamento destes pulmões obedece os passos que se encontram descritos no Capítulo 2, item 2.3.4.1 – Ciclo de Rotinas.

4.2.3.2- Importação dos dados

Os arquivos contendo os dados⁴⁶ de produção devem ser importados do banco de dados da empresa cada vez que for gerada uma nova programação, pois a situação da fábrica se altera a todo instante. O conteúdo destes dados necessita ser analisado criticamente, especialmente os dados dinâmicos, devido à sua maior variação no curto prazo.

Os estoques em processo merecem atenção especial nesta etapa anterior à programação, pois o seu apontamento detalhado garante uma maior precisão e qualidade dos programas de produção desenvolvidos pelo software.

Devido à sua natureza bastante dinâmica, é possível que a empresa não possua no seu sistema de banco de dados a posição exata e atualizada destes dados. No caso da empresa não contar com um sistema de aquisição e coleta automático *on-line*, a coleta e a entrada dos dados no programa deve ser feita manualmente. Neste caso, o controle total do estoque intermediário oferecerá um benefício que talvez não compense o custo para obtenção desse dado. Assim sendo, o melhor procedimento seria a identificação de pontos de controle no processo, os quais reportariam os estoques intermediários ao banco de dados da empresa.

4.2.3.3- Execução do software de PFP

De posse dos dados atualizados, a próxima etapa é executar o software e programar a produção. Alguns parâmetros globais da programação necessitam ser definidos, tais como a data inicial e final da programação, a resolução (precisão) da programação e os pulmões (permissões para antecipações) de atividades e chegada de materiais.

⁴⁶ O Anexo D apresenta um exemplo dos arquivos de dados necessários para a execução de um sistema de PFP.

O usuário deve a seguir analisar o resultado desta programação inicial, através da apresentação da estatística e dos relatórios de programação. O próximo passo é verificar se existem problemas de ordens atrasadas. Se todas estiverem no prazo, pode-se executar a programação. Do contrário, as causas dos atrasos devem ser identificadas na tentativa de eliminá-las. Para a identificação dos problemas, analisam-se os relatórios de ordem para os atrasos mais críticos de pedidos. O software indica a causa do atraso do pedido em questão, que pode estar relacionado com espera por matéria-prima ou com restrições de capacidade.

Se a causa do atraso for devido à matéria-prima uma das soluções é renegociar entregas com os fornecedores e, nesse caso, adicionar a nova informação de chegada de materiais. Outra possibilidade para resolução deste tipo de atraso é o uso de materiais substitutos, que podem ser configurados no software.

Se o atraso estiver relacionado à capacidade de produção, recomenda-se analisar os relatórios de utilização de recursos e Gantt. Poderá ser observada a utilização percentual dos recursos, pelo prazo diário, semanal ou mensal e ainda o seqüenciamento da produção.

Algumas possibilidades para resolver problemas de capacidade são:

- Alocação de recursos substitutos no recurso com falta de capacidade. Se existir um recurso que pode realizar a mesma função, ele pode ser cadastrado na tabela de recursos, na posição substituto.
- Roteiros Alternativos, incluindo possíveis atividades subcontratadas. Isto é realizado através do módulo 'Roteiros Alternativos'.
- Horas extras, que são configuradas no programa através da associação de calendários diferentes para cada recurso. Os calendários são definidos juntamente com seu código numérico no módulo calendário.

- Economia de *set up*: analisando-se o seqüenciamento das atividades pode-se constatar a necessidade de aproveitar *set up*. Isto é feito utilizando-se o fator de *set up*⁴⁷ definido pelo programador e inserindo-o no campo fator de *set up* da tabela de recursos.
- Dividindo o lote de transferência entre estágios de produção, na tentativa de reduzir o *lead time*.

Este processo será realizado iterativamente, até que se consiga um resultado de programação satisfatório. Obviamente, nem sempre será obtida uma programação sem atraso de ordens. A Figura 4.4 ilustra o processo de utilização do PFP.

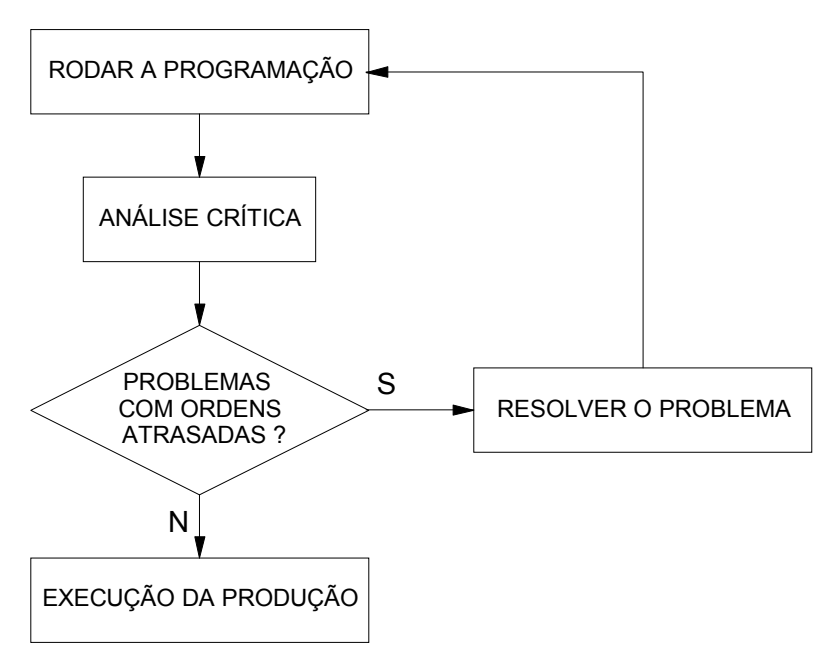


Figura 4. 4 - Ciclo de atividades para utilização do software de PFP.

⁴⁷ Fator de *setup* é um parâmetro do software, onde o usuário define um horizonte de tempo em que a programação de um determinado recurso procurará realizar o menor número possível de preparações. Desta forma, alguns lotes com *set ups* comuns serão agregados, desde que isto não prejudique o desempenho de atendimento dos pedidos.

4.2.3.4 - Saídas do software de PFP

Assim que o sistema de PFP gerar uma programação considerada “realizável” para a fábrica, provavelmente após algumas tentativas e alterações de parâmetros, o programa apresentará os resultados através de relatórios, dentre os quais se destacam:

- Programação de atividades: a consulta por recursos/células de produção desse relatório fornece a programação a ser executada na fábrica, para cada posto operativo para o período de tempo a ser definido, como mostra a Figura 4.5.
- Relatório de compras: este relatório fornece as necessidades de compras de materiais no intervalo de programação, conforme Figura 4.6.
- Relatório de liberação de matérias-primas: informa a quantidade e o momento em que a matéria-prima está disponível e é liberada para a fábrica, como ilustra a Figura 4.7.

#	Nome da Atividade	Recurso Principal	Qtde. Produzida	Data Inicial	Horário de Início
1	1030A010	01 R CUT	300	080197	07:30
2	2030A010	01 B SAW	200	080197	07:30
3	1030A010	01 R CUT	200	080197	12:15
4	1030A020	01 B SAW	300	080197	14:25
5	2030A020	01 CNC	200	080197	14:25
6	1030A010	01 R CUT	225	080197	14:25
7	1020A010	01 SP CUT	300	090197	07:30
8	1030A010	01 R CUT	200	090197	08:51
9	1030A010	01 R CUT	525	090197	11:01
10	1020A020	01 DEBURR	300	090197	12:15
11	1020A010	01 SP CUT	200	090197	12:15
12	2030A030	01 POLISH	200	090197	12:49
13	1020A030	C/STORES	300	090197	12:54
14	1020A020	01 DEBURR	200	090197	14:25
15	2021A010	01 SP CUT	200	090197	14:25
16	1020A030	C/STORES	200	090197	14:51
17	1020/TT	Z01	300	090197	14:51
18	1020/TT	Z01	200	090197	14:51
19	1030A010	01 R CUT	300	100197	08:42
20	2030A040	C/STORES	200	100197	09:09
21	2021A020	01 DEBURR	200	100197	09:35
22	2022A010	01 SP CUT	200	100197	09:35
23	2021A030	C/STORES	200	100197	10:01
24	1030A010	01 R CUT	300	100197	11:57
25	2022A020	01 DEBURR	200	100197	12:45
26	2023A010	01 SP CUT	200	100197	12:45
27	2022A030	C/STORES	200	100197	13:11
28	1020	FIC	300	100197	13:51
29	1020	FIC	200	100197	13:51
30	1030A010	01 R CUT	300	100197	15:12
31	1010A010	01 AUTO CUT	300	110197	07:30

Figura 4.5 - Relatório de Atividades do ST-POINT (seqüências de produção).

- Relatório financeiro: Este relatório apresenta o fluxo de caixa diário, o giro de inventário, o custo das despesas operacionais e o ganho diário e acumulado (Figura 4.8).

A programação das atividades de produção é passada através dos relatórios aos operadores, que deverão executar o plano do modo mais exato possível.

[dollars] # 11 - Relatório de Compras -										
Arquivo Editar Visualizar Opções Ajuda										
01/1997	Total	06/01	13/01	20/01	27/01	03/02	10/02	17/02	24/02	03/03
RM-1040 COM=RUBBER STOPPERS										
Consumo	6100	0	300	200	225	200	525	300	0	300
Do Estoque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A Receber	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De Compras	6100	0	300	200	225	200	525	300	0	300
RM-3010 COM=TABLE STAND										
Consumo	5557	0	0	585	0	585	0	0	390	682
Do Estoque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A Receber	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De Compras	5557	0	0	585	0	585	0	0	390	682
RM-3030 COM=TABLE FRAME										
Consumo	5557	0	0	585	0	585	0	0	390	682
Do Estoque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A Receber	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De Compras	5557	0	0	585	0	585	0	0	390	682
RM-3040 COM=TABLE GLASS TOP										
Consumo	5557	0	0	585	0	585	0	0	390	682
Do Estoque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A Receber	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
De Compras	5557	0	0	585	0	585	0	0	390	682
RM-T20001 COM=CHAIR/STOOL RAILS										
Consumo	8800	1325	1725	1750	1850	1850	300			
Do Estoque	0	0	0	0	0	0	0			
A Receber	0	0	0	0	0	0	0			
De Compras	8800	1325	1725	1750	1850	1850	300			
RM-T20002 COM=STOOL CROSS BAR										
Consumo	2450	400	300	500	750	500				
Do Estoque	0	0	0	0	0	0				
A Receber	0	0	0	0	0	0				
De Compras	2450	400	300	500	750	500				

Figura 4. 6 - Relatório de Compras do ST-POINT.

# 21100 - Programação da Liberação de Materiais -					
#	Nome da Mat-Prima	Nome do Fornecedor	Qtde. Produzida	Data Mat-Prima disponível	Data Utilização Mat-Prima
1	98-992	FIC	10	170999	170999
2	98-992	FIC	36	170999	170999
3	98-992	FIC	15	170999	170999
4	98-992	FIC	12	170999	170999
5	98-992	FIC	19	170999	170999
6	98-992	FIC	29	170999	170999
7	98-992	FIC	15	170999	170999
8	98-992	FIC	9	170999	170999
9	98-992	FIC	14	170999	170999
10	98-992	FIC	58	170999	170999
11	98-992	FIC	215	170999	170999
12	98-991	FIC	10	170999	170999
13	98-991	FIC	36	170999	170999
14	98-991	FIC	15	170999	170999
15	98-991	FIC	12	170999	170999
16	98-991	FIC	19	170999	170999
17	98-991	FIC	29	170999	170999
18	98-991	FIC	15	170999	170999
19	98-991	FIC	9	170999	170999
20	98-991	FIC	14	170999	170999
21	98-991	FIC	58	170999	170999
22	98-991	FIC	215	170999	170999

Figura 4. 7- Relatório de utilização de materiais

(dollars) Projected Financial Performance Table - 20 Records										
01/1997	06/01	07/01	08/01	09/01	10/01	11/01	12/01	13/01	14/01	
Performance										
Throughput	0.00	0.00	0.00	0.00	90240.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Input	0.00	0.00	2250.00	0.00	1500.00	0.00	0.00	3350.00	0.00	0.00
Gross Profit	0.00	0.00	2250.00	0.00	50490.00	0.00	0.00	3350.00	0.00	0.00
Cumulative Gross Profit	0.00	0.00	2250.00	2250.00	52740.00	52740.00	52740.00	56090.00	56090.00	56090.00
Inventory										
Open	210700.00	210700.00	210700.00	212950.00	212950.00	173200.00	173200.00	173200.00	176550.00	176550.00
Close	210700.00	210700.00	212950.00	212950.00	173200.00	173200.00	173200.00	176550.00	176550.00	176550.00
Change	0.00	0.00	2250.00	0.00	-39750.00	0.00	0.00	3350.00	0.00	0.00
Cumulative %Change	0.00	0.00	1.06	1.06	-17.79	-17.79	-17.79	-16.20	-16.20	-16.20
Costs and Margin										
Scheduled Labour Hrs.	48.33	72.99	92.96	67.04	73.29	64.00	0.00	56.71	129.33	
Scheduled Labour Cost	312.62	485.59	622.65	443.46	484.49	420.00	0.00	368.84	841.00	
Fixed Costs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total Expense	312.62	485.59	622.65	443.46	484.49	420.00	0.00	368.84	841.00	
Projected Net Profit	-312.62	-485.59	1627.34	-443.46	50005.50	-420.00	0.00	2981.15	-841.00	
Cumulative Net Profit	-312.62	-798.22	829.11	385.65	50391.16	49971.16	49971.16	52952.32	52111.32	
Other Statistics										
Inventory Turns	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	
Inventory Days	0.00	0.00	0.00	0.00	4.19	0.00	0.00	0.00	0.00	
Overdue Orders	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Figura 4. 8 - Relatório Financeiro do ST-POINT.

4.2.4 – Manutenção e Controle

A partir da execução, cabe aos responsáveis pela programação da produção monitorar a reação da fábrica ao plano, controlando o desvio que existe entre a programação feita pelo software, e o realmente realizado no chão de fábrica, realimentando o sistema com essas informações na tentativa de diminuir esse desvio.

4.2.4.1 - Monitoramento da Aderência da Programação

Segundo Johnson (1996), o sucesso da execução de um plano de produção é medido pelo monitoramento da aderência da programação. As principais categorias percebidas neste processo de monitoramento são:

- Em tempo – trabalho começado na data programada
- Antecipado – trabalho começado antes da data programada
- Atrasado – trabalho começado após a data programada
- Não começado – trabalho permanece intocado
- Não programado – o trabalho que começou não estava programado
- Superprodução/subprodução – trabalho feito em excesso ou quando somente parte de um lote foi completado.

De acordo com Johnson (1996), o principal indicador de aderência da programação é o percentual de trabalhos finalizados, isto é, o total de ordens Programadas completas dividido pelo total de ordens programadas, em um determinado horizonte de tempo:

$$PTF = \frac{OPC}{OP}$$

Onde:

PTF = Percentual de Trabalhos Finalizados, no horizonte de tempo

OPC = Ordens Programadas Completas, no horizonte de tempo

OP = Ordens Programadas, no horizonte de tempo

Conforme foi destacado anteriormente, o plano deve ser executado o mais fielmente possível. Porém, devido aos desvios de tempo, inerentes ao processo, haverá uma flutuação natural que resulta em diferenças de tempo entre o que foi planejado e o executado. Ocorre que estes desvios, desde que não ultrapassem certos limites, não afetarão a sincronização da produção. Observa-se que, mais importante do que seguir a exatidão dos tempos programados, é obedecer o seqüenciamento das atividades programadas pelo software (Johnson, 1996).

Os problemas de aderência ao plano de produção podem ser derivados de falta de exatidão em dados críticos, problemas de modelagem dos processos, ou falhas na execução da programação na fábrica⁴⁸. Estes problemas devem ser identificados e corrigidos para que uma reprogramação possa ser executada.

4.2.4.2 - Critérios para a Reprogramação

A velocidade e agilidade oferecida pelo software de PFP torna o processo de reprogramação extremamente facilitado. Na prática, muitas empresas no processo inicial de implantação dessa ferramenta sentem-se inclinadas a realizar a atividade de reprogramação com extrema frequência. Entretanto, a dinâmica da fábrica em aceitar essas mudanças não acompanha a velocidade de processamento do software. Assim

⁴⁸ Ausência de operador, ferramentas, ou materiais no momento planejado, por exemplo.

sendo, faz-se necessária a definição de um procedimento apropriado para a reprogramação da produção. Em linhas gerais, essa deveria acontecer mediante as seguintes circunstâncias:

- Periodicamente, conforme a frequência definida (geralmente no início de cada semana);
- Quebra de uma máquina crítica;
- Falta de um componente comprado que irá afetar o pulmão de montagem;
- Desvios no processo que consumirão os pulmões de recursos;
- Pedidos inesperados que necessitam programação urgente.

Cada reprogramação exigirá um procedimento adequado, o qual conterà desde o apontamento dos estoques em processo, passando por informações finas do tipo disponibilidade dos recursos críticos (parada de máquinas) e culminando pela readequação do novo programa de produção na fábrica.

4.2.5 – Melhorias

Uma vez que os resultados da programação executada confirmem o modelo, é iniciada a etapa de gestão das melhorias contínuas. Neste ciclo, o software de PFP colabora de duas maneiras: ao auxiliar na identificação das restrições (gargalos e CCR's) e ao executar simulações de ações e cenários visando melhorias na fábrica. Durante esta fase da implantação o software de PFP é utilizado como ferramenta de apoio à tomada de decisão em direção à intervenções físicas na fábrica e mudanças no gerenciamento de recursos produtivos.

As simulações executadas pelo sistema de PFP podem igualmente dar suporte às decisões de investimentos em recursos produtivos. Em relação a este aspecto, Rodrigues (1990), analisa o impacto provocado pelo investimento em recursos sobre os indicadores da TOC.

4.2.5.1- Elevar a Capacidade da(s) Restrição (ões)

A regra número 4 da TOC, “Elevar a Capacidade da(s) Restrição(ões)” é um dos passos que objetivam as melhorias no processo produtivo. Antunes (1998) enumera as seguintes ações genéricas para aumentar de forma efetiva a capacidade das restrições:

- **Eliminar todos os períodos de tempo morto no gargalo** (Umble & Srikanth, 1990, p. 180). É preciso compreender que uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida em todo o sistema. Sendo assim, não devem acontecer parada(s) nos gargalo(s) por razões tais como: folgas para o almoço, troca de turnos, *coffe breaks*, ginástica laboral, folgas ligadas a questões ergonômicas, etc...

- **Redução dos tempos de preparação de máquinas.** Os esforços no sentido de reduzir os tempos de preparação, por exemplo via a utilização da Técnica SMED (ou variantes da mesma) devem privilegiar o(s) gargalo(s) de produção (Antunes & Rodrigues, 1993; Umble & Srikanth, 1990).

- **Melhoria dos tempos de processamento por unidade.** Deve-se encetar esforços para melhorar os tempos de processamento unitários no gargalo via a melhoria contínua nos métodos de trabalho e na melhor utilização possível do potencial dos equipamentos.

- **Melhorias no sistema de alimentação de máquinas.** Em alguns casos a velocidade de alimentação das máquinas é inferior à velocidade de processamento

das máquinas. Ou seja, existe uma dessincronia entre a velocidade de alimentação e do processamento em si da máquina. Neste caso, melhorar a alimentação dos equipamentos implica em aumentar a produtividade horária do sistema alimentação/processamento.

- **Melhorar o controle de qualidade do sistema** (Umble & Srikanth, 1990). Teoricamente nenhuma peça deve ser refugada ou retrabalhada no circuito que vai do(s) gargalo(s) até o mercado. Para isto a estratégia utilizada para garantir a qualidade do produto deve ser concebida de tal forma que: i) não seja processada nenhuma peça defeituosa no gargalo o que, de forma geral, justifica adotar uma inspeção 100% imediatamente antes do gargalo; ii) assegurar que todas as peças que passam pelo gargalo gerem Ganho para a Empresa, ou seja, que a produção de defeitos e retrabalhos pós-gargalo seja igual a zero.

- **Subcontratação/Terceirização de trabalho no gargalo.** Implica em subcontratar /terceirizar uma parte da produção que anteriormente feita pelo gargalo.

- **Comprar capacidade adicional** (Umble & Srikanth, 1990). A compra de capacidade adicional pode se dar das seguintes maneiras básicas: comprando nova(s) máquina(s), contratando novos trabalhadores para o gargalo, utilizando horas-extras dos trabalhadores no gargalo ou adicionando turnos.

- **Realocação de parte das operações anteriormente feitas no gargalo para outras máquinas não gargalo que estejam operando com supercapacidade.** Em muitos casos, uma operação gargalo é constituída de um conjunto de operações menores (suboperações). Algumas destas suboperações podem ser realizadas em outras máquinas que não são gargalo, reduzindo assim o tempo de processamento unitário por peça da máquina gargalo.

- **Uso de equipamentos alternativos para produzir peças processadas no gargalo** (Bercht, 1996). Esta lógica pode ser utilizada sempre que houver a disponibilidade de máquinas que possam realizar todas as operações da máquina gargalo.

- **Melhoria na manutenção da(s) máquina(s) gargalo(s)**. O objetivo de atuar para melhorar a manutenção da(s) máquina(s) gargalo(s) consiste em aumentar o coeficiente médio de utilização do(s) recurso(s) crítico(s) da Fábrica. É preciso considerar a necessidade de reduzir as paradas não planejadas do(s) gargalo(s) e reduzir, o máximo possível, o tempo global das paradas planejadas cujo tempo possa influenciar no Ganho total do Sistema de Produção.

- **Melhoria no processo de fabricação das máquina(s) gargalo(s)**. Em muitos casos aumentar a Produtividade Horária do(s) gargalo(s) implica em alterar o próprio processo de fabricação atualmente adotado.

Antunes (1998) salienta ainda que existem dois tipos de situações onde se objetiva elevar a capacidade das restrições: ações que necessitam e ações que não necessariamente necessitam ser simuladas computacionalmente.

- Ações que não necessariamente necessitam ser simuladas: em geral, as ações propostas não necessitarão de uma avaliação econômica porque as soluções geradas exigirão investimentos modestos, se comparados com os resultados globais econômico-financeiros que serão alcançados no sistema (ex. redução do Tempo de Troca de Ferramentas via a utilização do Sistema SMED, melhoria no rendimento global da manutenção da(s) máquina(s) gargalo(s), etc...) ⁴⁹.

- Ações que necessitam ser simuladas porque podem ou não incrementar a Capacidade do gargalo, ou são soluções caras que necessitam de uma avaliação

⁴⁹ De forma geral estas situações relacionam-se com melhorias que elevam a capacidade da(s) restrição(ões) não influenciando nas demais partes do Sistema Produtivo.

econômica bem detalhada. Alguns exemplos desta situação são: alterações no *Layout*, utilização de horas-extras, aquisição de novos equipamentos (mecanização/automação), modificações amplas nos Processos de Fabricação, etc... Neste caso, dois tipos de simulações podem ser utilizadas conjunta ou independentemente. Uma determinística com uma visualização geral do sistema. Outra via uma abordagem estocástica com um software adequado de Simulação Computacional.

No caso de ações que não necessitam de simulação, o software de PFP contribui com a identificação dos recursos críticos, onde deverão ser providenciadas as ações de melhoria. No caso de mudanças que necessitam de uma simulação prévia, a ferramenta de PFP pode auxiliar na simulação determinística de algumas situações, como por exemplo na compra de capacidade adicional ou programação de horas extras e o seu impacto na velocidade de entrega de pedidos ou nos custos.

Ao se elevar a capacidade da(s) restrição(ões), pode ocorrer que outro recurso que inicialmente não era restritivo passe a se tornar crítico para o sistema. Esta situação é prevista pela Regra número 5 da TOC, voltar à Regra número 1, não deixando que a inércia tome conta do sistema. Esta ação ratifica a idéia de melhoria contínua.

4.2.5.2- Gerenciamento de Pulmões

A administração dos pulmões de proteção da(s) linha(s) de produção permite a identificação de eventuais problemas de distorções na execução da programação. Nesse sentido é realizado um controle das dimensões dos pulmões e executadas as correções, se forem necessárias.

As causas de faltas de peças nos pulmões devem ser identificadas, e a frequência das ocorrências é usada para priorizar as ações de melhoria.

As etapas seqüenciais do ciclo de melhorias do gerenciamento dos pulmões ocorrem conforme foi descrito no Capítulo 2, item 2.3.4.1.

4.3- CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo discutiu a inserção da ferramenta de PFP em um sistema de PCP orientado para a Manufatura Sincronizada. Foi também descrito o método de trabalho desenvolvido para a implantação do sistema de PFP, e as etapas que o compõe. Os pontos fundamentais do método de implantação enfocam diretamente os elementos formadores da base de sustentação da Manufatura Sincronizada: os dados do sistema de banco de dados da empresa, os indicadores de desempenho, e o treinamento e educação.

O capítulo a seguir descreve a aplicação prática onde o método desenvolvido foi aplicado em uma empresa, através da utilização do software de PFP ST-POINT.

CAPÍTULO 5

Aplicação do Método Proposto

O presente Capítulo apresenta o caso prático de implantação do sistema de PFP ST-POINT. Inicialmente será descrita, de forma sucinta, a empresa e o seu sistema anterior de PCP, cuja programação insatisfatória deu origem à procura por um novo sistema. Em seguida será enfocada a implantação do PFP na empresa, abordando a aplicação do método de trabalho descrito no Capítulo 4. Finalmente, serão apresentados e comentados os resultados iniciais da implantação do novo sistema de PCP, baseado na programação do software ST-POINT.

5.1 BREVE DESCRIÇÃO DA EMPRESA ONDE O TRABALHO FOI REALIZADO

A empresa onde o Método foi aplicado situa-se na grande Porto Alegre e atua no ramo metal-mecânico⁵⁰. Esta indústria produz autopeças através de processos de manufatura repetitiva.

A estrutura produtiva, mostrada na Figura 5.1, é dividida em quatro unidades de manufatura (U.M.). Três destas unidades produzem componentes e subcomponentes usinados que se destinam à unidade de montagem final, mas também são vendidos separadamente como peças de reposição ao mercado.

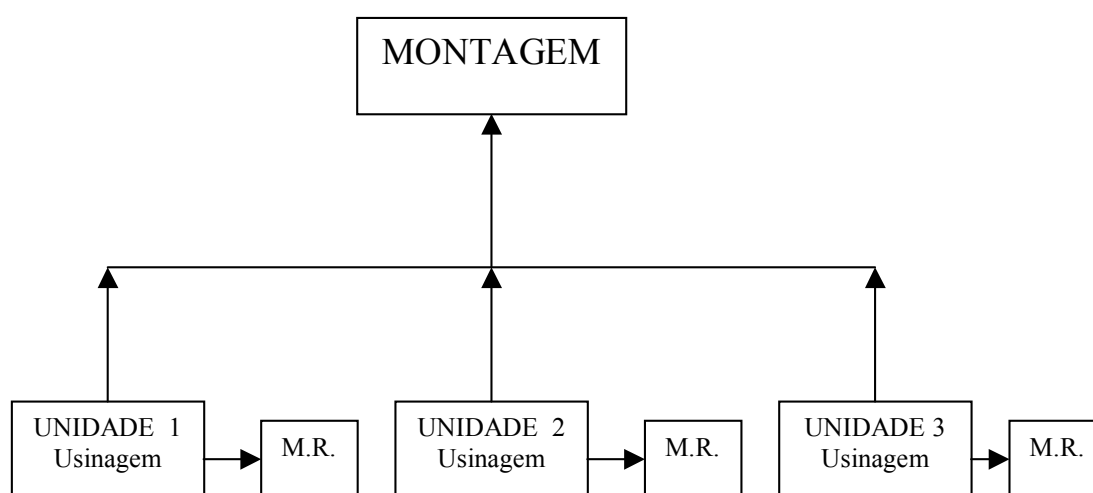


Figura 5.3 - Diagrama do sistema produtivo (M.R.: Mercado de Reposição).

A empresa, no total, conta com 650 funcionários, produz um *mix* de aproximadamente 10000 itens diferentes e possui 450 máquinas.

A Unidade de Manufatura 1, de componentes usinados, onde ocorreu a implantação do sistema de PFP, conta com 64 funcionários, produz 120 itens diferentes e possui 30 máquinas.

5.2 - SITUAÇÃO INICIAL DO PCP DA EMPRESA

A empresa pode ser classificada como produção contra pedido (*make to order*), embora se incluam na demanda não apenas os pedidos firmes, como também previsões para satisfazer a sazonalidade do mercado.

O PCP original era realizado através de um sistema MRP II, que executava os cálculos de materiais e capacidade. Devido às deficiências dos sistemas MRP/MRP II na programação, comentadas no Capítulo 2, o PCP anterior continha os seguintes efeitos indesejáveis:

- **velocidade:** a execução do programa MRP II durava mais de quatro horas;
- **seqüenciamento:** o sistema não seqüenciava a linha de produção; simplesmente contabilizava os pedidos que deveriam ser feitos, estimava um tempo de execução baseado em *lead times* fixos, e “sugeriu” a data de início das atividades. Aos programadores cabia o seqüenciamento manual da linha, baseado em seu conhecimento local e em *insights* obtidos de sua prática, sem um critério definido de prioridades;
- **estoques:** dentro desta abordagem anterior, o objetivo consistia muito mais em atingir os indicadores locais de produtividade do que propriamente em obter um bom desempenho no atendimento dos pedidos. Isto induzia à execução do mínimo número possível de *set ups*,

⁵⁰ Devido a questões de sigilo, a referida Empresa não autorizou a divulgação de seu nome na publicação deste trabalho.

e conseqüentemente à produção de lotes grandes. O resultado era um estoque alto de produtos prontos e em processo;

- **segurança:** a “desconfiança” tanto do programa gerado pelo MRP, como da real capacidade qualitativa e quantitativa do processo, levava os programadores a adicionar uma porcentagem chamada de “segurança” nos pedidos a serem produzidos. Este planejamento equivocado aumentava ainda mais os inventários de produtos para os quais poderia inclusive não haver demanda;
- **atrasos:** devido à produção ser “empurrada” em lotes econômicos, e não existir uma verdadeira priorização para o atendimento dos pedidos no prazo, ocorriam atrasos na entrega dos componentes usinados para a unidade de montagem final. Além disso, a falta de sincronia entre as três unidades de usinagem e a montagem agravava ainda mais o atraso global de entrega dos produtos, pois nem todas as partes usinadas se encontravam disponíveis para a montagem ao mesmo tempo, ocasionando perdas de tempo devido às esperas;

A Figura 5.2 mostra a estrutura sistêmica da empresa na época, através de um diagrama de efeito-causa-efeito, onde os problemas de planejamento e programação aparecem impactando negativamente no desempenho global do negócio.

Este diagrama se constitui na “Árvore da Realidade Atual” (ARA) da empresa⁵¹. As causas raízes, que se encontram na parte inferior da árvore, produzem efeitos que resultarão no problema central levantado pela empresa, na parte superior da árvore (“Perda de Lucratividade do Negócio”). A ARA, portanto, deve ser observada através de uma leitura de baixo para cima, para o acompanhamento da relação de causalidade entre os seus elementos.

⁵¹ O processo de elaboração da ARA e a descrição do Processo de Pensamento da TOC são apresentados no Anexo C.

O levantamento realizado pelos colaboradores da Empresa identificou o ‘Planejamento da Produção Inadequado’ como uma das causas responsáveis pelo aumento dos estoques, que ocasionava o aumento dos custos e dos *lead times*. Como consequência, os atrasos freqüentes nas entregas causavam insatisfação nos clientes, o que acarretava em perda de participação no mercado. Conclui-se que a Empresa deveria alterar o seu sistema de PCP.

As outras causas básicas dos problemas identificados, “Falta de Previsão Acurada de Demanda” e “Atraso dos Fornecedores” não foram desconsideradas. Porém, a equipe que realizou o levantamento da estrutura sistêmica entendeu que o “Planejamento da Produção Inadequado” possuía maior influência na problema central, o que foi comprovado pelos resultados da mudança do sistema de PCP.

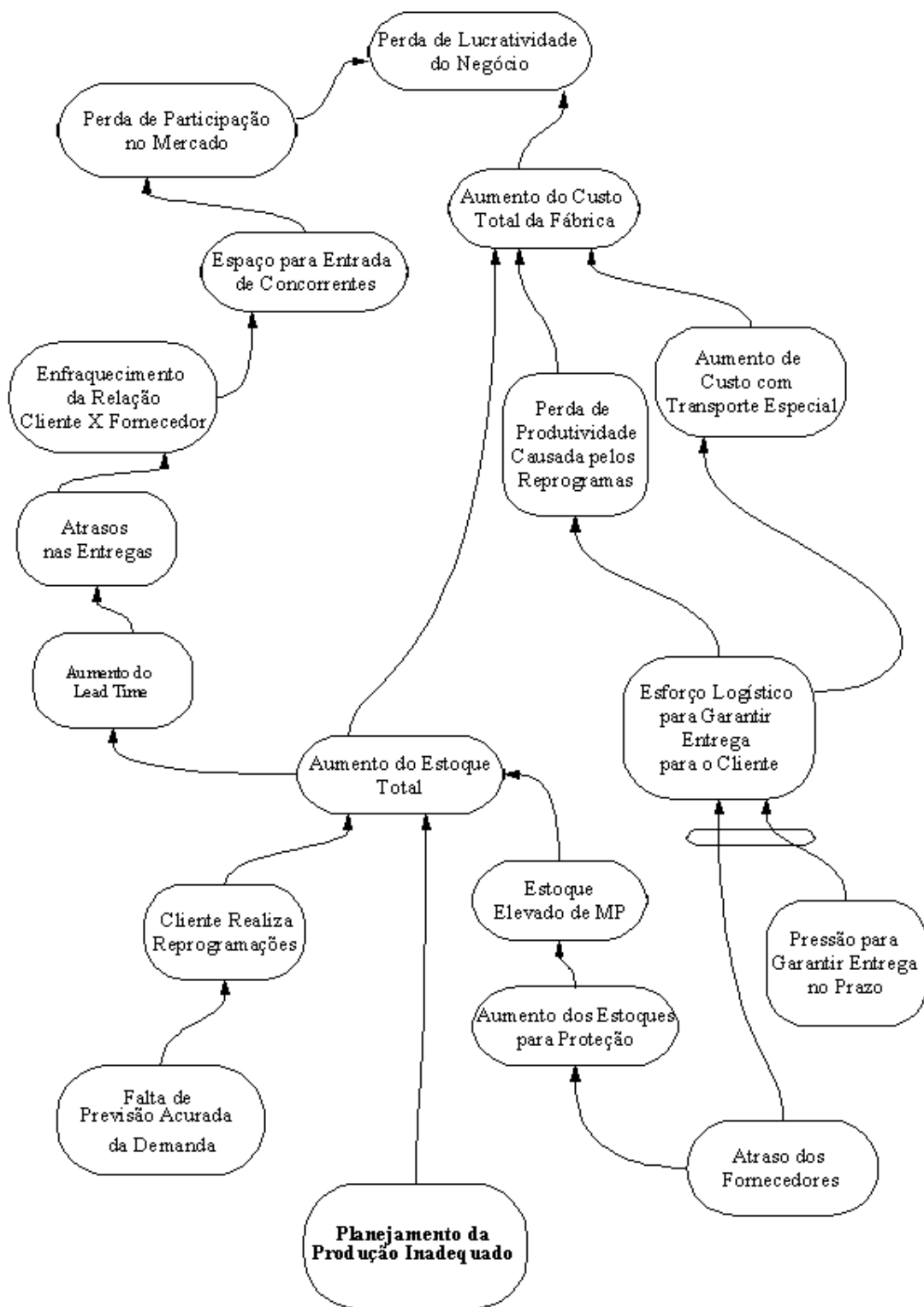


Figura 5. 4 - A ARA da empresa, elaborada na fase anterior à implantação do novo PCP.

5.3 - IMPLANTAÇÃO DO PFP

Os efeitos indesejáveis na produção, ocasionados pelas práticas do PCP anterior, fizeram com que a empresa buscasse um novo sistema de PCP direcionado aos seguintes objetivos principais:

- entrega dos pedidos para os clientes no prazo;
- sincronização da produção, com um fluxo organizado de materiais na fábrica;
- baixos níveis de estoques de materiais, produtos prontos e em processo;
- redução de *lead times*;
- programação organizada e sistematizada;

Estas características levaram a empresa a optar por um sistema de PCP dentro do conceito de Manufatura Sincronizada e da TOC, pois possuem uma abordagem compatível com a solução do problema apresentado.

5.3.1 Método de Trabalho

A implantação do PFP seguiu o método descrito no Capítulo 4. Os passos deste método aplicados neste caso são apresentados a seguir:

I - Aquisição da ferramenta:

O software de PFP ST-POINT, entre outros, foi apresentado à empresa e foi adquirido após alguns testes, por ser construído a partir da TOC, que foi a abordagem pela qual a empresa optou, e por sua facilidade e flexibilidade de adaptação ao ambiente fabril existente. O software ST-POINT, juntamente com a abordagem da Manufatura Sincronizada foi escolhido por impactar diretamente nos seguintes

critérios competitivos de manufatura: pontualidade, velocidade e flexibilidade. Este novo sistema de PCP - baseado na programação do ST-POINT, Manufatura Sincronizada, TOC - foi definido, portanto, para elevar o desempenho nestes critérios competitivos, fundamentais estrategicamente para a empresa, no momento.

Foi determinada inicialmente a implantação de um projeto piloto na Unidade de Manufatura 1, de componentes usinados. A intenção era comprovar na prática os benefícios e resultados, não só da ferramenta, como das práticas do novo método de PCP. O novo sistema seria aplicado nas demais unidades da empresa, no caso de confirmação das expectativas.

II - Pré-Implantação

O cronograma do projeto foi planejado definindo-se as equipes de trabalho em três grupos principais. Um destes grupos foi responsável pela integração do banco de dados da empresa, com o ST-POINT, especialmente nas tarefas de seleção dos dados necessários ao sistema de PFP e na interface entre os dois sistemas. Um segundo grupo foi designado para o trabalho de correção e incremento dos dados. Neste aspecto, a tarefa que mais ocupou a equipe foi o ajuste dos roteiros de produção e dos tempos operacionais, já que muitos deles não estavam cadastrados no sistema, ou estavam incorretos. A terceira equipe formou-se com as pessoas ligadas mais diretamente à unidade de manufatura, e desenvolveu os trabalhos de modelagem do processo produtivo, verificação da adequação do modelo à realidade fabril, e a preparação para a execução do novo sistema de PCP na fábrica. Nesta etapa foi fundamental a educação de todas as pessoas envolvidas com a produção, especialmente para a mudança da cultura anterior de superprodução para a cultura da sincronia da manufatura, com o objetivo do atendimento dos pedidos no prazo.

A equipe da unidade de manufatura, designada para o trabalho de modelagem, foi treinada com mais profundidade no uso da ferramenta computacional ST-POINT, já que ela seria a usuária responsável direta pela programação.

III - Operacionalização

Devido à configuração em linha reta do processo produtivo da unidade, sem pontos de convergência ou divergência, os pulmões foram alocados em dois pontos: um pulmão de proteção do gargalo - um grupo de dois tornos CNC (Controle Numérico Computadorizado), e um pulmão de matérias-primas. Este pulmão foi configurado inicialmente como uma antecipação média de 12 dias na liberação de materiais. Esta dimensão do pulmão, considerada como relativamente grande, ocorreu devido à pequena confiabilidade em relação ao fornecedor da maioria dos materiais, tanto em termos de qualidade como em quantidade. Esta particularidade explica porque, no início da implantação, a redução do inventário de materiais foi proporcionalmente menor do que a redução dos estoques em processo e de produto acabado. A equipe de implantação passou, então, a realizar um trabalho de melhoria junto ao fornecedor principal com o objetivo de reduzir os estoques de materiais.

A coleta dos estoques em processo necessitou ser realizada manualmente, já que a empresa não contava com um sistema automatizado de contagem de peças. Esta tarefa, que parecia inicialmente de grande dificuldade para a equipe de trabalho, aconteceu de forma fácil e rápida. Ocorre que em um ambiente de manufatura sincronizada, com baixos níveis de estoque em processo, os materiais e componentes são mais facilmente visualizados e contabilizados.

A programação da produção passou a ser realizada semanalmente, toda a quarta-feira. O software ST-POINT era executado após a importação dos dados do sistema gerenciador. Em seguida se processava o cadastramento dos estoques em processo coletados no instante anterior à execução do programa, para a reprodução

fiel da realidade instantânea do chão de fábrica. O seqüenciamento das tarefas nos recursos produtivos era repassada aos supervisores através dos relatórios de atividades do software.

Um ponto importante a destacar é o fato da execução do software ST-POINT durar aproximadamente 1 minuto. Este tempo, muito inferior ao tempo de execução do sistema MRP anteriormente utilizado para o PCP, permitia que se realizassem diversas simulações e testes de “cenários” diferentes, até que um resultado de programação fosse encontrado e aprovado para a execução na fábrica.

Além da programação das atividades, o sistema de PFP ST-POINT foi utilizado para a programação de compras de matérias-primas, gerando relatórios que passaram a ser ‘exportados’ para o sistema gerenciador de banco de dados.

IV - Manutenção e Controle

A execução dos planos do ST-POINT passou a ser monitorada no chão de fábrica, utilizando-se o indicador de aderência da programação ‘Porcentagem do Trabalho Finalizado’, descrito no Capítulo 4. Duas observações destacaram-se durante esta fase:

- a) apesar de inicialmente muitos tempos operacionais estarem incorretos no roteiros de produção⁵², a equipe compreendeu que o importante para a sincronização da manufatura seria manter a seqüência programada;
- b) outro fato notado ocorreu em relação às reprogramações. Inicialmente havia um receio, da equipe de implantação da empresa, de que ao acontecer uma reprogramação o planejamento mudaria completamente, trazendo

⁵² Os tempos operacionais encontravam-se subdimensionados. Assim, uma operação programada para começar em determinado horário, iniciava-se com atraso. Mesmo com esta defasagem no tempo, a seqüência de programação foi respeitada. Os erros nos tempos operacionais eram corrigidos à medida em que eram identificados.

desorganização e caos ao ambiente fabril. O que observou-se foi que, por se utilizar sempre a mesma lógica de programação, a transição entre dois planos seqüenciais ocorria sem mudanças abruptas, ou seja, havia uma continuidade natural da programação.

Ainda quanto às reprogramações, houve uma mudança na política do aceite de pedidos considerados ‘urgentes’. Estes pedidos passaram a ser incluídos somente na programação da semana seguinte, evitando alterações constantes do plano original, que certamente prejudicariam outros clientes. Esta mudança de procedimento ocorreu a partir da percepção, da equipe de trabalho, da importância de minimizar a quantidade de reprogramações.

V - Melhorias

O software ST-POINT auxiliou na percepção da importância da realização de melhorias, especialmente nos recursos críticos. As simulações realizadas no programa revelaram o provável impacto de ações que aumentariam a produtividade dos recursos gargalo.

Algumas destas ações começaram a ser implantadas, dentre elas:

- a) revezamento das paradas nos recursos gargalo: nos horários de parada, tais como para refeições, trocas de turno e outros, passou a acontecer um revezamento de operadores, para que os gargalos não parassem de produzir.
- b) manutenção preventiva nos gargalos e nos recursos que os alimentam, para aumentar o rendimento destes recursos, e minimizar as paradas por quebras de máquina.
- c) inspeção das peças antes do processamento no gargalo, para evitar desperdícios no gargalo por problemas de qualidade.

d) alteração do lay-out, para facilitar o fluxo de materiais e sua rapidez de chegada ao gargalo.

Além destas, outras ações de melhoria também passaram a ser estudadas e simuladas no programa. Uma necessidade de melhoria que se tornou evidente foi a redução dos tempos de *set up* nos gargalos e nas máquinas alimentadas por eles. A partir desta constatação, foi iniciado um trabalho de trocas rápidas de ferramenta, nestes recursos. A implantação deste trabalho, bem como outros estudos de melhorias, não havia sido concluída até o momento da elaboração desta dissertação.

5.4- APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS INICIAIS

O sistema de PCP, baseado na programação do software ST-POINT, entrou em operação na metade do mês de fevereiro de 1999. Os gráficos que seguem mostram o desempenho do novo sistema, comparando com os meses anteriores à sua implantação.

Os valores monetários divulgados nos gráficos a seguir foram multiplicados por uma constante numérica, a fim de preservar os dados reais da empresa.

A carteira de pedidos é a posição dos pedidos dos clientes no primeiro dia do mês. Os atrasos relativos a esta carteira (Figura 5.3) são considerados como atrasos verdadeiros, atrasos que impediram os clientes de produzirem seus itens finais. Anteriormente, entregas realizadas dentro do mês do pedido não eram consideradas como atrasos, ou seja, mesmo que o pedido fosse requisitado para ser entregue no dia 5 do mês corrente, e entregue no dia 30 deste mês, ele era considerado como entregue na data. Porém isto não se aplicava a alguns clientes 'especiais', com prioridade na entrega, que tinham seus pedidos atendidos ou colocados em produção no momento

em que eles fossem encomendados, sem programação prévia. Nestes casos a seqüência programada era alterada, acarretando assim, atrasos para outros itens em carteira.

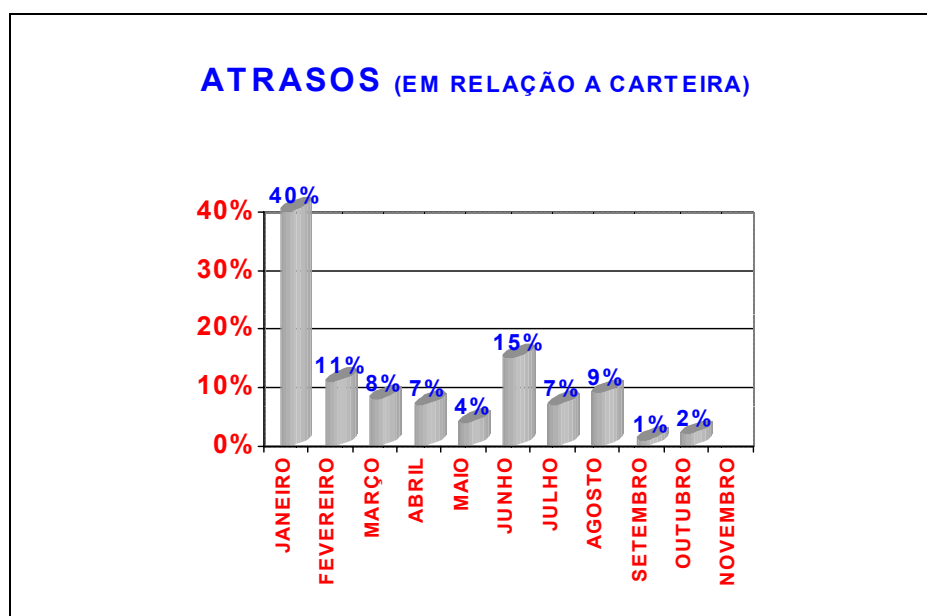


Figura 5.3 – Percentual de atrasos no atendimento dos pedidos.

A redução drástica destes atrasos, deveu-se a uma programação da produção feita pela ótica da Manufatura Sincronizada, ou seja, as datas dos clientes representando o parâmetro principal para a programação da produção, diferentemente do que acontecia até então, quando havia maior ênfase na otimização da utilização de todos os recursos da fábrica e na economia de *set ups*. Sendo assim, hoje o programa de produção é preparado semanalmente, devendo ser fielmente seguido, fazendo com que o programador da linha procure sempre manter nos inventários de matéria-prima, os itens que serão fabricados de acordo com a seqüência elaborada.

Como pode ser percebido, na Figura 5.4, o nível de faturamento mensal apresentou uma ligeira tendência de crescimento. O ganho principal do novo sistema de PCP se dá na quase eliminação dos atrasos aos clientes, devido à produção executar o planejamento voltado para a melhoria no desempenho de entrega (os

atrasos atualmente são representados somente por poucos itens e por problemas de fornecimento de matérias-primas), na redução dos estoques em processo observados (Figura 5.5), na redução do *lead time*, na organização e melhoria da tarefa de gerenciamento da linha, e na oportunidade de serem produzidos mais itens se assim o mercado demandar.

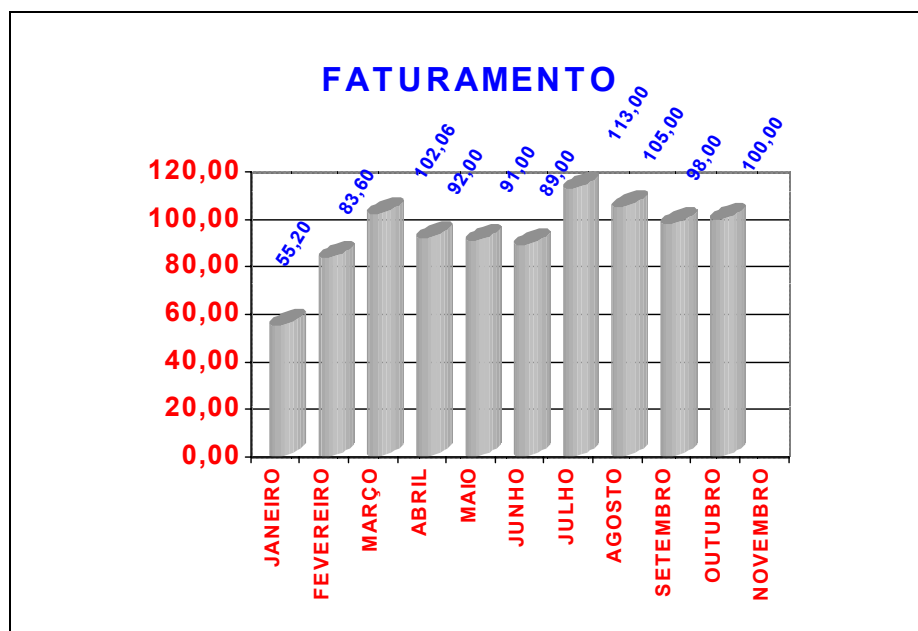


Figura 5.4 - Faturamento mensal (em reais).

Os atrasos remanescentes, se forem desdobrados, se relacionarão principalmente a clientes externos. Com relação a clientes internos (Unidade de Montagem), não existem mais atrasos, e o que se verifica atualmente, é que os mesmos não ocorrerão mais, salvo alguma anormalidade (quebra de equipamento ou falha no fornecimento, por exemplo).

Todas estas melhorias aconteceram em um ambiente afetado por problemas macro-econômicos, onde houve redução da jornada de trabalho e dos salários, bem como redução de horas-extras. Entretanto, ficou claro, que se houver pedidos de clientes, estas horas adicionais seriam realizadas, somente nos recursos com restrição de capacidade (gargalos), como relatado acima.

A Figura 5.5 mostra os resultados da sincronização da produção nos estoques em processo. O eixo vertical apresenta a quantidade de peças em fabricação na linha de produção, e o eixo horizontal apresenta as datas de levantamento dos estoques.

O estoque em processo reduziu-se significativamente, devido a observância das seqüências de produção e dos lotes de transferência determinados. O *lead time* que anteriormente era de aproximadamente de **6 a 7 dias**, passou a apenas **1 ou 1,5 dia**.

Não existem mais itens parados na linha por mais do que 2 dias, somente aqueles remanescentes da política anterior, e que aos poucos vão sendo consumidos com a colocação de novos pedidos pelos clientes.

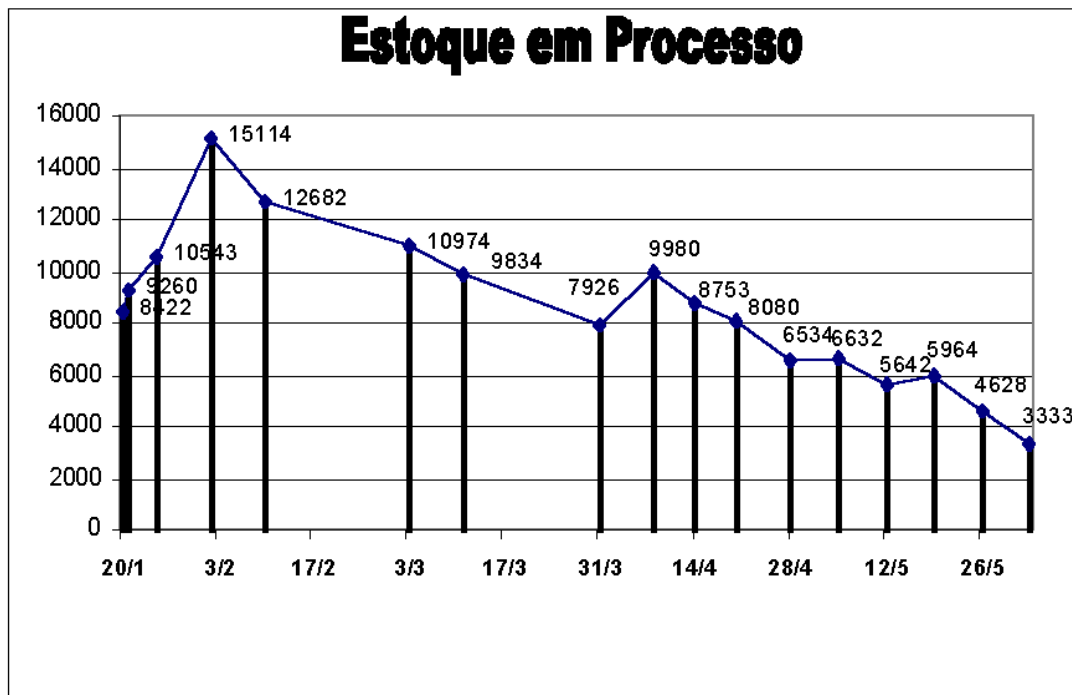


Figura 5. 5 - Estoques em processo (em número de peças em relação ao tempo).

Outro ponto importante está relacionado a matéria-prima (Figura 5.6). Apesar da sua redução ser proporcionalmente menor que a redução dos estoques em processo e de produtos acabados, a mesma se deve a compromissos assumidos com fornecedores, e mantidos, mesmo quando reprogramas de clientes foram verificados. Ou seja, o cliente cancelou o pedido, mas a linha assumiu o problema e recebeu ainda a matéria-prima dos fornecedores. Entretanto, o fez buscando compromisso do mesmo, dificilmente conseguido de outra forma, dado que o fornecedor é interno, e os produtos devem preferencialmente serem comprados dos mesmos, pois o custo se reduz a um terço dos itens comprados fora. O compromisso se dá no envio de peças requisitadas, somente sendo aceitos o número exato de peças solicitado, retornando as peças não encomendadas, fato que não acontecia anteriormente.

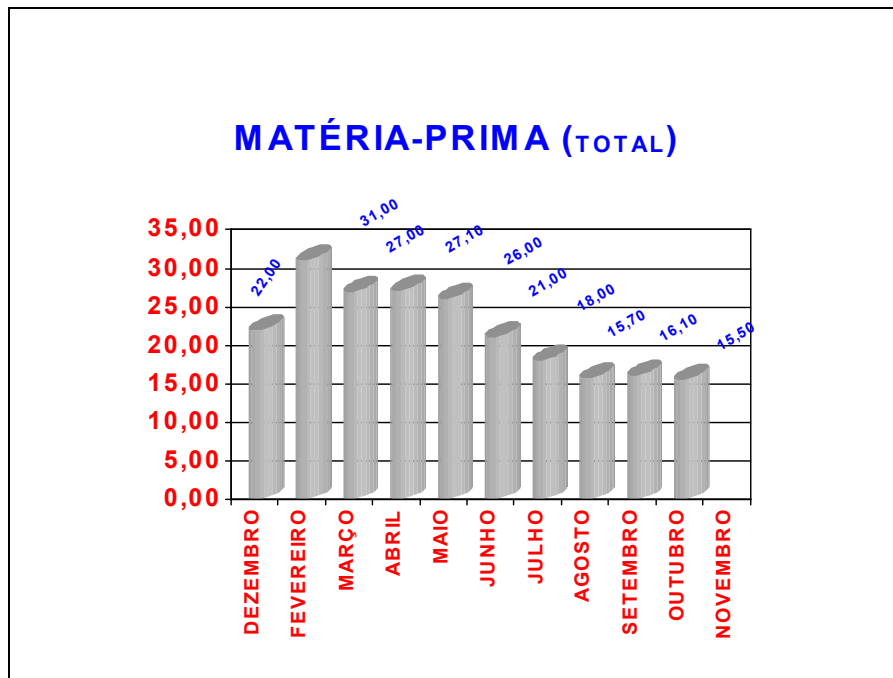


Figura 5. 6 - Estoques mensais de matérias-primas (em reais).

O gráfico da Figura 5.7 apresenta a posição de estoque de produto pronto, porém sem pedido de clientes (anterior a utilização do ST-POINT). A sua redução se deve à fabricação somente dos produtos que atendem à carteira de pedidos nas quantidades e datas certas. Através da programação mais acurada do sistema ST-POINT, foi possível reduzir-se o tamanho dos lotes, diminuindo, portanto, as perdas por superprodução. O resultado foi o gradual consumo do excesso de inventário de produtos acabados.

A quantidade resultante tem somente dois constituintes: peças sem previsão de demanda (obsoletos ou “dormentes”), e estoque “inteligente” (baseado em um par de clientes especiais, e uma mínima variedade de peças de consumo certo).

A Figura 5.8 mostra a diminuição gradual do total de estoques de matérias-primas, estoques em processo e de produtos acabados, evidenciando que a totalidade dos estoques foi reduzida, sem comprometer a entrega dos pedidos e o faturamento.

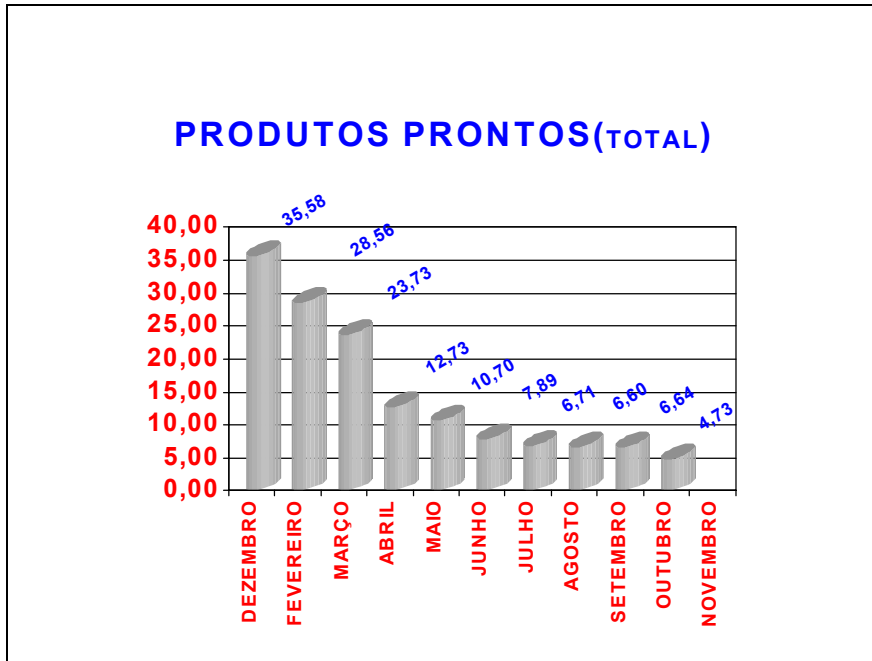


Figura 5. 7 - Estoques mensais de produtos acabados (em reais).

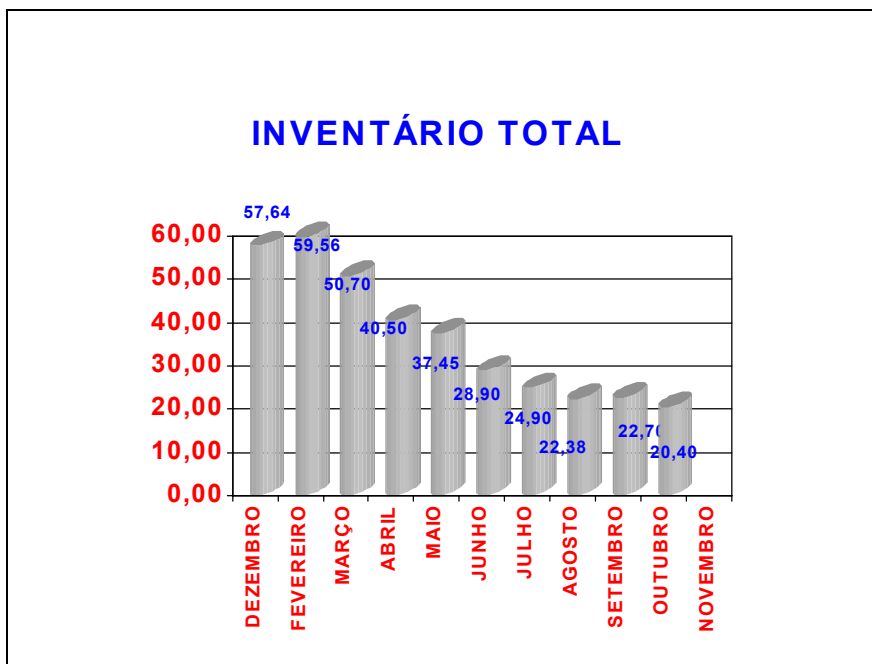


Figura 5. 8 - Somatório dos estoques mensais de toda a fábrica (em reais).

O indicador hora aplicada diária é definido como o número de peças produzidas multiplicado pelo tempo operacional de fabricação da peça. Porém, este

medidor não faz distinção entre uma peça para a qual existe um pedido real e outra que ficará em estoque por tempo indeterminado.

O que ocorria na prática é que, uma vez preparada a máquina para uma determinada peça, procurava-se produzir grandes lotes, para minimizar o número de *set ups*, mantendo a produtividade local alta. Este procedimento satisfaz o indicador, porém aumenta os estoques, os *lead times*, e prejudica o desempenho da entrega.

Os critérios para a tomada de decisão são distorcidos por este indicador local, que não permite a priorização para o atendimento de pedidos de clientes. Um desempenho satisfatório no atendimento no prazo depende de uma produção com *lead times* baixos, lotes menores e, por vezes, uma maior quantidade de *set ups*. Este fato explica porque, mesmo com a diminuição no atraso global da entrega, o indicador horas aplicadas diárias se manteve relativamente constante (Figura 5.9), o que confirma a incompatibilidade do indicador "horas aplicadas", com medidas globais de desempenho da empresa como entrega no prazo e faturamento.

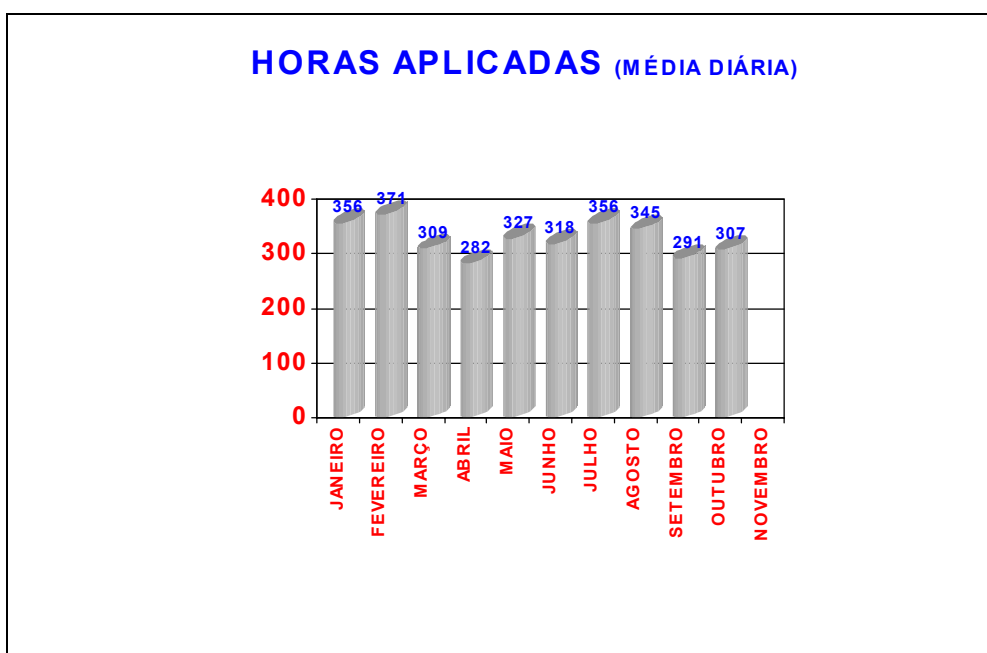


Figura 5. 9 - O indicador "Horas Aplicadas" diário.

5.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Tabela 5.1 resume os resultados principais apresentados nos gráficos deste capítulo. Como pode ser observado, os ganhos foram significativos.

Tabela 5. 1 - Ganhos observados após a implantação.

Ganhos em:	Redução média de :
<i>Lead time</i> (tempo de atravessamento)	75 %
Atrasos nas entregas	90%
Estoque de matéria-prima	43%
<i>WIP</i> (Estoque em Processo)	72 %
Estoque de Produto Pronto (EPP)	76 %
Estoque Total (<i>WIP</i> + EMP + EPP)	60 %

A sincronização da produção, realizada a partir dos planos gerados pelo software ST-POINT, resultou em uma redução média de 66% do estoque em processo da Unidade de Manufatura. Essa redução contribuiu para a diminuição média do *lead time* em 75%. A consequência destas medidas foi a queda de 90% nos atrasos de entrega dos pedidos.

A execução da programação da produção voltada à Manufatura Sincronizada permitiu a fabricação somente dos itens necessários ao atendimento da demanda, ou seja, peças que certamente seriam vendidas, o que causou uma redução global nos estoques. No sistema de PCP anterior os indicadores de desempenho incentivavam a

maximização da utilização de todos os recursos, aumentando os estoques de peças para as quais, muitas vezes, não havia demanda certa.

O capítulo a seguir avalia o Método de Implantação a partir do estudo de caso descrito no neste capítulo.

CAPÍTULO 6

Avaliação do Método de Implantação baseada na Aplicação Prática na Empresa

Neste capítulo será avaliado o Método proposto a partir do trabalho realizado na empresa. Em um primeiro momento, serão enfocados os resultados apresentados no Capítulo anterior. Posteriormente, serão discutidas as dificuldades encontradas no decorrer do trabalho. No final do capítulo será avaliado o Método de Implantação desenvolvido, e serão apresentadas algumas alternativas para a melhoria da abordagem proposta.

6.1 AVALIAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS

A implantação da Manufatura Sincronizada, baseada no suporte do software ST-POINT, apresentou resultados plenamente satisfatórios, através da melhoria de desempenho nos critérios competitivos de velocidade, flexibilidade e pontualidade, além da redução dos custos associados aos inventários.

Ocorreu uma redução significativa nos estoques, principalmente nos estoques em processo, o que afetou diretamente a diminuição do *lead time* das peças na linha de produção.

A redução dos estoques em processo, além de possibilitar um fluxo ágil de materiais através das máquinas, influiu nas seguintes melhorias:

- melhor organização da produção: a forma anterior de programação forçava a produção de lotes grandes. Sendo assim, os operadores e programadores investiam grande tempo e esforço em definir, dentre um grande número de peças, qual seria a próxima a ser processada por determinado centro de trabalho.
- otimização do *lay out*: o menor número de peças na linha de produção liberou o espaço disponível que era anteriormente utilizado para depositar os estoques em processo. Este espaço físico permitiu um novo arranjo do *lay out*, voltado à facilidade e rapidez de movimentação dos materiais.
- identificação rápida de problemas de qualidade: o estoque reduzido facilitou a identificação e a correção de peças defeituosas ou fora das especificações.

O desempenho de entrega de produtos aos clientes aumentou significativamente com a implantação da Manufatura Sincronizada (melhoria de aproximadamente 90% no desempenho). É importante salientar que isto aconteceu

mesmo com uma alta variabilidade na carteira de pedidos, isto é, grande parte dos clientes alteravam ou cancelavam pedidos diversas vezes por semana, e até mesmo diariamente. Apesar deste ambiente instável, o percentual de atrasos nas entregas caiu (90% na média geral). A Figura 6.1 revela a variabilidade na demanda, tomando como exemplo os pedidos do mês de maio. O eixo vertical apresenta a variação percentual na quantidade de peças encomendadas por cada cliente⁵³, em relação as datas, que se encontram no eixo horizontal do gráfico.

A melhoria no atendimento de pedidos se constitui no objetivo principal da Manufatura Sincronizada, pois reflete no crescimento do faturamento e, conseqüentemente, no aumento do ganho.

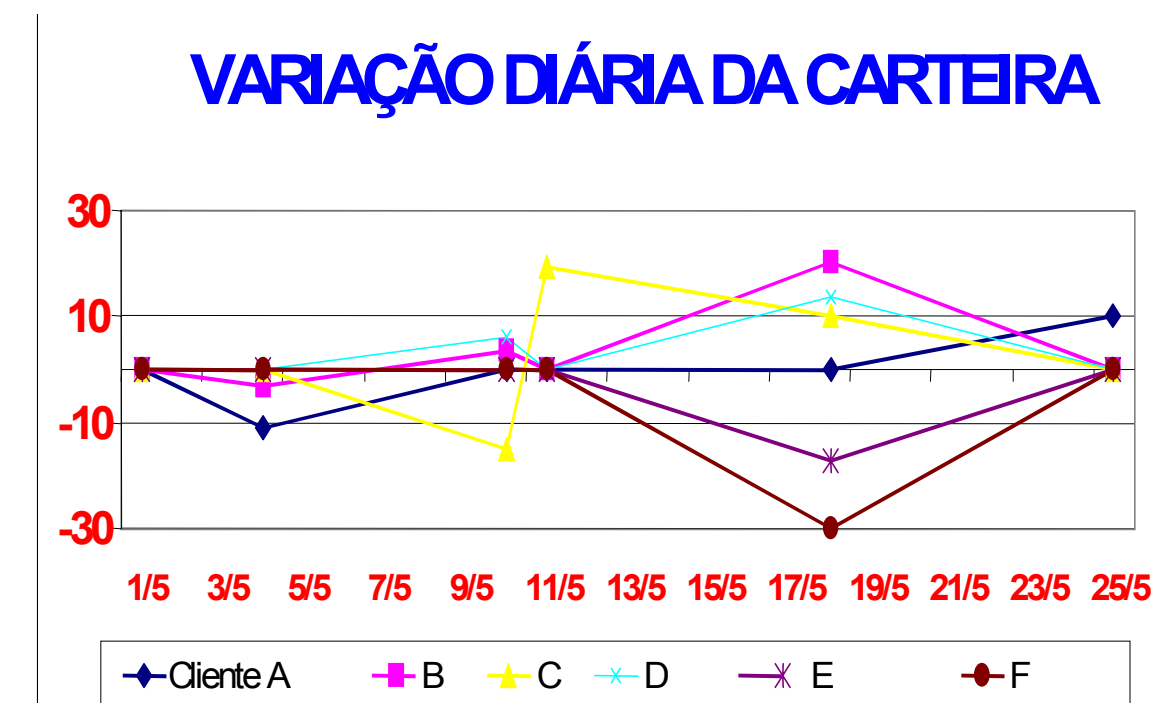


Figura 6. 1 - Variação da carteira de pedidos em maio.

⁵³ Por exemplo, o cliente A, no dia 4 de maio, cancelou 10% da quantidade de peças que haviam sido encomendadas no primeiro dia do mês (Este cliente cancelou um pedido de 100 peças, de um total de 1000 peças em todos os pedidos encomendados à Empresa em maio). O cancelamento ocasionou uma variação negativa de 10% no período.

Um aspecto fundamental para a mudança bem-sucedida do PCP foi a implantação, na linha de produção, dos conceitos e princípios da Manufatura Sincronizada, antes da implementação do software de PFP. Neste caso, a transição para a lógica de produção na qual a ferramenta se baseia para programar foi facilitada, uma vez que vários procedimentos no chão de fábrica foram alterados em busca da sincronia do processo produtivo.

6.1.1 Aplicação dos Princípios da Manufatura Sincronizada

Muitas práticas correntes no chão de fábrica foram modificadas em nome da adequação aos princípios da Manufatura Sincronizada. As principais mudanças, e os conceitos que as motivaram são discutidas a seguir:

- Foi definido que nenhum recurso produziria além da taxa de produção do gargalo⁵⁴. Esta medida eliminou a perda por superprodução nos recursos não-gargalo, de acordo com o Princípio 1 da Manufatura Sincronizada (Balancear o fluxo e não a capacidade), e também obedecendo o Princípio 2 (O nível de utilização de um recurso não-gargalo não é determinado pelo seu próprio potencial e sim por outra restrição do sistema). O enfoque na produtividade local dos recursos foi substituído pela ênfase na produtividade global da linha de produção. Passou-se a evitar, desta forma, a utilização dos recursos não-gargalo além do necessário, pois esta ativação geraria somente estoques (Princípio 3 – A utilização e a ativação de um recurso não são sinônimos).
- Foi instalado um sistema de controle no recurso gargalo que impedia o funcionamento da máquina e sinalizava se esta ficasse ociosa por mais de alguns segundos. Desta forma o operador necessitava comunicar e justificar

⁵⁴ A não ser o recurso anterior ao gargalo que produziria a uma taxa superior o suficiente para a manutenção do pulmão de proteção do gargalo.

ao supervisor da linha qualquer interrupção no gargalo⁵⁵. Além disso foi instituída uma inspeção rigorosa das peças que alimentariam o recurso gargalo, para evitar a perda com o processamento de componentes defeituosos. Estas medidas aplicadas ao gargalo da unidade estão referidas ao Princípio 4 (Uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro) e ao Princípio 5 (Uma hora economizada em um não-gargalo é apenas uma ilusão).

- Os lotes de transferência entre os centros de trabalho foram definidos e padronizados, através da utilização de pequenos containers. Estes lotes passaram a conter muito menos peças do que os lotes que eram produzidos no sistema anterior. Os lotes menores se tornaram uma necessidade para a transferência rápida de peças na linha, uma vez que, em um ambiente de estoques minimizados, as peças devem ser transferidas o mais rapidamente possível para que um recurso não fique ocioso esperando o processamento de todo um lote no recurso anterior (Princípio 6 – O lote de transferência pode não ser e frequentemente não deveria ser igual ao lote de processamento). Esta preocupação não acontecia anteriormente, já que a grande quantidade de peças de estoque em processo em todos os recursos induzia-os à utilização contínua.
- Para a total efetividade das mudanças anteriormente relatadas, surgiu a necessidade da utilização do software de seqüenciamento e PFP. O Princípio 9 da Manufatura Sincronizada (A programação da produção deve considerar todas as restrições simultaneamente. Os *lead times* são resultantes da programação e não podem ser assumidos ‘a priori’) contraria totalmente a abordagem MRP. A partir desta constatação a programação realizada pelo sistema MRP II foi abandonada, e os planos de produção passaram a ser executados com o suporte do software ST-POINT.

As modificações nos procedimentos de produção no chão de fábrica foram necessários para a transição do sistema anterior para a Manufatura Sincronizada. Para

⁵⁵ O sistema ficou conhecido com o sugestivo apelido de “chicote eletrônico”.

tanto foi realizado um trabalho contínuo de treinamento, educação e conscientização de todos os colaboradores envolvidos na produção. A percepção geral destas pessoas no decorrer do trabalho foi a de melhoria e evolução do processo produtivo.

6.2 – DIFICULDADES NA REALIZAÇÃO DO TRABALHO

Algumas dificuldades foram enfrentadas no trabalho de implantação do novo sistema de PCP na empresa. Estes obstáculos foram técnicos, culturais e motivacionais. As principais dificuldades surgidas foram as seguintes:

1. **Planejamento global inadequado** – a implementação do projeto foi realizada inicialmente em uma única unidade de manufatura, devido a uma certa “desconfiança” nos resultados do novo sistema de programação. O projeto piloto isolado impediu a visibilidade geral do sistema e a sincronia entre todas as unidades da fábrica. A unidade de manufatura fornecedora da matéria-prima, por exemplo, não alterou a sua lógica de produção - grandes lotes de fabricação, baixo desempenho de entrega, problemas de qualidade – o que forçou a manutenção de um pulmão elevado de materiais na unidade de usinagem⁵⁶.
2. **Falta de conhecimento do sistema** – tanto a Manufatura Sincronizada como o PFP são abordagens relativamente recentes⁵⁷, especialmente no mercado regional. Desta forma, diferentes áreas e pessoas da empresa possuíam expectativas distintas quanto ao futuro sistema de PCP. Durante a implantação o entendimento conceitual foi evoluindo gradualmente, tornando mais claros os objetivos das abordagens e as ações necessárias para atingi-los.

⁵⁶ Conforme descrito na Capítulo 5

⁵⁷ Corrêa & Pedroso (1996) argumentam que a falta de conhecimento e de uma metodologia de projeto, escolha e implantação de sistemas de apoio ao PCP têm sido responsáveis, dentre outros fatores, pelos

3. **Envolvimento no projeto** – a média gerência (das unidades de manufatura) não se envolveu suficientemente no projeto, criando resistências à algumas mudanças de procedimentos de produção. Este fato decorreu, provavelmente, da pressão exercida pelos indicadores de produtividade local, e pela visão tradicional - *Just in Case* - de “empurrar a produção”. A área de “Sistemas e Informática”, essencial para a integração do PFP na empresa, também não apresentou um comprometimento satisfatório com o projeto. Ocorre que esta área é centralizada e sem vínculo direto com as unidades de manufatura, além de possuir na época um quadro de pessoal insuficiente para o atendimento de toda a demanda. Estas dificuldades causaram atrasos no cronograma original do projeto.
4. **Problemas no banco de dados** - esta é uma dificuldade inerente à qualquer aplicativo informatizado para suporte às decisões do PCP. Porém, mesmo que este fator se constituísse em um obstáculo já previsto, ocorreu na prática um trabalho longo e exaustivo de correção e adequação de dados. Os maiores problemas estavam nos roteiros de produção, nos tempos operacionais, e nos tempos de *set up* dependentes. A inexatidão destes dados ocorre porque, de uma maneira geral, a abordagem MRP demanda uma acurácia elevada na estrutura do produto e estoques, uma vez que essas informações são mandatórias para o cálculo de necessidades líquidas. Assim sendo, muitas vezes as informações disponíveis do roteiro de produção não representam totalmente a realidade da fábrica e não estão corretas. Porém estas informações são fundamentais para os planos detalhados de produção gerados pelo sistema de PFP.
5. **Dificuldades na efetivação de mudanças** - as resistências às modificações na forma de produzir, fundamentais para a implantação da Manufatura Sincronizada, ocorreram em grande parte devido à existência do indicador de produtividade local “horas aplicadas”, comentado no Capítulo anterior⁵⁸. Este medidor

fracassos na implementação destes sistemas.

⁵⁸ Segundo Goldratt (1990) os indicadores, muito mais do que apenas medir, influenciam as ações das pessoas: “Diga-me como me medes e dir-te-ei como me comportarei”.

corroborava a cultura vigente na empresa, até então, de maximizar a produção em todos os recursos, cujo resultado era a geração de estoques elevados e a redução no desempenho de atendimentos no prazo.

6. **Flexibilidade** - existia na empresa uma crença de que talvez não houvesse a flexibilidade necessária para a sincronização da produção, para o trabalho com inventário reduzido, e para o atendimento total do mercado, sem atrasos. O desempenho satisfatório de entregas de pedidos demanda um maior número de mudanças e preparações na fábrica, e uma produção de lotes menores. A pouca confiabilidade de alguns equipamentos antigos e os tempos longos de *set ups* de algumas máquinas⁵⁹ eram fatores que contribuíam para as dúvidas a respeito da adequação da Manufatura Sincronizada à empresa.
7. **Treinamento** - no princípio do projeto, a equipe responsável pela implantação enfatizou o treinamento na parte operacional do software de PFP. Partiu-se do pressuposto de que as mudanças conceituais aconteceriam naturalmente, com o avanço do projeto. Na prática verificou-se a necessidade de uma grande mudança cultural na forma de produzir, revelando a falta de treinamento teórico e conceitual.
8. **Modelagem** – algumas características físico-operacionais dos processos e operações fabris possuíam um grau de complexidade elevado, tornando difícil a tarefa de representar a realidade produtiva no software de PFP.

⁵⁹ Segundo Schmall (1996), algumas características operacionais interferem no planejamento acurado da linha de produção. Dentre elas, podem ser destacadas como críticas a duração dos *setups*, o tipo e a “idade” do equipamento e a intensidade de interferência manual. *Setups* com duração elevada, equipamentos antigos e a necessidade de operações manuais têm, por natureza, maior variabilidade, o que faz com que a programação tenha uma confiabilidade menor. Além destes, Schmall destaca o percentual de retrabalhos como fator crítico para a implementação bem-sucedida de um sistema de PFP.

A consequência maior de todas estas dificuldades apresentadas foi o atraso do projeto. O cronograma inicial foi refeito algumas vezes e foi necessária a tomada de ações corretivas para minimizar estes empecilhos e manter a continuidade do projeto.

Ao longo do processo de implantação foi sendo observada a necessidade de se enfatizar, muito além do previsto inicialmente, a educação e o treinamento em TOC e Manufatura Sincronizada. Passaram a ser escolhidas pessoas para a função de multiplicadores das idéias e conceitos. Foi aprofundado a partir de então um trabalho de conscientização, lento e gradual, uma vez que a cultura de produção tradicional estava arraigada pela empresa. Esta medida supriu a dificuldade imposta pela falta de conhecimento do sistema, que se constituía em um dos impedimentos ao andamento do projeto.

A Unidade de Manufatura 1, local da implantação do ST-POINT, recebeu da alta gerência uma espécie de “anistia” quanto ao indicador “horas aplicadas”. O medidor de produtividade local passou a ser desconsiderado na avaliação de desempenho da Unidade de Manufatura. No seu lugar, o percentual de atendimento de pedidos no prazo e o faturamento mensal foram utilizados como medidores de eficiência. Esta iniciativa diminuiu a resistência às mudanças na linha de produção, uma vez que a taxa de utilização dos recursos não-gargalo diminuiu a partir da sincronização da produção, mas o indicador que considerava esta queda como ineficiência foi removido.

Quanto ao aspecto de flexibilidade, realmente os planos de produção programados pelo software ST-POINT aumentaram o número de preparações e mudanças de peças na linha. Ocorre que o aumento foi significativo nos recursos não-gargalo, já que a programação do gargalo é feita procurando-se minimizar dentro do possível o número de preparações, para manter alto o rendimento deste recurso restritivo⁶⁰.

⁶⁰ O usuário do software define um horizonte de tempo para o qual deseja que ocorra uma economia de

A necessidade de uma maior quantidade de *set ups* para a sincronia da produção teve uma consequência imediata: a preparação das máquinas passou a ser executada com métodos definidos, o pessoal foi melhor preparado, e as ferramentas foram melhor planejadas quanto à sua disponibilidade. Este *set up* ‘externo’ e a maior prática em preparações⁶¹ reduziram grandemente os tempos de *set up* das máquinas, tornando a linha mais flexível para atender as mudanças do mercado. É importante salientar que as reduções dos tempos de *set ups*, vantajosas em qualquer ambiente, não haviam sido implementadas até então porque o sistema anterior de produção ‘escondia’ esta necessidade. Os lotes de produção eram grandes, para maximizar o indicador de produtividade local, e os *set ups* eram realizados com pouca frequência. Logo, não havia uma real preocupação com os métodos de preparação, com a preparação do pessoal para a tarefa, e com a disponibilidade das ferramentas requisitadas para os *set ups*.

set up em um determinado recurso. Dentro deste prazo, o sistema de PFP procura antecipar datas de algumas atividades para aproveitar as preparações, desde que isto não prejudique o desempenho das entregas. De acordo com o Princípio 5 da Manufatura Sincronizada (Uma hora economizada em um não-gargalo é apenas uma ilusão), a economia de *set up* deve ser realizada apenas nos recursos restritivos.

⁶¹ Como os *set ups* passaram a ser feitos com uma frequência maior, os preparadores passaram a se aperfeiçoar nesta tarefa.

6.3 - AVALIAÇÃO DO MÉTODO

A partir dos resultados avaliados anteriormente, acredita-se que o método de trabalho proposto atingiu os objetivos pré-estabelecidos. Porém, algumas questões relacionadas às etapas do método devem ser observadas para que, em futuras aplicações, o trabalho seja otimizado.

Foi constatado, através da análise da aplicação do método, que as suas etapas foram definidas com clareza, o que facilitou o gerenciamento do projeto. Entretanto, devido às dificuldades expostas no item anterior, sugere-se uma ênfase e um detalhamento na fase de pré-implantação do método.

A etapa de pré-implantação se constitui na fase mais crítica e trabalhosa do método, pois é o momento em que iniciam as modificações de procedimento e as mudanças culturais na empresa. Esta etapa também deve incorporar a implementação prática dos princípios da Manufatura Sincronizada. Na aplicação destes princípios se incluem algumas “melhorias que não necessitam ser simuladas”⁶². Estas melhorias, por serem desvinculadas de uma simulação em computador, podem e devem ter origem antes da implantação completa do software de PFP.

É importante enfatizar que as ações de “educação e treinamento” não se resumem apenas à etapa de pré-implantação do projeto. As mesmas se iniciam nesta fase, porém seguem multiplicando-se pela empresa, em busca do aprimoramento contínuo.

Os passos da etapa de pré-implantação podem ser redefinidos, a partir das seguintes ações:

⁶² Conforme Capítulo 4 - Melhorias

- a definição da equipe de trabalho de implantação do sistema e o planejamento do cronograma das atividades;
- a preparação, no banco de dados da empresa, dos dados nos quais o software vai se basear para programar a produção;
- o início do processo de educação e treinamento, em diversos níveis hierárquicos, dos colaboradores envolvidos com o novo sistema de PCP;
- a aplicação prática dos princípios da Manufatura Sincronizada nas linhas de produção⁶³;
- a modelagem inicial, no software, das características físico-operacionais dos processos e operações industriais da empresa;
- a verificação da adequação do modelo computacional à realidade, e eventuais correções no sistema;

A Figura 6.2 compara os passos da etapa de pré-implantação redefinida com a proposição inicial para esta fase, no Capítulo 4.

⁶³ E, conseqüentemente, a implantação de melhorias que objetivam a sincronização da produção (melhorias que não necessitam ser simuladas via software).

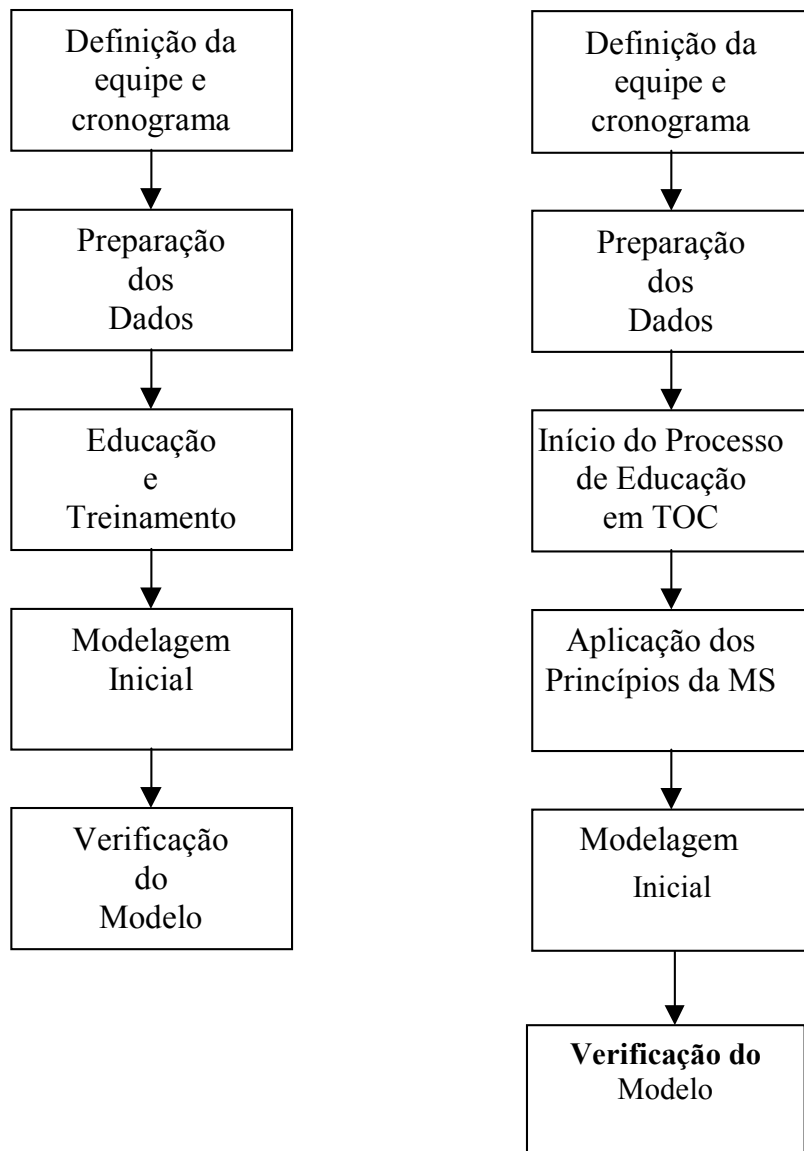


Figura 6.2 – A etapa de Pré-implantação redefinida (à direita), em comparação com a mesma etapa proposta inicialmente.

6.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou a avaliação do método de implantação do sistema de PFP, desenvolvido no Capítulo 4, a partir da avaliação dos resultados do estudo de caso, descrito no Capítulo 5. A implementação prática do método revelou a importância da aplicação dos Princípios da Manufatura Sincronizada como requisito necessário para a utilização da ferramenta de PFP. Esta medida facilita a execução dos planos gerados pelo software de PFP, que são baseados na sincronização da produção. A partir desta constatação, o método proposto passou a incorporar a aplicação dos Princípios da Manufatura Sincronizada na fábrica como uma de suas etapas.

O capítulo a seguir apresenta as conclusões do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 7

Conclusões Finais e Trabalhos Futuros

Este capítulo tratará de apresentar e discutir as principais conclusões da dissertação, que consistiu no desenvolvimento de um método de trabalho para a implantação de um sistema de PFP baseado na TOC. Finalizando, serão sugeridos alguns trabalhos futuros relacionados ao tema em questão, para o desenvolvimento de pesquisas na área de Planejamento e Controle da Produção.

7.1 – CONCLUSÕES FINAIS

O principal objetivo desta dissertação foi estudar a viabilidade e a potencialidade da utilização de um sistema de PFP baseado na TOC, bem como os requisitos básicos para a sua implantação prática.

A construção de um método de implantação de um sistema de PFP baseado na TOC foi o objetivo específico mais importante deste trabalho. Este método foi desenvolvido, aplicado em uma situação real, e os resultados obtidos puderam ser observados e analisados a partir de sua divulgação.

A revisão bibliográfica, realizada no Capítulo 2 desta dissertação, discorreu sobre a base teórica e conceitual do trabalho, evidenciando a inserção do PFP e da programação da produção no PCP. Foram discutidas as diferentes abordagens para o PCP, focalizando finalmente a TOC – e o seu elemento diretamente ligado à programação da produção: a Manufatura Sincronizada.

O Capítulo 3 se deteve no aspecto tecnológico do PFP, os aplicativos informatizados. Foi realizada uma análise sucinta de alguns dos sistemas de PFP existentes no mercado, destacando o software ST-POINT, utilizado no estudo de caso.

O método proposto foi apresentado no Capítulo 4, e a sua aplicação prática foi descrita no Capítulo 5, juntamente com a divulgação dos resultados da implantação do novo sistema de PCP, apoiado pelo conjunto ‘software ST-POINT/Manufatura Sincronizada’. No Capítulo 6 foram avaliados os resultados e a abordagem desenvolvida, e foram explicitadas as dificuldades encontradas na aplicação do método.

As principais conclusões deste trabalho são enumeradas a seguir:

1) O método de implantação desenvolvido mostrou-se eficiente na condução da mudança do sistema de PCP da empresa.

O sistema de PFP baseado na TOC foi implantado com sucesso na Empresa, através da utilização do método proposto neste trabalho. A sincronização da produção, que aconteceu com o apoio do planejamento gerado pela ferramenta de PFP, melhorou o desempenho no atendimento de pedidos no prazo, bem como reduziu os estoques.

2) Os sistemas de PFP suprem a lacuna dos sistemas de planejamento macro na programação da produção.

As deficiências dos sistemas de planejamento MRP/MRP II na programação, discutidas no Capítulo 2, são superadas nos sistemas de PFP. O detalhamento dos programas de produção disponibilizados pelos sistemas de PFP os diferencia do MRP/MRP II, especialmente em dois aspectos fortemente interligados: a programação do seqüenciamento das operações de manufatura e a correta avaliação de capacidade, baseada em dados fabris reais e detalhados. A exatidão no planejamento, proporcionada por estas ferramentas, qualificam o processo de tomada de decisão no PCP.

A diversidade de abordagens dos sistemas de PFP permite que estes sejam classificados de acordo com várias características, conforme está descrito no Capítulo 3. A multiplicidade de soluções disponíveis - aliada ao fato de que esta técnica é relativamente recente e a literatura a respeito é pouco desenvolvida - pode causar dúvidas no mercado. As dificuldades ocorrem principalmente em relação à escolha do sistema, em seu impacto no PCP e nos indicadores de desempenho da empresa, e na implantação do PFP.

Dentre os diferentes sistemas de PFP existentes, observa-se a crescente

tendência no desenvolvimento e utilização de ferramentas voltadas para o “planejamento baseado em restrições”, ou “programação de gargalos”. A expansão, no mercado, de sistemas baseados nesta lógica - similar a lógica da TOC - indica a eficiência da abordagem TOC, apoiada por um software de PFP, na Administração da Produção.

3) O PFP baseado na TOC deve ser implantado através de uma visão sistêmica.

A ferramenta computacional de PFP baseado na TOC não pode ser implantada isoladamente, sem a aplicação dos princípios da Manufatura Sincronizada. O PFP se constitui em um suporte computacional importante para a programação da produção, porém esta é apenas uma das partes que compõem a estrutura sistêmica⁶⁴ da TOC.

⁶⁴ Segundo Forrester (1990), os Sistemas podem ser compreendidos como um grupo de partes que operam conjuntamente para atingir um propósito comum. Senge (1990) define Sistema como um **todo percebido**, a partir do qual os diversos elementos constituintes do Sistema mantêm-se junto na medida em que estes elementos afetam continuamente uns aos outros ao longo da dimensão temporal, atuando para o alcance de um propósito comum. Na mesma linha de Senge, Andrade (1996) observa que um sistema não pode ser caracterizado apenas pelas partes que o compõe, mas principalmente pelas interações entre elas, que seriam responsáveis pelas características do todo. A Figura 2.7 (Capítulo 2) mostra as partes que compõem o sistema TOC.

4) Existem dificuldades potenciais na implantação de um sistema da PFP baseado na TOC.

Estas dificuldades ocorrem principalmente em relação aos indicadores de desempenho tradicionais, aos dados necessários ao software de PFP, e à mudança de práticas e procedimentos na produção, imposta pela Manufatura Sincronizada.

Alguns indicadores da contabilidade de custos avaliam as eficiências localizadas dos recursos, o que estimula a maximização de suas utilizações. A ativação indiscriminada de determinados recursos, apenas para satisfazer os indicadores, gera superprodução e estoques, conflitando com a sincronização da produção. O ajuste dos dados necessários ao sistema de PFP dificulta a sua implantação, devido ao seu nível de detalhamento. Outro ponto crítico para a implementação da lógica da TOC é a mudança das práticas fabris, especialmente em relação ao trabalho com níveis de inventário minimizados e com recursos não utilizados a plena capacidade (os recursos não-gargalos).

5) A educação e o treinamento são fundamentais para a implantação de um sistema de PCP voltado à TOC.

O entendimento dos conceitos da TOC, principalmente em relação aos Princípios da Manufatura Sincronizada, é uma condição necessária para a implantação do PCP baseado nesta Teoria.

A aplicação do Método desenvolvido, divulgada nesta dissertação, comprovou que as barreiras e resistências à implantação da TOC, mencionadas no item anterior, são superadas a partir da educação e treinamento em TOC dos colaboradores da Empresa envolvidos no processo de implantação. A mudança rápida da realidade da

fábrica, comprovada pelos resultados, também estimulou a diminuição das resistências.

6) A implementação da TOC requer uma mudança de paradigma

A TOC está inserida dentro do “Paradigma da Melhoria dos Processos”.⁶⁵ A orientação global deste Paradigma para os processos difere do enfoque local do “Paradigma da Melhoria das Operações”, especialmente no que diz respeito às medidas de desempenho.

Muitos conceitos pregados pela TOC, como alguns princípios da Manufatura Sincronizada, são aceitos de forma quase unânime pelas empresas industriais atualmente. Porém, estas idéias muitas vezes não podem ser colocadas em prática porque afetam negativamente os indicadores de desempenho tradicionais.

Nesta dissertação foi relatado um exemplo de um medidor de ‘eficiência’ tradicional da contabilidade de custos - inserido portanto no “Paradigma da Melhoria das Operações”- que estava em oposição ao novo sistema de PCP voltado para o “Paradigma da Melhoria dos Processos”.

Para a implantação bem sucedida de um sistema de PFP baseado na TOC se faz necessária a mudança completa de antigos paradigmas, princípios e técnicas de produção.

⁶⁵ **Paradigma** é definido por Kuhn (1995) como “uma constelação de crenças, valores, técnicas etc, partilhadas pelos membros de uma comunidade”. Antunes (1998) argumenta que existem atualmente dois Paradigmas na Administração da Produção: o “Paradigma da Melhoria das Operações”, representado pelo sistema *Just in Case*, e o “Paradigma da Melhoria dos Processos”. A TOC, o Sistema Toyota de Produção (*Just in Time*), e a Reengenharia de Processos (BPR) se incluem neste último, que segundo Antunes “é o Paradigma vigente nas Empresas mais competitivas do mundo”.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS

O desenvolvimento de alguns trabalhos seria de grande relevância para o enriquecimento da pesquisa na área abordada por esta dissertação, entre eles:

- Estudos aprofundados sobre a implementação dos indicadores de desempenho da TOC nas empresas. A questão dos medidores é fundamental dentro da abordagem TOC, como foi evidenciado neste trabalho.
- Trabalhos a respeito da adequação dos diversos sistemas de PFP existentes no mercado aos objetivos de desempenho do PCP e aos critérios competitivos da manufatura. Trabalhos deste tipo contribuiriam para o esclarecimento de algumas diferenças entre os sistemas de PFP disponíveis no mercado, permitindo a busca pela ferramenta mais adequada à resolução dos problemas de programação da produção das empresas.
- Otimizar o método apresentado neste trabalho e expandi-lo para outros tipos de indústrias. O método de trabalho foi desenvolvido e aplicado em uma empresa de manufatura repetitiva do ramo metal-mecânico. Um desdobramento futuro deste trabalho pode se constituir em estudos sobre a sua melhoria e a viabilidade de sua aplicação em outros tipos de empresas.
- Estudos a respeito de modelagem de sistemas produtivos nos aplicativos de apoio ao PCP. A representação da realidade física de um ambiente de produção é restringida, em algumas situações, pela capacidade de modelagem do software de planejamento. Portanto, torna-se relevante a discussão da questão da flexibilidade da produção no chão de fábrica *versus* a rigidez relativa do software, e seus efeitos no planejamento da produção.
- Estudar a integração do PFP com o Plano Agregado de Produção, sob a ótica da TOC. Desta forma sugere-se o desenvolvimento de um método para integrar a programação das operações no chão de fábrica com o planejamento do *mix* de

produtos que deverá ser produzido visando maximizar os resultados econômico-financeiros da empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, R. R. Desenvolvimento de uma Análise Comparativa de Métodos de Identificação, Análise e Solução de Problemas. Porto Alegre, PPGE/UFGRS, 1996. (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção).
- ANDRADE, A. L. Pensamento Sistêmico: Um Roteiro para Perceber as Estruturas da Realidade Organizacional. Working Paper, PPGE/UFGRS, 1996.
- ANTUNES, J. A. V. Em Direção a uma Teoria Geral do Processo na Administração da Produção: uma Discussão sobre a Possibilidade de Unificação da Teoria das Restrições e da Teoria que Sustenta a Construção dos Sistemas de Produção com Estoque Zero. Porto Alegre, PPGA/UFGRS 1998. (Tese de Doutorado em Administração).
- ANTUNES, J.A.V. & RODRIGUES, L.H. A Teoria das Restrições como Balizadora das Ações Visando a Troca Rápida de Ferramentas. Revista Produção, Porto Alegre, 1993, v. 3, n. 1, p.73-86.
- AQUILANO, N. J. & CHASE, R. B. Fundamentals of Operations Management, 8^a. Edição. Irving McGraw-Hill, New York, 1998.
- ATWATER, J. B.; CHAKRAVORTY, S. S. Does protective capacity assist managers in competing along time-based dimensions? Production and Inventory Management Journal, v. 35, n. 3 , p. 53-59, 1994.
- BERCHT, M. Plano Agregado Estratégico de Produção. Porto Alegre,

- PPGEP/UFRGS, 1996. (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção).
- BUFFA, H.D.; MILLER, J.G. Production-Inventory Systems. 3. Ed. Illinois, Richard D. Irwin, Homewood, 1979.
- CHANG, C. L.; HASTINGS, N. A. J.; WHITE, C. A very fast production scheduler . International Journal of Operations and Production Management, v. 14, n. 12, p. 22-34, 1994.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. Just in Time, MRP II e OPT: Um Enfoque Estratégico. São Paulo, Atlas, 1993.
- DARLINGTON, J. MRP rest in peace... Management Accounting, Outubro 1996.
- DUGDALE, D.; JONES, C. Accounting for throughput. Part 1 - The theory. Management Accounting, Abril 1996.
- FAVARETTO, F.; HAYASHI, C. H.; BREMER, C. F.; ROZENFELD, H. Aspectos relevantes na implantação de sistemas de planejamento fino da produção. Anais do XIII ENEGEP, Florianópolis, SC, 1993.
- FORRESTER, J. W. Principle of Systems. Productivity Press, 1990.
- FOX, R. E. OPT vs. MRP. Thoughtware vs. Software. Part I. Inventories and Productions Magazine, 3, 1988, 265-280.
- FRANKS, S. Material Requirements Planning - Rest in Peace. Artigo submetido à SAPICS, 1995.

GOLDRATT, E. M. Computerized Shop Floor Scheduling. *International Journal Production Research*, 1988, v. 26, n. 3, p. 443-453.

GOLDRATT, E. M. *What Is This Thing Called Theory of Constraints and How It Should Be Implemented?* New York, North River Press, 1990.

GOLDRATT, E. M. *A Síndrome do Palheiro - Garimpendo Informações num Oceano de Dados*. Editora Educator, São Paulo, 1996.

GOLDRATT, E. M. & COX, J. F. *A Meta*. Editora do IMAM, São Paulo, 1986.

GOLDRATT, E. M. & FOX, R. E. *A Corrida pela Vantagem Competitiva*. Editora Educator, São Paulo, 1989.

INGLESBY, Tom (1991). MRP? Finite Scheduling? Yes, no & maybe. *Manufacturing Systems*, March, 57-60.

JOHNSON, K. Finite Capacity Scheduling Using OPT: A Case Study Review. 2nd International Conference on Production Planning and Control in the Metals Industry. November 1996, London UK.

KUHN, T.S. *A Estrutura das Revoluções Científicas*. Editora Perspectiva, São Paulo, 1995.

LOCKAMY, A. & COX, J. F. *Reengineering Performance Measurement: How to Align Systems, Products, and Profits*. Irwin Professional Publishing, 1994.

MACKNESS, J. R. & RODRIGUES, L. H. *A Review of the Theory of Constraints as*

a Thinking Process. Working Paper, Universidade de Lancaster, 1994.

MARTIN, C. F. The Next Generation of Analytic Techniques for Manufacturing Planning. APICS, 1996.

MELLO, M.; BREMER, C. F.; ROZENFELD, H. Localização do planejamento fino e controle da produção na manufatura integrada. Anais do XIII ENEGEP, Florianópolis, SC, 1993.

MONKS, J. Administração da Produção. Schaum & McGraw-Hill, São Paulo 1988.

MOZESON, M. H. (1991). What your MRP II Systems Cannot Do. Industrial Engineering/December 1991, 20-24.

PEDROSO, M. C. MISPEM: Modelo de Integração do Sistema de PPCP à Estratégia de Manufatura. São Paulo, USP, 1996. (Dissertação de Mestrado).

PEDROSO, M. C.; CORRÊA, H. L. Sistemas de programação da produção com capacidade finita: uma decisão estratégica? Revista de Administração de Empresas, v. 36, n. 4, Out./ Nov./ Dez. 1996.

PELLEGRIN, I. D. Desenvolvimento de uma Ferramenta Instrucional para Engenharia de Produção. Porto Alegre. PPGEP – UFRGS, 1999 (Dissertação de Mestrado).

PIDD, M. Modelagem Empresarial: Ferramentas para a Tomada de Decisão. Porto Alegre, Editora Bookman, 1998.

PIEMONTE, L. A. Planejamento Fino da Produção. Tribuna Livre, 10, setembro-

outubro, 1992, 34-38.

PLATTS, K. W.; GREGORY, M. J. Manufacturing audit in the process of strategy formulation. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 10, n. 9, p. 5-26, 1990.

REIMER, G. Material Requirements Planning and Theory of Constraints: Can They Coexist? A Case Study. *Production and Inventory Management Journal*, Fourth Quarter, 1991, p. 48-52.

RODRIGUES, L. H. Developing an Approach to Help Companies Synchronise Manufacturing. Universidade de Lancaster, Inglaterra, 1994. (Tese de Doutorado em Ciências Administrativas).

RODRIGUES, L. H. Apresentação e Análise Crítica da Tecnologia de Produção Otimizada (Optimized Production Technology – OPT) e da Teoria das Restrições (Theory of Constraints – TOC). *Anais do XIV Encontro da ENANPAD*, Florianópolis, 1990.

RONEM, B.; SPECTOR, Y. Managing system constraints a cost/utilization approach. *International Journal Production Research*, v. 30, n. 9, p. 2045-61, 1992.

RUSSOMANO, V. H. *Planejamento e Controle da Produção*, Pioneira, São Paulo, 1995.

SACOMANO, J. B. Uma análise da estrutura funcional do planejamento e controle

da produção e suas técnicas auxiliares, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990 (dissertação de doutorado).

SCHROEDER, R.G. Operations Management. United States of America. McGraw-Hill, 1985.

SCHMALL, K. E. Variation in success of implementation of a decision support/finite scheduling system. Production and Inventory Management Journal, First Quarter, 1996 , p. 28-35.

SCHRAGENHEIN, E.; RONEM, B. Buffer Management: a diagnostic tool for production control. Production and Inventory Management Journal, Second Quarter, 1991 , p. 74-79.

SIMMONS, J. V.; SIMPSON III, W. P. Na Exposition of Multiple Constraint Schedule as Implemented in the GOAL SYSTEM (Formerly Disaster). Production and Operations Management vol. 6, n.1, Spring 1997.

SENGE, P. A Quinta Disciplina - Arte, Teoria e Prática da Organização da Aprendizagem. Editora Best Seller, 1990.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. Administração da Produção. Atlas, São Paulo, 1996.

SPEARMAN, M. L. & HOPP, W. J. Factory Physics. McGraw-Hill, New York, 1996.

SPENCER, M. S. & COX, J. F. Optimum Production Technology (OPT) and the

Theory of Constraints (TOC): Analysis and Genealogy. *International Journal of Production Research*, 1995a, v. 33 n. 6, p. 1495-1504.

UMBLE, M. M. & SRIKANTH, M. L. *Synchronous Manufacturing*. South-Western Cincinnati, Publishing CO. , 1990.

VOLLMANN, T. E.; BERRY, W. L.; WHYBARK, D. C. *Manufacturing Planning and Control Systems*. 3. Ed. Homewood, Richard D. Irwin, 1992.

WIGHT, O. *Manufacturing Resources Planning: MRP II*. Oliver Wight Ltd., 1984.

ANEXO A

PRÉ-REQUISITOS BÁSICOS PARA SOFTWARES DE SUPORTE A METODOLOGIAS DE GESTÃO DA TEORIA DAS RESTRICÇÕES (TOC)

Questionário para avaliação de coerência com a TOC, de software para:

- **TPC & Gerenciamento de Pulmões**
- Corrente Crítica
- Bússola

A) Tambor-Pulmão-Corda (TPC) & Gerenciamento de Pulmões (GP) para Logística de Produção Repetitiva

1. Identificação da Restrição:

- permite identificar o(s) recurso(s) mais restritivo(s) - RRC - de uma malha de produção?
 - como?

2. Exploração da Restrição:

- permite programar (o que, quanto e quando processar) o(s) RRC e a (s) entrega(s) [Tambores]?
- como faz isso?
- parte de uma carteira das necessidades de mercado (make to order) para um horizonte preestabelecido de planejamento?
- parte de uma informação das necessidades de reabastecimento / ressuprimento de um inventário (make to stock) de expedição?
- considera Pulmão-tempo? como?
- qual a lógica aplicada na programação para melhor compatibilizar as necessidades demandadas com as limitações de capacidade do(s) RRC?
- quais as possibilidades que o software oferece de interatividade com o programador, para maximizar o uso da capacidade finita do(s) RRC?
- possibilita cadastramento de processos alternativos do(s) RRC? inclusive de terceirização?
- permite programar (o que, quanto e quando) a aquisição de matérias-primas nos fornecedores a partir das necessidades do(s) RRC? ou do mercado? ou de reabastecimento de um inventário de expedição?
- considera Pulmão-tempo? como?
- permite programar (o que, quanto e quando) a liberação de matérias-primas para as operações de início de fluxo de processo, a partir das necessidades do(s) RRC? ou do mercado? ou de reabastecimento de um inventário de expedição?
- considera Pulmão-tempo? como?
- permite programar (o que, quanto e quando) as operações imediatamente seguintes às divergências de fluxo, a partir das necessidades do(s) RRC? ou do mercado? ou de reabastecimento de um inventário de expedição?
- considera Pulmão-tempo? como?

NOTA: Nos conceitos de Pulmão-tempo acima, pode-se cadastrar pulmões diferentes (pulmão-dinâmico) para linhas de fluxo diferentes, para mix de

produtos diferentes e para diferentes ocorrências de incertezas (interrupções, filas, mudanças instantâneas de RRC, etc.)?

3. Subordinação à Restrição:

- qual é o mecanismo de subordinação dos recursos não restritivos ao(s) RRC e à(s) entrega(s)? [Cordas]
- qual é o critério de ordenação/reordenação das filas?

4. Otimização:

- permite simulações para programação e reprogramação?
 - indica consequências nos Tambores (nas programações do(s) RRC e da(s) entrega(s))?
 - compara situações? Sob qual critério?
 - avalia impacto de diferentes mix de produtos no resultado global? sob qual critério?
- permite Gerenciamento de Pulmões?
 - admite constante retroalimentação do conteúdo físico dos pulmões (estoque protetivo), compara filas programadas com reais, considera diferentes níveis de gravidade das discrepâncias (imputados pelo programador) e emite relatórios para tomada de ações corretivas emergenciais?
 - fornece estatísticas das ações corretivas dos usuários para orientar ações corretivas duradouras?

5. Outros:

- O sistema considera restrição de ferramental ? Suponha que o RRC tenha 5 máquinas mas temos apenas 1 (ou no máximo 2) ferramental para cada peça. Como é feita a alocação já que não pode haver duas máquinas processando simultaneamente a mesma peça.
- No exemplo acima, o sistema permite definir que máquinas permitem processar a peça ? (Por características dimensionais, determinadas peças só obtêm qualidade em determinadas máquinas).
- O sistema trata moldes com múltiplas cavidades ?
- O sistema permite agrupar várias matrizes no mesmo porta moldes.
- Se o RRC é um recurso que trabalha por Lotes (tipo forno de fusão, têmpera, galvanoplastia, vibrador, etc.), como o sistema efetua a programação.
- Como o sistema trata restrição de matéria prima ? (Não existe material comprado suficiente para garantir trabalho no RRC).

B) Corrente Crítica multiprojeto (CCmp) para Logística de Produção de bens de Capital e para Gerenciamento de Projetos

1- O programa funciona como macro de algum software comercial do tipo MS Project?

2 – Programação da Corrente Crítica (CC):

- O programa reconhece/separa o excesso de segurança existente nas atividades?
- Torna possível, programações localizando as atividades “o mais tarde possível”?
- Reconhece a interdependência entre as atividades de um projeto?
- Reconhece qual(is) o(s) recurso(s) que irá(ão) realizar cada atividade?
- No banco de dados referente aos recursos estão disponíveis informações sobre disponibilidade, número de recursos, calendário individual, carga por tipo de recurso durante um período de tempo, hierarquia nos recursos múltiplos?
- No banco de dados referente às atividades existe distinção entre estimativas normais e “no pior caso possível”? Atividades repetitivas?
- O programa armazena programações de referência enquanto prossegue com a programação?
- Existem limitações quanto ao número de atividades por projeto, ou de recursos

- por projetos?
- Reconhece restrições às atividades do tipo ASAP, ALAP, SNET, SNLT, MFO, MSO?
 - Estas restrições são respeitadas durante as etapas da programação de CC?
 - Reconhece restrições entre atividades do tipo Start to Finish, Finish to Start; superposição total ou parcial, etc?
 - Qual o critério usado para sincronizar os projetos? Qual o critério usado para escolher o Recurso Estratégico?
 - O nivelamento de cargas dentro de um projeto pode ser realizado pelo programa?
 - O programa nivela a carga em todos os recursos considerando todos os projetos?
 - O programa escolhe/identifica a CC? Permite interferência do programador nesta escolha? Oferece diferentes alternativas de percurso?
 - O programa identifica os locais para inserir os pulmões? Permite diferentes opções de dimensionamento?
 - Quais os tipos de pulmões que o programa reconhece/localiza/dimensiona?
 - Permite editar os pulmões? Identifica o tipo/localização na rede de programação da CC?
 - O programa aceita/indica situações onde o prazo imposto de complementação é inferior à programação da CC feita pelo programa? Permite interferência do programador para compatibilizar a programação da CC com a disponibilidade de prazo para execução?
 - * Permite uso em rede de micros (multiusuário)?
 - * Existe limitação quanto ao número de projetos simultâneos?
 - * O programa permite instalação em uma única estação para o caso de usuários de pequeno porte?
 - * Qual a configuração mínima requerida para uma instalação?

(*) perguntas relacionadas com o sistema e não com a CC.

C) Decisão Gerencial - Bússola

- permite cadastrar Preço, Custos Totalmente Variáveis, Tempo Consumido no(s) Gargalo(s), Quantidade a vender, Despesas Operacionais e Investimentos no período?
- permite elaborar cálculos de Valor Presente de valores monetários a partir de despesas financeiras pré-estabelecidas?
- permite elaborar médias ponderadas de valores monetários?

- permite classificar colunas na ordem decrescente de seus valores?
- permite calcular:
 - Ganho unitário por produto?
 - Ganho unitário por unidade de restrição (geralmente tempo consumido pelos produtos no(s) gargalo(s))?
 - Ganho do produto?
 - porcentagem acumulada de utilização do gargalo, por produto, na ordem decrescente de seus Ganhos unitários por unidade de restrição, até 100% da disponibilidade do(s) gargalo(s)?
- permite estabelecer Ganho do mix ideal (preenchimento da capacidade do(s) gargalo(s) pelo critério do Gu/unidade de restrição)?
- permite, interativamente, migrar do mix ideal para o mix viável, conforme compatibilização com as exigências do mercado?
- apura os Resultados Globais (Lucro Líquido e Retorno Sobre o Investimento) para todas as situações consideradas?
- permite simulações, sobre base de dados congelada e compara os diferentes resultados nas diferentes simulações?
- permite retroalimentação “on line” com dados do “realizado”?
- emite relatórios gerenciais ?
- permite operar com até 10 RRC-Gargalos (ou mais)?
- permite operar com varias Unidades de Negócio da mesma organização, admitindo sempre que a decisão local possa ser tomada a partir da antevisão do impacto que ela causaria nos Resultados Globais da organização?

ANEXO B

CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DE AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA

Este anexo apresenta um exemplo, extraído de Leitão (1998), da avaliação errônea da capacidade produtiva em uma empresa de manufatura repetitiva com produção contra pedido (*make to order*). O programa mensal formado pelo conjunto de pedidos de clientes é executado a partir da comparação com a capacidade produtiva nominal da linha.

A princípio, a planta parece apresentar capacidade ociosa, pois possui um mês produtivo de 25 dias, capacidade de entregar 1000 peças por dia, uma linha de 5 produtos distintos e *set ups* entre estes produtos de 6 horas.

O programa mensal é de 23000 peças, e a percepção do programador e do gerente da linha é de que o programa pode ser cumprido com folga.

A Tabela B1 resume os principais dados da linha de produção e do programa a ser cumprido.

Tabela B. 1 Dados da empresa.

Mês de	25	dias
Capacidade diária	1000	peças
Linha de produtos	5	produtos
Set up entre produtos	6	horas
Programa do mês	23000	peças

Informações geradas		
Número de <i>set ups</i> necessário	5	<i>set ups</i>
Set up entre produtos	6	horas
Tempo comprometido com <i>set up</i>	30	horas
Set up em dias	1,25	dias

Número de peças no mês	23000	peças
Capacidade diária	1000	peças
Dias comprometidos com fabricação de peças	23	dias
Tempo comprometido com fabricação de peças	552	horas

Ocupação da fábrica (<i>Set ups</i> + Produção)		
em Dias	24,25	dias
em Horas	582	horas

Ociosidade		
Mês de	25	dias
Ocupação	24,25	dias
Dias ociosos	0,75	dias

Produção disponível		
Dias ociosos	0,75	dias
Capacidade diária	1000	peças
Capacidade disponível em peças	750	peças

Nesta situação inicial, onde se pressupõe capacidade ociosa, não fora mencionada a data de entrega dos diversos produtos, pois o indicador de entrega prevê que, se as peças forem entregues dentro do mês do pedido, ele será (o indicador) incrementado positivamente, e será considerado que não há atraso.

O que não foi considerado, é que os clientes querem receber seus pedidos em determinados dias, e que estas datas são importantes para eles. Como normalmente, todos os fornecedores atuam desta forma, estes clientes normalmente não reclamam. Entretanto, se ocorrer uma necessidade real, ou seja, as antecipações de peças (previsões e seguranças) que o cliente faz não forem suficientes para sua demanda, ele forçará o fornecedor a entregar as peças na data prometida anteriormente, por força de contrato ou por pressão de compras futuras e mudança de fornecedor.

Isto significa dizer que, não há na realidade capacidade ociosa, como pode ser observado na Tabela B2 a seguir, se consideradas as datas de entrega dos clientes.

Tabela B. 2 - Dados detalhados dos pedidos.

Informações adicionais			
Produtos, quantidades e datas (Carteira)	Produto	QTD	Data
	A	3000	5
	B	3000	10
	C	2500	15
	D	2500	20
	E	2500	25
	A	4000	17
	C	2500	24
	E	3000	7
	Total	23000	

A empresa possui um medidor de “eficiência” nos recursos, o que induz à minimização da quantidade de *set ups*. Desta forma, se as máquinas são preparadas para um lote de um determinado produto, esta preparação é aproveitada para produzir todos os pedidos do mesmo produto no mês. A prioridade portanto é aproveitar os *set*

ups, mesmo que isto afete o atendimento dos clientes no prazo, conforme mostra a Tabela B3.

Tabela B. 3 - Seqüência de produção inicial.

Como seria a priorização por <i>set up</i>	Produto	QTD	Data	<i>Set up</i>
	A	3000	5	6 horas
	A	4000	17	
	B	3000	10	6 horas
	C	2500	15	6 horas
	C	2500	24	
	D	2500	20	6 horas
	E	2500	25	6 horas
	E	3000	7	
	Total em dias	23		1,25
	Total geral		24,25	

Ocorre que na atual situação de mercado o atendimento no prazo passa a ser fundamental, tornando intoleráveis os atrasos na entrega para os clientes. A empresa então analisa algumas formas de melhorar o seu desempenho no critério competitivo de pontualidade, estudando três cenários diferentes: o cenário inicial e mais dois alternativos.

As tabelas a seguir revelam o impacto da mudança das seqüências de produção na entrega dos pedidos e na utilização da capacidade.

Cenário 1 Idêntico ao cenário de sobra de capacidade (inicial)

Produto	QTD	Set up	Data	Dia Entregue	Entrega	Atrasos	Adiantam.
A	3000	6 horas	5	3,25	1,75		1,75
A	4000		17	7,25	9,75		9,75
B	3000	6 horas	10	10,5	-0,5	-0,5	
C	2500	6 horas	15	13,25	1,75		1,75
C	2500		24	15,75	8,25		8,25
D	2500	6 horas	20	18,5	1,5		1,5
E	3000	6 horas	7	21,75	-14,75	-14,75	
E	2500		25	24,25	0,75		0,75

Total	30 horas	Sobra	0,75 horas	Total	-15,25	23,75
--------------	-----------------	--------------	-------------------	--------------	---------------	--------------

Cenário 2 Produzir "E" primeiro.

Produto	QTD	Set up	Data	Dia Entregue	Entrega	Atrasos	Adiantam.
E	3000	6 horas	7	3,25	3,75		3,75
E	2500		25	5,75	19,25		19,25
A	3000	6 horas	5	9	-4	-4	
A	4000		17	13	4		4
B	3000	6 horas	10	16,25	-6,25	-6,25	
C	2500	6 horas	15	19	-4	-4	
C	2500		24	21,5	2,5		2,5
D	2500	6 horas	20	24,25	-4,25	-4,25	

Total	30 horas	Sobra	0,75 horas	Total	-18,5	29,5
--------------	-----------------	--------------	-------------------	--------------	--------------	-------------

Cenário 3 Produzir conforme data do cliente.

Produto	QTD	Set up	Data	Dia Entregue	Entrega	Atrasos	Adiantam.
A	3000	6 horas	5	3,25	1,75		1,75
E	3000	6 horas	7	6,5	0,5		0,5
B	3000	6 horas	10	9,75	0,25		0,25
C	2500	6 horas	15	12,5	2,5		2,5
A	4000	6 horas	17	16,75	0,25		0,25
D	2500	6 horas	20	19,5	0,5		0,5
C	2500	6 horas	24	22,25	1,75		1,75
E	2500	6 horas	25	25	0		

Total	48 horas	Sobra	0,00 horas	Total	0	7,5
-------	----------	-------	------------	-------	---	-----

Conforme pode ser observado, o único cenário onde é possível atingir um desempenho satisfatório no atendimento, sem atrasos, é o terceiro, onde ocorre a priorização pelas datas dos pedidos. Apesar disso, o número de *set ups* é maior, o que causa uma queda no indicador de produtividade local das máquinas.

Dentro de uma situação de mercado onde o fator pontualidade no atendimento passa a ser fundamental, este exemplo ilustra a importância do seqüenciamento das atividades voltado para as datas dos pedidos, e a inadequação dos medidores de eficiência locais.

ANEXO C

DESCRIÇÃO RESUMIDA DO PROCESSO DE PENSAMENTO DA TOC

Segundo Antunes (1998), O Processo de Pensamento da Teoria das Restrições – PP da TOC - pode ser considerado o Método de Identificação, Análise e Solução de Problemas adotado na lógica mais ampla da TOC. Historicamente, o PP da TOC foi discutido pela primeira vez no livro “*What is This Thing Called Theory of Constraints and How Should it be Implemented*”(Goldratt, 1990). Posteriormente, Goldratt (1994) apresenta o PP da TOC em seu livro “Mais que SORTE ... um Processo de Raciocínio”, que é uma continuidade do livro ‘A Meta’.

O Processo de Pensamento da TOC é uma abordagem lógica para a análise de problemas e assume que o mundo é ordenado e os problemas que ocorrem neste mundo ordenado podem ser resolvidos por um processo lógico e sistemático. A principal característica desta abordagem é a análise de “efeito-causa-efeito” , que é usada para a compreensão do porquê as coisas estão acontecendo, mais do que como elas ocorrem (Mackness & Rodrigues, 1994).

A partir da identificação dos efeitos indesejáveis de uma determinada situação, as causas destes efeitos são listadas através de um processo racional de indução. A legitimidade das causas é verificada através de um exame minucioso que questiona a validade das relações de causa e efeito e, se a relação existe, se nenhuma outra causa não considerada pode ser esperada. Ao determinarmos todas as relações de causa e efeito, teremos então a causa raiz (Oliveira, 1996).

Uma vez que a causa raiz tenha sido identificada, poderemos então determinar que ações poderão ser tomadas a fim de eliminá-la, ou ao menos reduzir os seus efeitos (Mackness & Rodrigues, 1994).

O Método de Identificação, Análise e Solução de Problemas desenvolvida por Goldratt objetiva responder a três questões essenciais, que são as seguintes (Antunes, 1998):

- a) O **que** mudar;
- b) Mudar **para o que**;
- c) **Como** provocar a mudança.

A proposição central de Goldratt, ao propor O Processo de Pensamento da TOC, consiste em concentrar todos os esforços nos chamados problemas centrais (*core problems*), ou seja, naqueles problemas que impactam de maneira significativa o desempenho global do sistema (Alvarez, 1996). Esta priorização nos aspectos críticos da organização é o enfoque central da TOC, e também encontra similaridade com o Princípio de Pareto - “poucos dados são vitais, e muitos triviais.”

3.1- O que mudar

O primeiro passo neste processo consiste na busca pelos elementos que causam a maioria dos problemas no sistema atual - o que mudar. Geralmente, as pessoas estão tão envolvidas no sistema que não podem perceber a real causa da ineficiência, lidando apenas com as conseqüências (Mackness & Rodrigues, 1994). Sempre que o foco estiver restrito às conseqüências, qualquer medida tomada não impedirá que o problema aconteça novamente.

Nesta primeira etapa é determinada a causa raiz, através da técnica denominada *Árvore da Realidade Atual* (*Current Reality Tree*), que busca a causa raiz de problemas que estão ocorrendo, utilizando relações de causa e efeito, conforme mostra a figura A1:

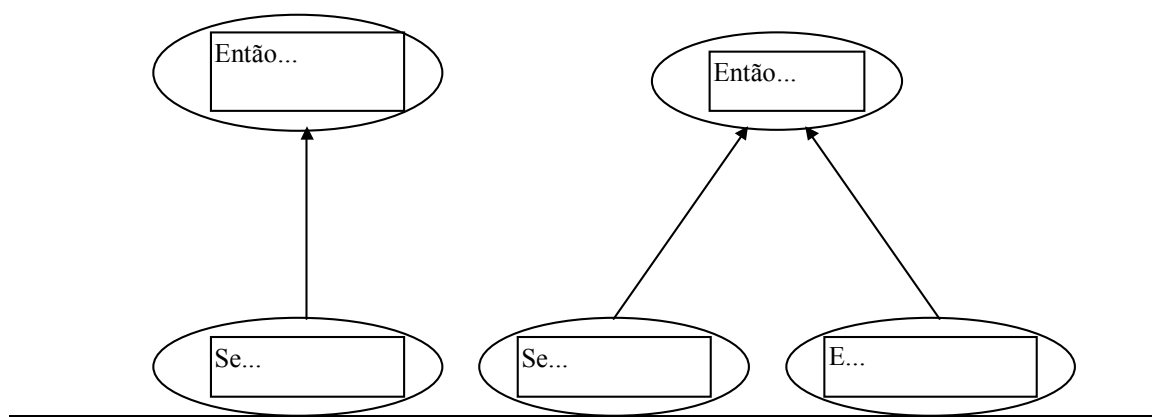


Figura A. 1 - Como interpretar a Árvore da Realidade Atual

Os passos para a criação da Árvore da Realidade Atual são os seguintes (Mackness & Rodrigues, 1994):

1. Fazer uma lista que contenha entre 5 e 10 efeitos indesejáveis (EIDs);
2. Se existir relação de causa e efeito entre dois ou mais EIDs, deve-se conectá-los enquanto examina-se minuciosamente⁶⁶ cada entidade e seta do caminho formado. Se não for possível qualquer conexão, escolhe-se um EID aleatoriamente e continua-se no passo seguinte;
3. Conectar todos os outros EIDs de acordo com o passo 2, examinando minuciosamente cada entidade e seta dos caminhos formados. Pare quando todos os EIDs estiverem conectados;

4. Interpretar a Árvore de baixo para cima examinando minuciosamente cada entidade e seta. Fazer qualquer correção que seja necessária;
5. Verificar se a Árvore como um todo reflete a intuição que se tem a respeito da área. Em caso negativo reexamine a árvore em busca de causas adicionais;
6. Não se deve exitar em expandir a Árvore para conectar outros EIDs que existem mas não foram incluídos na lista original. Esta etapa só pode ser realizada após todos os EIDs estarem conectados;
7. Os EIDs devem ser revisados para identificar aquelas entidades da Árvore que são negativas e permanecem isoladas (ou seja, aparentemente não têm relação de causa e efeito). Isto deve ser feito mesmo se esta entidade não estava na lista original de EIDs;
8. Eliminar da Árvore qualquer entidade que não seja requerida para conectar as EIDs;
9. Apresentar a Árvore para alguém que possa contestar as suposições;
10. Examinar todos os pontos de entrada da árvore e decidir qual apresenta o máximo impacto positivo se atacado eficientemente. Escolher a entidade que é a causa do maior número de efeitos indesejáveis, o problema central. À primeira vista pode não parecer muito óbvio qual é o problema central. Alguma discussão adicional pode ser necessária para identificá-lo. Usualmente a árvore apresenta-se em um formato em V, e o problema central localiza-se na parte inferior. Se este não for o caso, uma conexão tipo V deve ser adicionada. Então voltamos ao passo 4.

3.2- Mudar para o que

⁶⁶ Os detalhes deste exame minucioso encontram-se em Mackness & Rodrigues (1994), p.5-6.

Segundo Antunes (1998), esta etapa parte dos problemas centrais determinados pela Árvore da Realidade Atual buscando a formulação de uma solução eficaz para a eliminação dos atuais problemas que limitam o desempenho global do sistema em análise. Este estágio é baseado em duas técnicas: a “Evaporação das Nuvens” e a “Árvore da Realidade Futura”.

A técnica da Evaporação das Nuvens é um processo de raciocínio e discussões, que possibilita encontrar conflitos na Árvore da Realidade Atual que causam o problema central.

A Árvore da Realidade Futura é criada através de ações conhecidas como injeções, que objetivam transformar os efeitos indesejáveis em efeitos desejáveis. Os resultados das implantações das injeções iniciais e de novas injeções, se for o caso, configurarão a estrutura da Árvore da Realidade Futura.

3.3- Como causar a mudança

A terceira e última etapa do método visa construir uma estrutura que implementará as injeções definidas na etapa anterior. Para tanto, lida com os obstáculos para implantar as mudanças na organização. Usando uma abordagem Sócrática procura-se superar estes obstáculos, geralmente através de uma discussão que identifique as causas dos obstáculos e o que é preciso para eliminá-los. Este passo é baseado em duas técnicas: a Árvore de Pré-requisitos e a Árvore da Transição (Mackness & Rodrigues, 1994).

A Árvore dos Pré-requisitos é construída definindo-se os obstáculos e os objetivos intermediários para superá-los. Em seguida é produzido um plano de ações detalhado, que garantirá a mudança necessária para o alcance dos objetivos. Esta tarefa é denominada Árvore da Transição.

ANEXO D

Construindo um Banco de Dados para o ST-POINT a partir de arquivos MRP ASCII padrão – dados básicos

Os arquivos devem estar no formato ASCII (arquivos texto puro sem formatação através de caracteres de controle). O leiaute deve respeitar os formatos descritos nas tabelas abaixo. Tais tabelas estão na versão reduzida, contendo apenas os dados estritamente necessários para um projeto inicial.

Os vários arquivos devem ter os seguintes nomes:

Bill of Materials – Pn.BOM

Roteiros – Pn.ROT

Estoques de produtos e componentes acabados – Pn.INV

Pedidos de clientes – Pn.CUS

Materiais (matéria-prima e/ou itens comprados) – Pn.MTR

Máquinas – Pn.RSC

Chegada de Materiais – Pn.ARR (não é imprescindível)

onde Pn é o nome do projeto (Project name == Pn). Exemplo: caso o nome do projeto seja EMPRESA, os arquivos teriam os seguintes nomes: EMPRESA.BOM, EMPRESA.ROT, EMPRESA.INV,

Bill of materials (BOM)

Nome do Campo	Descrição	Tipo	Tamanho (máximo)	Status
P#	Nome ou número do componente, alimentado por um componente anterior. É repetido para cada componente filho.	Alfa-numérico	18*	Obrigatório
Pp	Nome ou número do componente que alimenta (vai em) diretamente P#	Alfa-numérico	18*	Obrigatório
Cq	Quantidade = número de componentes Pp necessários para uma unidade de P# [conversion quantity]	Decimal	7	Opcional (Default=1)
Cm	Comentários relacionados a P#	Alfanumérico	60	Opcional

* P# e O#, juntos, não podem exceder 21 caracteres. O# refere-se ao código da

operação. Tal campo aparecerá no arquivo Pn.ROT, descrito a seguir. Caso o código do componente/produto tenha, por exemplo, 15 caracteres de largura, o código da operação não poderá Ter mais que seis caracteres de largura.

Este arquivo teria a seguinte aparência para um produto chamado PRODA que é resultado de um componente COMPA mais duas unidades de um segundo componente chamado COMPB:

```
PRODA #COMPA # 1#comentarios ....#
PRODA #COMPB # 2#comentarios.....#
COMPA #MP1 # 1#comentários #
```

.....

onde o caracter ‘#’ é um separador para simples visualização.

Para os arquivos seguintes basta seguir o mesmo procedimento para os arquivos ASCII: coloca-se o conteúdo de determinado campo preenchendo o restante da largura do campo com espaços em branco, coloca-se o separador, em seguida o campo subsequente, separador, e assim por diante.

Ainda para o exemplo acima, suponha-se que a largura máxima do código de componente/produto seja 10 caracteres, a largura da exportação de um número para o formato ASCII seja 4 caracteres e que o comentário utilize no máximo 20 caracteres, teríamos o seguinte leiaute, coluna a coluna, do arquivo (assumindo que o separador de campos seja o caracter ‘#’):

P	R	O	D	A						#	C	O	M	P	A						#					1	#	C	O	M	E	N	T	A	R	I	O	...
P	R	O	D	A						#	C	O	M	P	B							#					2	#	C	M	E	N	T	A	R	I	O
C	O	M	P	A						#	M	P	1								#					1	#	C	O	M	E	N	T	A	R	I	O	

Roteiros (ROT)

Nome do Campo	Descrição	Tipo	Tamanho	Status
P#	Nome ou número do componente na BOM, repetido para cada operação [part]	Alfanumérico	*	Obrigatório
O#	Número (ou nome) da operação. O# e anexado a P# para formar o nome do estágio, P#/O# [operation]	Alfanumérico	*	Opcional
Tn	Nome do Team Resource necessário para ativar O#	Alfanumérico	10	Opcional (default=FIC)
Pt	Tempo necessário para processar uma única peça em O# (ou um lote de peças)	Decimal	Convention	Opcional (default=1)

St	Tempo de setup para O#	Número (max=32000)	Convention	Opcional (default=0)
Cm	Comentários relacionados a O#	Alfanumérico	60	Opcional

- P# e O#, juntos, não podem exceder 21 caracteres. Veja observação feita logo após o quadro de descrição dos campos do arquivo Pn.BOM.

Pedidos de clientes (CUS)

Nome Do Campo	Descrição	Tipo	Tamanho	Status
P#	Nome ou número do produto (ou componente, ou submontagem) pertencente a este pedido [part number]	Alfanumérico	*	Obrigatório
On	Código do pedido (repetida para cada produto que faz parte do pedido) [Order name]	Alfanumérico	20	Obrigatório
Cn	Nome do Cliente que fez o pedido On [Customer name]	Alfanumérico	10	Opcional (default=FIC)
Dd	Data de entrega para On.	Data	Convention	Obrigatório
Oq	Quantidade pedida do produto (P#)	Número	7	Opcional (default=1)
Cm	Comentários relacionados a On	Alfa-numérico	60	Opcional

* P# deve corresponder a P# no BOM.

Materiais (MTR)

Nome do Campo	Descrição	Tipo	Tamanho	Status
P#	Nome do material ou número do componente	Alfanumérico	22	Obrigatório
Vn	Nome do fornecedor de P#	Alfanumérico	10	Opcional (default=FIC)
Dt	Tempo necessário (em dias) para entregar uma remessa de P#	Número (max=32000)	Convention	Opcional (default=0)
Iq	Quantidade em estoque de P#	Número	7	Opcional (default=0)
Cm	Comentários relacionados a P#	Alfanumérico	60	Opcional

Estoques (INV) – apenas estoques de produtos (finais, componentes e componentes em processo) processados na fábrica. Os estoques de matéria-prima e itens comprados devem constar no arquivo de materiais, Pn.MTR.

Nome do Campo	Descrição	Tipo	Tamanho	Status
P#	Nome ou número do componente em estoque. Isto pode incluir componentes total ou parcialmente processados[part number]	Alfanumérico	*	Obrigatório
O#	Número (ou nome) da última operação efetuada sobre o componente parcialmente processado [operation number]	Alfanumérico	*	Opcional
Iq	Quantidade de peças completas de O# mas não na próxima operação[inventory quantity]	Número	7	Opcional (default=0)

* P# e O# devem corresponder a P# e O# nos roteiros (ROT)

Recursos (RSC) - máquinas, centros de trabalho.

Nome do Campo	Descrição	Tipo	Tamanho	Status
Rn	Nome do recurso (pode ser o nome de uma máquina e/ou centro de trabalho)	Alfanumérico	10	Obrigatório
Pq	Quantidade de recursos para o grupo	Número (max=9999)	4	Opcional (Default=1)
Cm	Comentários relacionados a Rn	Alfanumérico	60	Opcional

Chegada de Materiais (ARR) - chegadas programadas de materiais (Ordens de Compra já emitidas) e executadas

Nome do Campo	Descrição	Tipo	Tamanho máximo	Status
P#	Código do material	Alfanumérico	22	Obrigatório
Dd	Data prevista para a chegada dos materiais	Data	8 (ddmmyyyy)	Obrigatório
Eq	Quantidade esperada para Dd	Número	8	Obrigatório
Aq	Quantidade que chegou	Número	8	Opcional
In	Código da Ordem de Compra	Alfanumérico	7	Opcional
On	Código do pedido de cliente para o qual será alocado P#	Alfanumérico	22	Opcional

