

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Felipe Alberto Simas Donato

**OTIMIZAÇÃO DO MIX DE PRODUTOS E CLIENTES EM UM
PLANEJAMENTO AGREGADO DE PRODUÇÃO – ESTUDO DE CASO
EMBRACO**

**Florianópolis
11 de junho de 2008**

Felipe Alberto Simas Donato

**OTIMIZAÇÃO DO MIX DE PRODUTOS E CLIENTES EM UM
PLANEJAMENTO AGREGADO DE PRODUÇÃO – ESTUDO DE CASO
EMBRACO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Sérgio Fernando Mayerle, Dr.

**Florianópolis
11 de junho de 2008**

OTIMIZAÇÃO DO MIX DE PRODUTOS E CLIENTES EM UM PLANEJAMENTO
AGREGADO DE PRODUÇÃO – ESTUDO DE CASO EMBRACO

Felipe Alberto Simas Donato

Esta Dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 11 de junho de 2008

Prof. Sérgio Fernando Mayerle, Dr. (UFSC)
Orientador

Prof. Antônio Sérgio Coelho, Dr. (UFSC)
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção

Banca Examinadora:

Prof. Dálvio Ferrari Tubino, Dr. (UFSC)

Prof. Antônio Sérgio Coelho, Dr. (UFSC)

Rafael Machado Casali, Dr.

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre me proporcionaram toda a estrutura e as condições para chegar onde estou.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmãos, por todo o suporte, apoio e incentivo, e pela imensa contribuição na formação do meu caráter e dos meus valores.

Ao meu orientador, o Professor Sérgio Fernando Mayerle, pelos ensinamentos, por todo o envolvimento com o trabalho e pelas horas dedicadas a sua leitura e correção.

Ao Professor João Neiva de Figueiredo, pela orientação e incentivo no decorrer de todo o período do mestrado.

Aos amigos André Perez e Fábio Osiro, por todo apoio e por estimular e dedicar esforços na geração de conhecimento e crescimento pessoal dentro de seus times de trabalho.

À Denise, por estar ao meu lado, me apoiando, sempre.

Aos diversos amigos e colegas de trabalho que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos professores que compõem a banca, por aceitarem o convite para analisar esta dissertação.

Aos professores e colegas da Universidade Federal de Santa Catarina e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção que contribuíram a minha formação e para a construção deste trabalho.

RESUMO

DONATO, Felipe A. S. **Otimização do Mix de Produtos e Clientes em um Planejamento Agregado de Produção – Estudo de Caso Embraco.** 2008. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

Este trabalho apresenta uma aplicação ilustrativa, em uma empresa brasileira do setor metal-mecânico – a Embraco, da utilização de um modelo de programação linear para o problema de planejamento agregado da produção em dois estágios sobre múltiplos períodos. O modelo de otimização cria um plano de produção viável que otimiza os lucros marginais ao escolher o melhor mix de produtos e clientes. Os resultados obtidos através da utilização do modelo são comparados com os resultados do planejamento atual, sob a ótica do desempenho operacional, ou seja, os impactos na confiabilidade de entrega de produtos, e sob ótica do desempenho financeiro, calculando-se os impactos nos lucros marginais e na geração do fluxo de caixa. Considera-se que os objetivos da aplicação de tal modelo foram atingidos e que os resultados obtidos foram positivos e possuem utilidade prática como pré-estudo de viabilidade para a implantação de tal metodologia.

Palavras-chave: Planejamento Agregado da Produção. Sales and Operations Planning. Programação Linear.

ABSTRACT

DONATO, Felipe A. S. **Otimização do Mix de Produtos e Clientes em um Planejamento Agregado de Produção – Estudo de Caso Embraco.** 2008. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

This paper presents a practical application, in a Brazilian mechanical industry, of a linear programming model for the aggregate production planning in two stages over multiple time periods. The optimization model creates a feasible production plan that maximizes the marginal profits by choosing the best product and customer portfolio. The results of the model utilization are compared with the ones achieved by the current planning process, considering the impacts on the operational performance, i.e., the impacts on the customer delivery, and considering the financial performance, calculating the impacts on the marginal profits and on the free cash flow. The objectives of the applications of such model have been achieved in a positive way, having practical utility as a pre-evaluation of the viability of the implementation of the methodology.

Key-words: Aggregated Production Planning. Sales and Operations Planning. Linear Programming.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DAS TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO (BEYER, 2004).	23
FIGURA 2 – FATORES DE INFLUÊNCIA DA EMPRESA. ADAPTADO DE BEYER (2004).	26
FIGURA 3 – CADEIA DE SUPRIMENTOS (BEYER, 2004).	27
FIGURA 4 – PROCESSOS DE GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS. ADAPTADO DE LAMBERT <i>ET AL.</i> (1998).	30
FIGURA 5 – EIXOS DE ATUAÇÃO DA SCM (PIRES, 2004).	31
FIGURA 6 – PROCESSO DE PLANEJAMENTO.	37
FIGURA 7 – O PROCESSO MENSAL DE S&OP (ADAPTADO DE WALLACE, 1999).	41
FIGURA 9 – PLANEJAMENTO HIERÁRQUICO DA PRODUÇÃO	52
FIGURA 10 – PRODUÇÃO EM DOIS ESTÁGIOS (ADAPTADO DE BITRAN <i>ET AL.</i>, 1981).	56
FIGURA 11 – ESTRUTURA LOGÍSTICA	65
FIGURA 13 – LAYOUT FABRIL.	71
FIGURA 14 – LAYOUT BLOCO 28	71
FIGURA 15 – LAYOUT BLOCO 15	72
FIGURA 16 – PROCESSO PRODUTIVO	73
FIGURA 17 – CICLO DE S&OP	74
FIGURA 18 – CICLO DE OF	78
FIGURA 19 - CICLO DE PEDIDO	79
FIGURA 20 – MODELO DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ATENDIMENTO AO CLIENTE	82

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – CURVAS DE PRODUÇÃO, VENDAS E ESTOQUES.....	103
GRÁFICO 2 – VENDAS, PRODUÇÃO E ESTOQUES.....	107

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RISCOS DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	34
TABELA 2 - PROCESSOS AVALIADOS	80
TABELA 3 – ESTRUTURA RESUMIDA DOS INDICADORES DE DESEMPENHO	81
TABELA 4 – DEMANDA PROJETADA PARA O TRIMESTRE	96
TABELA 5 – MATRIZ DE RELAÇÃO ENTRE LINHA DE MONTAGEM FINAL E PRODUTO.	98
TABELA 6 – PRODUTIVIDADE DAS LINHAS DE MONTAGEM	99
TABELA 7 – HORAS DISPONÍVEIS NAS LINHAS DE MONTAGEM	99
TABELA 8 – MARGENS DE CONTRIBUIÇÃO MODELO TRADICIONAL X MODELO DE OTIMIZAÇÃO	104
TABELA 9 – CUSTO DE OPORTUNIDADES MODELO TRADICIONAL X MODELO DE OTIMIZAÇÃO.....	104
TABELA 10 – DEMANDA X VENDAS	105
TABELA 11 – GANHOS MARGINAIS POR INCREMENTO DE CAPACIDADE EM UMA UNIDADE.....	106
TABELA 12 – UTILIZAÇÃO DE HORAS-EXTRAS NAS LINHAS DE MONTAGEM.	106
TABELA 13 - GANHOS MARGINAIS POR INCREMENTO DE CAPACIDADE EM UMA UNIDADE.....	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APICS – *American Production And Inventory Control*

CLM – *Council Of Logistics Management*

CPFR – *Collaborative Planning, Forecasting And Replenishment*

CRM – *Customer Relationship Management*

CSCMP – *Council Of Supply Chain Management Professionals*

DRP – *Distribution Requirements Planning*

DRP II – *Distribution Resources Planning*

EDI – *Electronic Data Interchange*

JIT – *Just In Time*

KPI – *Key Performance Indicators*

MRP II - *Manufacturing Resource Planning*

MRP – *Material Requirements Planning*

MTO – *Make-To-Order*

MTS – *Make-To-Stock*

OF – *Order Fullfilment*

OTIF – *On Time In Full*

PMP – *Plano Mestre De Produção*

POS – *Point-Of-Sale*

S&OP – *Sales And Operations Planning*

SCM – *Supply Chain Management*

SEM – *Supplier Relationship Management*

SKU – *Stock Keeping Unit*

TI – *Tecnologia Da Informação*

TIC – *Tecnologia Da Informação E Comunicação*

TQM – *Total Quality Management*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	17
1.2	PROBLEMA ABORDADO	17
1.3	OBJETIVO DO TRABALHO	18
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.5	MÉTODO DE PESQUISA	19
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	21
2.1.1	EVOLUÇÃO HISTÓRICA	21
2.1.2	CONCEITOS DE LOGÍSTICA E GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	25
2.1.3	RISCOS ASSOCIADOS À CADEIA DE SUPRIMENTOS	31
2.2	SISTEMA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	35
2.2.1	PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO	38
2.2.2	PLANEJAMENTO DE MÉDIO-PRAZO (S&OP)	38
2.2.2.1	PROCESSO DE S&OP	40
2.2.2.2	BENEFÍCIOS DO S&OP	45
2.2.2.3	DIFICULDADES E OPORTUNIDADES DO S&OP	47
2.2.3	PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO	48
2.2.4	EXECUÇÃO	49
2.3	PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO	50
2.4	INDICADORES DE DESEMPENHO OPERACIONAIS E FINANCEIROS	59
2.4.1	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO	60
2.4.2	INDICADORES OPERACIONAIS	61
2.4.3	INDICADORES FINANCEIROS	62
2.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	63
3	INTRODUÇÃO AO ESTUDO DE CASO	64
3.1	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	64
3.1.1	OS PRODUTOS	65
3.1.1.1	ESTRUTURA DE AGREGAÇÃO	66
3.1.1.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	68
3.1.2	O PROCESSO PRODUTIVO	70
3.1.3	O PROCESSO DE PLANEJAMENTO DE VENDAS E OPERAÇÕES	73
3.1.4	ANÁLISE DE ESTOQUES	76
3.1.5	PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO E EXECUÇÃO	77
3.1.6	MEDIÇÃO DO DESEMPENHO	79

4	MODELO DE OTIMIZAÇÃO DO MIX DE PRODUTOS	84
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	84
4.2	FORMULAÇÃO DO MODELO	86
4.2.1	APRESENTAÇÃO DAS VARIÁVEIS	88
4.2.1.1	ÍNDICES	89
4.2.1.2	PARÂMETROS	89
4.2.1.3	VARIÁVEIS DE DECISÃO	91
4.2.1.4	MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR	92
4.3	APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO	95
4.3.1	OBTENÇÃO DA DEMANDA	95
4.3.2	OBTENÇÃO DO ESTOQUE INICIAL	96
4.3.3	OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS FINANCEIROS	97
4.3.4	FORMAÇÃO DAS RESTRIÇÕES	97
4.3.5	LÓGICA DE PLANEJAMENTO	99
4.4	RESULTADOS OBTIDOS	99
4.4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	100
4.4.2	COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS COM DEMANDA RESTRITA	101
4.4.2.1	ANÁLISE DE VENDAS	101
4.4.2.2	ANÁLISE DA PRODUÇÃO E ESTOQUES	102
4.4.2.3	COMPARAÇÃO DE RESULTADOS	103
4.4.3	COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS COM DEMANDA INCREMENTADA EM 10%	104
4.4.3.1	ANÁLISE DE VENDAS, PRODUÇÃO E ESTOQUES	105
4.4.4	IMPACTO NOS INDICADORES OPERACIONAIS	107
4.4.5	IMPACTO NOS INDICADORES FINANCEIROS	108
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
5.1	CONCLUSÕES	109
5.2	RECOMENDAÇÕES	111
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

1 INTRODUÇÃO

Em um ambiente empresarial de competição intensa, a corrida por vantagens competitivas torna-se cada vez mais fundamental para que as empresas mantenham-se robustas e em crescimento. Considerando-se os grandes ganhos gerados pelas iniciativas relacionadas à Qualidade Total e ao desenvolvimento de produtos, as vantagens geradas por diferenciação tecnológica e confiabilidade dos produtos têm se tornado em alguns mercados cada vez mais tênues, em especial os que possuem produtos em vias de comoditização. Assim, a busca por ganhos amplia seu escopo para temas antes não totalmente explorados, como a logística e o gerenciamento da cadeia de suprimentos. Os esforços por ganhos nestas áreas fazem com que as empresas reduzam seus custos e se diferenciem por fatores que crescem em importância na percepção dos clientes, como a rapidez, a confiabilidade e a flexibilidade de entrega.

Dentro do espectro de assuntos tratados no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, o Planejamento da Produção se posiciona de maneira central, atuando como pivô entre o atendimento dos clientes e o fornecimento de matérias-primas.

Assim, o estudo de métodos de geração de planos de produção que tragam ganhos para cadeia de suprimentos possui importância evidente, dado que o impacto gerado por um plano eficiente atinge diversas pontas da cadeia, como o atendimento de pedido de clientes, a compra assertiva de matérias-primas, a administração de estoques e até mesmo a distribuição de produtos, entre outros impactos.

Além de influenciar a operação, o plano de produção também está ligado com os resultados financeiros obtidos pela empresa. Ao se realizar a escolha correta do plano, pode-se minimizar a necessidade de utilização de horas-extras, as quais impactam o lucro operacional da empresa, assim como se pode controlar os níveis de estoques, os quais impactam diretamente a geração de fluxo de caixa e o retorno sobre os ativos.

Quando associado aos processos de gerenciamento do portfólio de produtos e de clientes, o planejamento da produção pode adquirir uma dimensão estratégica, ao atuar com ferramenta para a escolha do melhor mix de produtos a ser produzido.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Dentro do contexto apresentado, o trabalho desenvolvido nesta dissertação propõe a utilização da programação linear para se desenvolver um modelo de otimização do mix de produção de médio prazo, a fim de se obter visão integrada dos planejamentos de vendas, produção e estoques que traga o maior retorno à empresa.

A literatura sobre este problema, usualmente conhecido como problema de planejamento agregado da produção, é vasta, e em especial no que se refere à construção de modelos conceituais. Entretanto, o tema carece de aplicações práticas e de análise de resultados contrapostos a outros métodos. O presente trabalho pretende desenvolver um estudo de caso no qual se aplica um modelo de planejamento agregado da produção adaptado a situação específica da empresa Embraco S.A., que atua no setor metal-mecânico.

Os resultados obtidos pelo modelo desenvolvido são analisados e comparados ao sistema de planejamento corrente da empresa, a fim de se validar a aplicação proposta.

1.2 PROBLEMA ABORDADO

O problema abordado consiste na geração de planos agregados de produção, vendas e estoques que sejam viáveis e que maximizem os ganhos da empresa.

Por agregado entende-se que os produtos e clientes não serão tratados no nível em que ocorre a venda final, mas sim agrupados por critérios de similaridade para que o número de variáveis necessárias para o planejamento seja menor e o problema em si seja simplificado.

Por viável entende-se que os planos gerados devem contemplar todas as restrições existentes no sistema, sejam elas restrições de fábrica, restrições quanto ao atendimento de clientes estratégicos, restrições de capacidade de armazenamento, entre outras.

1.3 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo do trabalho é apresentar uma aplicação ilustrativa, em uma indústria brasileira do setor metal-mecânico, de um modelo de programação linear para o planejamento de produção agregado em dois estágios, sobre múltiplos períodos. O modelo de otimização cria um plano de produção viável que maximiza os lucros marginais da empresa ao: escolher o melhor mix de produtos e clientes; definir os níveis de estoques a cada período; definir a utilização de horas-extras para cada recurso produtivo em cada período.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são os seguintes:

1. Revisar a literatura existente referente aos temas gerenciamento da cadeia de suprimentos, planejamento colaborativo, indicadores de desempenho e modelos de otimização do planejamento da produção.
2. Apresentar o caso de uma empresa real que possua estrutura fabril e gerencial passível da aplicação de um modelo de otimização.
3. Desenvolver um modelo de programação linear com o fim de gerar os planos agregados de vendas, produção e estoques para o médio prazo otimizados com relação aos critérios financeiros adotados.
4. Adaptar o modelo a situação da empresa estudada e aplicá-lo, analisando os resultados obtidos.
5. Comparar os resultados obtidos com o modelo de programação linear e o modelo corrente de planejamento.

6. Analisar o impacto da utilização do modelo no caso de uma situação de demanda superior à capacidade fabril instalada, no qual uma decisão sobre a escolha do mix de produtos a ser produzido e do grupo de clientes a ser atendido deve ser tomada.
7. Avaliar os impactos da utilização do modelo de programação linear sobre os indicadores operacionais e financeiros.
8. Analisar criticamente os resultados obtidos com o trabalho e sugerir melhorias e evoluções.

1.5 MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa a ser realizada classifica-se dentro do tipo pesquisa aplicada, uma vez que pretende adaptar um modelo de programação linear reconhecido pela comunidade acadêmica à uma situação específica.

O procedimento utilizado para a realização da pesquisa consiste da revisão da literatura especializada sobre o tema e subsequente coleta e tratamento de dados para a formulação do modelo matemático. Por fim, o modelo é testado, e tem seus resultados comparados como os resultados obtidos através da forma corrente de planejamento.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação está estruturada em capítulos, conforme segue:

O capítulo introdutório apresenta os objetivos do trabalho o contexto em que o trabalho está inserido, descreve o problema abordado, e introduz os objetivos gerais e específicos e o método de pesquisa utilizado para alcançá-los.

No Capítulo 2 faz uma revisão bibliográfica sobre gerenciamento da cadeia de suprimentos, no qual se apresenta o sistema de planejamento e controle da produção com especial ênfase nos conceitos relacionados ao modelo de planejamento *Sales and Operations Planning* (S&OP) e às aplicações existentes

para resolver o problema do planejamento agregado da produção. Por fim, se introduz a revisão da literatura sobre indicadores de desempenho operacionais e financeiros.

No capítulo 3 se apresenta a empresa na qual o estudo de caso será desenvolvido, seus produtos, processos produtivos e modelo de planejamento e avaliação do desempenho. O objetivo deste capítulo é fornecer as informações necessárias para desenvolver o modelo de programação linear para o problema abordado nesta dissertação.

O capítulo 4 apresenta o modelo matemático para a obtenção de um plano de produção que maximize os ganhos marginais da empresa. Neste capítulo se descreve com detalhes as variáveis de decisão, parâmetros e índices utilizados no modelo. Por fim, se apresenta uma aplicação prática do modelo e uma análise comparativa deste com os resultados obtidos através do modelo corrente em uso na empresa. Os impactos nos indicadores operacionais e financeiros também são apresentados nesta análise.

O Capítulo 5 apresenta as considerações finais desta dissertação. O objetivo é listar os resultados obtidos e analisar a contribuição do trabalho para o meio acadêmico, além de propor linhas de pesquisa que aprofundem o tema estudado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica sobre os temas Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, Sistemas de Planejamento e Controle da Produção, Planejamento Agregado da Produção e Indicadores de Desempenho.

2.1 GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Esta seção objetiva apresentar os conceitos associados ao Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, sua evolução histórica e os riscos associados a ela.

2.1.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA

A necessidade de transportar mercadorias de forma mais eficiente, ou seja, de melhorar o desempenho dos processos logísticos, devido à busca de novos mercados pelas indústrias que emergem da Revolução Industrial Inglesa (PIRES, 2004) pode ser considerado como o marco inicial do desenvolvimento da disciplina de logística.

Cinco etapas principais na evolução logística são apontadas por FLEURY *et al.* (2000).

A primeira etapa, “do campo ao mercado”, localizada no início do século XX, fundamentalmente consistia no escoamento da produção agrícola. LAMBERT *et al.* (1998) destaca como marco desta época a publicação, por John F. Crowell em 1901, de um tratado sobre os custos e fatores que afetam a distribuição dos produtos agrícolas, o qual é considerado um importante ensaio sobre o caráter científico do estudo da logística e de seus custos interligados.

A segunda etapa, denominada de “funções segmentadas” desenvolveu-se especialmente dos anos 40 aos 60, caracterizava-se pela especialização e ênfase nos desempenhos funcionais.

Neste período, muitas inovações conceituais foram introduzidas, como as metas na satisfação do cliente, enfatizadas pelas empresas nos anos 50. Assim, para LAMBERT *et al.* (1998), o serviço ao cliente se tornou o fundamento da gerência logística.

Outra importante inovação foi a introdução, por Howard T. Lewis em 1956, do conceito de análise do custo total, em que a redução do custo total não é necessariamente obtida através da redução de todos os custos parciais (LAMBERT *et al.*, 1998).

De acordo com BALLOU (2001), o desenvolvimento do conceito de custo-total foi o evento-chave para que ocorresse a decolagem para a teoria e a prática da logística no período entre os anos 50 e 60. Outras condições-chave foram identificadas para o desenvolvimento da disciplina, sendo elas: (1) alterações nos padrões e atitudes da demanda dos consumidores, (2) pressão por custos nas indústrias, (3) avanços na tecnologia dos computadores e (4) influências do trato com a logística militar.

Na terceira etapa, a partir de 1960, inicia a era das “funções integradas”. A preocupação maior é integrar a logística interna, na qual a ênfase está no conceito de custo total e no tratamento sistêmico. Nesta época também se deu a expansão do uso de modelagem matemática, com auxílio computacional, como ferramenta para tratar problemas logísticos, que antes eram tratados apenas com métodos intuitivos (BALLOU, 1993).

Segundo LAMBERT *et al.* (1998), o crescimento da integração logística neste período se deve, entre outros fatores: (1) ao desenvolvimento da abordagem de sistemas e do conceito da análise do custo total, ou seja, a análise realizada com o auxílio da computação dos custos totais, sem o enfoque de obter aparentes economias em setores isolados; (2) a crescente influência do serviço ao cliente e (3) o novo enfoque em relação aos canais de marketing.

FLEURY (2000) denomina esta época como “os anos de maturidade”, dada a evolução na logística integrada: a distribuição física unida ao suprimento físico. É neste período que se inicia o uso dos computadores na gerência logística (LAMBERT *et al.*, 1998), identificando-se também o início do desenvolvimento das técnicas de MRP - Planejamento de Necessidades de Materiais (*Material*

Requirements Planning), MRP II - Planejamento dos Recursos de Manufatura (*Manufacturing Resource Planning*), DRP - Planejamento dos Recursos de Distribuição (*Distribution Requirements Planning*), DRP II - Planejamento Enxuto dos Recursos de Distribuição (*Distribution Resources Planning*), Kanban e *Just in Time* (JIT). A evolução destas técnicas permitiu uma maior integração logística, culminando nas tecnologias de ERP (*Enterprise Resource Planning*) e SCM (*Supply Chain Management*).

A Figura 1 apresenta de maneira esquemática a evolução das técnicas de planejamento em direção à integração da cadeia de suprimentos.

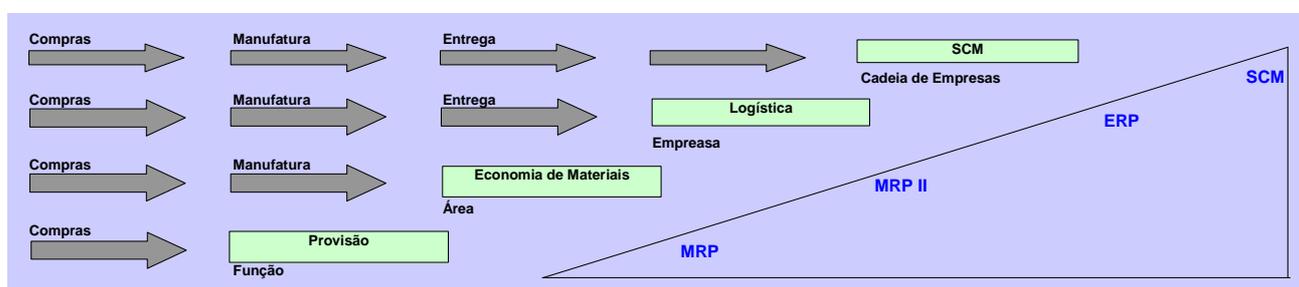


Figura 1 - Evolução das Técnicas de Planejamento (BEYER, 2004).

Nesta época, os profissionais de logística começaram a organizar-se de agremiações. No ano de 1963 foi fundada a National Council of Physical Distribution Management com o objetivo de congrega profissionais de todas as áreas logísticas e promover educação formal, acesso e estímulo à pesquisa e treinamento direcionado. Em 1985 esta organização muda de nome para Council of Logistics Management (CLM), e em 2005 assume o nome de Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP).

A quarta etapa, centrada na década de 80, foi rotulada de “foco no cliente”. Esta preocupação com o cliente leva ao estudo da produtividade e do custo dos estoques.

A partir de 1980, iniciam-se várias mudanças: (1) políticas e legais, especialmente as desregulamentações nos transportes americanos; (2) tecnológicas, em especial nas comunicações: uso de satélite, telefone celular, EDI - Intercâmbio Eletrônico de Dados (*Electronic Data Interchange*), entre outros; (3) mudanças estruturais nos negócios, tais como grande reorganização das empresas

americanas, subcontratações e alianças estratégicas; e (4) Globalização (com o rompimento das fronteiras ao comércio internacional) (LAMBERT *et al.*, 1998).

BOWERSOX & CLOSS (2001) assinalam também o uso intenso de microcomputadores que constituem a grande escala nos movimentos de qualidade (TQM - *Total Quality Management*) e nas parcerias e alianças.

PIRES (2004) destaca o surgimento do modelo japonês como um fator determinante para o desenvolvimento da gestão da cadeia de suprimentos. Algumas práticas e procedimentos deste modelo são: a redução dos tempos de *setup*, o foco em um mix reduzido de produtos, a produção puxada via *kanban*, a racionalização e gestão dos processos logísticos e o desenvolvimento e gestão de relacionamentos colaborativos com fornecedores.

A última etapa, chamada de “logística como elemento diferenciador” tem o foco na estratégia logística como meio de obter vantagem competitiva, levando ao surgimento do conceito de gerenciamento da cadeia de suprimentos (*supply chain management*) que busca a integração externa, os relacionamentos, as alianças e parcerias estratégicas ao longo de toda a cadeia de suprimentos.

A partir de 1990, acentua-se a integração logística, em especial a ampliação das subcontratações e alianças para que as empresas focalizem seus recursos em suas capacidades centrais (*core capabilities*) (LAVALLE, 1995).

Segundo PIREZ (2004), esta época também tem um caráter revolucionário, devido ao desenvolvimento da chamada Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) e a expansão da Internet. Tais tecnologias permitem uma grande integração de todas as múltiplas funções da gestão empresarial, além da possibilidade de comunicação global instantânea e ao acesso a um volume de informações nunca antes atingido.

O mesmo autor destaca o surgimento, em função do crescente processo de globalização, nos anos 1990 da manufatura de classe mundial (*world class manufacturing*), lógica sob a qual é importante entender como se define o nível de serviço em um mercado com um conjunto crescente de exigências, independente do local e condições de produção.

Hoje, a customização em massa vem se mostrando como um dos modelos de produção a serem adotados como padrão no futuro. Este modelo visa compatibilizar

a produção em massa e a produção customizada de forma complementar (PIRES, 2004).

2.1.2 CONCEITOS DE LOGÍSTICA E GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Segundo a definição do Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP), gerenciamento logístico é a parte da Gestão da Cadeia de Suprimentos que planeja, implementa e controla de maneira eficiente e efetiva os fluxos diretos e reversos, a armazenagem de bens, os serviços e informações relacionadas entre o ponto de origem e o ponto de consumo a fim de atender os requerimentos dos clientes. Para BALLOU (2001), toda a responsabilidade pelas atividades de movimentação e armazenagem que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final é atribuída à logística, assim como os fluxos de informações que colocam os produtos em movimento, com o propósito de obter níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável.

LAMBERT & STOCK (1998) listam como atividades logísticas o serviço ao cliente, processamento de pedido, distribuição de comunicação, controle de estoque, previsão de vendas, transporte e tráfego, armazenagem, seleção de localização e projeto de armazéns, manipulação de materiais, compras, pós-venda, empacotamento, descarte e manipulação de mercadorias retornadas (logística reversa). A função logística também inclui o planejamento de materiais e o planejamento da produção. Assim, esta atividade está envolvida em todos os níveis de planejamento e execução: estratégico, tático e operacional.

Nos últimos anos o conceito de gerenciamento logístico tem sido substituído por um conceito mais amplo, o de gerenciamento da cadeia de suprimentos.

Segundo BEYER (2004), o impulso para a criação do conceito de gerenciamento da cadeia de suprimentos surge da pressão permanente para que as empresas encontrem novos caminhos para utilizar o seu potencial para otimizar o processo de criação de valor da cadeia de suprimentos em que a empresa está inserida – desde os fornecedores, passando pela cadeia interna da empresa até o

usuário final. A Figura 2 apresenta outros fatores de influência que impulsionaram o desenvolvimento do gerenciamento da cadeia de suprimentos.

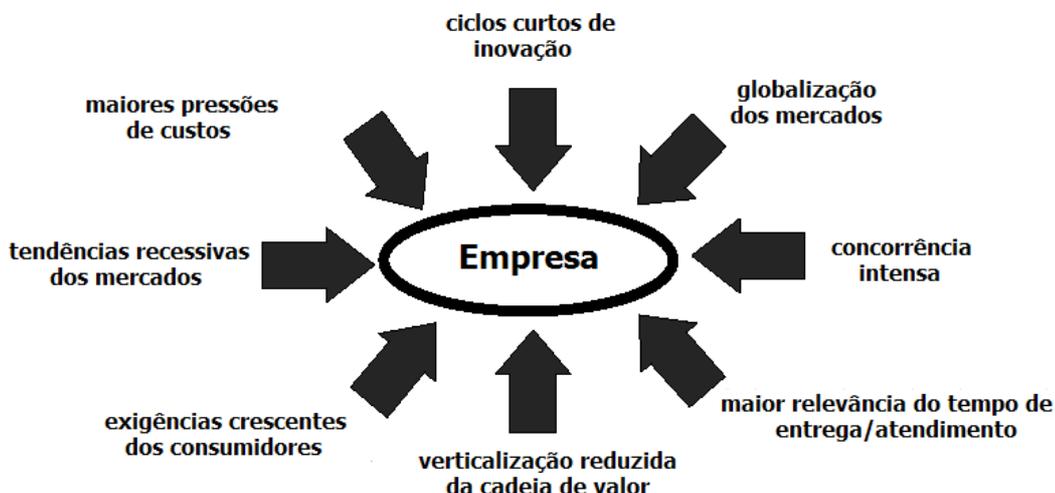


Figura 2 – Fatores de influência da empresa. Adaptado de BEYER (2004).

De acordo com a definição do CSCMP, a Gestão da Cadeia de Suprimentos (SCM) é uma função integradora com a responsabilidade prioritária de conectar funções e processos de negócios dentro da empresa e entre empresas da cadeia em um modelo de negócio coeso e de alto desempenho. Além de todas as atividades de gerenciamento logístico, inclui também as operações de manufatura e orienta a coordenação dos processos e atividades com e entre o marketing, vendas, desenvolvimento de produtos, finanças e tecnologia da informação (TI).

A definição adotada pelo Global Supply Chain Forum afirma que o gerenciamento da cadeia de suprimentos é a integração dos processos-chave relacionados à oferta produtos, serviços e informações que adicionam valor aos clientes e outros *stakeholders*, desde os usuários finais até os fornecedores primários (LAMBERT, 2004).

Segundo o dicionário da APICS (American Production and Inventory Control Society) uma Cadeia de Suprimentos pode ser definida como: (1) os processos que envolvem fornecedores-clientes e ligam empresas desde a fonte inicial de matéria-prima até o ponto de consumo do produto acabado e (2) assume as funções dentro e fora de uma empresa que garantem que a cadeia de valor possa fazer e providenciar produtos e serviços aos clientes (COX *et al.*, 1995).

A Figura 3 apresenta uma cadeia de suprimentos típica.

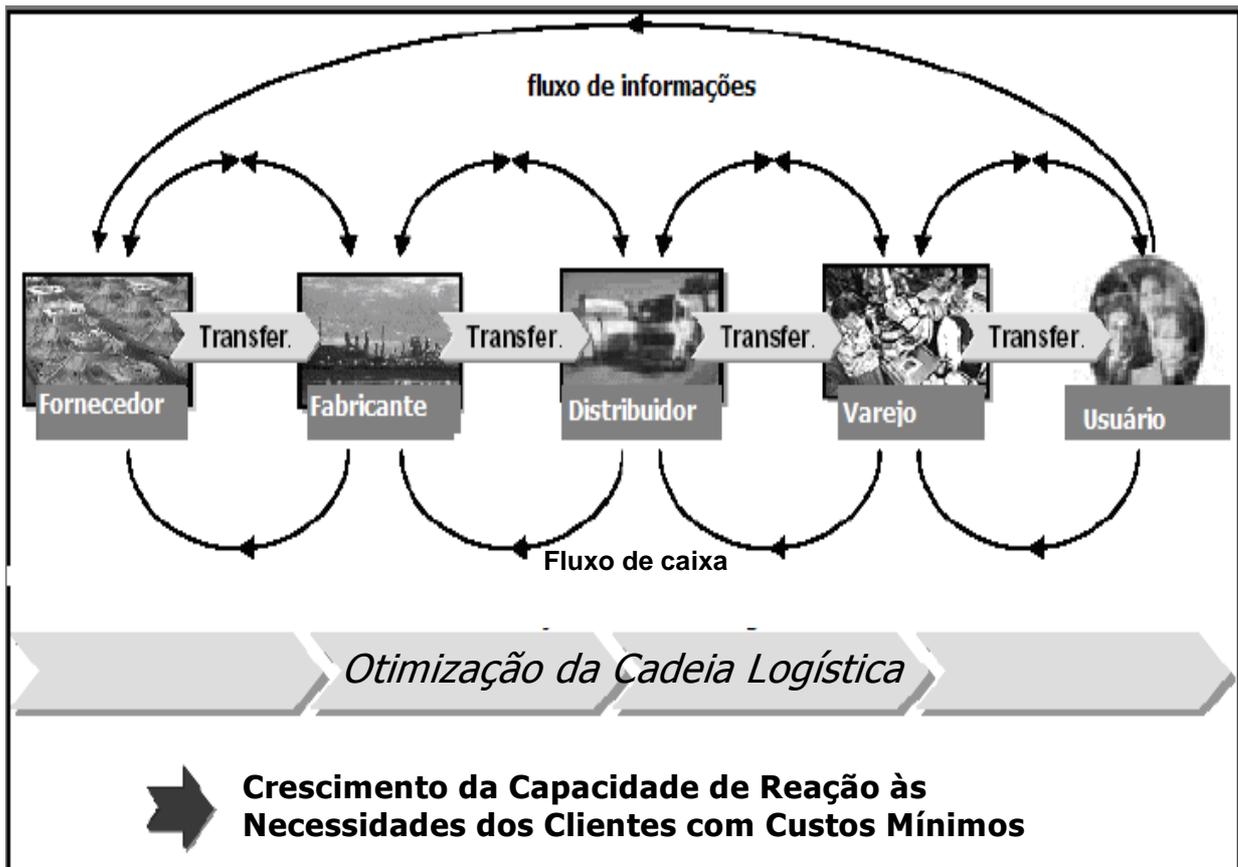


Figura 3 – Cadeia de Suprimentos (BEYER, 2004).

Para PIRES (1998), a gestão da cadeia de suprimentos (SCM) pode ser considerada como uma visão expandida, atualizada e, principalmente, holística da administração de materiais tradicional que abrange toda a gestão da cadeia produtiva de uma forma estratégica e integrada.

Em contraste às definições que discutam a amplitude da cadeia, encontra-se a afirmação de COOPER (1994) em que a gestão da cadeia de suprimentos foi desenvolvida exclusivamente para a gestão de estoque, ou seja, a idéia era lidar com o estoque da maneira mais eficiente possível, diminuindo assim o custo total ao longo da cadeia.

Esta definição reduz a complexidade da cadeia, limitando a controles operacionais, não menos importantes, porém não considerando o caráter estratégico da atividade.

MARTINS & CAMPOS (2000) afirmam que, “o gerenciamento da cadeia de suprimentos nada mais é do que administrar o sistema de logística integrada da empresa”. Portanto, a empresa deve dispor de tecnologias avançadas e, utilizar

principalmente o gerenciamento das informações e as pesquisas organizacionais para planejar e controlar suas diversas variáveis, buscando produzir e distribuir produtos e serviços para satisfazer o cliente.

Três importantes aspectos prevalecem em todos os temas tratados pelo gerenciamento da cadeia de suprimentos (CHRISTOPHER, 1997):

- a) Suprimentos: está relacionado ao gerenciamento das entradas, consumos, e estoques de matéria-prima e componentes - compreende os pedidos aos fornecedores, o transporte, a armazenagem e a distribuição.
- b) Produção: está relacionada à administração dos estoques de produtos semi-acabados no processo de fabricação - envolve o fluxo de materiais dentro da fábrica, os depósitos intermediários, o abastecimento do posto de trabalho e a expedição do produto acabado.
- c) Distribuição: está relacionada à administração dos canais de distribuição e das demandas dos clientes – envolve o gerenciamento de estoques de produtos acabados, sua armazenagem, transporte e entrega ao cliente.

Dadas essas definições, é importante ressaltar as diferenças conceituais entre a logística e a gestão da cadeia de suprimentos - SCM. Enquanto a logística aspira à otimização de cadeia de uma empresa, a SCM adota uma perspectiva interorganizacional, em que se procura a otimização do negócio através de todos os níveis de criação de valor, sejam eles internos ou entre empresas (BEYER, 2004). Em resumo, a logística engloba na visão atual as seguintes áreas: Compras, Transporte, Armazenagem, Distribuição e o Planejamento da Produção e o SCM envolve todas as citadas anteriormente mais finanças, clientes e fornecedores.

LUMMUS & VOKURKA (1999) apresentam três razões principais para o aumento de interesse sobre SCM nos anos 90, que podem ser sintetizadas da seguinte forma:

1. as empresas estão cada vez menos verticalizadas, cada vez mais especializadas e procurando fornecedores capazes de abastecê-las com componentes de alta qualidade a um baixo preço;
2. o crescimento da competição no contexto doméstico e internacional;

3. o entendimento de que a maximização do desempenho de um elo da SCM está distante de garantir seu maior desempenho.

BEYER (2004) ressalta que o Gerenciamento da Logística só se dará de maneira eficiente se ocorrer uma mudança de enfoque em direção a uma adaptação à, cada vez maior, força dos clientes. Esta mudança pode ocorrer através do aumento da velocidade de logística, do uso de técnicas flexíveis e menos custosas de produção, da individualização da logística (*customizing*), do trabalho intensivo em conjunto com operadores logísticos e de uma nova infra-estrutura para o transporte de mercadorias.

A gestão eficiente da logística, de acordo com CHRISTOPHER (1997), requer planejamentos e controles orientados a processo para todos os bens materiais de toda a cadeia de suprimentos, visão global, integração de todos os parceiros, transparência, diminuição do estoque, diminuição das barreiras de informação, controle de estoque através de informações e sincronização entre demandas e suprimentos. O autor ainda cita como pontos-chave do gerenciamento logístico o encurtamento do fluxo logístico, a melhoria da visibilidade do fluxo logístico e o gerenciamento da logística como um sistema.

Oito processos principais precisam ser gerenciados e integrados para que o gerenciamento da cadeia de suprimentos obtenha sucesso (LAMBERT, 2004). São eles:

1. Gerenciamento do Relacionamento com os Clientes (*Customer Relationship Management – CRM*): estrutura a maneira com que o relacionamento com os clientes é desenvolvido e mantido. O objetivo é segmentar os clientes baseando-se no seu valor e os fidelizar oferecendo-lhes produtos e serviços personalizados.
2. Gerenciamento do Serviço ao Cliente: fornece ao cliente informações em tempo real sobre datas de entrega e disponibilidade de produtos.
3. Gerenciamento da Demanda: é o processo de balanceamento entre as requisições dos clientes e as restrições de entrega. O gerenciamento da demanda ainda objetiva a redução das incertezas e variabilidades da cadeia e a promoção de fluxos logísticos eficientes e sincronizados.

4. Atendimento de Ordens: abrange as atividades necessárias para atender aos pedidos dos clientes ao menor custo de entrega.
5. Gerenciamento do Fluxo de Manufatura: são todas as atividades relacionadas a obtenção, implementação e gerenciamento da flexibilidade da manufatura e movimentação de produtos através da cadeia.
6. Gerenciamento do Relacionamento com os Fornecedores (*Supplier Relationship Management - SRM*): Semelhante ao CRM, porém com foco no relacionamento com fornecedores.
7. Desenvolvimento e Comercialização de Produtos: está relacionado ao trabalho conjunto com os clientes e fornecedores para o desenvolvimento de produtos e sua comercialização.
8. Gerenciamento do Retorno: está relacionado as atividades associadas com o retorno de produtos e logística reversa.

A Figura 4 apresenta de forma estruturada os processos propostos por Lambert.

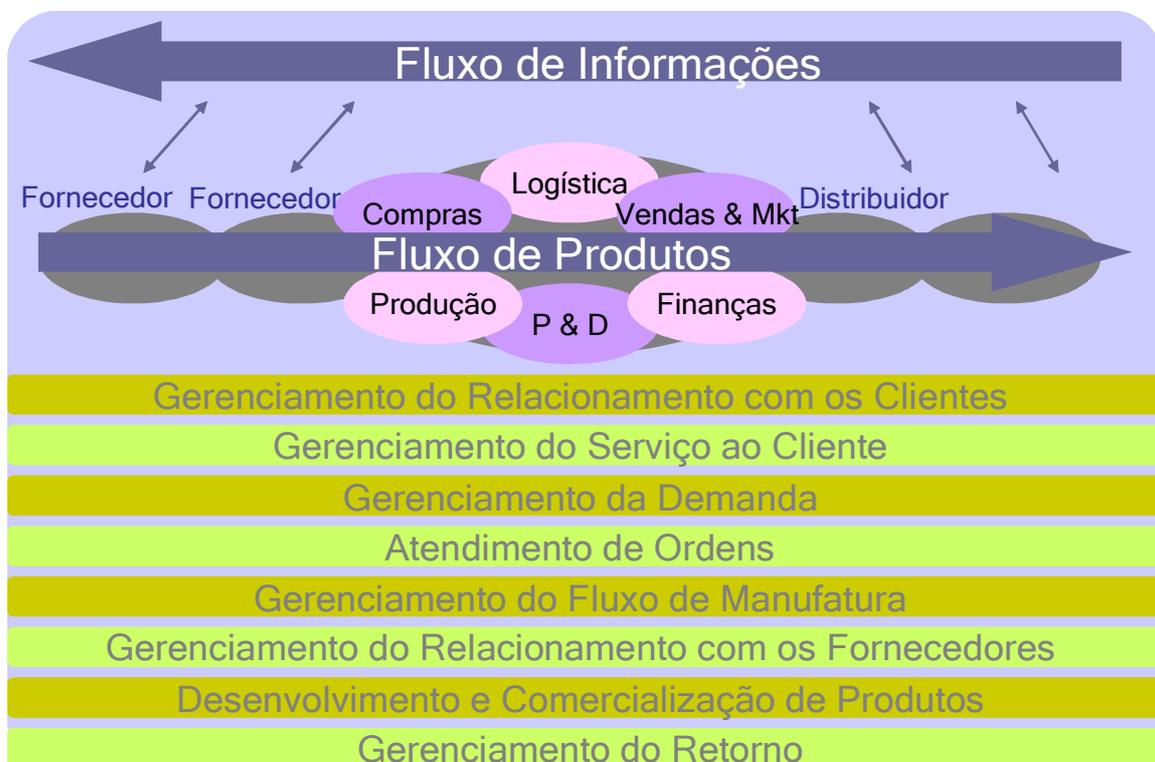


Figura 4 – Processos de Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. Adaptado de Lambert *et al.* (1998).

Para que a SCM atinja seus objetivos e potenciais como resposta aos desafios de mercado, deve incluir as seguintes metas: redução de estoque em toda a cadeia de suprimentos, encurtamento dos *lead times*, aumento da capacidade e confiabilidade de entrega, melhoria da utilização da capacidade, introdução veloz no mercado e aumento da flexibilidade.

Alguns pré-requisitos devem ser preenchidos para que os objetivos da SCM sejam atingidos. BEYER (2004) destaca a cooperação entre os parceiros, transparência dos processos de negócios e um sistema de informação integrado entre as empresas parceiras. Para PIRES (2004), estes tópicos formam os eixos de atuação da SCM, conforme ilustra a Figura 5.

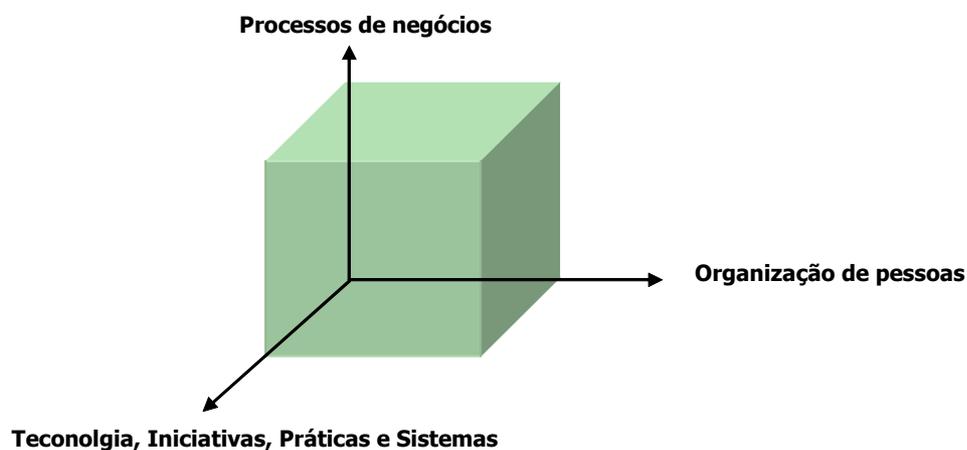


Figura 5 – Eixos de atuação da SCM (PIRES, 2004).

O Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, portanto, adquire a função de interligar as atividades exercidas pelos três eixos, de forma a aumentar a inteligência da cadeia, sua velocidade de resposta e melhor posicionar a empresa de maneira estratégica no mercado.

2.1.3 RISCOS ASSOCIADOS À CADEIA DE SUPRIMENTOS

Os riscos associados à cadeia de suprimentos são aqueles que ameaçam o fluxo de materiais e de informações, desde os fornecedores de matéria-prima até a entrega do produto ao cliente final.

O'KEEFFE (2004) classifica os riscos em: riscos relacionados à integração entre os planejamentos de demanda e suprimentos; riscos relacionados aos estoques; riscos de segurança e privacidade das informações; riscos devido à ineficiência de processos; riscos relacionados à introdução e ao ciclo de vida de produtos; riscos de integridade e disponibilidade das informações; riscos relacionados à satisfação dos clientes e aos serviços oferecidos e diversos riscos associados à interrupção da cadeia de suprimentos.

O relatório sobre vulnerabilidade na cadeia de suprimentos da Cranfield School of Business (2002) divide os riscos em dois grupos: riscos internos e externos a cadeia de suprimentos.

Os riscos externos englobam catástrofes naturais, ataques terroristas e outros acontecimentos sobre os quais as organizações participantes da cadeia de suprimentos não possuem controle.

Riscos internos são causados por falhas na integração e cooperação entre as entidades pertencentes à cadeia de suprimentos. Podem ser divididos como riscos intra-organização, ou seja, relacionados às atividades e interfaces da organização em si e extra-organização, associados às relações entre diferentes empresas da cadeia.

LEE & CHRISTOPHER (2003) classificam os riscos em quatro grupos, ligados aos impactos causados na cadeia de suprimentos.

O primeiro grupo contempla os riscos financeiros. Custos de estoques devido aos riscos de obsolescência, devido à redução de preços para queima de estoques de baixo giro e o risco de ocorrências de rupturas de estoque. Cadeias desbalanceadas podem gerar estoques em excesso ou mix de produtos errado. Por fim, há os riscos de se reprocessar o estoque para torná-lo vendável e de se pagar penalidades pela não-entrega de produtos.

O segundo grupo, risco de "caos", é o resultado de reações exageradas, intervenções desnecessárias, falta de confiança e informações distorcidas na cadeia de suprimentos. Um efeito bastante conhecido decorrente das atividades citadas é o efeito-chicote, ou seja, a distorção crescente das demandas a cada elo da cadeia de suprimentos.

O terceiro grupo, riscos de decisão, está ligado à impossibilidade de se tomar a decisão correta para cada membro da cadeia de suprimentos. Este tipo de risco é consequência direta do caos e nervosismo.

O quarto grupo consiste dos riscos de mercado, que ocorrem devido à perda de oportunidades causada pelo baixo tempo de resposta da cadeia de suprimentos e à inabilidade de adaptação a novas demandas de mercado.

Segundo REY (2005), o conjunto de riscos associados à cadeia de suprimentos forma o quadro de vulnerabilidade da organização, dividido em quatro quadrantes: vulnerabilidade operacional, estratégica, financeira e externa. A vulnerabilidade operacional está ligada à execução das atividades. A estratégica possui relação com o posicionamento da empresa no mercado e perante aos competidores. Vulnerabilidade financeira diz respeito ao ambiente econômico no qual a empresa está inserida. Por fim, a vulnerabilidade externa está relacionada com a ocorrência de catástrofes naturais.

A fim de se representar os riscos da cadeia de suprimentos de maneira abrangente e facilitar o relacionamento deles com suas origens, consequências e com as possíveis soluções ligadas a modelos de planejamento colaborativo, se decidiu adotar uma forma de classificação híbrida, utilizando elementos de REY (2005), LEE & CHRISTOPHER (2003) e da Cranfield School of Business (2002). A Tabela 1 apresenta o modelo de abordagem dos riscos.

Riscos internos			Riscos externos		
Financeiros	Operacionais	Estratégicos	Financeiros	Operacionais	Estratégicos
Estoques	Risco de "caos"	Risco de mercado	Flutuação do câmbio	Catástrofes	Violações éticas
Redução de preços	Risco de decisão	Perda de <i>marketshare</i>	Flutuação das taxas de juros	Terrorismo	Desacordos contratuais
Penalidade por não entregas	Distorção das informações	Relação com fornecedores	Instabilidade nos mercados	Assaltos	Novos competidores

Fretes aéreos	Falta de confiança	Relação com clientes	Instabilidade política	Greves	Fusões e consolidações
---------------	--------------------	----------------------	------------------------	--------	------------------------

Tabela 1 – Riscos da Cadeia de Suprimentos

Com o objetivo de se combater os riscos e suas respectivas causas, as empresas podem adotar políticas de gerenciamento de riscos. A Cranfield School of Business (2002) define o gerenciamento de riscos na cadeia de suprimentos como “a identificação e gerenciamento dos riscos internos e externos a cadeia de suprimento através de uma abordagem coordenada entre os membros da cadeia a fim de se reduzir a vulnerabilidade como um todo”. REY (2005) apresenta o ato de gerenciar o risco como um conjunto de fatores que devem ser considerados a partir do momento em que a empresa toma consciência da vulnerabilidade da cadeia de suprimentos. A autora destaca a identificação dos processos de negócios essenciais, a identificação dos riscos, suas causas e conseqüências, a visibilidade das fontes de risco, a elaboração de planos de contingência, a avaliação dos riscos e verificação dos planos de contingência dos fornecedores e a análise entre o custo e os benefícios de se proteger contra os riscos identificados.

Para atingir o objetivo de mitigar os riscos na cadeia de suprimentos, a política de gerenciamento de riscos deve considerar ainda os seguintes aspectos, ressaltados pela a Cranfield School of Business (2002): a importância do reconhecimento dos riscos entre a alta gerência e do impacto das mudanças estratégicas no negócio; a integração das atividades de gerenciamento de riscos ao gerenciamento da cadeia de suprimentos; e o entendimento de cada indivíduo sobre os riscos da cadeia e sobre seu papel no processo de evitá-los. REY (2005) propõe a utilização de algumas ferramentas para a minimização dos riscos, entre elas a utilização de sistemas colaborativos, a elaboração de políticas de estoques, o desenvolvimento de uma cultura de gerenciamento de risco, a aplicação de tecnologias para o controle de eventos, o desenvolvimento de cenários, a padronização das plantas, produtos e componentes e a redundância de capacidade fabril e dos sistemas de tecnologia da informação.

Muitos dos riscos apontados podem ser tratados dentro do sistema de planejamento e controle da produção, revisados nas próximas seções.

2.2 SISTEMA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O sistema de planejamento e controle da produção é responsável pelo planejamento e controle do fluxo de materiais através dos processos de manufatura (ARNOLD, 2001). O planejamento apóia o processo de tomada de decisões ao identificar as atividades futuras e selecionar as melhores ou a melhor. Para atingir tal objetivo, o horizonte de planejamento geralmente é classificado em três níveis (STADTLER & KILGER, 2005).

O planejamento de longo prazo, no qual são tomadas as chamadas decisões estratégicas, as quais devem indicar quais as premissas para que a cadeia de suprimentos da empresa evolua de maneira sustentável. As decisões neste horizonte usualmente estão relacionadas ao desenho e à estrutura da cadeia de suprimentos.

O planejamento de médio prazo abrange um horizonte de 6 a 24 meses e possui foco na geração dos planos agregados de vendas e operações, garantindo assim a disponibilidade de recursos e a viabilidade do planejamento no curto prazo.

O planejamento de curto prazo está ligado às atividades necessárias para que os planos de médio prazo sejam executados da maneira mais eficiente possível.

O Sistema de Planejamento e Controle da Produção abrange o médio e curto prazos. Existe, portanto, como uma ferramenta de realização do planejamento estratégico nos níveis tático e operacional.

Deste sistema, fazem parte os planos de vendas e produção de médio prazo, os quais indicam, em um nível macro, o que será produzido e vendido em um período de 12 a 24 meses. Neste processo, também são analisadas as necessidades de investimentos para que as metas estipuladas sejam atingidas. Para que o planejamento de médio prazo seja efetivo, é necessário se observar as restrições de manufatura, mão-de-obra e materiais existentes.

O planejamento de médio prazo se desdobra em um Plano Mestre de Produção no curto prazo. Nesta etapa, o plano é desagregado até o nível de SKU (*Stock Keeping Unit*), ou seja, até o produto final. Do curto prazo também faz parte o MRP, que gera o planejamento de compra de matérias-primas e fabricação de componentes para a montagem final do produto.

A etapa final do sistema de planejamento e controle da produção é chamada de execução. Neste momento, realiza-se o planejamento fino da produção e a liberação das ordens de produção para o chão de fábrica e das ordens de compra para os fornecedores.

A Figura 6 apresenta o processo completo de planejamento.

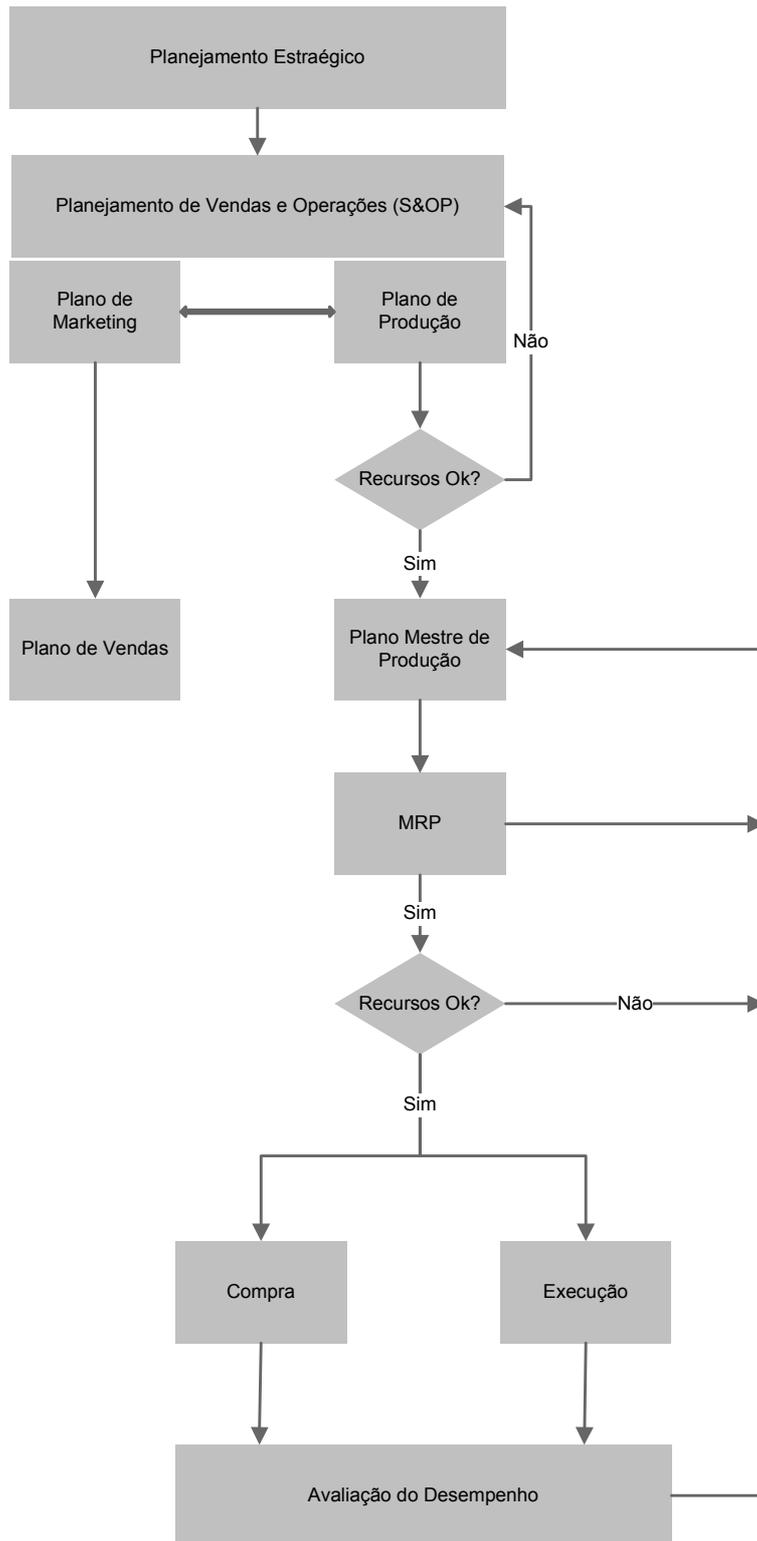


Figura 6 – Processo de Planejamento.

Após a etapa de execução, há a Avaliação do Desempenho, que está ligada ao processo de melhoria do sistema de planejamento e controle da produção e à garantia de seu bom funcionamento.

2.2.1 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO

Segundo PORTER (1998), estratégia é a criação de uma posição única e de valor, envolvendo um grupo de atividades diferentes. Além de criar valor, as atividades devem estar alinhadas entre si, de tal forma que a integração entre elas crie valor para a cadeia inteira.

Dentro do contexto do gerenciamento da cadeia de suprimentos, a criação de valor e o alinhamento entre os processos ocorrem ao se integrar as atividades organizacionais e coordenar os processos (STADTLER & KILGER, 2005).

O gerenciamento da cadeia de suprimentos assume importância vital na execução da estratégia ao realizar as atividades necessárias para que a operação da empresa seja eficiente, como por exemplo, coordenar o transportes, planejar a produção e compra das matérias-primas, gerenciar os estoques e direcionar os processos de atendimento às ordens de vendas.

Ele pode ainda contribuir para que o nível de alinhamento entre as estratégias seja maximizado ao fazer uso de técnicas de otimização aplicadas às diversas atividades associadas ao gerenciamento da cadeia de suprimentos, como, por exemplo, a roteirização das entregas e o planejamento de produção.

Dentre as tarefas do planejamento estratégico associadas ao sistema de planejamento e controle da produção estão a elaboração de uma previsão de longo prazo, em que se devem incluir os planos de futuros desenvolvimentos de produtos e informações relacionadas ao ciclo de vida dos produtos atuais, o potencial de desenvolvimento de novos clientes ou regiões de vendas, as condições econômicas e políticas da região em estudo e o posicionamento dos competidores.

2.2.2 PLANEJAMENTO DE MÉDIO-PRAZO (S&OP)

O planejamento de médio prazo conecta os objetivos do planejamento estratégico à execução das vendas e da produção, através de projeções de vendas, produção e estoques, agregadas em grupos de produtos em um horizonte de um a

dois anos. Segundo ARNOLD (2001), o planejamento de médio prazo também é responsável por definir a necessidade e disponibilidade de recursos a cada período.

Para que o planejamento de médio prazo seja eficaz e eficiente é recomendável que exista colaboração entre os diversos departamentos da empresa envolvidos no processo de fabricação e vendas. Para criar ambiente propício a cooperação, existem métodos de planejamento chamados colaborativos, como o S&OP – *Sales and Operations Planning* - e o CPFR – *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment*. Ambos modelos partem do pressuposto que o objetivo da cadeia de suprimentos, externa ou interna, é comum aos departamentos ou empresas envolvidas.

Para que a colaboração seja atingida de maneira plena, alguns requisitos são necessários, entre eles a confiança entre os parceiros, sejam eles internos ou externos. A falta de confiança geralmente leva as empresas a perderem visibilidade sobre as informações existentes na cadeia, e as faz procurar meios de se proteger, seja construindo estoques, reservando capacidade ou não compartilhando informações. Todas estas atitudes geram riscos em algum elo cadeia, que por sua vez se propagam para os demais elos e retroalimentam o risco gerado no elo inicial (LEE & CHRISTOPHER, 2003). A adoção de um modelo de planejamento colaborativo melhora o compartilhamento das informações, assim como os processos de planejamento e de execução das atividades, e conseqüentemente diminui os riscos associados a falta de confiança na cadeia de suprimentos.

Este trabalho abordará o S&OP como parte integrante do sistema de planejamento e controle da produção.

DWARAKNATH *et al.* (2002) definem o S&OP como “um processo que integra o planejamento de marketing focado no cliente para produtos novos e existentes com o gerenciamento operacional da cadeia de suprimentos. O processo agrega todos os planos para o negócio (vendas, marketing, desenvolvimento, manufatura, compras e financeiro) em um conjunto integrado de planos. O processo concilia os planejamentos de produção, demanda e novos produtos nos níveis detalhados e agregados, e os conecta com o planejamento estratégico. É o relatório definitivo dos planos da empresa cobrindo um horizonte suficiente para planejar recursos e apoiar o processo anual de planejamento estratégico. Quando corretamente executado,

S&OP conecta o planejamento estratégico com a sua execução e revisa as avaliações de desempenho para melhoria contínua”.

O processo de S&OP opera em ciclos periódicos, nos quais os cenários com as projeções de vendas, operações, estoques e resultados financeiros são atualizados e aprovados pelas áreas que direcionam as tomadas de decisões ou que por elas são impactadas.

Paralelamente ao ciclo de S&OP, acontecem os seguintes eventos:

- o atendimento de pedidos, em que se executa o plano de vendas elaborado no processo de S&OP;
- a análise de estoques, em que os excessos e faltas de estoques são controlados no curto prazo;
- a medição de desempenho, em que todo o processo de planejamento é mensurado e comparado às metas pré-estabelecidas.

Em suma, o S&OP é uma ferramenta utilizada pela alta gerência para: planejar e executar os planos e estratégias de negócio; priorizar os possíveis cenários de vendas, produção e estoques; avaliar e definir tolerâncias ao risco e para gerenciar, monitorar e controlar o desempenho e a variabilidade dos planos de vendas, produção e estoques (O'KEEFE, 2004).

Um dos grandes benefícios do S&OP é o ganho de visibilidade e comunicação regular, o que permite à gerência fazer as escolhas corretas para balancear os interesses entre seus clientes, ou seja, entre os compradores, os acionistas e os empregados. Outros benefícios são: a integração entre departamentos, o aumento da agilidade de resposta da empresa, o envolvimento da alta gerência e a melhoria da precisão dos planos.

2.2.2.1 PROCESSO DE S&OP

Segundo WALLACE (1999), o processo de S&OP consiste de cinco etapas fundamentais. As etapas aqui apresentadas serão explanadas detalhadamente no decorrer deste tópico.

1. Previsão de vendas
2. Gestão da Demanda
3. Planejamento da Produção
4. Reunião de Pré-S&OP
5. Reunião executiva de S&OP

A Figura 7 apresenta as etapas do processo e suas interfaces.

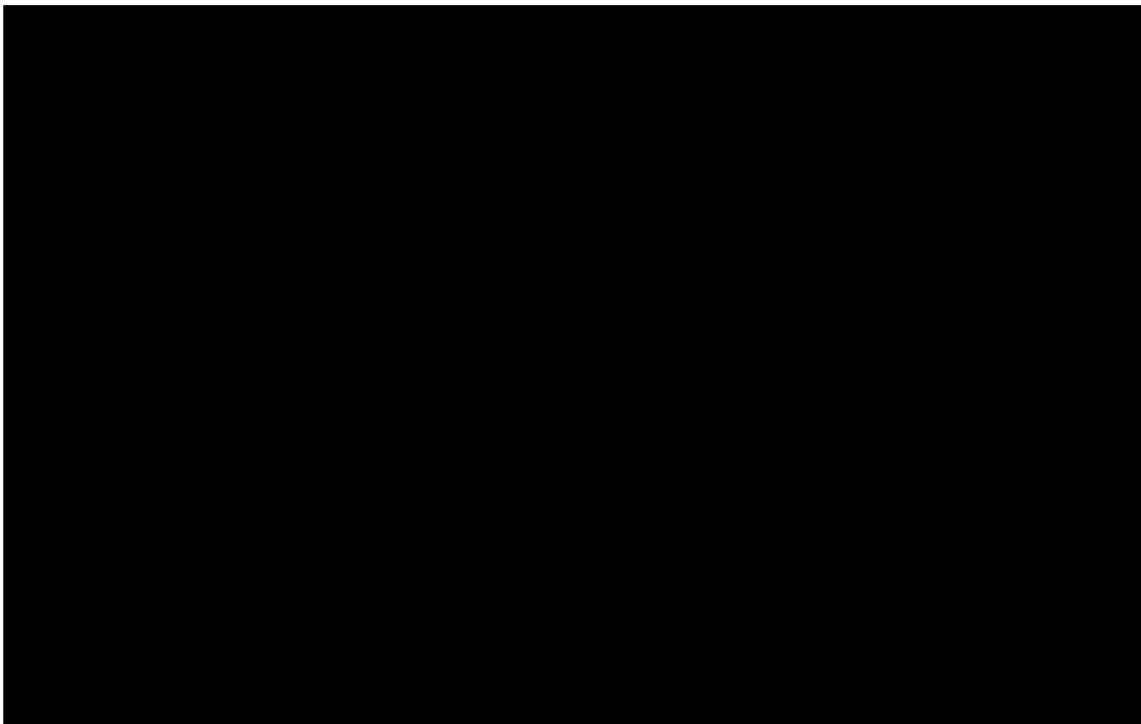


Figura 7 – O Processo Mensal de S&OP (Adaptado de WALLACE, 1999).

O ciclo tem início com a previsão de vendas. O primeiro passo desta etapa consiste da atualização dos arquivos de previsão com os dados realizados de vendas, produção, estoques e desempenho financeiros do último período. A partir desses dados, geram-se as informações necessárias ao desenvolvimento da nova previsão. Devem ser utilizadas diversas fontes de informação nesta fase do processo, tais como: dados sobre os competidores; históricos; orientações da gerência; promoções; ofertas; novos produtos; dados econômicos; novos clientes; clientes atuais e outras fontes relevantes.

A formulação da previsão deve estar baseada nos métodos mais indicados à estratégia e ao mercado no qual a empresa se encontra inserida. Alguns métodos

sugeridos são análises de vendas, previsão estatística e a percepção dos especialistas em vendas e marketing sobre o mercado.

O nível de previsão deve ser estabelecido conforme as necessidades da empresa, levando-se sempre em consideração o balanço entre o trabalho necessário, a possibilidade de erros e os benefícios. Segundo WALLACE (1999), a família, ou a subfamília, (conjunto de produtos com características semelhantes) se configura como um bom nível de previsão. Os dados, entretanto, devem ser salvos sempre no nível mais detalhado possível, como, por exemplo, a SKU, ou código de estoque do produto - por cliente e localização.

MCCLUSKEY *et al.* (2004) sugerem as seguintes ações para dominar a previsão:

- Utilizar a colaboração dos clientes como chave do domínio da demanda. Esta prática aumenta a visibilidade de mercado e, em geral, reduz o volume de estoque necessário para atender os clientes no nível de serviço desejado. Alguns métodos indicados para atingir estes resultados são o *Point-of-Sale* (POS) - compartilhamento das informações através de sistemas computacionais no ponto de vendas – e o *Joint Inventory Management* – gerenciamento dos estoques integrado entre fornecedores e clientes.
- Medir a eficiência através de indicadores de desempenho que contemplem todo o processo de formação da previsão de vendas.
- Apresentar de forma clara o processo de previsão para assimilação e consolidação dos conceitos por todos os envolvidos.
- Utilizar uma única previsão de demanda para todos os usuários na empresa, relacionada com o planejamento financeiro para um melhor controle do capital de giro.

O relatório *Best Practices in S&OP – A Benchmark Report* de Aberdeen Group (2005) destaca o papel da formação do portfolio de clientes para a geração de uma previsão de vendas robusta. Segundo o relatório, é necessário, durante a revisão realizada por vendas e marketing, escolher ou dispensar os clientes impiedosamente. As empresas *Best in Class* possuem processos estruturados e

metodologias para justificar a retenção de clientes, ligados às expectativas de lucratividade, e possuem políticas sistematizadas para "demitir" clientes.

Por fim, gerada a previsão, deve-se disseminar a informação às partes envolvidas no processo.

O passo seguinte é a Gestão da Demanda, cujo objetivo é desenvolver uma previsão autorizada pela gerência. Para tanto é necessário envolvê-la no processo.

Nesta etapa, a gerência executiva tem a possibilidade de questionar os números de previsão de vendas, e, se for o caso, modificá-los, a fim de se oficializar a previsão.

As análises realizadas nesta etapa devem considerar a estratégia de produção adotada pela empresa, em geral Make-to-Order (MTO) ou Make-to-Stock (MTS). Os itens MTS são produzidos de acordo com a política de estoques da empresa e vão para o estoque de produtos acabados após a produção. Os itens MTO são produzidos apenas com base em pedidos de clientes.

Para os produtos MTO a formulação da previsão é feita essencialmente de acordo com as indicações dos clientes através do contato com os vendedores. Para os MTS é necessário um trabalho mais extenso, no qual não só o contato com os clientes é importante, mas também as previsões estatísticas do passo anterior e o envolvimento da equipe de desenvolvimento de produtos.

O resultado desta etapa é um Plano de Vendas criticado pela gestão da empresa, que represente a demanda total e que seja baseado na realidade de mercado.

Por fim, todos os dados devem ser transformados em unidades monetárias, ou em outras palavras, valorizados pela área financeira para que se verifique o impacto financeiro do plano gerado.

No terceiro passo, Planejamento da Produção, deve-se analisar se a previsão de vendas dos produtos indicados pela Gestão da Demanda pode ser atendida, ou seja, se há capacidade de produção para produzir no período analisado o que se está indicando como vendas.

Para se realizar esta etapa de maneira eficiente, deve-se ter uma visão de como estão organizados os recursos da cadeia de suprimentos da empresa, nos quais se encontram as restrições e os gargalos.

O resultado desta etapa é o plano de produção e a análise de restrições de fábrica, além dos problemas levantados que deverão ser encaminhados à reunião de Pré-S&OP. Problemas comuns dizem respeito a decisões de produzir para estoque, gerenciar o tempo de atendimento ao cliente, aumentar a capacidade disponível e cortar a demanda.

Além da alocação das necessidades de produção dentro da capacidade disponível na fábrica, este processo aponta necessidade de novos equipamentos na linha de montagem.

Como resultados do segundo e terceiro passos, Gestão da Demanda e Planejamento da Produção, tem-se Plano de Estoques, que indica os níveis desejáveis de estoque por família, a cada período do horizonte de planejamento.

De posse das informações de demanda, produção e estoques levantadas, pode-se passar para a Reunião de Pré-S&OP, cujos objetivos são obter decisões relacionadas aos cenários apresentados de balanceamento da demanda e da produção e resolver os problemas e pontos de conflitos, de maneira que um pacote de recomendações único possa ser enviado à reunião executiva de S&OP.

Para que os objetivos sejam alcançados com sucesso, é essencial a participação de todos os envolvidos, ou seja, todas as pessoas que possuem influência direta, ou que são influenciadas pelas decisões tomadas no processo de S&OP.

Os resultados da Reunião de Pré-S&OP são: visão financeira atualizada do negócio, recomendações para cada família de produtos, questões relevantes para o lançamento de novos produtos, recomendações para cada recurso que necessite mudança, planos alternativos, com impacto financeiro, para áreas nas quais o consenso não foi alcançado e a agenda para a Reunião Executiva de S&OP.

Por fim, chega-se ao quinto passo, a Reunião Executiva de S&OP, cujos objetivos são: tomar decisões relativas a cada família de produtos; aceitar ou não as recomendações da Reunião de Pré-S&OP e, caso necessário, decidir por uma linha diferente de ação; e, autorizar mudanças na produção ou nas taxas de compras.

Nesta reunião também se relacionam os resultados financeiros projetados pelos cenários apresentados com as metas do *Business Plan* e se faz os ajustes quando necessário e se tratam as pendências nos casos em que o time de Pré-S&OP não chega a um consenso. Por fim, na Reunião Executiva se revisam o desempenho do serviço aos clientes, os pontos críticos relacionados ao lançamento de novos produtos e outras questões relevantes.

A Agenda da Reunião Executiva de S&OP sugerida por WALLACE (1999) é organizada da seguinte forma:

1. Revisão Macro do Plano de Negócios;
2. Desempenho do Serviço ao Cliente;
3. Novos Produtos;
4. Revisão e decisão família a família;
5. Mudança nas taxas de produção/compras;
6. Impacto no Plano de Negócios;
7. Recapitulação das Decisões Tomadas; e
8. Crítica da Reunião

Os resultados são a ata com as decisões tomadas, as modificações necessárias no Plano de Negócios e as planilhas finais, que refletem as decisões e mudanças feitas na Reunião Executiva.

Para que todo o processo obtenha sucesso, DWARAKNATH *et al.* (2002) destacam a necessidade de comprometimento da alta gerência para a tomada de decisões de forma rotineira e a efetiva documentação do processo para a visibilidade e controle gerencial.

2.2.2.2 BENEFÍCIOS DO S&OP

Apesar da aparente simplicidade do processo de S&OP, as dificuldades encontradas na implantação e manutenção dos processos são grandes. Em

contrapartida os benefícios são também grandes e sentidos já no curto prazo, no caso de implantação eficiente do processo.

Por ser um processo abrangente e que possui influência sobre toda a cadeia de suprimentos é possível dizer que melhorias nas práticas de S&OP trazem ganhos de desempenho em toda a cadeia de valor da empresa. Os ganhos também são significativos nas margens brutas e nas altas taxas de atendimento de pedidos e de retenção de clientes. (Sales and Operations Planning: The Drive for Profitability; from The Aberdeen Group/ Stanley Elbaum, 2004).

De acordo com WALLACE (1999), os principais benefícios do S&OP são:

- Taxa de produção estáveis;
- Estoques menores;
- Melhores níveis de serviço;
- Grande habilidade para responder a mudanças de mix, dado que os volumes estão sob controle;
- Mudanças de volume menores e feitas com antecedência;
- Menores tempos de atendimento aos clientes;
- Trabalhos colaborativos entre Vendas, Operações, Finanças e Desenvolvimento de Produtos; e
- Demanda e produção balanceadas.

A estes pontos, DWARAKNATH *et al.* (2002) acrescentam o envolvimento da alta gerência na configuração dos direcionamentos da empresas dentro de um calendário de processo e reuniões rigoroso e a definição de metas de faturamento associada ao levantamento de indicadores de desempenho e tendências globais.

Analisando os benefícios expostos, têm-se um amplo painel do valor agregado por cada etapa do processo de S&OP no desempenho geral da cadeia de suprimentos da empresa. A perfeita integração entre as etapas também é fator de agregação de valor, como no caso da passagem do planejamento de demanda para o planejamento da produção, que, quando executado de maneira impecável, traz o benefício das taxas de produção estáveis e melhoria da capacidade de produção.

Cabe ressaltar que a obtenção dos benefícios está diretamente ligada com a aderência às etapas do processo. A supressão, ou má realização de alguma etapa, pode impactar negativamente em algum benefício, ou mesmo eliminá-lo. A título de exemplo, a não realização da Reunião de Pré-S&OP não proporcionaria o benefício da integração entre os departamentos.

2.2.2.3 DIFICULDADES E OPORTUNIDADES DO S&OP

Por ser um processo dinâmico, que deve crescer e adaptar-se as demandas da empresa, o S&OP muitas vezes apresenta pontos fracos, falhas e dificuldades de implementação. Sob outra ótica, estes pontos podem ser vistos como oportunidades de melhorias e ganhos para a cadeia de suprimentos como um todo.

WALLACE & STAHL (2005) apresentam como grandes oportunidades de melhorias no processo de S&OP o aumento de eficiência na comunicação entre as interfaces do processo. Alguns pontos de melhoria citados são: melhorar a conexão entre os planos agregados e detalhados - integração do S&OP (volume) com o Plano Mestre de Produção (mix); elaborar uma integração financeira de qualidade e desenvolver habilidades para apoiar projeções financeiras - S&OP deveria servir como fonte para geração de estimativas de ganho a cada trimestre.

Outros desafios dizem respeito à coleta, tratamento e armazenamento de dados. Os autores citam o desenvolvimento de ferramentas que propiciem a possibilidade de se simular de maneira rápida e compreensiva os cenários de produção e vendas com um grande desafio a ser enfrentado pelas próximas gerações de S&OP. A habilidade de combinar dados de fontes distintas para tomada de decisão e prover uma visão unificada para análise e tomada de decisão também deve ser desenvolvida, assim como procedimentos para arquivamento das decisões tomadas a fim de dar suporte no caso de auditorias e outros requerimentos para fins regulatórios.

De acordo com DWARAKNATH *et al.* (2002) os pontos fracos do S&OP usualmente apontados pelas empresas são:

- Ciclo de S&OP muito longo

- Falta de assertividade da previsão
- Diferenças entre previsão financeira e de volume
- Falta de integridade / validade dos dados
- Comunicação falha entre regiões e departamentos
- Falta de envolvimento da gerência e do financeiro

O estudo realizado por Glassmeyer/McNamee Center for Digital Strategies, Tuck School of Business at Dartmouth, and Cisco System, Inc. (2004) coloca como dificuldades o balanceamento entre metas antagônicas, como a necessidade de baixos níveis de estoques e a necessidade de alto nível de serviço ao cliente.

Para atuar na eliminação destes pontos fracos, de acordo com os autores, é necessário que a empresa entenda a cadeia de suprimentos como fonte de vantagem competitiva, e não apenas como fonte de economia de custos, deve-se focar nas oportunidades e nos clientes mais lucrativos, e deve-se desenvolver regras de claras *trade-off* para antecipar desbalanceamentos no S&OP. Também é necessário estabelecer e utilizar os indicadores de desempenho corretos, que possibilitem uma visão global do negócio.

Outro desafio é, a partir dos valores apontados nos indicadores de desempenho, criar planos de ação e objetivos específicos para os agentes envolvidos no processo.

Assim como na obtenção de benefícios, a minimização dos efeitos negativos gerados pelos pontos fracos do S&OP está ligada à aderência do processo. Além disso, um processo bem desenhado, robusto e consolidado permite a visualização de oportunidades de melhorias e facilita a implantação das melhores práticas.

2.2.3 PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

O planejamento de curto prazo consiste do período em que as demandas agregadas do médio prazo são desagregadas em suas configurações finais, e distribuídas em períodos semanais ou diários.

No curto prazo, os planos de produção e vendas são congelados, e só devem ser modificados mediante a autorização da gerência. Isto se dá devido ao comprometimento dos recursos produtivos e das matérias-primas com um determinado plano de produção.

O planejamento da Produção deve ser medido de acordo com algumas métricas definidas, como Aderência ao Plano de Produção, Flexibilidade da Produção, Entrega *On Time* e Pedido de Clientes X Tamanho de Ordem (DWARAKNATH *et al.*, 2002).

Assim como a produção, os estoques devem ser medidos de acordo com métricas definidas. DWARAKNATH *et al.* (2002) sugerem os seguintes indicadores: excesso de estoques, falta de estoques, disponibilidade, capacidade de armazenagem e utilização do estoque.

2.2.4 EXECUÇÃO

De acordo com STADTLER & KILGER (2005), execução contempla as atividades, e subseqüentes controles, que devem ser realizadas para implementação dos planejamentos prévios.

A execução, do ponto de vista de operações, está associada ao planejamento fino da produção, ou seja, o seqüenciamento e controle da fabricação em si e à compra de matérias-primas

Do ponto de vista de vendas, a execução está ligada ao acompanhamento das entregas, além do processo de administração das ordens de vendas, faturamento e expedição dos produtos acabados.

Portanto, a execução deve cumprir os planos gerados nas camadas superiores de planejamento e gerenciar eventuais eventos inesperados, como quebras ou perdas de produtividade.

2.3 PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO

O planejamento agregado da produção se encaixa no nível tático dentro de um modelo de planejamento hierárquico. Dentro do fluxo proposto na figura 6 (tópico 2.2), o planejamento agregado da produção equivale ao planejamento de vendas e operações (S&OP).

O item 2.2.2 abordou os conceitos de S&OP e o processo de formação de cenários. O presente tópico se aterá à revisão bibliográfica sobre a formação do planejamento de produção sob uma ótica matemática.

Segundo STADTLER & KILGER (2005), a idéia principal por trás do planejamento hierárquico é decompor o planejamento em módulos, os quais agregam os volumes e a unidade de tempo conforme as diferentes necessidades de visibilidade no horizonte de planejamento da empresa ou da cadeia de suprimentos.

Segundo AXSATER (1982), o objetivo do planejamento agregado da produção é garantir que as considerações de longo prazo não sejam ignoradas nas tomadas de decisão de curto prazo. SINGHAL *et al.* (2007) considera o objetivo do planejamento agregado da produção maneira mais abrangente, o colocando como elo entre os diversos setores da empresa, como o financeiro, vendas, produção, marketing, entre outros. O autor ainda aponta como papéis específicos do planejamento agregado da produção os seguintes itens:

- É o meio de implementação da estratégia de manufatura, ao levar em consideração os *trade-offs* entre custos, flexibilidade e tempo de entrega.
- Indica as necessidades de investimentos para superação dos gargalos e restrições.
- É um mecanismo de implementação das estratégias relacionadas à cadeia de suprimentos, uma vez que minimiza o efeito-chicote ao planejar com antecedência o mix de produtos e as necessidades de materiais e produção.
- É uma ferramenta para a coordenação entre plantas.
- É uma ferramenta para determinação do nível de pagáveis e recebíveis no médio prazo.

- É uma ferramenta para tomada de decisões relacionadas ao nível e utilização da força de trabalho e ao número de turnos de trabalho.

Para LEE & KHUMAWALA (1974), o planejamento agregado da produção está relacionado à maneira como a gerência da empresa vai reagir às flutuações de demanda em seu sistema produtivo, e, especificamente, como determinar os níveis agregados de produção, estoque e força de trabalho.

GIANESI (1998) aponta impactos do processo de planejamento da produção sobre os custos relacionados à utilização dos recursos fabris e da mão-de-obra, além dos níveis de estoque; sobre a velocidade de entrega dos bens, determinada a partir das estratégias de estoque e produção; sobre a confiabilidade de entrega dos bens, afetada pelo correto controle da utilização dos recursos; e sobre a flexibilidade.

Segundo STADTLER & KILGER (2005), o planejamento agregado da produção está baseado em cinco elementos:

- Decomposição e estrutura hierárquica: os níveis de decisão são separados, de tal forma que os níveis superiores limitam os níveis inferiores.
- Agregação: reduz a complexidade do problema e pode também diminuir as incertezas. Os níveis de agregação podem incluir as dimensões de tempo, produtos e recursos.
- Coordenação hierárquica: garante a consistência e viabilidade no momento da desagregação entre os planos de diferentes níveis hierárquicos.
- Construção do modelo: deve ser gerado de maneira a representar adequadamente as situações relacionadas à tomada de decisão. Questões associadas à complexidade do modelo também devem ser consideradas.
- Resolução do modelo: um procedimento de resolução deve ser escolhido para cada modelo, conforme as necessidades de otimização existentes.

O conceito de planejamento hierárquico da produção foi desenvolvido em 1975 por Hax e Meal. Os níveis de agregação propostos pelos autores são os seguintes:

- Item: são os produtos finais.

- Tipo de produto: são grupos de itens que possuem estrutura de custos, processos produtivos e sazonalidades semelhantes.
- Família: são grupos de itens pertencentes a um mesmo tipo de produto e que compartilham tempos de preparação (setup) semelhantes.

STADTLER & KILGER (2005) sugerem ainda que agregação deve abranger, além de produtos, os recursos, agregados em grupos de capacidade e o tempo, agregado em períodos mais ou menos longos, conforme a necessidade.

Assim, o primeiro nível de decisão em um processo de planejamento da produção hierárquico envolve as decisões relacionadas ao tipo de produto. Nesta etapa, devem-se decidir o mix de produtos em cada período de planejamento, as estratégias de estoque e as estratégias de produção, contratação e demissão de mão-de-obra. O planejamento para tipo de produto é desagregado no nível de família e posteriormente desagregado no nível de item. Cada nível hierárquico inferior deve ser restrito pelas decisões de volume tomadas no nível superior (ÖZDAMAR *et al.*, 1998), de tal forma que as condições consideradas no planejamento agregado não impossibilitem a viabilidade do planejamento detalhado de curto prazo. A Figura 1 apresenta de maneira simplificada o conceito de planejamento hierárquico proposto por Hax e Meal.

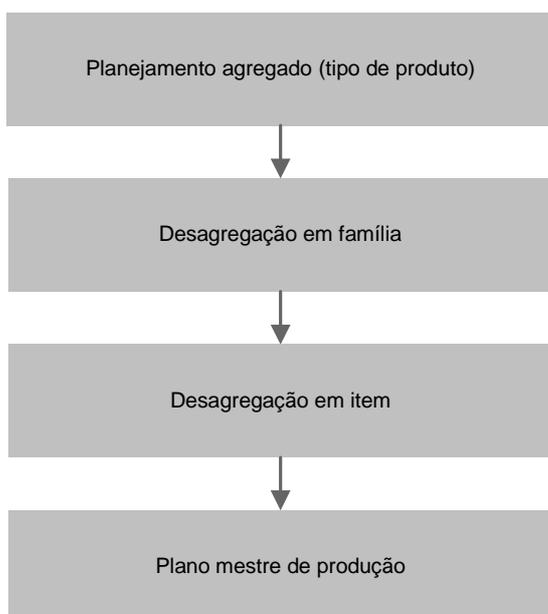


Figura 9 – Planejamento Hierárquico da Produção

DEMPSTER *et al.* (1981) apontam duas principais razões para a utilização de uma abordagem hierárquica.

1. Redução da complexidade: ao se agregar os itens em famílias e tipos de produto se está simplificando o processo de solução do problema.
2. Redução da incerteza: o planejamento agregado permite a existência de uma hierarquia de decisões. Decisões de médio prazo, como contratação e demissão podem ser tomadas com base em um plano agregado enquanto decisões relacionadas a níveis mais detalhados de planejamento podem ser postergadas até o ponto em que são realmente necessárias.

Uma terceira vantagem apontada por DEMPSTER *et al.* (1981) é que o planejamento hierárquico acompanha a própria estrutura hierárquica da maioria das empresas, facilitando assim processo decisório nos níveis de gerenciamento mais altos.

O primeiro trabalho a abordar metodologias de otimização para o problema de planejamento agregado da produção foi publicado em 1955 por Holt, Modigliani e Simon. No trabalho, os autores formularam o problema de definição das taxas de produção agregadas e do tamanho da força de trabalho a cada período, de maneira que as variações da demanda são absorvidas ao longo do período de planejamento, enquanto os custos totais são minimizados.

Três variáveis básicas foram desenvolvidas para resolver o problema.

1. O tamanho da força de trabalho a cada período, dado pelo número de contratações e demissões.
2. A taxa de produção, determinada pelo número de horas produzidas, incluindo horas-extras, dada uma determinada força de trabalho.
3. O nível de estoque e ordens em atraso a cada período, dado o nível de força de trabalho e a taxa de produção.

A cada uma das variáveis são associados os custos e outras penalidades intangíveis que contribuem para a tomada de decisão.

Os trabalhos de Holt, Modigliani, Simon e posteriormente Muth, definiram as bases para toda a pesquisa centrada no problema de agregação e hierarquização do planejamento de produção. Os trabalhos dos quatro autores ficaram conhecidos sob

a sigla HMMS. Trabalhos subseqüentes abordaram diversas ramificações do trabalho inicial de HMMS e foram classificados por SPRAGUE *et al.* (1990) em quatro grandes grupos:

1. Os teóricos, cujo foco das pesquisas está na construção de dogmas e mudanças de pensamento. Também são denominados visionários.
2. Os metodologistas, cujo foco está no desenvolvimento de metodologias de pesquisa, procedimentos analíticos e técnicos e novos métodos para resolver os problemas.
3. Os problemistas focam no problema em si, orientando seus trabalhos a tomada de decisão.
4. Por fim, os empíricos, cujos trabalhos apresentam aplicações práticas e estudos de casos a partir de metodologias desenvolvidas por outrem.

Entre 1981 e 1982, em dois artigos publicados na revista *Operations Research*, Bitran, Haas e Hax propuseram dois modelos de programação linear, para a resolução dos problemas de planejamento agregado da produção com um estágio e com dois estágios, no nível de tipo de produto.

O modelo de um estágio consiste da formulação de um plano de produção para tipos de produto finais, sem considerar possíveis componentes ou matérias-primas. O modelo está representado abaixo.

Variáveis

X_{it} número de unidades a serem produzidas do tipo i no período t ;

I_{it} número de unidades do tipo i em estoque ao final do período t ;

R_t número de horas regulares utilizadas no período t ;

O_t número de horas-extras utilizadas no período t ;

Parâmetros

T tamanho do horizonte de planejamento;

c_{it} custo de produção unitário (excluindo mão-de-obra);

h_{it} custo de manter uma unidade em estoque durante um período;

r_t custo da hora-homem em regime regular;

o_t custo da hora-homem em regime de hora-extra;

$(rm)_t$ horas disponíveis em regime regular;

$(om)_t$ horas disponíveis em regime de hora-extra;

m_i número de horas necessárias para se produzir uma unidade do tipo de produto i ;

d_{it} demanda para o tipo de produto i no período t .

Minimizar

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T (c_{it} X_{it} + h_{it} I_{it}) + \sum_{t=1}^T (r_t R_t + o_t O_t)$$

Sujeito a

$$I_{it-1} + X_{it} - I_{it} = d_{it}, \forall i = 1, \dots, I, \forall t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{i=1}^I m_i X_{it} \leq R_t + O_t, \forall t = 1, \dots, T$$

$$R_t \leq (rm)_t, \forall t = 1, \dots, T$$

$$O_t \leq (om)_t, \forall t = 1, \dots, T$$

$$X_{it}, I_{it}, R_t, O_t \geq 0, \forall i = 1, \dots, I, \forall t = 1, \dots, T$$

O modelo de dois estágios difere do anterior ao assumir a existência de um processo de fabricação de componentes anterior à montagem de produtos finais. A Figura 10 apresenta o fluxo de produção em dois estágios.

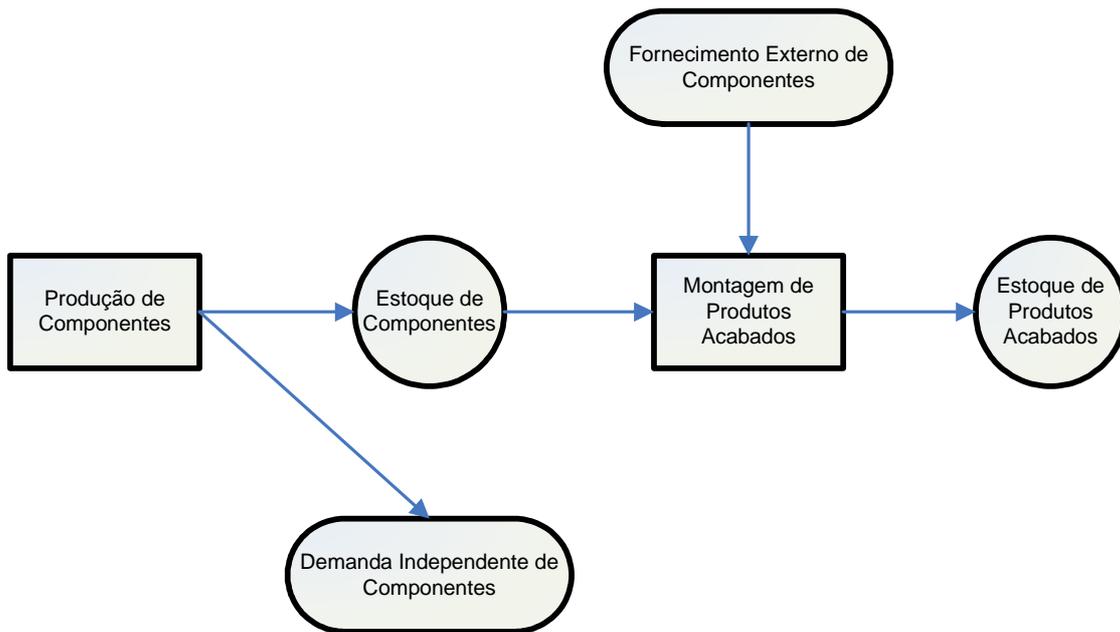


Figura 10 – Produção em dois estágios (adaptado de BITRAN *et al.*, 1981).

Para componentes são considerados dois níveis de agregação:

- Itens: são os componentes necessários para a montagem de um item final ou que possuem demanda independente;
- Tipos de itens: são grupos de itens cujos custos diretos de produção, custos de estoque por unidade por período e produtividade são similares.

O modelo de programação linear para o planejamento de um processo produtivo em dois níveis encontra-se abaixo:

Minimizar

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T (h_{it} I_{it} + r_t R_{it} + o_t O_{it}) + \sum_{t=1}^{T-L} \sum_{k=1}^K (h'_{kt} I'_{kt} + r'_{kt} R'_{kt} + o'_{kt} O'_{kt})$$

Sujeito a

$$I_{it-1} + m_i (R_{it} + O_{it}) - I_{it} = d_{it}, \forall i = 1, \dots, I, \forall t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{i=1}^I R_{it} \leq (rm)_t, \forall t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{i=1}^I O_{it} \leq (om)_t, \forall t = 1, \dots, T$$

$$ss_{it} \leq I_{it} \leq os_{it}, \forall i = 1, \dots, I, \forall t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{k=1}^K R'_{kt} \leq (r'm)_t, \forall t = 1, \dots, T - L$$

$$\sum_{k=1}^K O'_{kt} \leq (o'm)_t, \forall t = 1, \dots, T - L$$

$$ss'_{kt} \leq I'_{kt} \leq os'_{kt}, \forall k = 1, \dots, K, \forall t = 1, \dots, T - L$$

$$I'_{kt-1} + m'_k (R'_{kt} + O'_{kt}) - I'_{kt} = \sum_{i=1}^I f_{ik} m_i (R_{it+L} + O_{it+L}), \forall k = 1, \dots, K, \forall t = 1, \dots, T - L$$

$$I_{it}, R_t, O_t, I'_{it}, R'_t, O'_t \geq 0, \forall i = 1, \dots, I, \forall k = 1, \dots, K, \forall t = 1, \dots, T$$

Índices

i tipo de produto;

k tipo de componente;

t período de tempo;

L tempo de fabricação dos componentes;

Variáveis

I_{it} número de unidades do tipo i em estoque ao final do período t ;

R_{it} número de horas regulares utilizadas para o tipo de produto i no período t ;

O_{it} número de horas-extras utilizadas para o tipo de produto i no período t ;

Parâmetros

h_{it} custo de manter uma unidade em estoque durante um período;

r_t custo da hora-homem em regime regular;

- o_t custo da hora-homem em regime de hora-extra;
- m_i número de horas necessárias para se produzir uma unidade do tipo de produto i ;
- $(rm)_t$ horas disponíveis em regime regular;
- $(om)_t$ horas disponíveis em regime de hora-extra;
- ss_{it} estoque de segurança do tipo de produto i no período t ;
- os_{it} limite de estoque do tipo de produto i no período t ;
- d_{it} demanda para o tipo de produto i no período t ;
- f_{ik} representa o número de unidades de um tipo de componente k necessárias para a montagem de um tipo de produto i ;

Os parâmetros e variáveis com “ ’ ” têm o mesmo significado para os tipos de componentes.

ÖZDAMAR *et al.* (1998) apresentam ainda outras opções de modelagem, com a possibilidade de subcontratação da capacidade de produção, a possibilidade de contratação e demissão da força de trabalho, a existência de pedidos em atraso (*backorders*), a existência de níveis máximos de subutilização dos recursos e a existência de metas de nível de estoque e atraso a cada período.

Em geral, como resultados dos modelos têm-se os planos de produção e estoques cujos custos totais são os menores possíveis.

Para VACCARO *et al.* (2006), o resultado ótimo deve apresentar uma configuração de mix que atenda os seguintes critérios:

- Alinhamento às diretrizes da empresa, de atendimento ao mercado;
- Respeito a restrições da estrutura física da empresa, capacidades de recursos, características de qualidade dos produtos e disponibilidades de matérias-primas e insumos;

- Maximização da rentabilidade, expressa por elementos financeiros, tais como preço de venda diferenciado por item e mercado, despesas e custos variáveis, taxas de frete, etc.; e
- Minimização de estoques, considerando seu valor financeiro.

Os mesmo autores apontam como benefícios da utilização de um processo de planejamento hierárquico associado a uma metodologia de otimização:

- o incremento da margem de contribuição;
- o melhor aproveitamento das matérias-primas;
- o melhor balanceamento dos estoques;
- o processo decisório passa a ser sistemático e analítico;
- o aumento do entendimento dos processos produtivos;
- a sistematização dos dados de produção e
- a aprendizagem da organização.

Além destes, GIANESI (1998) apresenta como benefícios características geralmente associadas ao processo de planejamento de vendas e operações (S&OP), como integração entre departamentos, a coerência entre as decisões distribuídas no tempo, a coerência entre as decisões dos diferentes níveis de manufatura e a quebra de barreiras organizacionais.

2.4 INDICADORES DE DESEMPENHO OPERACIONAIS E FINANCEIROS

Este tópico apresentará o conjunto de indicadores de desempenho operacionais e financeiros usualmente utilizados para o gerenciamento e para a elaboração de planos de melhoria do sistema de planejamento e controle da produção.

2.4.1 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO

O sistema de avaliação do desempenho é uma poderosa ferramenta para a visualização de oportunidades de ganho e de melhorias nos processos relacionados ao gerenciamento da cadeia de suprimentos e ao sistema de planejamento e controle da produção.

Sistema de avaliação do desempenho é definido por LOHMAN *et al.* (2002) como um conjunto de indicadores utilizados para executar a avaliação do desempenho de forma consistente e completa. Esta atividade é exercida pela gerência com objetivo de alcançar metas estabelecidas de acordo com a estratégia da empresa.

Para LIMA JR. (2001), um sistema de avaliação de desempenho tem como principais objetivos: o monitoramento de variáveis e a antecipação de ações dentro de uma postura preventiva; a resolução de problemas visando a eliminação de causas de insatisfação ou elevação do nível de satisfação; e a dissolução do sistema pela obsolescência de sua finalidade. BOWERSOX & CLOSS (2001) afirmam que os três objetivos principais dos sistemas de avaliação de desempenho são monitorar, controlar e direcionar as operações logísticas.

Dentre os benefícios dos sistemas de avaliação do desempenho estão: a disponibilização de forma explícita de informações fundamentais para controlar as operações; a criação de foco nos problemas mais críticos; o incentivo à elaboração de planos de ações corretivas; e a disponibilização de dados e informações para desafiar e melhorar escolhas estratégicas.

Os sistemas de avaliação do desempenho também medem o quanto às estratégias são traduzidas em ações. Os principais aspectos relacionados a essas ações estão ligados ao serviço e valor que a empresa procura oferecer aos clientes, aos processos internos que a empresa precisa executar e melhorar e, finalmente, aos processos de inovação (LOHMAN *et al.*, 2002).

Para se analisar de maneira eficiente o desempenho é necessário a adoção de indicadores em duas dimensões: financeira e operacional.

A dimensão operacional está relacionada aos fluxos de materiais e informações para o atendimento dos clientes nos níveis de serviço adequados.

A dimensão financeira está ligada ao impacto das ações de gerenciamento da cadeia de suprimentos e de planejamento de vendas e operações no resultado da empresa.

2.4.2 INDICADORES OPERACIONAIS

O conjunto de características que mede a qualidade do atendimento ao cliente é usualmente conhecido como nível de serviço ou serviço ao cliente. Conforme a definição de BALLOU (1993), “nível de serviço logístico é a qualidade com que o fluxo de bens ou serviços é gerenciado. É o resultado líquido de todos os esforços logísticos da firma. É o desempenho oferecido pelos fornecedores aos seus clientes no atendimento dos pedidos. O nível de serviço logístico é o fator chave dentro do conjunto de valores logísticos que as empresas oferecem aos clientes para assegurar sua fidelidade. Como o nível de serviço logístico está associado aos custos de prover esse serviço, o planejamento da movimentação de bens e serviços deve iniciar-se com as necessidades de desempenho dos clientes no atendimento de seus pedidos”.

BHARDWAJ (2003) demonstra que os Indicadores de Desempenho possuem como principais características a relação com tempo – os indicadores devem estar disponíveis em tempo suficiente para uma possível reação e os dados não devem ser obsoletos; os indicadores devem ser de fácil entendimento e uniformes em toda organização; e os indicadores devem ser multidimensionais - mirando os hot spots e preferencialmente demonstrados em forma gráfica.

O autor também defende que, para a obtenção de benefícios para a cadeia de suprimentos seja alcançada, devem ser medidos três tipos básicos de indicadores de desempenho:

- Métricas relacionadas aos clientes: Alguns dos indicadores utilizados são a taxa de atendimento das ordens de vendas e o nível de serviço, isto é, quão freqüente e quão bem as expectativas do cliente estão sendo atendidas.

- Métricas relacionadas aos estoques: indicadores comuns são classificações ABC, números de rupturas de estoque, giros de estoque e valor do investimento total em estoque.
- Métricas relacionadas aos fornecedores: medem a capacidade de atendimento dos fornecedores. Um indicador usual diz respeito ao número de ordens de compra atendidas na quantidade e data exatas dividido pelo número total de ordens de compra.

O modelo proposto é formado por um conjunto de indicadores de desempenho que abrangem pontos-chave do ciclo de pedido da empresa e que possuem impacto direto no desempenho do atendimento ao cliente.

2.4.3 INDICADORES FINANCEIROS

Para avaliação do impacto dos estoques no desempenho econômico e financeiro atual e futuro de uma empresa, usualmente são utilizados índices financeiros. Os índices de análise podem ser divididos em cinco grandes grupos (ASSAF NETO, 2003): indicadores de liquidez, indicadores de atividade, indicadores de endividamento e estrutura, indicadores de rentabilidade e indicadores de análise de ações.

Os indicadores de liquidez medem a capacidade de pagamento da empresa. Segundo FERRAES NETO (2002), a logística impacta positivamente a liquidez ao acelerar a conversão dos estoques em venda, e, conseqüentemente, o fluxo de entrada de dinheiro. O maior giro de estoques impacta diretamente a liquidez seca da empresa, que mede o percentual das dívidas de curto prazo que podem ser resgatadas com o uso de ativos circulantes de maior liquidez (ASSAF NETO, 2003).

Os indicadores de atividade mensuram a duração de um ciclo operacional de uma empresa. Com relação aos estoques, o indicador de maior relevância é o giro de estoques, que indica o número de vezes que o estoque é renovado em um determinado período de tempo. Quanto maior o giro, menor a necessidade de investimento em estoques e mais rápido o retorno sobre os ativos (MARION, 1998).

Os indicadores de endividamento e estrutura indicam a composição das fontes passivas de recursos de terceiros e sua participação em relação ao capital próprio (ASSAF NETO, 2003).

Os indicadores de rentabilidade mensuram os resultados obtidos pela empresa. Entre os principais indicadores estão o retorno sobre o ativo total e o retorno sobre os investimentos (ativo total – passivo de funcionamento). Uma redução no investimento em estoques traz um impacto positivo em ambos indicadores, dado a classificação dos estoques como ativos.

Por fim, os indicadores de análise de ações relacionam o lucro da empresa com o valor e o número de ações negociadas no mercado.

Em razão de os estoques representarem parte significativa dos ativos da empresa, de acordo com LAMBERT (1998), seu excesso reduz a lucratividade da empresa basicamente de duas formas. Na primeira, o lucro líquido é reduzido pelo aumento dos custos indiretos associados à manutenção do estoque, ou seja, custos com impostos, seguros, espaço para armazenagem, obsolescência e avarias. Na segunda forma, o excesso de estoques implica no crescimento dos ativos totais da empresa, reduzindo o giro destes. O resultado é a redução do retorno sobre os investimentos.

Desta forma, os índices financeiros servem como ferramentas para a avaliação do desempenho das políticas de estoques adotadas.

2.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No capítulo de revisão bibliográfica foram apresentados os conceitos gerais de gerenciamento da cadeia de suprimentos, os quais introduziram e contextualizaram a descrição do sistema de planejamento e controle da produção, dentro do qual está inserido o modelo conceitual de planejamento agregado da produção em que o estudo de caso desta dissertação se baseia.

Apresentou-se ainda um conjunto de indicadores de desempenhos que serão utilizados para validar os resultados obtidos pela aplicação do modelo proposto no estudo de caso.

3 INTRODUÇÃO AO ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentada a empresa em que o estudo de caso foi desenvolvido, seus produtos, sua estrutura fabril e processos produtivos, seu modelo de planejamento e seu sistema de medição do desempenho da cadeia de suprimentos.

3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Com sede e principal parque fabril em Joinville, Santa Catarina, região Sul do Brasil, a Whirpool S.A. – Unidade Compressores (Embraco) possui fábricas também na Itália, Eslováquia e China e uma unidade de negócios nos Estados Unidos. Especializada em soluções para refrigeração, produz compressores herméticos para refrigeração, unidades condensadoras e unidades seladas, para aplicação doméstica e comercial. Atualmente a empresa ocupa a posição de líder mundial do mercado de compressores herméticos para refrigeração.

Este trabalho está focado no caso da Embraco Brasil, onde está localizado o principal parque fabril e, ainda, o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento.

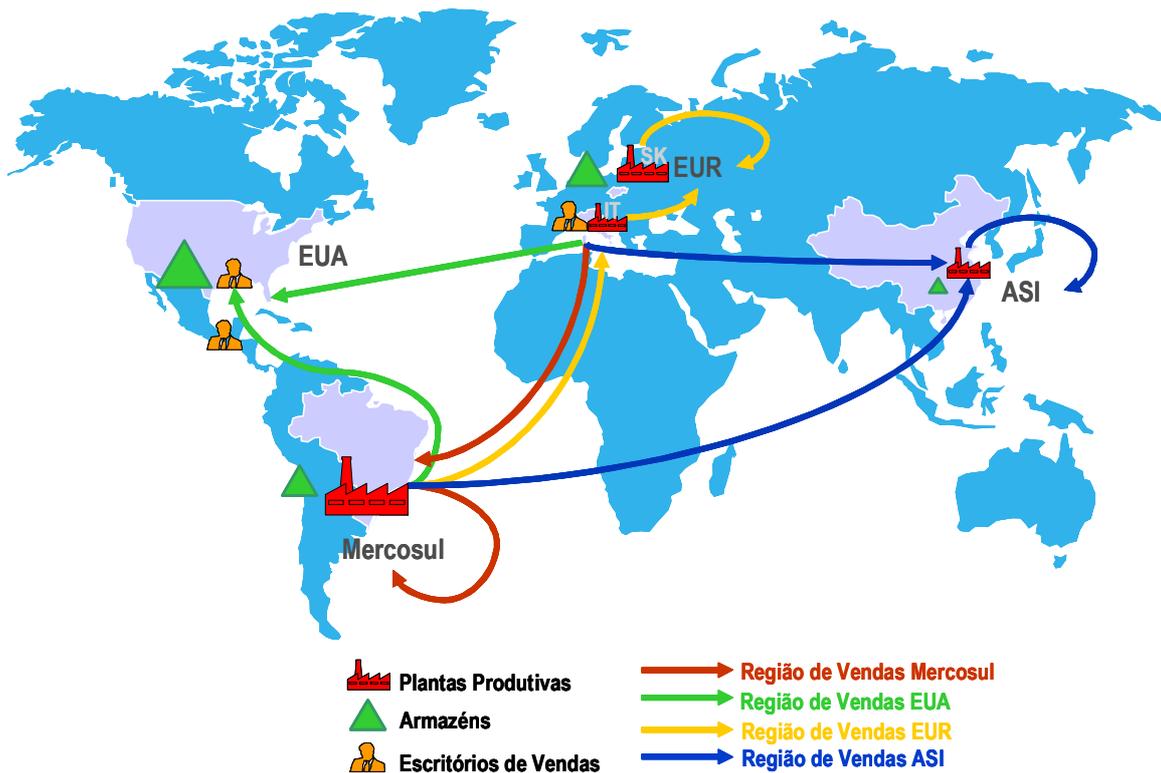


Figura 11 – Estrutura logística

A Figura 11 apresenta a estrutura logística da Embraco global. As setas partindo das plantas produtivas indicam as regiões em que são vendidos os produtos de cada planta. A planta localizada no Brasil, por exemplo, abastece os armazéns localizados nos Estados Unidos e México e vende produtos diretamente a clientes localizados na Europa e na América Latina. A planta também recebe produtos produzidos das plantas localizadas na Itália e Eslováquia, os quais serão revendidos no Brasil e demais países das Américas do Sul e Central.

O estudo de caso apresentado neste trabalho se aterá à linha de produtos produzida na planta Brasil e distribuída globalmente. Produtos revendidos através da estrutura localizada no Brasil e produzidos nas demais plantas não no escopo deste trabalho.

3.1.1 OS PRODUTOS

A Embraco Brasil produz compressores herméticos para refrigeração voltados para os segmentos de mercado doméstico e comercial. O segmento doméstico

caracteriza-se pelo atendimento às grandes montadoras de produtos de linha branca. O segmento comercial é formado por empresas produtoras de balcões frigoríficos, expositores de bebidas, bebedouros entre outras aplicações.

O compressor é o motor e principal componente em um circuito de refrigeração e possui a função de fazer com o que fluído refrigerante gire no circuito.

3.1.1.1 ESTRUTURA DE AGREGAÇÃO

A Embraco Brasil produz sete famílias de compressores. Por família entende-se o agrupamento de produtos que possuem características técnicas e de aplicação semelhante entre si. As sete famílias existentes estão agrupadas em duas grandes linhas de produtos – Minis e Midis. A linha de produtos Minis engloba os compressores que possuem menor capacidade, voltados para aplicações domésticas e comerciais de menor porte, como refrigeradores e bebedouros. A linha Midis possui em seu portfólio produtos de maior capacidade, destinados aos refrigeradores de grande porte e aplicações comerciais mais robustas. As famílias de produtos ainda estão subdivididas em subfamílias, modelos e SKUs, que representam o código do produto na sua configuração final de venda.

A existência de uma estrutura hierárquica de produtos tem motivações gerenciais, comercial e de planejamento de produção. A motivação gerencial se deve à necessidade de se controlar os resultados de uma determinada aplicação ou linha de produtos, sem que seja imprescindível entrar no detalhe do produto final. Para os fins comerciais utiliza-se a estrutura hierárquica para apresentar aos clientes o portfólio de produtos de uma forma compreensiva e lógica. Por fim, para o planejamento de produção, os níveis de agregação permitem a geração de planos em um horizonte de tempo longo de forma mais ágil e menos complexa.

A Figura 12 apresenta a estrutura para uma determinada família de produtos.

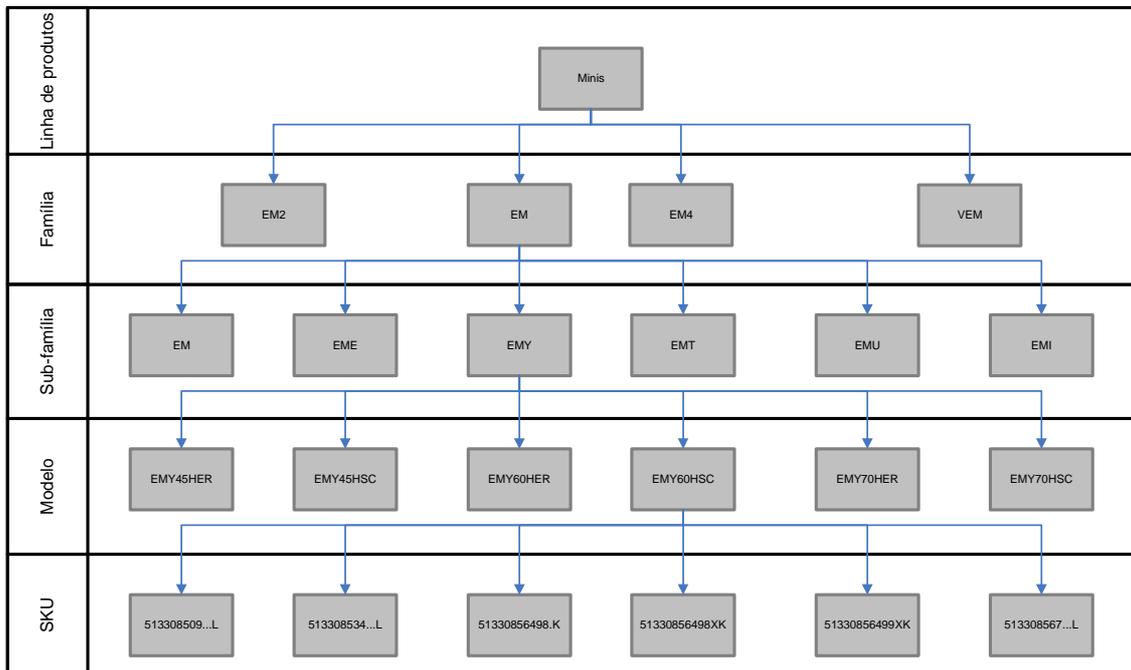


Figura 12 – Estrutura de agregação de produtos.

A linha de produtos apresenta uma macro divisão relacionada às capacidades dos produtos e as características fabris necessárias para produzi-los. Apesar de possuírem processos produtivos semelhantes, os produtos minis e midis não compartilham das mesmas linhas de produção, devido às diferenças dimensionais dos componentes.

O nível de família apresenta uma divisão relacionada às características estruturais e de aplicação dos produtos. Salvo algumas exceções, as famílias não compartilham das mesmas linhas de produção, apesar da similaridade existente com relação às faixas de aplicação.

A subfamília é uma divisão por faixas de aplicação e eficiência, utilizada para melhor gerenciar o portfólio de produtos, conforme sua utilização nos sistemas de refrigeração dos clientes. Neste nível é possível identificar algumas características técnicas que estão relacionadas a restrições fabris, ou seja, que estão relacionadas aos recursos produtivos direcionados a produção de um determinado componente utilizado na montagem do compressor.

O nível de modelo agrupa os produtos que possuem características idênticas relativas à capacidade de compressor, fluido refrigerante, nível de eficiência e

equipamento elétrico. Neste nível é possível saber a demanda pelos recursos produtivos gargalo, uma vez que os produtos agrupados neste nível possuem características construtivas semelhantes.

No nível de SKU está o produto com sua configuração final, ou seja, neste nível são definidos parâmetros como a embalagem ou tipo de pallet, os acessórios que acompanham o produto e se sistema de partida elétrico é montado nos compressores, entre outros parâmetros.

De maneira análoga ao modelo de agregação proposto por Hax e Meal, no modelo adotado pela Embraco o nível de SKU equivale ao Item, ou seja, aos produtos finais. O nível de família proposto por Hax e Meal equivale ao modelo, uma vez que os modelos compartilham, salvo raras exceções, as mesmas estruturas de produto e tempos de *setup* semelhantes. O nível Tipo de Produto equivale, no modelo Embraco, ao nível de subfamília, dado que neste nível os processos produtivos e estrutura de custos são semelhantes, além da sazonalidade, visto que compartilham os mesmos nichos de mercados. O nível de família no modelo Embraco também pode ser comparável ao nível Tipo de Produto proposto por Hax e Meal, porém neste nível as diferenças entre processos produtivos são mais significativas, assim como as estruturas de custos e sazonalidades.

3.1.1.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

As características técnicas aqui apresentadas estarão concentradas apenas na estrutura de produto, ou seja, nos principais utilizados na montagem de um compressor. O conhecimento básico da estrutura do produto é necessário para o melhor entendimento do processo produtivo, e conseqüentemente, para o levantamento das restrições relevantes para a formulação do modelo de planejamento e otimização de mix, como o proposto neste trabalho.

As características físicas de funcionamento de um compressor da linha Minis e Midis são semelhantes, embora seus componentes possuam variedades diversas, para que as diversas faixas de aplicação demandadas pelo mercado possam ser atingidas. Neste tópico será apresentada uma estrutura genérica de produto, comum

a todos os compressores, necessária para o entendimento básico das restrições produtivas a serem consideradas no modelo matemático.

A estrutura simplificada de um compressor consiste dos seguintes itens:

- Corpo e tampa
- Kit elétrico
- Kit mecânico
 - Bloco
 - Estator
 - Rotor
 - Eixo
 - Pistão
- Acessórios

O corpo e a tampa do compressor formam o envoltório físico dos componentes.

O kit elétrico é um agrupamento que representa o conjunto de componentes responsável pela partida do motor e pela manutenção do campo magnético que o mantém em funcionamento.

O kit mecânico é responsável por bombear o fluido refrigerante para o circuito de refrigeração, o que consiste da função básica do compressor. Os principais itens deste agrupamento estão apresentados na lista acima.

O bloco, produzido nas células de usinagem, é a peça que concatena os demais componentes do kit mecânico, de maneira que eles formem, em conjunto, uma única peça.

O estator é responsável pela geração da carga eletromagnética que dá a partida no compressor e o mantém em funcionamento. Conforme o modelo, as características do estator mudam, e há necessidade de produzi-lo em recursos fabris distintos. Atualmente, quatro células fabris produzem estatores, cada qual com características particulares. Dentre os estatores fabricados pela empresas, duas

famílias de estatores possuem capacidade restrita, ou seja, limitam as vendas dos produtos que os utilizam. Estes são os estatores VCC, utilizados nos compressores com tecnologia de velocidade variável, e os estatores montados com Lâmina Y, utilizados em compressores Minis com maior eficiência. Estas duas restrições estão presentes no modelo matemático proposto neste trabalho.

O rotor, o eixo e o pistão consistem dos componentes que de fato bombeiam o fluido refrigerante para o sistema. Destes, o rotor é produzido em basicamente duas configurações: injetado e centrifugado. A capacidade de produção de rotores centrifugados, na atual configuração fabril da empresa, limita a venda dos produtos que o utilizam e será considerada na formulação do modelo de programação linear.

Por fim, os acessórios consistem de componentes agregados ao compressor, como os reles de partida e os inversores de potência. Estes itens são produzidos em recursos diversos, alguns internamente, porém não representam restrição dentro da estrutura produtiva da empresa.

3.1.2 O PROCESSO PRODUTIVO

A estrutura fabril da Embraco Brasil é formada por quatro unidades (blocos) e por uma fundição, localizada fisicamente em um parque fabril distinto. A Figura 13 apresenta a distribuição física dos blocos. A escala em que a figura é apresentada é apenas ilustrativa, não representando as proporções reais.

As montagens dos compressores da linha Minis estão localizadas nos blocos 28 e 15, além dos recursos produtivos que abastecem as linhas.

Nos blocos 8 e 1 localizam-se as montagens e recursos produtivos dedicados a Midis. No bloco 1 estão também os recursos de usinagem que abastecem todas as linhas de montagem.

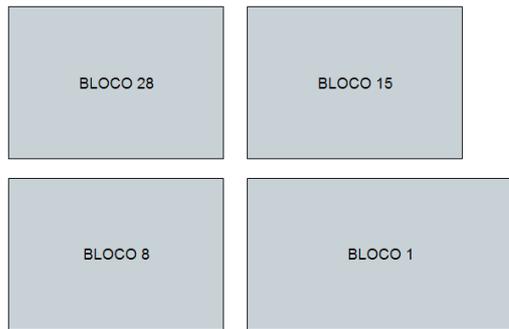


Figura 13 – Layout fabril.

A fábrica de compressores Minis possui quatro linhas de montagem final, para a montagem das famílias EM, EM2, EM4 e VEM. A fábrica também possui células para a fabricação de estatores, rotores, bloco, eixo, pistão e placa válvula. As linhas de montagem não idênticas entre si, cada qual configurada para montar um determinado grupo de produtos. O mesmo ocorre com as células de fabricação de componentes, cada qual preparada para fabricação de um determinado grupo de componentes. O fluxo entre células de componentes e montagem final não é exclusivo, de modo que uma determinada célula é capaz de fornecer para todas as linhas, caso a configuração do mix de produção assim exija. As Figuras 14 e 15 apresentam os layouts dos dois blocos onde estão localizadas as montagens de compressores pertencentes à linha de produtos Minis.

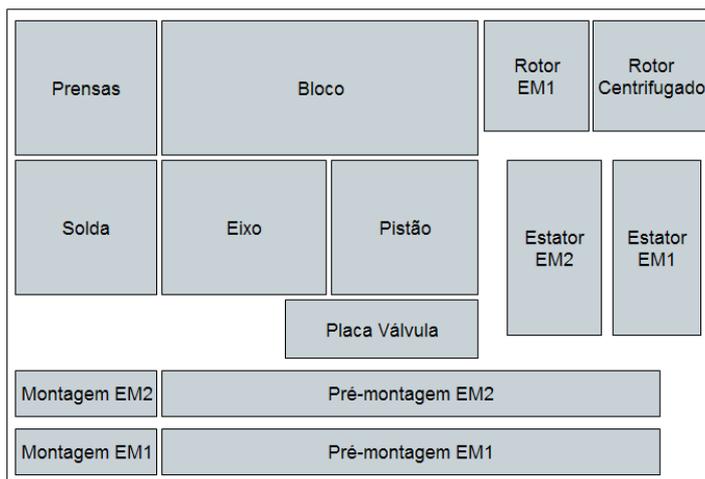


Figura 14 – Layout Bloco 28

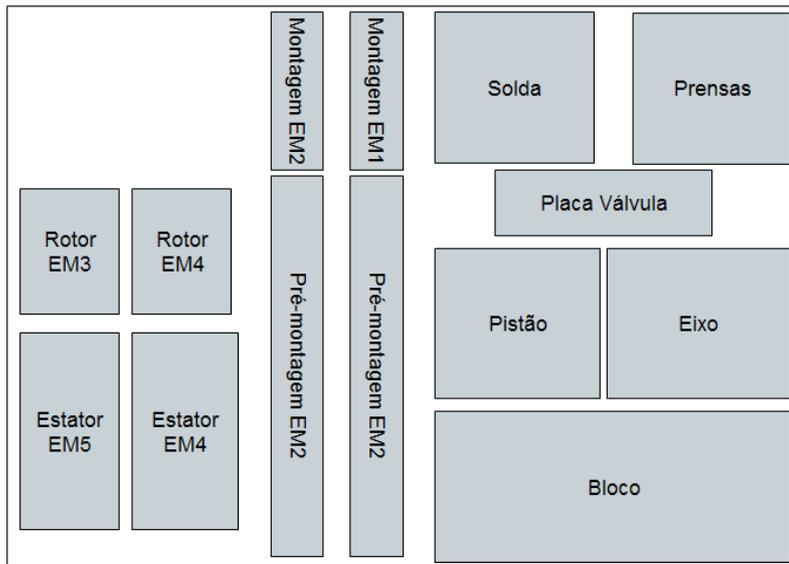


Figura 15 – Layout Bloco 15

O processo produtivo consiste da fabricação dos componentes e posterior montagem em uma linha de produção cujo fluxo ocorre em lotes.

As linhas de montagem final e os centros produtivos de componentes possuem características próprias, cada qual atendendo a uma determinada variedade de produtos. Como exemplo, toma-se o caso da linha de montagem EM3, que possuem restrições com relação às dimensões do bloco montado.

Para melhor ilustrar o processo produtivo, a Figura 16 apresenta a seqüência de atividades realizadas em uma montagem típica.

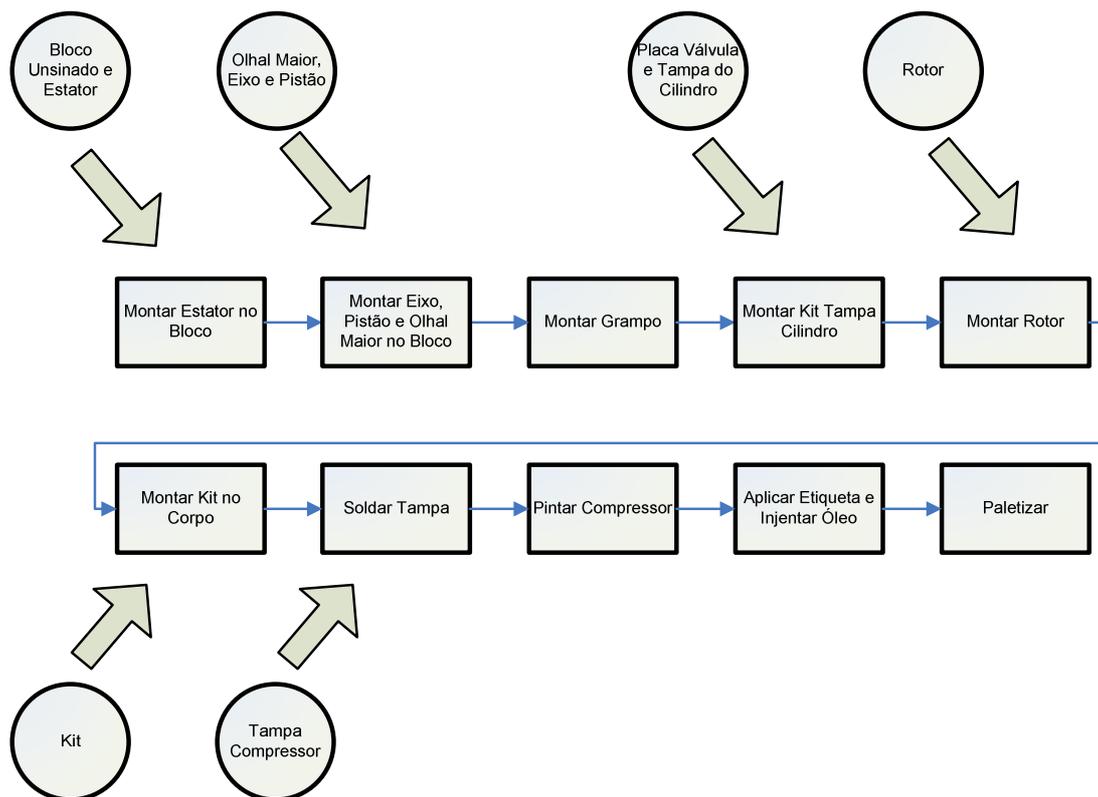


Figura 16 – Processo Produtivo

Na Figura 16, as informações contidas nos círculos indicam os componentes produzidos internamente que a abastecem a montagem final e os retângulos os principais processos da montagem.

3.1.3 O PROCESSO DE PLANEJAMENTO DE VENDAS E OPERAÇÕES

Na Embraco, os ciclos de S&OP ocorrem mensalmente e revisam as projeções de vendas, produção e estoques em um período de seis a dezoito meses. Os planos estão ligados aos objetivos estratégicos da empresa, como o nível de atendimento aos clientes e a prospecção de novos clientes, e às metas financeiras de fluxo de caixa e lucro operacional.

No S&OP, os planos são formados no nível de modelo, devido às características de algumas restrições produtivas que exigem este nível de agregação para serem consideradas no plano de maneira adequada. Os planos são

posteriormente agrupados em família para as discussões das estratégias a serem tomadas.

O desenho do processo baseia-se no modelo proposto por WALLACE (1999), acrescentando a este as particularidades próprias da empresa. A Figura 17 representa o ciclo de S&OP, com as caixas externas apresentando as etapas do planejamento de médio-prazo e as caixas internas ao círculo, as atividades relacionadas ao curto-prazo. O ciclo inicia com a Análise da Demanda e segue até a confirmação do Cenário.

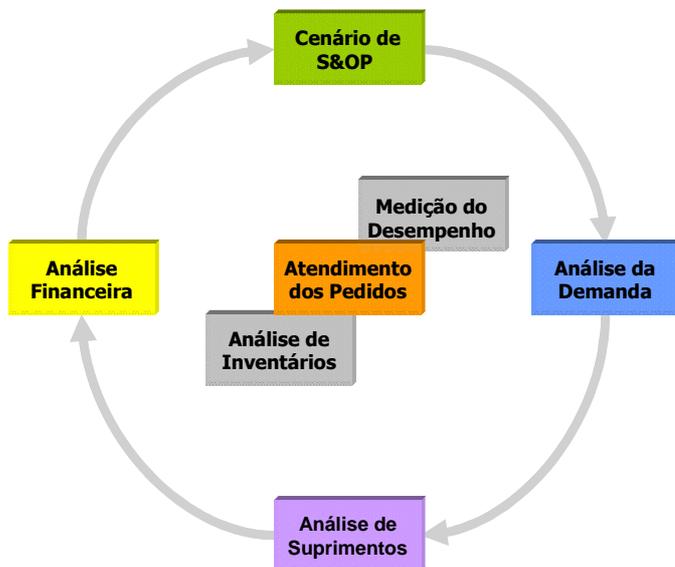


Figura 17 – Ciclo de S&OP

O ciclo inicia pela análise da demanda. Nesta etapa, são feitos os estudos que trarão como resultado a demanda irrestrita para o período em análise, ou seja, a demanda total existente no mercado, ignorando a capacidade de atendimento da empresa. Para a formação da previsão, utiliza-se de ferramentas qualitativas e quantitativas. A parcela quantitativa é formada pela utilização de métodos estatísticos existentes no pacote computacional do software de planejamento utilizado pela empresa. A previsão qualitativa é desenvolvida principalmente a partir de discussões em reuniões de consenso, nas quais tomam parte as forças de vendas, marketing e planejamento da empresa. Nestas, a percepção da força de vendas sobre as necessidades dos clientes é informada ao time de planejamento, assim como as informações sobre tendências de mercado vislumbradas pelo time de marketing. Na formação da previsão qualitativa também são utilizados os planos de desenvolvimento e substituição de produtos. Os produtos do processo de análise da

demanda freqüentemente baseiam-se na previsão qualitativa, se utilizando da previsão quantitativa como ferramenta para criticar os números gerados de maneira qualitativa.

A demanda irrestrita é o dado de entrada para a realização da próxima etapa do ciclo de planejamento de vendas e operações, a análise de suprimentos. Nesta etapa, roda-se um plano mestre de produção para o primeiro nível, produto acabado, a fim de obter a demanda líquida de produção. A demanda líquida de produção é checada contra as capacidades de montagem final de cada linha, contra os recursos produtivos considerados gargalos e contra a disponibilidade de matérias-primas críticas, principalmente as com longo *lead time* de reposição. O objetivo é desenvolver um plano de produção viável. Diversas estratégias podem ser utilizadas para garantir a viabilidade de plano de produção. Na ponta da necessidade dos clientes podem-se renegociar os volumes ou mix de produtos, de maneira que as entradas ajustem-se a capacidade existente. Na ponta de suprimentos, pode-se trabalhar em regime de hora-extra para aumentar a disponibilidade de produtos ou se deslocar o período de férias de maneira a se adequar melhor à curva de sazonalidade existente. Ressalta-se que a existência de um período de férias coletivas é essencial, devido à necessidade de se fazer manutenção no maquinário. Por fim, para que o plano se torne viável, deve-se trabalhar com estoques de antecipação, ou seja, com a construção de estoques nos períodos de baixa demanda para o posterior consumo, nos períodos de alta demanda.

Vale ressaltar a diretriz da empresa de produzir toda a capacidade disponível, devido aos altos custos envolvidos na implementação da linha e à necessidade de amortizar os custos envolvidos.

O resultado da etapa da análise de suprimentos, além do próprio plano de produção restrito, é o plano de estoques para o período em análise.

Os três planos desenvolvidos devem ser valorizados financeiramente na etapa de Análise Financeira. Neste ponto, analisa-se o mix de produtos previsto e os clientes atendidos, além da utilização dos recursos produtivos, as horas-extras planejadas e os planos de férias, para projetar a geração de fluxo de caixa e lucro operacional da empresa.

O conjunto dos resultados das etapas apresentadas forma o chamado cenário de S&OP, o qual é discutido em duas reuniões, a reunião de pré-S&OP, com a presença de pessoas-chave de todas as áreas impactadas ou que possuem impacto no planejamento, e a reunião executiva de S&OP, no qual os cenários são apresentados à diretoria da empresa.

Na reunião de pré-S&OP participam os gerentes das diversas áreas envolvidas para que possíveis pontos de conflito sejam discutidos e resolvidos antes que o cenário seja levado à alta gerência da empresa. Na reunião executiva se toma a decisão sobre a aprovação do cenário apresentado. Caso seja aprovado, o cenário torna-se a nova meta da empresa.

Os demais processos que constam na Figura 17, atendimento dos pedidos, análise de estoques e medição do desempenho, serão detalhados nos próximos tópicos.

3.1.4 ANÁLISE DE ESTOQUES

A análise de estoques tem por objetivo gerenciar os estoques de produtos acabados da empresa para que as metas fixadas nos ciclos de S&OP sejam atingidas, sem que o nível de serviço oferecido aos clientes seja prejudicado.

Para gerenciar os estoques, a empresa adota um modelo de produção híbrido, no qual alguns produtos são produzidos para estoque enquanto outros são produzidos apenas contra ordens de vendas. Para os clientes considerados estratégicos e que demandam tempo de atendimento menor do que o período firme, o modelo adotado é produção para estoques (MTS – *make-to-stock*). Os demais clientes são atendidos apenas contra ordens de vendas (MTO – *make-to-order*). Em algumas unidades, como nos centros de distribuição localizados nos Estados Unidos, todo o modelo é baseado em produção para estoques, o que aumenta a importância estratégica do gerenciamento dos estoques, devido aos altos custos e ao risco envolvido.

Para garantir que o nível de serviço dos itens MTS, são utilizadas as chamadas políticas de estoques, em que são definidos os estoques mínimos por

SKU e por armazém. Os estoques podem ser calculados na forma de dias de cobertura mínimos, isto é, os estoques devem sempre manter-se pelo menos em um nível que cubra a demanda média projetada de um determinado número de dias. Outra forma é se utilizar valores absolutos de estoque de segurança que, quando utilizados, disparam imediatamente ordens para ressuprimento dos estoques. As políticas de estoques são calculadas levando-se em consideração as variabilidades existentes tanto na ponta de suprimentos quanto na demanda.

O processo de análise de estoques também possui importante papel no cumprimento dos planos de S&OP ao indicar, a cada rodada de curto prazo, quais os produtos devem ser produzidos para se construir os estoques de antecipação.

Na planta Brasil, na qual este estudo baseia-se, 95% do volume planejado é configurado como MTO. Assim, no modelo de programação linear proposto, por simplificação, considerou-se os itens MTS também como MTO.

3.1.5 PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO E EXECUÇÃO

Os principais objetivos do planejamento de curto prazo são o atendimento dos clientes no nível de serviço desejado pela empresa e o cumprimento das metas estabelecidas no médio prazo, com relação aos estoques, vendas, produção e índices financeiros.

Na Embraco, o curto prazo possui um horizonte de dois meses, nos quais as demandas planejadas no horizonte de S&OP são desagregadas em sua configuração final e distribuídas nas semanas dentro do período conforme as necessidades dos clientes.

Do planejamento de curto prazo fazem parte os processos de atendimento dos pedidos, análise de estoques e medição do desempenho. Os dois últimos, devido as suas características, também estão inseridos no planejamento de médio prazo.

O processo de atendimento dos pedidos consiste da captação, administração e atendimento das ordens de vendas provenientes dos clientes. Na Embraco este processo opera em ciclos de semanais, chamados ciclos de OF (*Order Fulfillment*).

Os principais objetivos do planejamento de curto prazo são o atendimento dos clientes no nível de serviço desejado pela empresa e o cumprimento das metas estabelecidas no médio prazo, com relação aos estoques, vendas, produção e índices financeiros.

A Figura 18 apresenta as etapas que compõem o ciclo semanal de OF.



Figura 18 – Ciclo de OF

O ciclo inicia pela entrada das ordens de vendas providas dos clientes. As ordens de vendas direcionam a formação do plano de vendas para os itens MTO, enquanto os itens MTS serão atendidos diretamente do estoque.

Após a entrada das ordens de vendas se roda o Plano Mestre de Produção (PMP), no qual as ordens de vendas e necessidades de reposição de estoques serão refletidas em ordens planejadas de produção de produtos finais. Neste momento, o PMP não está restrito às capacidades de manufatura.

Com o resultado da rodada do PMP, faz-se o gerenciamento das cotas de vendas, em que se define o que produzir no caso de capacidade ociosa a ser utilizada para a formação de estoques de antecipação. As cotas, definidas por família e por cliente, têm a função de garantir que o plano gerado no médio-prazo seja cumprido.

Definidas as necessidades de produção e de formação de estoques, passa-se a etapa de seqüenciamento, na qual as necessidades de produção tornar-se-ão firmes e adequadas às capacidades de produção, à disponibilidade de matérias-primas e à disponibilidade dos recursos gargalo. O seqüenciamento abrange um período de três semanas, dentro do qual o plano de produção deverá permanecer congelado, com mudanças ocorrendo apenas mediante a autorização da gerência responsável. A existência de um período congelado se deve devido à necessidade de manter a manufatura estável e garantir que os estoques das matérias-primas de alto custo e que possuem *lead time* menor do que três semanas possuam baixos níveis de estoques.

Por fim, é rodada a rotina de MRP para explodir as necessidades de compras de matérias-prima e de componentes.

3.1.6 MEDIÇÃO DO DESEMPENHO

O processo de medição de desempenho dos planejamentos de médio e curto prazo é formado por um conjunto de indicadores operacionais com foco principal no atendimento aos clientes.

Para definir os processos a serem mensurados, mapeou-se o ciclo de pedido da empresa, conforme demonstrado nos tópicos anteriores. Além destes, também são mensurados os desempenhos da expedição e da entrega.

A Figura 19 resume o processo de ciclo do pedido e os indicadores de desempenho referentes a cada etapa.



Figura 19 - Ciclo de pedido

A Tabela 2 apresenta os processos a serem mensurados, seus objetivos e respectivos indicadores de desempenho.

Processo	Objetivo	Indicador
Planejamento de médio prazo	Planejar os itens a serem produzidos e comprados em um determinado período de tempo.	Acuracidade da previsão
Produção	Transformar a matéria-prima em produto acabado.	Confiabilidade da produção
Montagem final	Personalizar o produto acabado para entrega,	Confiabilidade da montagem final
Distribuição	Transporte desde os armazéns da empresa até o cliente	Confiabilidade da distribuição
Atendimento do cliente	Entrega do pedido no prazo e volume negociados com o cliente	OTIF – Atendimento “on time, in full”

Tabela 2 - Processos Avaliados

Na escolha dos indicadores considerou-se a importância relativa de cada etapa do ciclo de pedido, a disponibilidade de dados, a consistência dos indicadores com a estratégia da empresa e a simplicidade de cálculo dos indicadores.

A estrutura dos indicadores é formada pelos seguintes atributos (LOHMAN *et al.*, 2002):

- Nome: deve ser exato para evitar ambigüidade.
- Objetivo: deve ser clara a relação com os objetivos organizacionais.
- Escopo: determina as áreas envolvidas.
- Meta: *benchmarks* devem ser determinados para monitorar o progresso.
- Equação: a forma de cálculo deve ser conhecida.
- Unidade: as unidades utilizadas devem ser conhecidas.
- Frequência: a frequência de levantamento e análise das métricas deve ser definida.
- Fonte de dados: as fontes de dados devem ser conhecidas e disponíveis.
- Dono: a pessoa responsável por coletar e analisar os dados.
- Direcionadores: fatores que influenciam o desempenho, tais como eventos, etc.

- Comentários: comentários cabíveis relacionados aos indicadores.

A Tabela 4 apresenta a estrutura dos indicadores de desempenho selecionados.

Nome	Objetivo	Meta	Equação	Freqüência
OTIF - <i>On Time, In Full</i>	Medir o nível percentual de atendimento de ordens de vendas na data e volumes negociados com o cliente.	98%	$\left(\frac{Nr_de_OVs_OTIF}{Nr_total_de_OVs} \right) * 100 \%$	De acordo com a freqüência de replanejamento
Acuracidade da previsão	Medir a assertividade da previsão, quando comparada com a venda realizada.	0	<i>previsão</i> - <i>real</i>	De acordo com a freqüência de replanejamento
Confiabilidade da produção	Medir o nível percentual de aderência (data e volume) da produção com o plano de produção.	100%	$\left(\frac{Nr_de_OPs_OTIF}{Nr_total_de_OPs} \right) * 100 \%$	
Confiabilidade da montagem final customização	Medir o nível percentual de aderência (data e volume) da montagem final com o planejado.	100%	$\left(\frac{Nr_de_OMs_OTIF}{Nr_total_de_OMs} \right) * 100 \%$	De acordo com a freqüência de replanejamento
Confiabilidade da distribuição	Medir o nível percentual de aderência entre o lead time de entrega planejado e o realizado.	100%	$\left(\frac{LT_tr\grave{a}nsito_plan.}{LT_tr\grave{a}nsito_real} \right) * 100 \%$	De acordo com a freqüência de replanejamento

Tabela 3 – Estrutura resumida dos indicadores de desempenho

Na Tabela 3, entende-se por OV, ordens de venda, OP, ordens de produção, OM, ordens de montagem e LT, *lead time*.

Com exceção da acuracidade de previsão, os indicadores são medidos em unidades percentuais, comparando-se a situação ideal ou planejada com o realizado. Para a acuracidade de previsão, se preferiu adotar um indicador absoluto em vez de um erro percentual. Isto se deve à necessidade de checar a tendência do erro no tempo, se positiva ou negativa. Em contrapartida, a apresentação de um número absoluto exige do analista uma sensibilidade maior sobre o que é um erro significativo.

O principal indicador do sistema é o OTIF, por medir diretamente o nível de serviço ao cliente e por ser impactado pelo desempenho de todos os elos do ciclo de pedidos. O resultado do OTIF deve refletir em maior ou menor grau o resultado dos demais indicadores, cujos resultados apontam as possíveis causas de não conformidades no OTIF. A Figura 20 apresenta o modelo, indicando a área de abrangência de cada indicador.



Figura 20 – Modelo de Avaliação do Desempenho de Atendimento ao Cliente

Com todo o ciclo de pedido coberto, os indicadores escolhidos permitem a análise da eficiência do planejamento da empresa, e, principalmente, o levantamento de falhas no processo. A cada rodada de planejamento, ao se levantar os indicadores, deve-se listar em paralelo as causas dos desvios em relação às metas. A Figura 21 apresenta o modelo de diagrama espinha-de-peixe utilizado para apresentar as falhas de maneira estruturada.

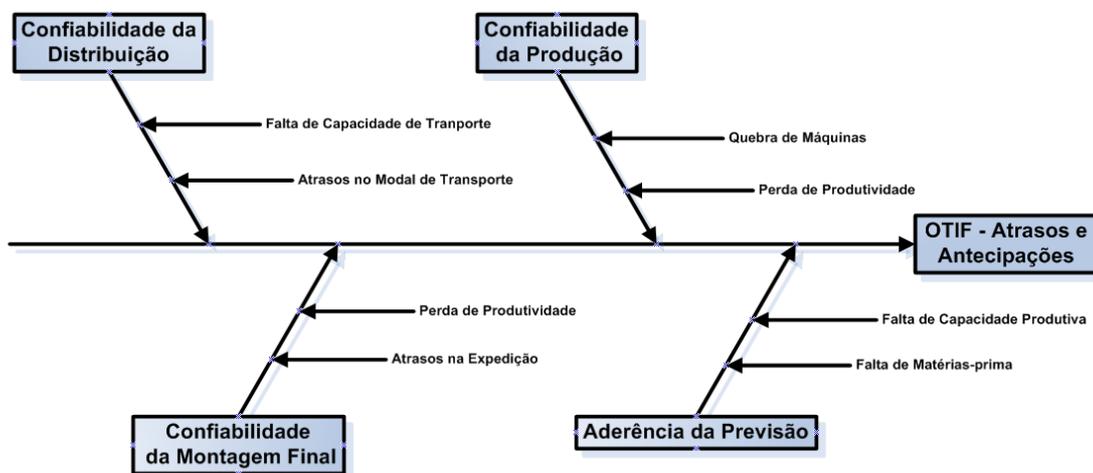


Figura 21 – Diagrama de Causa e Efeito

As causas de falhas levantadas direcionam os planos de ação e as atividades prioritárias para que os objetivos estratégicos relacionados ao atendimento ao cliente sejam atendidos e o sistema seja constantemente melhorado.

4 MODELO DE OTIMIZAÇÃO DO MIX DE PRODUTOS

Este capítulo visa apresentar as motivações para a criação de um modelo matemático para a otimização do mix de produtos da empresa, além de introduzir o modelo em si.

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Como levantado nos tópicos de revisão bibliográfica, muitas evoluções ocorreram no âmbito da logística e do gerenciamento da cadeia de suprimentos, modificando o foco inicial da disciplina e ampliando seu escopo. Em particular, os conceitos de planejamento tornaram-se cada vez mais sofisticados, sustentados pelo crescente aumento de capacidade computacional e o interesse acadêmico acerca do tema.

Entre os assuntos em voga, relacionados ao planejamento de produção, estão os conceitos de planejamento avançado da produção e de modelagem matemática para a otimização do programa de produção, dado um determinado conjunto de critérios considerados relevantes pela gerência da empresa. Estes assuntos foram abordados na seção 2.3, Planejamento Agregado da Produção, e são aqui retomados para introduzir o modelo proposto para a otimização do mix de produtos e do conjunto de clientes atendidos, com relação às margens de contribuição e custos variáveis. O modelo baseia-se no desenvolvimento de um plano de produção restrito pelos recursos de manufatura disponíveis.

A necessidade de construção de um modelo e a adoção de algumas premissas se deve devido à impossibilidade de tratar todas as variáveis existentes em uma cadeia de suprimentos, ou mais especificamente, em um processo de planejamento da produção. Assim, o modelo atua como uma representação simplificada da realidade, no qual apenas as principais variáveis, restrições e parâmetros são consideradas.

Outros objetivos do modelo matemático de otimização são, além da maximização dos ganhos financeiros, o atendimento de alguns pontos-chave para o

sucesso do negócio, tais como, o foco nas metas de satisfação do cliente, dado pela garantia de formação de um plano viável e possibilidade de simulação, através do modelo, de diferentes situações, como aumentos de preço ou investimentos em eliminação de gargalos, ou em novo maquinário, entre outras situações possíveis. Ao considerar as restrições o modelo visa, além da viabilidade do plano, diminuir os riscos existentes relacionados à integração entre os planejamentos da demanda e suprimentos.

O modelo ainda apóia os oito principais processos que possuem influência no sucesso da cadeia de suprimentos, conforme definidos por LAMBERT (2004).

O processo de gerenciamento do relacionamento com os clientes tem um ganho qualitativo com a oportunidade de focar nos clientes mais rentáveis, identificados pelo modelo, os quais deverão obter um tratamento diferenciado. O gerenciamento do serviço ao cliente, assim como o atendimento de ordens, também são melhorado com a garantia da viabilidade do plano.

O gerenciamento da demanda está no próprio cerne do modelo, que sincroniza as demandas com as restrições existentes no sistema.

Os gerenciamentos do fluxo de manufatura e do relacionamento com os fornecedores tornam-se mais robustos, dada a visibilidade do plano de produção no médio prazo.

Por fim, o desenvolvimento e comercialização de produtos pode se utilizar da seleção de produtos para venda, sugerida pelo modelo, como insumo para formulação de seus próprios planos.

Dentro da classificação proposta por SPRAGUE *et al.* (1990), listada na seção 2.3, o presente trabalho encaixa-se na categoria empiricista, ao utilizar a abordagem matemática com objetivo de se achar uma solução teórica ótima a partir de dados provindos de uma situação prática.

O modelo proposto atua na etapa de análise dos suprimentos, na qual ocorre o balanceamento entre a demanda e suprimentos. A escolha de atuação nesta etapa se dá devido a maior espaço para modificações das condições de entrada, por parte da empresa, na formação dos planos de produção e de estoques.

A faixa de atuação do modelo está restrita a formação do plano de produção do âmbito do S&OP. Isto se deve à necessidade de adotar uma abordagem hierárquica a fim de reduzir a complexidade do modelo e reduzir as incertezas (DEMPSTER *et al.*, 1981).

Resumindo, o modelo propõe a elaboração de um plano de produção restrito às capacidades de montagem final e fornecimento de componentes provenientes de recursos considerados gargalo, e que, paralelamente, maximize o ganho variável, priorizando os produtos dedicados a clientes que possuem maior margem de contribuição e penalizando a utilização de horas-extras e de manutenção de estoques.

Na formulação do modelo, buscou-se obter alguns dos benefícios levantados por VACCARO *et al.* (2006), em especial o incremento da margem de contribuição e o melhor balanceamento dos estoques, além dos benefícios indiretos como aumento do entendimento dos processos produtivos e do aumento e melhoria da qualidade das informações disponíveis para análise dentro do processo decisório.

Por fim, o modelo propicia a possibilidade de simular de maneira rápida e compreensiva os cenários de produção e vendas, associados a valores financeiros.

4.2 FORMULAÇÃO DO MODELO

O modelo foi estruturado de forma a considerar as três maiores dificuldades encontradas em problemas de planejamento da produção, segundo STADTLER & KILGER (2005).

A primeira, balancear os conflitos existentes entre as alternativas, que, no caso estudado, estão relacionados com: quais clientes atender e quais produtos oferecer. Outro conflito diz respeito à utilização de horas-extras para o atendimento dos clientes. A resolução dos conflitos pelo modelo proposto ocorre a partir de critérios financeiros, uma vez que a função objetivo considera apenas as margens e custos variáveis de cada produto/cliente.

A segunda dificuldade é causada pelo enorme número de alternativas que existem no planejamento da produção, de tal maneira que se torna impossível

enumerar todas as soluções possíveis para encontrar a solução ótima. A solução para este impasse é a utilização de modelos matemáticos. No estudo de caso aqui apresentado, a formulação do modelo faz uso da programação linear. A escolha deveu-se a simplicidade da programação e ao bom desempenho obtido com a utilização da metodologia.

Por fim, a terceira dificuldade está ligada às incertezas existentes no processo de planejamento. Incertezas existem tanto na ponta da demanda, devido as constantes mudanças econômicas e de condições de mercado, e na ponta de suprimentos, dado a impossibilidade de garantir processos 100% precisos.

Para abrandar os impactos das incertezas no planejamento, adota-se um processo em que o plano é renovado periodicamente e a cada renovação um determinado horizonte de tempo no curto prazo é congelado, ou seja, é isolado e mudanças não são permitidas. Assim, a previsão de demanda mantém-se constantemente atualizada e os dados do plano realizado retroalimentam o planejamento.

Na formulação são consideradas todas as linhas de produção localizadas na planta Brasil, da empresa em questão, e o suprimento para a montagem final de componentes fabricados em recursos gargalos.

Segundo STADTLER & KILGER (2005), basicamente quatro métodos podem ser utilizados para o gerenciamento dos recursos gargalos:

- Produzir em períodos de baixa demanda, para formar um estoque de antecipação.
- Produzir com recursos alternativos e custos de fabricação mais altos.
- Comprar de terceiros.
- Produzir em hora-extra, com custos mais altos de fabricação e possivelmente custos fixos adicionais.

Na aplicação considera-se que para os produtos finais, as estratégias utilizadas são a de produção em períodos de baixa demanda para a formação de estoques de antecipação e utilização de horas-extras a um custo variável adicional.

Os componentes fornecidos para a linha de montagem não são estocáveis, devido a restrições técnicas. Portanto, a estratégia para aumento pontual de capacidade é basicamente a utilização de horas-extras.

A formação da função-objetivo baseou-se na filosofia do custeio variável direto. Assim, assumiu-se como premissa, para a maximização do resultado da empresa, o uso margem de contribuição absoluta, calculada subtraindo-se do preço de venda as despesas diretas. Os outros parâmetros financeiros adotados no modelo são os custos variáveis de produção em horas-extras, formado basicamente pelo acréscimo salarial fornecido à mão-de-obra direta e indireta envolvida, e o custo de oportunidade associado à manutenção de estoques, este calculado pelo custo do produto multiplicado pela taxa de retorno mensal mínima adotada pela empresa.

O resultado da função-objetivo, apesar de não estar de acordo com as metodologias de custeio contábil tradicionais, possui valor gerencial, uma vez que tende a maximizar o lucro operacional da empresa, ao considerar as margens de contribuição com âncora do modelo, e também melhorar a geração de fluxo de caixa e o retorno sobre os ativos, ao considerar os impactos da manutenção de altos níveis de estoques nos resultados.

O método adotado possui similaridades com a contabilidade de ganhos, proposta por GOLDRATT (1994), em que a utilização do conceito de custeio variável é usada para identificar mix de produtos/clientes mais atrativo, isolando o impacto do rateio dos custos fixos, os quais existirão independente da produção.

4.2.1 APRESENTAÇÃO DAS VARIÁVEIS

O desenvolvimento da formulação matemática está baseado nos modelos existentes na literatura, apresentados no capítulo de revisão bibliográfica.

No modelo foram consideradas apenas as restrições de capacidade e de demanda, com a mão-de-obra assumida como constante.

4.2.1.1 ÍNDICES

Os índices adotados na formulação do modelo são os seguintes.

t indica a unidade de tempo, que no caso da aplicação são meses, variando de $t = 1$ até T .

p indica os produtos disponíveis, entendendo-se, no caso, o nível de agregação adotado pelo planejamento (família de produtos) , variando de $p = 1$ até P .

c indica os componentes utilizados no suprimento das linhas de montagem, variando de $c = 1$ até C .

m linhas de montagem final, variando de $m = 1$ até M .

i indica clientes (independente da localização na qual o produto será entregue) , variando de $i = 1$ até I .

4.2.1.2 PARÂMETROS

Os parâmetros utilizados no modelo são os seguintes:

$drm_{m,t}$ horas regulares disponíveis na linha de montagem m no período t .

$dhem_{m,t}$ horas-extras disponíveis na linha de montagem m no período t .

$drc_{c,t}$ horas regulares disponíveis para fabricação do componente c no período t .

$dhec_{c,t}$ horas-extras disponíveis para fabricação do componente c no período t .

$vm_{m,t}$ unidades produzidas por hora na linha de montagem m no período t . Na fábrica em questão, este valor de produtividade independe do produto alocado na linha.

$vc_{c,t}$ componentes produzidos por hora na célula de fabricação do componente c no período t .

$chem_{m,t}$ custo da hora-extra na linha de montagem m no período t .

$chec_{c,t}$ custo da hora-extra para fabricação do componente c no período t .

$ce_{p,t}$ custo direto de uma unidade do produto p , fabricada no período t .

j taxa de juros adotada pela empresa para o cálculo do custo de oportunidade.

$mu_{i,p,t}$ margem de contribuição absoluta unitária de um produto p , para um cliente i , em um período t .

$d_{i,p,t}$ demanda de unidades do produto p , para o cliente i , no período t .

$pm_{p,m}$ relaciona os produtos p com as linhas de montagem m capazes de montá-los. Quando esta associação é possível, faz-se $pm_{p,m} = 1$. Em caso contrário, $pm_{p,m} = 0$.

$pc_{p,c}$ indica a quantidade de componentes c utilizados na montagem de cada produto p .

ei_p estoque inicial do produto p , em unidades.

A capacidade de cada linha de montagem é expressa em termos de quantidade de itens que podem ser produzidos em um dado período de tempo. Este valor poderá ser obtido através da multiplicação da produtividade horária da linha pelo número de horas disponíveis dentro do período de planejamento em questão. Os parâmetros de custos de hora-extra representam os custos variáveis relacionados ao pagamento de mão-de-obra e à utilização dos recursos fabris. O custo de oportunidade de estoques é formado pela multiplicação do custo direto de produção (matéria-prima) por uma taxa de juros associada ao custo de capital da empresa.

A margem de contribuição absoluta unitária é a diferença entre o preço do produto e seu custo variável, que pode variar em função do preço de venda aplicado a cada cliente em cada período.

Os parâmetros relacionados às restrições garantem a viabilidade do plano de produção, ou seja, garantem que haverá recursos para produção dos produtos p alocados no plano.

4.2.1.3 VARIÁVEIS DE DECISÃO

As variáveis de decisão são aquelas cujos valores são determinados pelo modelo de otimização. O valor ótimo destas variáveis indica a estratégia a ser adotada, em termos de produção, estoques, vendas, bem como na distribuição dos recursos usados. No modelo em questão foram utilizadas as seguintes variáveis:

$Xrm_{p,m,t}$ produção regular do produto p , na linha de montagem m , no período t , expressa em unidades;

$Xhem_{p,m,t}$ produção em horas-extras do produto p , na linha de montagem m , no período t , expressa em unidades;

$Xrc_{c,t}$ produção regular do componente c utilizado no período t , expressa em unidades;

$Xhec_{c,t}$ produção em horas-extras do componente c utilizado no período t , expressa em unidades;

$E_{p,t}$ unidades do produto p em estoque ao final de um período t .

$Vi_{i,p,t}$ volume de vendas, em unidades, do produto p , para o cliente i , no período t .

4.2.1.4 MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Neste item serão apresentadas as equações que compõem o modelo de programação linear utilizado para solucionar o problema proposto no estudo de caso.

a. Função-objetivo

A função-objetivo maximiza o retorno financeiro da empresa ao somar as margens unitárias dos produtos vendidos e subtrair os custos de oportunidades de estoques e os custos relacionados à produção em regime de hora-extra.

Maximizar

$$Z = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P \left[\mu_{i,p,i} V_{i,p,t} - ce_{p,t} j E_{p,t} - \sum_{m=1}^M (chem_{m,t} Xhem_{p,m,t}) - \sum_{c=1}^C (chec_{c,t} Xhec_{c,t}) \right]$$

b. Equação de conservação de estoques

$$E_{p,1} = ei_p + \sum_{m=1}^M ((Xrm_{p,m,1} + Xhem_{p,m,1}) * pm_{p,m}) - \sum_{i=1}^I V_{i,p,1}, \quad \forall p = 1, \dots, P$$

$$E_{p,t} = E_{p,t-1} + \sum_{m=1}^M ((Xrm_{p,m,t} + Xhem_{p,m,t}) * pm_{p,m}) - \sum_{i=1}^I V_{i,p,t}, \quad \forall p = 1, \dots, P, \forall t = 2, \dots, T$$

A equação de conservação de estoques calcula o estoque ao final de um dado período t , considerando o estoque ao final do período $t-1$, a produção total e as vendas no período t .

c. Restrições de capacidade da linha de montagem

As restrições de capacidade garantem que os volumes alocados em cada linha de montagem m e em cada célula de produção de um dado componente c respeitem a disponibilidade de produção de cada recurso em um dado período t . Cabe ressaltar que, devido aos altos valores ativos permanentes, a empresa tem como diretriz que toda a disponibilidade de produção regular para montagem de

produto final seja utilizada, a fim de se reduzir o custo de transformação dos produtos através do rateio dos custos fixos.

Apesar da existência desta premissa, decidiu-se assumir no modelo de programação linear proposto que a produção regular não necessariamente deverá preencher a capacidade em cada mês. A decisão por este critério deve-se a necessidade de visibilidade sobre as oportunidades reais de ganho com a ocupação de uma eventual capacidade ociosa, de visibilidade sobre a necessidade de uma parada de produção para controle de estoque e de se analisar as variáveis duais para auxílio à tomada de decisão sobre investimentos em expansão da capacidade nos casos em que não há capacidade disponível de montagem ou de componentes para se atender toda a demanda existente.

$$\sum_{p=1}^P (Xrm_{p,m,t} pm_{p,m}) \leq drm_{m,t} vm_{m,t}, \quad \forall m = 1, \dots, M, \forall t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{p=1}^P (Xhem_{p,m,t} pm_{p,m}) \leq dhem_{m,t} vm_{m,t}, \quad \forall m = 1, \dots, M, \forall t = 1, \dots, T$$

d. Restrições de capacidade de componentes

Esta restrição garante que, para cada período t , não sejam montados mais produtos do tipo p do que a capacidade de produção dos respectivos componentes c que fazem parte de sua configuração. Nesta restrição também são considerados os componentes obtidos a partir de terceiros, como é mostrado abaixo:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P [(Xrm_{p,m,t} + Xhem_{p,m,t}) pm_{p,m}] pc_{p,c} = Xrc_{c,t} + Xhec_{c,t}, \quad \forall c = 1, \dots, C, \forall t = 1, \dots, T$$

$$Xrc_{c,t} \leq drc_{c,t} vc_{c,t}, \quad \forall c = 1, \dots, C, \forall t = 1, \dots, T$$

$$Xhec_{c,t} \leq dhec_{c,t} vc_{c,t}, \quad \forall c = 1, \dots, C, \forall t = 1, \dots, T$$

e. Restrições de demanda máxima

A equação garante que, em período t , não serão vendidos mais produtos p para o cliente i do que a demanda prevista.

$$V_{i,p,t} \leq d_{i,p,t}, \quad \forall i = 1, \dots, I, \forall p = 1, \dots, P, \forall t = 1, \dots, T$$

f. Restrições de não negatividade

$Xrm_{p,m,t}$, $Xhem_{p,m,t}$, $Xrc_{c,t}$, $Xhec_{c,t}$, $E_{p,t}$ e $V_{p,t}$ devem ser maiores ou iguais a zero.

Abaixo, segue o modelo completo

Maximizar

$$Z = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P \left[\mu_{i,p,t} V_{i,p,t} - ce_{p,t} j E_{p,t} - \sum_{m=1}^M (chem_{m,t} Xhem_{p,m,t}) - \sum_{c=1}^C (chec_{c,t} Xhec_{c,t}) \right]$$

Sujeito a

$$E_{p,1} = ei_p + \sum_{m=1}^M ((Xrm_{p,m,1} + Xhem_{p,m,1}) * pm_{p,m}) - \sum_{i=1}^I V_{i,p,1}, \quad \forall p = 1, \dots, P$$

$$E_{p,t} = E_{p,t-1} + \sum_{m=1}^M ((Xrm_{p,m,t} + Xhem_{p,m,t}) * pm_{p,m}) - \sum_{i=1}^I V_{i,p,t}, \quad \forall p = 1, \dots, P, \forall t = 2, \dots, T$$

$$\sum_{p=1}^P (Xrm_{p,m,t} pm_{p,m}) \leq drm_{m,t} vm_{m,t}, \quad \forall m = 1, \dots, M, \forall t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{p=1}^P (Xhem_{p,m,t} pm_{p,m}) \leq dhem_{m,t} vm_{m,t}, \quad \forall m = 1, \dots, M, \forall t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P [(Xrm_{p,m,t} + Xhem_{p,m,t}) pm_{p,m}] pc_{p,c} = Xrc_{c,t} + Xhec_{c,t}, \quad \forall c = 1, \dots, C, \forall t = 1, \dots, T$$

$$Xrc_{c,t} \leq drc_{c,t} vc_{c,t}, \quad \forall c = 1, \dots, C, \forall t = 1, \dots, T$$

$$Xhec_{c,t} \leq dhec_{c,t} vc_{c,t}, \quad \forall c = 1, \dots, C, \forall t = 1, \dots, T$$

$$V_{i,p,t} \leq d_{i,p,t}, \quad \forall i = 1, \dots, I, \forall p = 1, \dots, P, \forall t = 1, \dots, T$$

$$Xrm_{p,m,t}, Xhem_{p,m,t}, Xrc_{c,t}, Xhec_{c,t}, E_{p,t}, V_{p,t} \geq 0$$

4.3 APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Para fins de teste de validade do modelo desenvolvido, simulou-se o planejamento de produção para um trimestre e se comparou os resultados obtidos com o planejamento tradicional e com o realizado.

Devido às políticas de confidencialidade da empresa, os valores de demanda, margens de contribuição e capacidades fabris apresentados não são reais. Os resultados comparativos apresentados mostram apenas as diferenças percentuais obtidas entre os modelos, sem apresentar os valores absolutos.

Este tópico tratará da forma como as informações de entrada do modelo foram levantadas, assim como apresentará a aplicação prática do modelo, os resultados obtidos e os impactos qualitativos e quantitativos nos indicadores de desempenho.

4.3.1 OBTENÇÃO DA DEMANDA

Como apresentado em itens anteriores, a demanda é determinada com o uso de métodos analíticos qualitativos e quantitativos.

Os métodos qualitativos consistem principalmente de reuniões de consenso e são utilizados na formação da previsão de vendas das grandes montadoras. Os métodos quantitativos utilizados são baseados em ferramentas estatísticas, e são aplicados em sua maior parte na formação da previsão de vendas dos pequenos clientes e do mercado de reposição.

O nível de agregação, adotado nesta definição da demanda, considera o conceito de cliente agrupador e modelo. Cliente agrupador é um conceito no qual clientes pertencentes a uma mesma corporação tem suas demandas e margens tratadas em conjuntos, a fim de se reduzir a complexidade geral do problema. Pequenos clientes com pouco impacto no resultado geral também têm suas demandas agrupadas.

A Tabela 4 apresenta a maneira como os demanda está organizada, com M1, M2 e M3 representando os meses 1, 2 e 3.

Cliente	Produto	M1	M2	M3
I1	P153	0	1.270	1.016
I1	P170	0	2.667	2.134
I1	P172	0	383	306
I2	P51	5.400	5.400	5.400
I2	P58	1.800	1.800	1.800
I2	P209	1.400	1.400	1.400
I3	P17	204	204	0
I3	P39	3.456	5.184	5.184
...
I73	P69	0	110	0
I73	P82	230	234	0
I73	P146	258	207	0
I73	P151	77	19	0
I73	P154	52	57	0
I73	P157	103	340	0
I73	P159	775	472	0
I73	P163	131	38	0
I73	P165	66	57	0
I73	P172	0	38	0
I73	P173	33	38	0
I74	P74	145	146	146
I74	P77	24	24	24
I74	P81	146	146	146
I74	P83	1.845	1.844	1.844
I74	P146	102	99	101
I74	P157	142	139	141
I74	P158	20	20	20
I74	P159	1.321	1.294	1.314
I74	P161	1.443	1.413	1.436
I74	P162	244	239	242
I74	P165	1.140	1.169	1.147
I74	P167	1.334	1.366	1.344
I74	P170	302	309	303

Tabela 4 – Demanda projetada para o trimestre

Na primeira coluna da tabela estão representados os clientes, em um total de 74. Os produtos estão na segunda coluna, em um total de 217. As três colunas da direita apresentam as previsões de vendas para cada mês do trimestre.

4.3.2 OBTENÇÃO DO ESTOQUE INICIAL

O nível de estoque inicial considerado no modelo baseia-se no valor de fechamento do mês imediatamente anterior ao primeiro mês considerado no modelo, ao nível de agregação considerado.

4.3.3 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS FINANCEIROS

As variáveis financeiras adotadas são: a margem de contribuição unitária, o custo de fabricação unitário do produto e a taxa mínima de retorno adotada pela empresa. As duas primeiras variáveis são formadas a partir da média histórica das vendas realizadas em três meses na configuração final de produto para o cliente final.

Como aqui se utilizam níveis mais altos de agregação, tanto para clientes como para produtos, a média é ponderada pelo volume vendido para se chegar a um valor para o cliente agrupador, em relação ao conjunto de clientes por ele representado, e para o nível de modelo, em relação ao conjunto de produtos.

Por simplificação, as margens e custos foram considerados constantes durante os períodos de análise, embora possam variar de acordo com a movimentação de preços dos produtos no mercado e dos insumos utilizados na produção.

O parâmetro que representa a taxa mínima de retorno é utilizado para se calcular o custo de oportunidade associado à manutenção de estoques de produto acabado. O valor adotado no modelo é fixo no decorrer do tempo, e é definido pela empresa para avaliar o retorno financeiro de seus investimentos dentro do período de análise relativo a um ano.

4.3.4 FORMAÇÃO DAS RESTRIÇÕES

As restrições consideradas no modelo estão relacionadas às capacidades das linhas de montagens e às capacidades de fornecimento para estas linhas por parte das células de produção de componentes.

Na montagem final foram consideradas as oito linhas disponíveis, sendo quatro para o grupo de produtos minis e quatro para midis. O relacionamento entre produto e montagem foi disposto em forma de uma matriz binária, de forma a facilitar o entendimento e simplificar a resolução do problema. A Tabela 5 apresenta a maneira como estão organizados os dados de restrição.

Produto	EG1	EG2	EG3	F	EM1	EM2	EM3	EM4
P1	1	1	1	0	0	0	0	0
P2	1	1	1	0	0	0	0	0
P3	0	0	1	1	0	0	0	0
P4	0	0	1	1	0	0	0	0
P5	1	1	1	0	0	0	0	0
P6	0	0	1	1	0	0	0	0
P7	0	0	1	1	0	0	0	0
P8	0	0	1	1	0	0	0	0
P9	0	0	1	1	0	0	0	0
P10	0	0	1	1	0	0	0	0
P11	0	0	1	1	0	0	0	0
P12	1	1	1	0	0	0	0	0
P13	1	1	1	0	0	0	0	0
P14	1	1	1	0	0	0	0	0
P15	1	1	1	0	0	0	0	0
P16	0	0	1	1	0	0	0	0
P17	0	0	1	1	0	0	0	0
P18	1	1	1	0	0	0	0	0
P19	1	1	1	0	0	0	0	0
P20	1	1	1	0	0	0	0	0
P21	1	1	1	0	0	0	0	0
P22	0	0	1	1	0	0	0	0
...
P217	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabela 5 – Matriz de relação entre linha de montagem final e produto.

Nesta matriz, o número um indica a possibilidade de produzir-se um determinado produto em uma dada linha de montagem. O limite para a montagem em cada período é a capacidade disponível em cada linha, em horas regulares e horas-extras.

Para o fornecimento de componentes, a lógica adotada é a mesma. Os recursos de fabricação de componentes considerados na formulação do problema são: Estator VCC, Rotor Centrifugado e Lâmina Y.

As capacidades das linhas de montagem e das unidades de fabricação de componentes estão definidas em termos da quantidade de produtos que poderão ser produzidos em cada período, e são obtidas através da multiplicação das horas regulares e extras disponíveis pela produtividade horária correspondente da linha em questão. Esta notação foi adotada por se explicitar os impactos dos ganhos de produtividade na solução do problema, além de demonstrar de forma clara a utilização de horas-extras. As Tabelas 6 e 7 exemplificam a forma como os dados são utilizados.

	M1	M2	M3
EG1	350	350	350
EG2	350	350	350
...
EM4	360	360	360

Tabela 6 – Produtividade das linhas de montagem

	M1	M2	M3
EG1	553	502	396
EG2	553	502	396
...
EM4	553	502	396

Tabela 7 – Horas disponíveis nas linhas de montagem

4.3.5 LÓGICA DE PLANEJAMENTO

No modelo todos os produtos são planejados de acordo com a lógica *make-to-order* (MTO), ou seja, apenas serão produzidos a partir da confirmação do pedido pelo cliente. Embora na prática alguns produtos, principalmente os direcionados ao mercado de reposição e clientes do segmento comercial, sejam planejados de acordo com a lógica *make-to-stock* (MTS), em que são produzidos para atender uma determinada política de estoques, no modelo adotou-se a lógica MTO para simplificar o modelo e não gerar a necessidade de se criar restrições relacionadas a estoques mínimos. A adoção da lógica MTO também se deve ao fato de que a grande maioria dos produtos é planejada assim, de forma que os impactos da desconsideração dos MTS podem ser considerados mínimos.

4.4 RESULTADOS OBTIDOS

O modelo foi formulado na linguagem de programação GAMS e submetido ao web site NEOS Server for Optimization, com o solver BDMLP, para a obtenção de uma solução ótima.

Nesta seção será apresentada uma comparação direta entre o modelo atual e o modelo de otimização, no qual os dados de entrada já representam a demanda restrita e balanceada. Na seqüência se apresentará a mesma formulação com a

demanda aumentada em 10% em todos os produtos, de forma em que haja necessidade real de escolha entre os produtos e clientes a serem atendidos e que as potencialidades do modelo possam ser analisadas de forma plena.

4.4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O modelo de otimização proposto, além das evidentes funções de formar o plano de produção, vendas e estoques para o médio prazo, e selecionar o melhor mix de produtos e clientes, atua como ferramenta de suporte para vários dos principais processos da cadeia de suprimentos indicados por LAMBERT (2004).

No gerenciamento do relacionamento com os clientes, os resultados obtidos com a ferramenta de otimização proporcionam as informações necessárias para que se possa segmentar os clientes de acordo com seu valor e seu retorno para a empresa.

O gerenciamento do serviço ao cliente também é beneficiado, ao se gerar informações confiáveis sobre os planos de vendas e produção de médio prazo.

O gerenciamento da demanda passa a ser o elemento central do processo de planejamento. O balanceamento entre a capacidade de produção e a demanda garante que os planos gerados sejam viáveis e que as variabilidades geradas pela não consideração das restrições sejam diminuídas. A garantia de viabilidade também traz melhorias ao processo de atendimento de ordens, uma vez que a necessidade de manobras de curto prazo para realizar o atendimento diminui.

O gerenciamento do fluxo de manufatura é facilitado com um horizonte de planejamento mais longo, o que permite um melhor planejamento das mudanças e investimentos na fábrica através da obtenção dos ganhos marginais a serem obtidos por um aumento de demanda.

Outro benefício da utilização deste modelo é a facilidade de projeção financeira, principalmente da previsão de faturamento e dos ganhos de margem. A capacidade de simular de maneira rápida e compreensiva os cenários de produção e vendas é também um dos benefícios obtidos pela empresa.

Por fim, ao propor regras claras de *trade-off* relacionados aos desbalanceamentos entre os planos de produção e vendas, a adoção do modelo permite que a empresa foque nas oportunidades mais lucrativas, identificando rapidamente os clientes e produtos que trazem os maiores ganhos.

4.4.2 COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS COM DEMANDA RESTRITA

Neste seção, apresentar-se-ão os resultados obtidos pelo modelo ao se utilizar a mesma demanda obtida da forma corrente de planejamento.

A análise comparativa entre o modelo proposto e a forma tradicional de planejamento é dificultada devido às diferenças existentes entre os níveis de agregação.

Enquanto no modelo de otimização se utiliza o nível de agregação de modelo por cliente, para que o balanceamento ocorra na precisão desejada, na forma tradicional, o balanceamento entre produção e vendas é realizado apenas no nível de família, dificultando a obtenção de parâmetros de comparação similares.

Para fins de comparação, se adotarão aqui algumas premissas.

A produção será considerada a mesma, inclusive como a utilização de horas-extras, e a venda será baseada na previsão da demanda, realizando-se os cortes por família, valorizando-os de acordo com os custos médios e margens médias da família.

4.4.2.1 ANÁLISE DE VENDAS

A análise de vendas apresenta a relação de produtos e clientes que o modelo sugeriu para que o resultado seja maximizado.

Dentro do período de análise, apenas os produtos/clientes que apresentavam margem negativa não tiveram sua demanda satisfeita.

A demanda por estes produtos representa um percentual desprezível dentro de todo o volume demandado no trimestre, de forma que o impacto do ganho por aumento da margem de contribuição é de apenas 0,01% no trimestre.

Vale ressaltar que apenas a análise fria dos números não deve ser a fonte única de informações para a tomada de decisão. Por exemplo, o cliente que compra os dois produtos que apresentam margem negativa, leva outros 92 produtos com margens positivas, o que pode denotar que as vendas dos produtos que causam prejuízo podem estar dentro de um pacote negociado e não devem ser tratadas individualmente.

4.4.2.2 ANÁLISE DA PRODUÇÃO E ESTOQUES

A análise de produção demonstra que a capacidade regular disponível para a montagem é suficiente para suprir as necessidades de vendas dos meses analisados.

Como a obrigatoriedade de produzir toda a capacidade não é considerada no modelo e tampouco há restrições de estoques mínimos ao fim de cada período, considerou-se além dos três meses em análise, um horizonte de 5 meses de produção e vendas, a fim de considerar as necessidades de formação de estoques por efeito de sazonalidade.

A capacidade regular disponível para a montagem foi inteiramente utilizada nos meses 2 e 3, porém no primeiro mês a produção está 512.467 abaixo da capacidade, o que indica um forte consumo do estoque disponível.

O Gráfico 1 apresenta as curvas de produção, vendas e estoques para o período em análise.

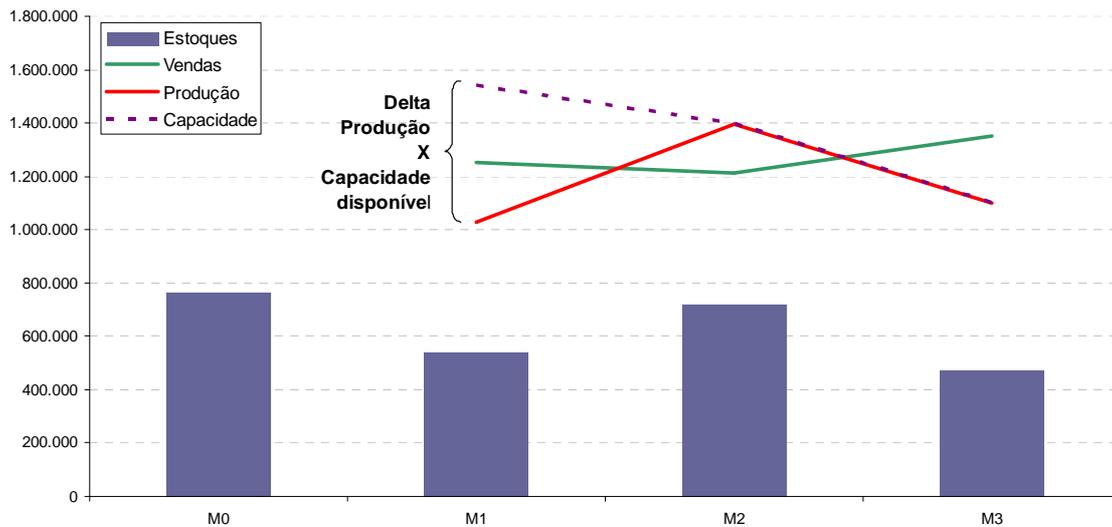


Gráfico 1 – Curvas de produção, vendas e estoques

Como na prática, toda a capacidade disponível para a produção deverá ser utilizada, devem-se aumentar os níveis de estoques do primeiro período para absorver uma demanda futura ou se desenvolver novas oportunidades de vendas.

Em ambos os modelos, não houve a necessidade de se utilizar horas-extras.

Com relação aos componentes, nota-se que, embora a capacidade de produção de rotor centrifugado tenha sido inteiramente utilizada nos três primeiros meses, seus valores marginais são nulos, indicando que não há falta de capacidade. A capacidade foi esgotada principalmente para formação de estoques de antecipação.

4.4.2.3 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

A principal diferença entre os dois modelos no período em análise é a não necessidade de se produzir toda a capacidade disponível no primeiro período para atender a demanda e a produção projetadas em um horizonte de 8 meses.

As margens de contribuição obtidas pelos dois modelos são apresentadas na Tabela 8.

	M1	M2	M3
Margem Modelo Otimização	17.576.745	17.600.856	18.937.149
Margem Modelo Tradicional	17.574.421	17.599.031	18.933.364
Delta Absoluto	2.325	1.825	3.785
Delta Percentual	0,01%	0,01%	0,02%

Tabela 8 – Margens de contribuição Modelo Tradicional X Modelo de Otimização

Com relação aos estoques, a comparação direta é distorcida pelo fato de não haver uma decisão sobre o destino da capacidade ociosa disponível no primeiro período. Porém, uma comparação entre os custos de oportunidade é válida, dado que os estoques indicados pelo modelo de otimização são os necessários para o atendimento da demanda e a capacidade ociosa pode ser disponibilizada para venda, não incorrendo em estoques adicionais.

A Tabela 9 apresenta os custos de oportunidades a uma taxa de 1% ao mês para os modelos tradicional e de otimização. No modelo tradicional, como não se tem um projeção dos estoques por produto, tomou-se como base para o cálculo dos custos, a média ponderada por volume dos custos do estoque inicial.

	M1	M2	M3
Custo de Oportunidade Modelo Otimização	131.709	170.322	110.172
Custo de Oportunidade Modelo Tradicional	280.492	329.075	262.200
Delta Absoluto	-148.783	-158.753	-152.029
Delta Percentual	-53,04%	-48,24%	-57,98%

Tabela 9 – Custo de oportunidades Modelo Tradicional X Modelo de Otimização

Nota-se na tabela que, com a utilização do modelo proposto, há uma redução nos custos de oportunidade de até 57,98%. Considerando a redução acumulativa, em que o capital disponibilizado em um primeiro período continua rendendo nos demais períodos, a ganho total por em oportunidade chega a um valor de 464.142,93, o que representa um ganho adicional de 3% sobre a margem média do período analisado, obtida pelo modelo de otimização.

4.4.3 COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS COM DEMANDA INCREMENTADA EM 10%

Nesta seção será apresentada a análise dos resultados obtidos com o modelo de otimização aplicado ao problema apresentado no tópico anterior, apenas com as

entradas relacionadas à demanda aumentadas em 10%. Ressalta-se que esta análise está sendo feita apenas para fins ilustrativos, e não representa a situação real da empresa. De fato, a demanda considerada no cenário anterior foi balanceada com a capacidade de produção. Este balanceamento foi realizado cortando a priori algumas demandas existentes, e, historicamente, estes cortes representam uma redução em torno de 10% da demanda total registrada pela empresa (mas não necessariamente de forma linear em todos os produtos).

4.4.3.1 ANÁLISE DE VENDAS, PRODUÇÃO E ESTOQUES

A análise de vendas apresenta a demanda atendida e as margens obtidas ao se utilizar o modelo de otimização. A Tabela 10 apresenta as demandas para os meses analisados, as vendas realizadas e a demanda não atendida.

	M1	M2	M3
Demanda	1.378.273	1.334.584	1.485.760
Vendas	1.375.812	1.322.550	1.427.212
Demanda não atendida	2.461	12.034	58.548

Tabela 10 – Demanda X Vendas

A demanda não satisfeita concentra-se em 7 clientes/produtos.

Sob o ponto de vista financeiro, a margem média ponderada pelo volume vendas da demanda selecionada pelo modelo de otimização é de R\$ 14,370, enquanto a margem média da demanda irrestrita, considerando-se os mesmos parâmetros, é de R\$14,176. A adoção do modelo possibilitou um aumento de 1,4% na margem média obtida pela empresa.

A margem média dos produtos cuja demanda não foi satisfeita é de R\$ 3,18. Dentre os produtos com demandas não atendidas apenas dois apresentam margens de contribuição negativas. Os demais tiveram suas demandas não atendidas devido a restrições de capacidade. Destes, 3 produtos são produzidos nas linhas EG 1, 2, e 3, um na linha EM4 e um na linha F. Desta forma, um incremento na capacidade desta linhas representa um ganho marginal na função objetivo do modelo. Se este ganho marginal obtido ao longo de um ano de análise compensar os custos para ampliação das capacidades, então o investimento deverá ser realizado. A Tabela 11

apresenta os ganhos marginais obtidos ao se incrementar a capacidade de produção das linhas em uma unidade, a cada mês, para os três primeiros meses do período.

	M1	M2	M3
EG1	2,94	3,18	3,42
EG2	2,94	3,18	3,42
EG3	2,94	3,20	3,47
F	2,94	3,25	3,55
EM4	5,43	5,66	5,89

Tabela 11 – Ganhos marginais por incremento de capacidade em uma unidade.

Analisando-se a ocupação das linhas, nota-se que todas as linhas estão integralmente ocupadas, a exceção da linha EM3, que possui uma capacidade ociosa de 7.102 unidades, o que representa uma oportunidade de venda adicional nos modelos montados nesta linha.

O modelo indicou a utilização de horas-extras para algumas linhas, conforme apresentado na Tabela 12.

	M1	M2	M3
EG1	0	0	15.750
EG2	0	18.318	15.750
EG3	0	0	15.390
F	24.300	24.300	16.200

Tabela 12 – Utilização de horas-extras nas linhas de montagem.

Dentre os componentes, apenas os recursos produtores de rotor centrifugado tiveram sua demanda integralmente utilizada, principalmente para a formação de estoques de antecipação, dado que toda a demanda dos três primeiros meses é atendida.

Como não há capacidade ociosa para este recurso, existe um ganho marginal associado, apresentado na Tabela 13.

	M1	M2	M3
Rotor Centrifugado	0,363	0,352	0,350

Tabela 13 - Ganhos marginais por incremento de capacidade em uma unidade.

O Gráfico 2 apresenta as curvas de produção e vendas e o estoque resultante.

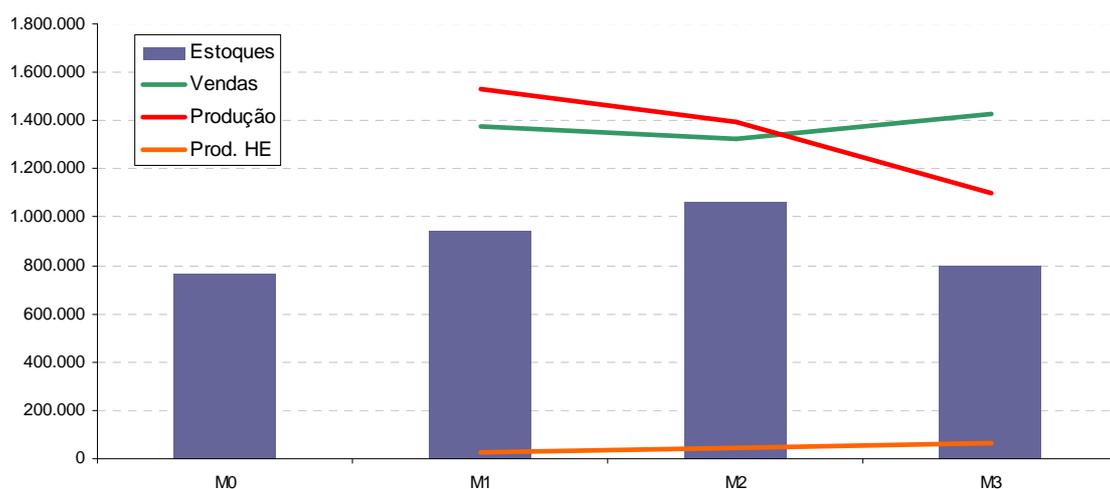


Gráfico 2 – Vendas, produção e estoques

Pode-se notar um aumento nos níveis de estoques do período M2 para suprir as vendas do período seguinte, dada a redução de produção.

No médio prazo, o estoque tende a zero, dado que não há restrições relacionadas a níveis mínimos de estoques no final do período de planeamento (8 meses).

4.4.4 IMPACTO NOS INDICADORES OPERACIONAIS

O modelo de otimização apresentado nesta dissertação não apresenta impactos diretos no conjunto de indicadores de desempenho previamente apresentado, devido ao foco destes na execução, enquanto o modelo trata de horizonte mais longo e em níveis de cliente, produto e tempo agregados.

Entretanto, podem-se assumir alguns impactos indiretos, dada a qualidade e a confiabilidade que o planeamento de médio prazo ganha com o uso da ferramenta.

Ao se adotar um modelo baseado em capacidade finita de produção, evita-se que uma demanda superestimada seja desagregada no curto prazo. Assim, garante-se a viabilidade do plano mestre de produção, sem a necessidade de grandes ajustes.

A qualidade dos resultados do MRP aumenta ao considerar as restrições de componentes já no médio prazo, de forma que se evite a geração de um plano viável com relação à montagem final, porém sem disponibilidade de componentes.

O conjunto de ambos os fatores, a consideração das capacidades de montagem final e de fornecimento de componentes, impacta de maneira indireta o indicadores de confiabilidade da produção, uma vez que este está baseado no correto cumprimento do Plano Mestre de Produção.

Com a melhoria do indicador de confiabilidade de produção, podem-se assumir também melhorias nos indicadores de confiabilidade de entrega (OTIF).

4.4.5 IMPACTO NOS INDICADORES FINANCEIROS

Ao gerar planos de produção e vendas, a ferramenta automaticamente impacta os indicadores financeiros da empresa, em especial aumentando o lucro operacional e diminuindo os ativos em estoques (consequentemente aumentando a disponibilidade de recursos financeiros).

Considerando que o ganho de margem de contribuição impacta diretamente o lucro bruto da empresa (receitas – custos), e assumindo-se que as despesas operacionais são constantes, independente do mix de produção escolhido, no exemplo apresentado, o impacto no lucro operacional seria de 1,4% em três meses.

Da mesma forma, assumindo-se os pagamentos como constantes, a geração de fluxo de caixa seria beneficiada com a melhoria do mix de vendas, e no longo prazo, com o influxo de capitais pela redução dos níveis de estoques.

A melhoria do mix e a redução dos níveis de estoques impactam o retorno sobre os ativos, ao aumentar tanto o retorno, pelo maior valor das vendas, como também diminuir os ativos pela venda dos estoques.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção serão apresentadas as conclusões do trabalho, com ênfase na comparação dos resultados obtidos com os objetivos gerais e específicos inicialmente propostos. Também se abordarão as dificuldades encontradas na formulação e execução do modelo proposto e das potencialidades do modelo.

Nas recomendações, se listará as sugestões para futuras evoluções do modelo, a fim de torná-lo mais sofisticado e aumentar a viabilidade e simplicidade para sua adoção no longo prazo.

5.1 CONCLUSÕES

A aplicação de um modelo de programação linear para a resolução do problema de planejamento agregado da produção mostrou-se válida, trazendo ganhos efetivos em relação ao aumento das margens de contribuição e da geração de fluxo de caixa. Do ponto de vista operacional, há um ganho com relação ao conhecimento detalhado do processo, à possibilidade de geração de cenários em que os parâmetros considerados são facilmente configurados e a garantia da robustez do processo.

O modelo ainda apresenta potencialidades adicionais com agregação de novos parâmetros, como a inclusão de restrições relacionadas a prioridade de clientes, estoques mínimos, capacidade de armazenagem, distribuição, entre outras. Em um escopo ampliado, considerando uma situação em que mais plantas produtivas são incluídas no modelo, pode-se incluir no modelo a análise da demanda global, considerando as transferências entre plantas e custos logísticos, para assim, maximizar o ganho global da empresa.

O objetivo geral do trabalho, apresentar uma aplicação ilustrativa, baseada em um caso real, foi alcançado, uma vez que o modelo mostrou-se capaz de criar um plano de vendas, produção e estoques viável e otimizado com relação aos critérios adotados.

Os objetivos específicos foram alcançados. No trabalho foi apresentada uma revisão da literatura, a qual embasou o desenvolvimento do modelo de programação linear e facilitou o entendimento dos benefícios obtidos com a utilização de tal modelo. O modelo desenvolvido foi aplicado com sucesso se utilizado como entrada as informações de um caso real e os resultados obtidos foram analisados de forma crítica e comparados ao modelo corrente utilizado pela empresa.

Embora o modelo tenha se mostrado útil e apresentado resultados consistentes, encontrou-se diversas dificuldades para sua operacionalização. A primeira dificuldade encontrada está relacionada à obtenção de dados de entrada. Como atualmente não há um processo semelhante, a estrutura de dados necessária está distribuída em diferentes locais dentro do sistema de informações da empresa, o que torna o processo para levantá-los demorado e pouco amigável. Alguns dos dados, como, por exemplo, algumas das restrições fabris, não estão cadastradas no sistema de informações da empresa, o que torna a obtenção e manutenção de tais informações ainda mais trabalhosa.

A ferramenta utilizada para se rodar o *solver* e obter os resultados da otimização também se mostrou pouco adequada para o uso rotineiro e para a necessidade de obtenção de resultados de forma ágil e confiável. As principais dificuldades encontradas com a utilização do servidor remoto NEOS foram a pouca confiabilidade na sua disponibilidade. Eventualmente o site não estava no ar ou a fila para rodar o programa era longa, tornando o processo de obtenção de resposta excessivamente demorado para adaptar-se a rotina de planejamento de uma empresa real. A formatação dos dados de entrada e de saída também representaram uma dificuldade adicional, devido a pouca compatibilidade com ferramentas de análise usuais de empresas, como, por exemplo, o Microsoft Excel. Por fim, a não integração com o ERP da empresa representa uma barreira para a efetiva implementação de tal sistema, uma vez que a necessidade de que os resultados do modelo reflitam em outras funções da empresa, com a contábil, a compra de materiais, entre outras, é imperativo para efetividade de todo o processo.

Por fim, a aplicação do modelo trouxe a empresa uma gama de informações usualmente não disponíveis, como os resultados das variáveis duais, que apresentam os ganhos marginais pelo aumento da venda de determinados produtos

e os ganhos marginais com aumento de capacidade dos recursos considerados no modelo.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Para a continuidade e expansão deste trabalho, sugere-se:

- Aumentar o período de análise, de forma a cobrir todo o horizonte de planejamento da empresa e captar com maior precisão os efeitos da sazonalidade.
- Aplicar o modelo com demandas reais irrestritas, para que a escolha do mix de clientes e produtos seja efetiva.
- Inserir outras variáveis e restrições relevantes para o modelo, como a escolha do melhor período para a alocação de férias e necessidade de se considerar matérias-primas com alto *lead time* como restrição.
- Expandir o modelo para outras plantas, incluindo as operações de transferência.
- Procurar alternativas de integrar o modelo ao sistema ERP da empresa.

Tais recomendações podem servir de embasamento para futuros trabalhos acadêmicos ou como direcionamento para um possível aproveitamento da metodologia proposta no trabalho pela empresa em que o estudo foi realizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERDEEN GROUP. **Best Practices in S&OP - A Benchmark Report.** Massachusetts, EUA, 2005.

ABERDEEN GROUP; STANLEY ELBAUM. **Sales and Operations Planning: The Drive for Profitability.** 2004.

ARNOLD, J. R.T. & STEPHEN N. C. **Introduction to materials management.** 4.ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 2001.

ASSAF NETO, A. **Finanças Corporativas e Valor.** São Paulo: Atlas, 2003.

AXSATER, S. **On the Feasibility of Aggregate Production Plans.** Operations Research, Vol. 34, No. 5., pp. 796-800. Sep. - Oct., 1986.

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física.** São Paulo: Atlas, 1993.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial.** Porto Alegre: Bookman, 2001.

BEYER, J. **Electronic Supply Chain Management.** Technische Universität Ilmenau, 2004.

BHARDWAJ, S. **The Performance Metrics Three-Legged Stool Performance Metrics.** DS Magazine, 2003.

BITRAN, G. R.; HAAS, E. A & HAX, A. C. **Hierarchical Production Planning: A Single Stage System.** Operations Research, Vol. 29, No. 4, 1981.

BITRAN, G. R.; HAAS, E. A & HAX, A. C. **Hierarchical Production Planning: A Two-Stage System.** Operations Research, Vol. 30, No. 2, 1982.

BOWERSOX, D. & CLOSS, D. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento.** São Paulo: Atlas, 2001.

CHRISTOPHER, M.. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimento: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços.** São Paulo: Pioneira, 1997.

COOPER, M. C. **Logistics in the Decade of the 1990s.** In: ROBESON J; CAPACINO, W.; HOWE, E. (editors). *The Logistics Handbook*, New York: The Free Press, 1994.

CSCMP – Council of Supply Chain Management Professionals, 2005. Disponível em: <http://www.cscmp.org/Website/AboutCSCMP/Definitions/Definitions.asp>

DEMPSTER, M. A. H.; FISHER, M. L.; JANSEN, L.; LAGEWEG, B. J.; LENSTRA, J. K. & RINNOOY KAN, A. H. G. **Analytical Evaluation of Hierarchical Planning Systems.** *Operations Research*, Vol. 29, No. 4, Operations Management. 1981.

DWARAKNATH, V.; CHEN, C.; ÇAKANYILDIRIM, M. & ISBULAN, B. **Sales and Operations Planning Practices at Semiconductor Companies.** <https://proxy.utdallas.edu/~metin/Research/sopsurveyhidden.pdf>, 2002.

FERRAES NETO, F. **A relação da logística com a administração financeira e seus impactos nos índices financeiros de uma organização.** *Rev. FAE*, Curitiba, v.5, n.1, 2002.

FLEURY, Paulo F.; FIGUEIREDO, K. F.; WANKE, P. **Logística Empresarial: A Perspectiva Brasileira.** Coleção COPPEAD de Administração. São Paulo: Atlas, 2000.

GIANESI, I. G. N. **Implementing manufacturing strategy through strategic production planning.** *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 18 No. 3, 1998.

HAX, A. C. & MEAL, H. C. **Hierarchical Integration of Production Planning and Scheduling.** *Studies in Management Sciences*, Vol. I, Logistics, M. A. Geisler (ed.). North Holland-American Elsevier, New York. 1975.

HOLT, C. C.; MODIGLIANI, F. & SIMON, H. A. **A Linear Decision Rule for Production and Employment Scheduling.** *Management Science*, Vol. 2, No. 1. 1955.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C. & PAGH, J. D. **Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities.** *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 9, No. 2. 1998.

LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R. & VANTINE, J. G. **Administração Estratégica da Logística**. São Paulo: Vantine Consultoria, 1998.

LAMBERT, D., M. **Supply Chain Management Processes**. Supply Chain Management Review, 2004.

LAVALLE, C.. R. **O estágio de desenvolvimento da organização logística em empresas brasileiras: estudo de casos**. Tese (Mestrado em Ciências) – Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração, UFRJ, Rio de Janeiro, 1995.

LEE, H & CHRISTOPHER, M. **Supply Chain Confidence: The Key to Effective Supply Chains Through Improved Visibility and Reliability**. Cranfield University and Stanford University, 2003.

LEE, W. B & KHUMAWALA, B. M. **Simulation Testing of Aggregate Production Planning Models in an Implementation Methodology**. Management Science, Vol. 20, No. 6, Application Series. 1974.

LIMA JR., O.F. **Análise e avaliação do desempenho dos serviços de transporte de carga**. Gestão logística do transporte de cargas. São Paulo: Atlas, 2001.

LOHMAN, C.; FORTUIN, L. & WOUTERS, M. **Designing a performance measurement system: A case study**. European Journal of Operational Research, n.156, 2002.

LUMMUS, R.R.; VOKURKA, R. J. **Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines**. Industrial Management & Data Systems. MCB University Press, v1, 1999.

MARION, J. C. **Contabilidade Empresarial**. São Paulo: Atlas, 1998.

MARTINS, P. G.; CAMPOS, P. R. **Administração de Materiais e recursos Patrimoniais**. São Paulo: Saraiva, 2000.

McCLUSKEY, M.; GAZZI, J.; NEWMARK, E.. **S&OP: Only Margins Matter**. AMR Research. 2004.

O'KEEFFE, P. **Understanding supply chain risk areas, solutions, and plans - a five-part series**. Protiviti Independent Risk Consulting and APICS, 2004.

ÖZDAMAR, L.; BOZYEL, M. A. & BIRBIL, S. I. **A hierarchical decision support system for production planning (with case study)**. European Journal of Operational Research 104. 1998.

PIRES, S. R. I. **Managerial Implications of the Modular Consortium Model in a Brazilian Automotive Plan**. International Journal of Operations & Production Management. São Paulo, v. 18, n. 3, 1998.

PIRES, S. R. I., **Gestão da Cadeia de Suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos**. Supply Chain Management. São Paulo: Atlas, 2004.

PORTER, M. E. **On competition**, Boston. 1998.

REY, M. **Gerencia de Riesgo en cadenas de abastecimiento**. Latin America Logistics Center, Washington, 2005.

SINGHAL, J. & SINGHAL, K. **Holt, Modigliani, Muth, and Simon's work and its role in the renaissance and evolution of operations management**. Journal of Operations Management 25, 2007.

SPRAGUE, L. G; RITZMAN, L. P. & KRAJEWSKI, L. **Production Planning, Inventory Management and Scheduling: Spanning the Boundaries**. Managerial and Decision Economics, Vol. 11, No. 5, Special Issue: Decision Sciences Perspectives. 1990.

STADTLER, H. & KILGER, C. **Supply Chain Management and Advanced Planning. Concepts, Models, Software and Case Studies**. 3.ed. Berlin: Springer. 2005.

Supply Chain Vulnerability. Executive Report On Behalf of: Department for Transport, Local Government and the Regions. Cranfield University School of Management, 2002.

VACCARO, G. L R.; RODRIGUES, L. H. & MENEZES, F. M. **Um Estudo da Implantação de um Otimizador de Mix para o Setor Agropecuário**. Gestão e Produção, v.13, n.2, mai.-ago. 2006.

WALLACE, T. F. **Sales & Operations Planning – The How-To Handbook**. T.F. Wallace & Company, 1999.

WALLACE, Thomas; STAHL, Bob. **Sales & Operations Planning - The Next Generation**, T.F. Wallace & Co., 2005.

www.embraco.com.br.