

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

USO DO PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO PARA
MAXIMIZAÇÃO DO RESULTADO ECONÔMICO EM EMPRESAS DE
MANUFATURA

FERNANDA ROMANZINI

Porto Alegre
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Uso do planejamento e programação da produção para maximização do resultado econômico em empresas de manufatura

Fernanda Romanzini

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: José Luis Duarte Ribeiro, Drº. Eng.

Porto Alegre

2013

Fernanda Romanzini

Uso do planejamento e programação da produção para maximização do resultado econômico em empresas de manufatura

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Orientador José Luis Duarte Ribeiro, Dr.Eng.
Orientador PPGEP/UFRGS

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.Eng.
Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professor Michel Jose Anzanello, Dr. (PPGEP/ UFRGS)

Professor Odacir Deonísio Graciolli, Dr. (UCS)

Professor Ricardo Augusto Cassel, Ph.D. (PPGEP/ UFRGS)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a realização desta dissertação.

Em especial, gostaria de agradecer ao meu orientador, professor José Luís Duarte Ribeiro, pelo conhecimento transmitido e pela dedicação no decorrer deste trabalho.

Ao meu namorado, Rodrigo Pessotto Almeida, pela atenção, compreensão e solidariedade.

Aos meus pais, irmã e irmão pelo apoio e incentivo.

Aos professores Odacir, Michel e Cassel por aceitarem o convite de participar da banca e pelas valiosas contribuições ao trabalho.

Aos amigos que souberem compreender a minha ausência neste período de muita dedicação.

Aos colegas, professores e funcionários do PPGEP pelo convívio e troca de experiência durante este período.

ROMANZINI, F. Uso do planejamento e programação da produção para maximização do resultado econômico em empresas de manufatura. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

RESUMO

O planejamento de produção é um elemento essencial para as empresas, pois permite definir os volumes a serem produzidos, conforme a estimativa de demanda e a capacidade produtiva disponível. Este trabalho contribui para o planejamento da produção, integrando variáveis e parâmetros que podem ajudar na maximização do resultado econômico das organizações. Esta dissertação apresenta três objetivos principais relacionados a esse tema: (i) identificar os problemas e as variáveis que precisam ser analisadas no desenvolvimento de métodos que se adequam às necessidades das áreas envolvidas; (ii) desenvolver algoritmo para integrar as variáveis identificadas e os dados empresariais, de forma a viabilizar a aplicação do modelo, baseado em programação matemática e distribuições de probabilidade; (iii) aplicar os modelos propostos, a fim de avaliar sua utilidade e discutir os resultados obtidos. O estudo realizado revela a importância do uso de métodos formais de planejamento da produção integrados à definição do preço do produto. A definição de preços ou volumes de produção diferente dos valores ótimos pode afetar substancialmente o lucro global do sistema produtivo.

Palavras-chave: Planejamento de produção, elasticidade preço-demanda, programação matemática

ROMANZINI, F. Use of planning and scheduling for maximizing the economic operational profit in manufacturing companies. 2013. Thesis – Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil.

ABSTRACT

Production planning is an essential tool for companies, since it establishes the volumes to be produced, according to estimated demand and available production capacity. This work contributes with production planning field by integrating variables and parameters that impact the economic results of the organizations. This study presents three main objectives: *(i)* identification of issues and variables that need to be analyzed to develop methods suited to the needs of the areas involved, *(ii)* development of algorithms to integrate the identified variables and business data, in order to enable the application of the model, based on mathematical programming and probability distributions, *(iii)* application of the proposed models to evaluate their usefulness and discuss results. The study reveals the importance of using production planning formal methods that integrate products' prices. The establishment of prices or production volumes different from optimum values may substantially affect production system global profit.

Keywords: Production planning; Price Elasticity of demand; Mathematical programming.

SUMÁRIO

Introdução	8
1.1 Comentários Iniciais	8
1.2 Tema e Objetivos	8
1.3 Justificativa do tema e objetivos	9
1.4 Método do Trabalho	10
1.5 Delimitação do Trabalho	11
1.6 Estrutura do Trabalho	11
ARTIGO 1	13
ARTIGO 2	33
ARTIGO 3	55
CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
5.1 Conclusões	79
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	80

INTRODUÇÃO

1.1 Comentários Iniciais

No atual cenário competitivo, as empresas precisam estar em constante análise do ambiente que estão inseridas, pois diversas são as variáveis presentes no ambiente interno e externo das organizações (CHOD e RUDI, 2006; KAPLAN *et al.*, 2010). Logo, faz-se necessário a utilização de planejamento nas diversas esferas empresariais, considerando o conjunto de variáveis que afetam o negócio e visando a maximização do resultado econômico.

Neste contexto, o planejamento de produção, além de atender a demanda imposta pelo mercado, deve considerar outras variáveis que influenciam diretamente no resultado econômico das organizações, tais como: preço de venda, custos de fabricação, custos de estocagem, capacidade produtiva disponível, volumes ótimos de produção e lucro. No entanto, segundo Shapiro (2004), modelos integrando preços praticados ligados à programação de produção ainda são pouco utilizados, pois dependem de funções multi-objetivos que possam otimizar a capacidade produtiva juntamente com os preços praticados.

O processo de planejamento de produção pode integrar, além das áreas de produção e comercial, a área contábil (ERDIRIK-DOGAN e GROSSMANN, 2008). Quando isso é feito, as empresas podem realizar seus planos tanto no nível agregado quanto tático, incluindo informações sobre os custos gerais, possibilitando incluir estratégias de maximização dos resultados (KANNEGIESSER *et al.*, 2009).

1.2 Tema e Objetivos

O tema desta dissertação é o planejamento de produção, voltado à maximização do resultado econômico, abordado a partir de análises quantitativas. Esse é um tema relevante, pois os planos de produção são essências nas empresas de manufatura, e à maximização do resultado econômico é um interesse de todas as partes da organização. Ademais, há uma deficiência na literatura de trabalhos que oferecem métodos para a integração destes dois assuntos.

Esta dissertação tem como objetivo principal o desenvolvimento de métodos matemáticos que proporcionem a maximização do resultado, através de ajustes no planejamento de produção, concentrando-se principalmente no cenário de empresas de médio porte. Os objetivos secundários deste trabalho são: (i) identificar os problemas e as variáveis que precisam ser analisadas, para desenvolvimento de métodos que se adéquem às necessidades das áreas envolvidas; (ii) desenvolver um algoritmo para integrar as variáveis identificadas e os dados empresariais, de forma a viabilizar a aplicação do modelo, baseado em programação matemática e distribuições de probabilidade; (iii) aplicar os modelos propostos, a fim de avaliar sua utilidade e discutir os resultados obtidos.

1.3 Justificativa do tema e objetivos

Para que as empresas se mantenham competitivas no mercado que estão inseridas, é necessário que visem à maximização do lucro operacional (KANNEGIESSER *et al.*, 2009). No entanto, elas precisam lidar com cenários onde as demandas são incertas. Por outro lado, segundo Papageorgiou (2009), ao incorporar incertezas nos modelos, estes tornam-se, normalmente, complexos e de difícil solução. Então, é preciso desenvolver modelos práticos de fácil aplicação que possam ser utilizados por empresas de manufatura.

A maximização do resultado está entre os principais objetivos de negócio das empresas, além da busca pela participação em novos mercados e maiores níveis de satisfação dos clientes. Estes objetivos podem ser alcançados através de uma estratégia de preços bem desenvolvida, que deve considerar elementos básicos, tais como, custos, clientes e concorrência (LEVIS e PAPAGEORGIOU, 2007).

As empresas de manufatura que produzem e comercializam bens de consumo, para se manterem competitivas no mercado devem utilizar modelos de otimização através da análise de campanhas de marketing, publicidade, promoções preços e os esforços da força de vendas (SHAPIRO, 2004).

Empresas, que possuem um mix de produtos diversificado, para atenuar os impactos dos erros de previsão de demanda, utilizam conceitos de capacidade flexível. Esta ação ajuda a combater cenários onde as incertezas de demanda são elevadas (BILLER, MURIEL e ZHANG, 2006).

1.4 Método do Trabalho

Conforme Silva e Menezes (2001), esta pesquisa é considerada de natureza aplicada, tendo em vista a geração de conhecimento que pode ser imediatamente empregado no planejamento de produção de empresas de manufatura. Os métodos propostos poderão ser utilizados para maximizar o resultado econômico das organizações, fornecendo aos gestores informações relevante para a tomada de decisão.

A abordagem utilizada na pesquisa é quantitativa, uma vez que se apóia nas bases de dados empresariais e em fórmulas matemáticas. Os dados empresariais são utilizados como base para elaboração dos algoritmos que caracterizam os modelos construídos.

O objetivo da pesquisa caracteriza-se como explicativo, onde a ênfase é a construção de um modelo para planejar a produção, visando atender as restrições e alcançar a otimização do sistema produtivo.

Quanto aos procedimentos da pesquisa, trata-se de uma pesquisa-ação, pois os autores estiveram diretamente envolvidos no estudo e implementação da solução em um problema prático.

Esta dissertação foi realizada em seis etapas distintas, que podem ser observadas ao longo dos três artigos que a compõem. Na primeira, foi realizada uma revisão da literatura sobre os assuntos relacionados ao planejamento de produção e a análise de valor agregado, a fim de identificar formas de integração entre os assuntos. A segunda etapa envolveu a construção e aplicação de um modelo de integração de um plano de produção com sua respectiva análise de valor dos produtos em estudo. O problema modelado caracteriza-se por envolver múltiplos produtos, múltiplas máquinas, onde cada produto possui o seu roteiro de produção, em geral, envolvendo mais de uma máquina. A demanda é tratada de forma estocástica, incorporando a sua variabilidade natural. O objetivo principal é maximizar o lucro, otimizando os volumes produzidos de cada produto e considerando a capacidade finita como a principal restrição do problema.

Na terceira etapa, investigou-se o conceito de elasticidade preço-demanda, métodos de cálculo, curvas de elasticidade preço-demanda e aplicações destas no planejamento de produção. A quarta etapa constituiu na construção e aplicação de um algoritmo que também considera múltiplos produtos, múltiplas máquinas e as restrições de cada equipamento, com capacidade produtiva finita. A demanda é tratada de forma não

estocástica, tendo como base as curvas de elasticidade preço demanda, e estas, por sua vez, são construídas a partir dos históricos da quantidade vendida e dos respectivos preços praticados. Neste modelo, a quantidade produzida é dimensionada para atender exclusivamente a demanda. O algoritmo tem como objetivo otimizar o preço de venda para maximizar o lucro do sistema.

A quinta etapa relaciona a abordagem teórica da elasticidade preço-demanda ao plano de produção e a maximização do resultado econômico. A sexta e última etapa caracteriza-se pela construção de um novo modelo e aplicação do mesmo. O algoritmo utilizado nesta etapa considera múltiplos produtos, múltiplas máquinas, onde os produtos, em geral, envolvem em seu roteiro de produção mais de uma máquina. A demanda é tratada de forma estocástica e depende do preço praticado. O algoritmo caracteriza-se como inovador, por realizar a otimização simultânea do volume de produção e do preço a ser praticado, a fim de maximizar o lucro do sistema, considerando a capacidade finita da planta.

1.5 Delimitação do Trabalho

A avaliação dos modelos propostos neste trabalho ficou restrita à empresa de manufatura. Sua principal aplicação está voltada para plantas com restrições na capacidade fabril, onde a demanda é variável e depende dos preços estabelecidos.

As informações sobre o tamanho do mercado no qual a empresa em estudo está inserida são as únicas variáveis utilizadas do ambiente externo da organização. Dados gerais sobre a cadeia de suprimentos não são abordados neste estudo, pois o foco é apenas uma única empresa.

Para análise da elasticidade preço-demanda, utilizam-se os valores históricos de demanda e preço, não considerando os fatores externos que podem influenciar nas variações de demanda. Conforme abordado no método utilizam-se apenas informações pertinentes a empresa em análise.

1.6 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. No primeiro capítulo é apresentado o tema da dissertação e seus objetivos, bem como, a justificativa para o estudo

destes temas e objetivos. Neste capítulo também é descrito o método utilizado na pesquisa e as delimitações da dissertação.

O capítulo dois apresenta o primeiro artigo da dissertação. Neste artigo foi realizado um estudo na literatura sobre os assuntos de planejamento da produção e a ferramenta de análise de valor agregado. Ainda neste artigo, foi construído um modelo de planejamento de produção visando à maximização do resultado econômico através da aplicação da análise de valor. Na sequência são apresentados os resultados obtidos através de um estudo aplicado.

O terceiro capítulo apresenta o artigo dois, onde foi proposto um modelo de planejamento de produção visando à maximização do resultado econômico considera-se o conceito de elasticidade preço-demanda para tratar a demanda do período. A maximização do resultado econômico se dá através da otimização do preço de venda, considerando a capacidade produtiva da planta. O assunto de elasticidade preço-demanda foi abordado no referencial deste artigo, apresentando o conceito e a maneira de aplicação. O modelo desenvolvido foi aplicado em um estudo real e os resultados obtidos são apresentados e discutidos.

No capítulo quatro, foi apresentado o terceiro artigo, que contempla uma revisão da literatura sobre a elasticidade preço-demanda aplicada ao planejamento de produção e sobre modelos que visam à maximização do lucro associado ao plano de produção. Na sequência, foi desenvolvido e aplicado um novo algoritmo, a fim de maximizar o lucro do sistema, através da otimização simultânea do preço de venda e dos valores ótimos de produção, contemplando, também, a venda esperada para o período que considera a capacidade finita da planta em análise e os volumes ideais de produção.

O capítulo cinco engloba os comentários finais onde são apresentadas as principais conclusões e sugestões para trabalhos futuros envolvendo os estudo realizado.

ARTIGO 1

Uma proposta de Planejamento de Produção vinculada a margem de lucro dos produtos manufaturados

Fernanda Romanzini (fernandaromanzini@gmail.com)

José Luis Duarte Ribeiro (ribeiro@producao.ufrgs.br)

Resumo

Para alcançar competitividade, as empresas precisam manter seus planos de produção atualizados visando responder com agilidade às demandas do mercado. Neste artigo, é desenvolvido um novo método de planejamento da produção que visa atender às demandas de mercado considerando a margem de lucro dos diferentes produtos. Este resultado é obtido através da combinação de estimativa de vendas, produção programada e margem de lucro dos produtos envolvidos. A aplicação do algoritmo, em uma empresa de manufatura que fornece produtos ao mercado da construção civil, revelou um ganho de 21% no resultado global em relação ao atual método de planejamento de produção utilizado por esta, comprovando a validade do novo modelo proposto.

Palavras Chaves: Planejamento de produção; Previsão de demanda; Análise de valor agregado;

Abstract

To remain competitive, companies need to keep their production plans updated to meet market demands. In this paper, we developed a new method for production planning which meets market demands and also considers profit of the different products being produced. This is achieved through a combination of variables: estimated sales, scheduled production and profit. The implementation of the algorithm in a manufacturing company which provides products to the construction market showed a profit of 21% in the overall result from the current planning method used by this production, proving the validity of the new proposed model.

Key Words: Production planning; Forecasting; Added value analysis;

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as empresas atuam em um sistema competitivo, no qual é preciso atentar para as variações do mercado. Estas variações podem ocasionar mudanças favoráveis ou prejudiciais às organizações, sendo que o impacto irá depender do nível de planejamento que a empresa aplica. Assim, é visível a importância do planejamento nas organizações, o qual favorece a tomada de decisão com maior segurança e precisão. Nesse sentido, conforme realça Cezarino (2007), o plano de produção, para empresas de manufatura, assume papel fundamental no processo de planejamento e construção de metas estratégicas.

Em organizações de médio porte, há dificuldades para implantar e manter o planejamento da produção. As informações disponíveis, muitas vezes desordenadas ou imprecisas, são insuficientes para o estabelecimento de planos de produção, como também a manutenção destes. Porém, o planejamento da produção é essencial para orientar o caminho da organização, integrando o setor comercial e o setor de produção. O propósito básico do Planejamento da Produção, segundo Slack (2002), é garantir que a produção realize seus produtos ou serviços de forma eficiente e eficaz, atendendo às exigências dos consumidores. Para isso é necessário que os recursos produtivos estejam disponíveis na quantidade necessária, no momento adequado e dentro dos parâmetros de qualidade especificados. O planejamento é um assunto de suma importância, uma vez que as empresas convivem com incertezas, aumento da competitividade e novas tecnologias que tornam o ambiente industrial dinâmico e caracterizado pela presença de riscos.

Neste artigo, o tema planejamento de produção, no nível tático, é abordado com base nos principais assuntos envolvidos: Planejamento Mestre de Produção (PMP), Previsão de demanda, Capacidade fabril e Análise de Valor Agregado (AVA). Segundo Rubio (2002), o objetivo do planejamento de produção é proporcionar produtos acabados suficientes para o período estabelecido. Atingindo os objetivos de vendas, regularizando os aspectos financeiros e atendendo as restrições da capacidade produtiva. Como afirma Correa (2004), o PMP coordena a demanda do mercado com os recursos internos da empresa, e deve ser capaz de programar as taxas adequadas de produtos finais. Para auxiliar na criação do PMP utiliza-se a Previsão de Demanda que, conforme Fusco (2003), é a determinação do que se espera acontecer num determinado tempo futuro que impacta no setor produção, sendo fundamental para o estabelecimento de planos de produção,

controle de estoques, bem como para a determinação mais adequada dos produtos a serem produzidos. Para Chase (2006), ao determinar as necessidades referentes à capacidade fabril, é necessário tratar as demandas por linhas de produtos e, assim, diferenciar seu tempo de fabricação, como também os demais dados para possibilitar a sua programação. A utilização da Análise de Valor Agregado (AVA) no ambiente de produção, abordada por Bagherpour *et al.* (2010), abrange a medição do desempenho da produção e a classificação das tarefas em relação ao valor agregado.

A união destes conceitos possibilita a base necessária para o planejamento da produção. Porém, é raro visualizar isso na prática, uma vez que as organizações, frequentemente, utilizam informações insuficientemente tratadas e de difícil interpretação. Segundo Berry (2005), as empresas estão interessadas em implementar planos de produção e operações, no entanto, continua sendo difícil implantar estes sistemas, uma vez que a integração dos elementos mencionados é complexa.

O objetivo principal deste artigo é desenvolver um método de aplicação do planejamento de produção, baseado nos elementos mencionados acima. Considerando a importância deste método e sua necessidade, busca-se desenvolver procedimentos que permitam realizar a implantação de forma simples e ordenada. Este método pode auxiliar as empresas a reagirem adequadamente às flutuações do mercado, impedindo que as mesmas impactem de forma negativa no seu desempenho.

Adicionalmente, o método proposto pode proporcionar maior interação entre as áreas das organizações, principalmente os setores de vendas (comercial), produção e financeiro. Através da interação entre esses setores, é possível obter melhores resultados no mercado. Essa interação é mais fácil de ocorrer quando há um plano comum a ser seguido.

Este artigo está organizado, conforme segue. Após esta introdução, a seção dois apresenta um referencial teórico abordando Planejamento de Produção, Planejamento Mestre de Produção (PMP), Previsão de demanda, Capacidade fabril e Análise de Valor Agregado. Na próxima seção, é apresentada a proposta de método de aplicação do planejamento de produção baseado nos assuntos citados. Em seguida os resultados que se espera ao aplicar este método em uma empresa de médio porte. Por fim, a conclusão, abordando as considerações finais do artigo e indicando sugestões para pesquisas futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Planejamento de Produção

O assunto planejamento de produção é amplamente discutido na literatura. Fernandes *et al.* (2007) mapearam os principais autores e suas respectivas classificações diante dos requisitos avaliados. Similarmente, buscando organizar os assuntos envolvendo planejamento de produção, Mula *et al.* (2006) apresentam uma revisão da literatura a respeito de modelos para planejamento em ambientes de incerteza. De acordo com esses autores, independente do grau de relação entre os assuntos, todos os trabalhos têm em comum uma formulação de modelagem e geração de planos de produção.

Segundo Carvalho (1998), o objetivo do planejamento é alocar os recursos, conforme sua disponibilidade, às necessidades da produção dos vários produtos, ajustando o custo dos produtos, a forma de operar, a quantidade e o valor do produto final, dentre outros parâmetros de produção. A fim de buscar soluções integráveis para estas atividades, divide-se o planejamento nos níveis estratégico, tático e operacional, conforme representado na figura 1.

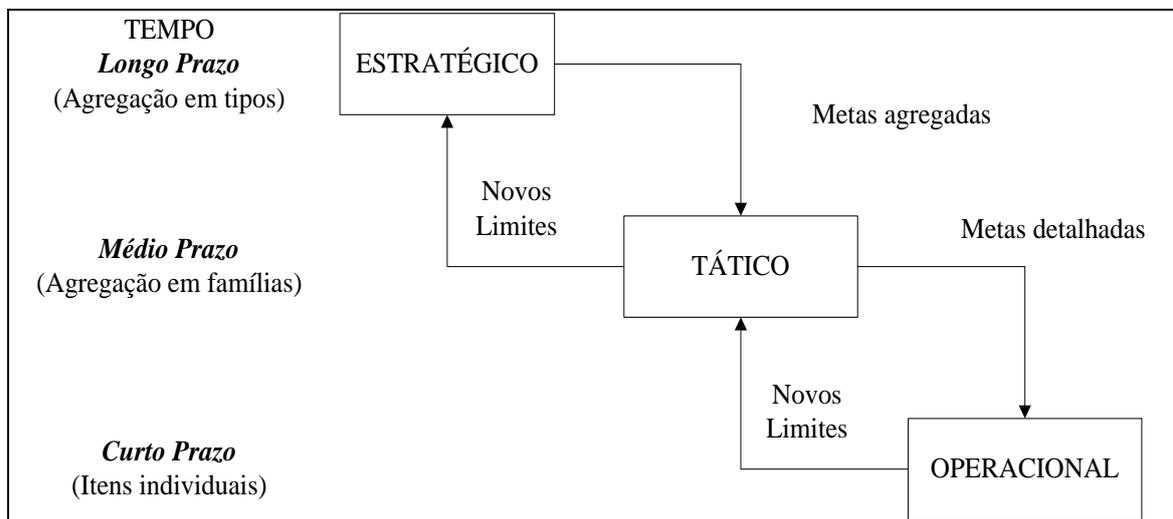


Figura 1: Hierarquia do Planejamento.

Fonte: Carvalho (1998).

A hierarquia do planejamento de produção é discutida, também, por Bonney (2000), Bremer (2000) e Silva Filho (2000), os quais têm em comum as seguintes definições sobre as funções de cada nível.

O planejamento no nível estratégico tem como finalidade gerar o plano agregado de produção o qual se baseia nas previsões de demanda em longo prazo. O horizonte de planejamento deste nível é de um ou mais anos. Logo, as informações sobre o processo, tais como, demanda, capacidade de produção, níveis de mão de obra, estoque, etc., são tratadas de forma agregada, na qual o problema é considerado como alto grau de incerteza.

O nível tático é responsável por desagregar as regras do nível estratégico. Conforme a disponibilidade de recursos, tempo e produtos adequados às políticas ótimas estabelecidas, estas contemplam as informações sobre máquinas, matéria-prima, mão-de-obra, etc. O horizonte de planejamento neste nível é de seis meses a um ano. A atividade desenvolvida neste nível é o Plano Mestre de Produção. Logo, as informações são tratadas em um grau de incerteza reduzido.

O planejamento operacional pode ser denominado como programação da produção. A meta deste nível é a execução ótima do plano gerado nos níveis anteriores. Tratando das informações individualmente, tais como: alocação de máquina, operadores, auxiliares, quantidade de matéria prima, tempos de ciclo, etc. Nesta etapa, as atividades são claras e com alto grau de certeza nas informações. O horizonte de planejamento é variável, dependendo do produto realizado pode ser diário, semanal ou mensal, detalhes que não serão explorado neste artigo. O assunto abordado na sequência é o planejamento mestre de produção, que diz respeito ao nível tático.

2.2 Planejamento Mestre de Produção

Uma definição para o planejamento mestre de produção (PMP), citado com frequência em trabalhos relacionados ao assunto, é dada pela *American Production and Inventory Control Society (APICS) apud Vieira (2009)*, que afirma que um PMP é uma declaração do que a empresa espera fabricar. Pode-se dizer que é uma série de decisões que orientam o planejamento das necessidades materiais (MRP).

O PMP representa o que a empresa pretende produzir, expresso em termos de configuração, quantidades e datas específicas. O PMP baseia-se no planejamento estratégico da empresa, na previsão de vendas, na pendência de pedidos, na disponibilidade de material, capacidade fabril, políticas gerenciais e objetivos. Após ter realizado todas estas interações, tem-se como resultado as informações de estoque disponível, capacidade utilizada, tempo de processamento. O horizonte de planejamento do PMP é de médio

prazo. Este é responsável por transformar o planejamento agregado (tratamento das linhas de produtos) em um plano operacional (tratamento dos itens). Por isso depende da filosofia de gestão da produção adotada pela empresa (IP, 2000; TUBINO, 1997; CORRÊA, 2004).

Segundo Corrêa (2004), o PMP coordena a demanda do mercado com os recursos internos da empresa, capaz de programar as taxas adequadas de produtos finais, principalmente os que possuem demanda independente. Porém o seu mau uso pode pôr a perder as vantagens estabelecidas num bom plano de vendas e produção. Ainda conforme esse autor, ao se preparar um PMP, deve-se levar em consideração algumas questões, tais como:

- a) O intervalo de tempo e o horizonte a planejar. Este planejamento trabalha em duas dimensões: determinação da variável de tempo para cada intervalo do plano, e a amplitude, ou horizonte, que possui objetivos diferenciados, um nível firme de horizonte curto, outro com horizonte longo sujeito a alterações;
- b) O tratamento diferenciado entre os produtos para estoque e os produtos sob encomendas.

A figura 2 ilustra esses comentários. A parte firme está associada a certeza de demanda e ao *lead time* do produto. Já na faixa de previsões, se utiliza um PMP flexível.

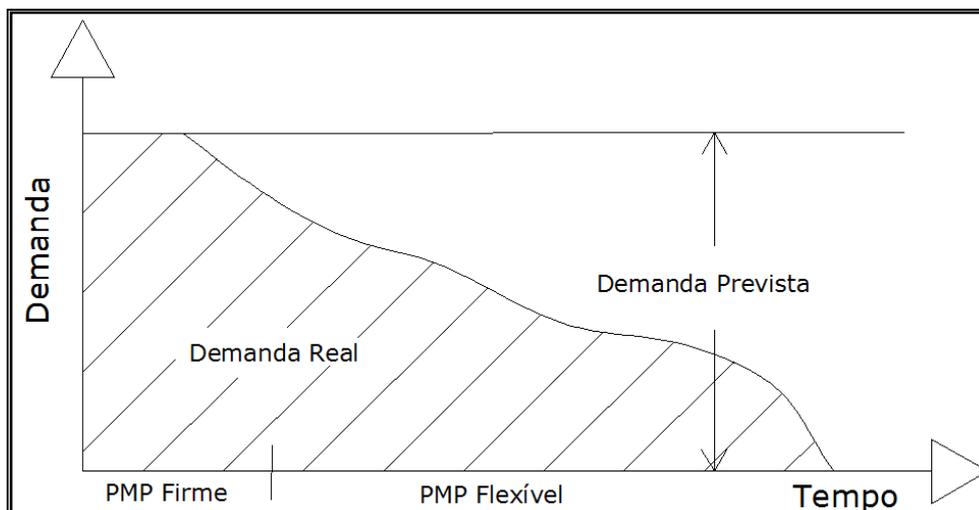


Figura 2: Dinâmica do PMP.

Fonte: Tubino (1997).

2.3 Planejamento da Capacidade Produtiva

Ao se determinar o planejamento da capacidade produtiva, é importante ressaltar que a empresa só poderá planejar dentro dos limites produtivos de suas máquinas. Assim, é fundamental que o administrador conheça o potencial dos recursos de sua organização (ROCHA, 1996).

Para compreender o planejamento da capacidade, Corrêa (2001) cita como sendo a atividade que deve ser desenvolvida paralela ao planejamento de materiais. Também resalta a importância da previsão da capacidade fabril para que não haja deterioração do nível de serviço aos clientes e aumento de estoques em processo, além de gerar frustrações, uma vez que pode não haver possibilidade de atender o programado se a capacidade for superdimensionada. Por outro lado, excesso desnecessário de capacidade representa custos adicionais, com os quais, num ambiente competitivo, nenhuma empresa pode dar-se o luxo de arcar.

Segundo Chase (2006), ao determinar as necessidades de capacidade, é necessário tratar as demandas por linhas de produtos, diferenciando seu tempo de fabricação, como também os demais dados específicos de cada linha, para possibilitar a melhor programação.

A análise da capacidade produtiva no planejamento da produção tem caráter exploratório, possibilitando decisões em longo prazo que só são possíveis se planejadas e implantadas antecipadamente. Essas decisões podem ser mudança nas instalações físicas, compra de equipamentos, inclusão de um novo turno de trabalho, admissão e treinamentos de mão de obra, contratos de fornecimento e terceirizações (TUBINO, 1997).

Para Rubio (2002), as características que influenciam a função do planejamento da capacidade de máquina estão relacionadas com a disponibilidade e flexibilidade das instalações e equipamentos. Três fatores influenciam nesta função:

a) Se a empresa for pouco flexível, mais detalhadas e formais serão as funções do planejamento da capacidade. Para isso deve haver a flexibilidade da capacidade a curto prazo;

b) Se houver grande número de centros de trabalhos, as funções do planejamento da capacidade deverão ser detalhadas e formais. Isso acontece, pois há maior dificuldade de planejar com altas quantidades de equipamentos; e

c) Quanto menos estável a demanda, mais detalhadas as funções do planejamento da capacidade. Ou seja, a estabilidade da demanda também influencia no planejamento.

2.4 Previsão de Demanda

Para Pellegrini e Fogliatto (2001), um sistema de previsão de demanda deve estabelecer relações entre previsões feitas pelas diferentes áreas de gerenciamento. Logo, cria-se uma relação de dependência entre as áreas, que devem estar em sintonia, pois isso define o sucesso na implantação do sistema de previsão de demanda. Por exemplo, um erro na projeção de vendas pode trazer uma série de prejuízos a todas as demais áreas da organização.

Ainda conforme esse autor, as técnicas de previsão de demanda quantitativas oscilam consideravelmente, pois foram desenvolvidas com diferentes propósitos. Cada uma possui características próprias, grau de acuracidade e custos, as quais devem ser consideradas na escolha de um método necessário.

De modo geral, as diversas técnicas de previsão de demanda podem ser classificadas em: qualitativa, análise de séries temporais e modelos causais (CHASE, 2006). Neste trabalho, será abordada a análise de séries temporais, a qual se baseia em dados passados, ou seja, utiliza históricos de demanda para continuar gerando a demanda no futuro. Conforme citado por Chase (2006), as séries temporais podem ser divididas em média móvel simples, média ponderada exponencial, análise de regressão e projeção de tendência.

2.5 Análise de Valor Agregado (AVA)

Dividem-se as operações em dois tipos: as que agregam valor, sendo estas que realmente transformam a matéria-prima, modificando a forma, e as que não agregam valor, como por exemplo, as movimentações e transportes, ou seja, as perdas do processo.

A Análise de Valor Agregado (AVA) tem sua aplicação bastante difundida na área de gerenciamento de projetos. Vandevoorde (2005) e Vitner *et al.* (2006) tratam o assunto como gerenciamento de valor agregado (GVA), que significa um sistema de gestão na área de projetos que integra desempenho de custos, cronograma e técnica. Além de permitir o cálculo de índices de desempenho, previsão de custos e duração do cronograma. Esta análise é responsável por fornecer os primeiros indícios do desempenho do projeto, e em seguida aponta as ações corretivas necessárias.

Outra abordagem, relatada por Severiano (1997), diz que o valor agregado de um produto representa a diferença entre o valor do produto final e o valor do material. Logo, pode-se dizer que a análise de valor agregado persiste na forma com que o produto é transformado. Esta transformação acarreta custos de processamento que posteriormente devem ser embutidos no preço final do produto.

Genericamente, a análise de valor agregado é uma simples comparação entre os gastos obtidos e o que se planejava gastar (OLIVEIRA, 2003).

3 MÉTODO PROPOSTO

Quanto à natureza, esta pesquisa classifica-se como aplicada, na medida em que é orientada à solução de um problema prático, envolvendo a integração de aspectos associados a valor agregado, programação da produção e capacidade fabril. Quanto à abordagem, a pesquisa é essencialmente quantitativa, pois serão utilizados conceitos matemáticos e estatísticos na solução do problema. Quanto aos objetivos, classifica-se, predominantemente, como pesquisa explicativa, onde a ênfase é a construção de um modelo de previsão e programação de produção. Por fim, quanto aos procedimentos, trata-se de uma pesquisa-ação, uma vez que os autores estiveram diretamente envolvidos na pesquisa e implementação da solução de um problema prático.

O trabalho é realizado em quatro etapas, que envolvem: (i) coleta e organização de dados, (ii) estabelecimento do algoritmo que agregue previsão de demanda, análise de valor agregado, análise da capacidade fabril; (iii) estabelecimento do plano mestre de produção, considerando os resultados anteriores; e (iv) teste desses algoritmos no cenário real. A figura 3 apresenta as fases que compõem o método proposto e as etapas a serem seguidas.

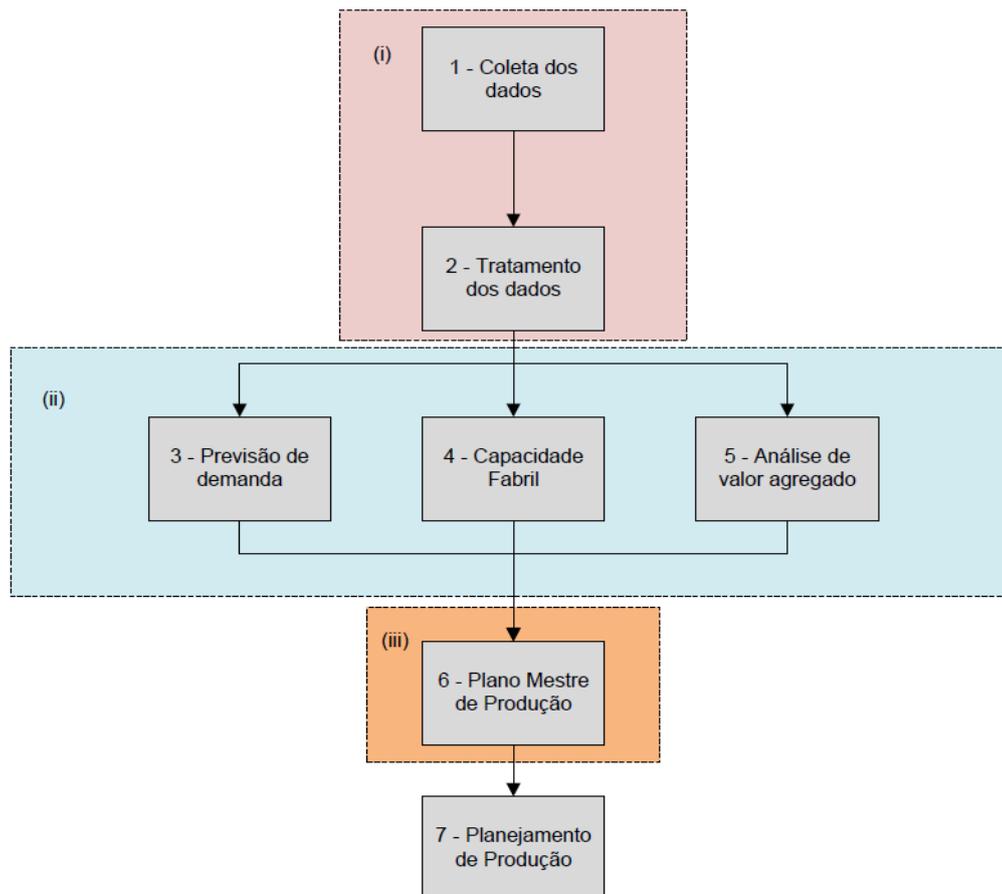


Figura 3: Fases e etapas do método proposto.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1 Coleta de dados

Para que os algoritmos, que compõem o método proposto, possam ser aplicados, é necessária uma base de dados com as informações dos itens vendidos nos últimos meses. Para contemplar variações sazonais, essa base de dados deve contemplar um período mínimo de 12 meses, sendo recomendado um histórico de pelo menos 36 meses. Apoiado na base de dados é possível analisar o comportamento da demanda nos últimos meses, que poderá ser refletido para os próximos meses. Existindo necessidade, os dados devem ser analisados por grupo de estoque, famílias comerciais ou itens individuais.

É importante salientar que as bases de dados abordadas em períodos mensais devem ser tratadas, excluindo-se os dados atípicos, tais como: itens descontinuados no período, itens especiais (produção com características exclusivas e destinadas a pedidos especiais), como também valores espúrios decorrentes de promoções esporádicas de vendas.

Paralelamente, também devem ser estruturadas bases de dados com informações referentes à listagem dos equipamentos disponíveis, informando suas respectivas capacidades e restrições, para que na sequência os produtos possam ser alocados nestes equipamentos.

Outra informação pertinente é o valor agregado por produto, que neste estudo é representado pela margem de lucro. Sendo assim, adota-se a margem de lucro como índice do valor agregado para todos os itens tratados neste modelo.

3.2 Previsão de demanda, análise de valor agregado e análise da capacidade fabril

Em cada situação deve ser utilizado o método de previsão de demanda apropriado para tratar os dados. Entre os métodos de previsão de demanda utilizados com maior frequência, destacam-se: (i) métodos causais onde a demanda dos itens é relacionada à variáveis internas ou externas à empresa; e (ii) as séries temporais, que exigem apenas o conhecimento de valores passados da demanda. Neste caso, utilizou-se um método de séries temporais, onde a previsão de demanda apóia-se nos dados históricos das vendas.

Ao obter o valor da previsão de demanda para os meses futuros, deve-se acompanhar as demandas reais durante um período mínimo de seis meses consecutivos, a fim de obter o valor do erro de previsão, considerado como a variabilidade da demanda no período. Estas informações fazem parte da distribuição de probabilidade da demanda ($f(x)$), utilizada para obter as vendas esperadas para o período, valor que é calculado através da equação 1.

$$\hat{V}_i = \int_0^{P_i} x f_i(x) dx + P \int_{P_i}^{\infty} f_i(x) dx \quad (\text{eq. 1})$$

Onde \hat{V}_i corresponde ao volume esperado das vendas para o produto i , x é a demanda, $f(x)$ é a distribuição de probabilidade da demanda, P_i corresponde ao valor programado de produção.

O valor programado de produção (P_i) é obtido através de programação matemática, visando otimizar a capacidade produtiva e a maximização da margem de lucro do sistema. No algoritmo desenvolvido são informados os valores de margem de lucro (MC_i) de cada item e as respectivas restrições dos equipamentos de produção. Como o objetivo é maximizar o resultado, o modelo visa produzir os itens que possuem maior valor

agregado, ou seja, maior margem de lucro, neste caso. Logo, se algum item apresentar margem negativa, este tem sua produção minimizada, priorizando-se a produção dos itens que contemplam margem positiva.

A listagem dos equipamentos disponíveis e suas respectivas capacidades e restrições devem ser levantadas ainda na etapa anterior. No entanto, o compartilhamento dos equipamentos, ou seja, a alocação dos itens nos equipamentos disponíveis, respeitando as restrições e capacidades devem ser realizadas nesta etapa para que seja possível realizar o cálculo da capacidade disponível.

Como (i) o objetivo da produção programada é maximizar o uso da capacidade produtiva e (ii) o valor esperado de vendas depende da previsão de demanda no período, é possível que o sistema gere estoque dos itens estudados. Conforme, apresentado na equação 2.

$$\hat{E}_i = P_i - \hat{V}_i \quad (\text{eq. 2})$$

Onde \hat{E}_i corresponde ao valor esperado do Estoque para o produto i , tendo em vista o valor esperado das vendas e o valor programado da produção.

O cálculo do resultado econômico, a ser maximizado, está representado pela equação 3.

$$\hat{R}_i = \hat{V}_i \times MC_i - \hat{E}_i \times CE_i \quad (\text{eq. 3})$$

Onde \hat{R}_i corresponde ao valor esperado do resultado econômico associado ao produto i , considerando a margem de lucro (MC_i) e os custos de estocagem (CE_i), valores próprios de cada produto analisado. Os custos de estocagem têm papel importante no algoritmo, pois nesta variável estão inclusos os custos de deslocamento, armazenagem, eventuais perdas físicas e dinheiro sem movimentação. Além disso, essa variável envolve uma restrição para que o sistema não resulte em uma quantidade excessiva de estoques.

3.3 Plano Mestre de Produção e Planejamento de Produção

A partir das etapas apresentadas acima, busca-se maximizar o Resultado Econômico Global (R_G). Conforme mencionado, para que se possa planejar a produção, é preciso considerar a capacidade fabril, buscando determinar uma solução ótima que alcance a melhor utilização dos equipamentos disponíveis. Logo, a maximização do

resultado econômico dependerá predominantemente das vendas esperadas para o período, que por sua vez, dependem da previsão de demanda e da produção programada, a qual está atrelada aos itens que apresentam maior valor agregado, no entanto, sujeitos às restrições referentes à capacidade fabril.

Através da reunião dessas informações, é possível estruturar o plano agregado de produção que trata os resultados por linha ou família de produtos. Para executar o plano mestre de produção é necessário fazer o desdobramento das famílias de produtos em seus respectivos itens.

3.4 Teste dos algoritmos implementados

Os algoritmos implementados, que envolvem: (i) a previsão de demanda e (ii) o planejamento da produção, considerando a capacidade fabril, plano mestre de produção, análise de valor agregado, foram usados em um caso prático envolvendo dez famílias de produtos e sete equipamentos disponíveis para a fabricação destas. Através da implementação dos algoritmos é possível explicar a utilidade e, conseqüentemente, o desempenho do algoritmo desenvolvido.

4 RESULTADOS

4.1 Aplicação da metodologia

Ao aplicar o método descrito no capítulo anterior, foram obtidos resultados satisfatórios em relação aos objetivos gerais do estudo. É importante salientar que a estrutura do modelo proposto apresenta uma nova forma de observar os diversos ângulos que envolvem o planejamento de produção. A principal ferramenta utilizada é a análise de valor agregado, que neste artigo fora representado pela margem de lucro das linhas de produtos, possibilitando a comparação destes.

Pode-se dizer que o estabelecimento do Plano Mestre de Produção seguindo os algoritmos propostos representa uma abordagem econômica, que explicita a busca de uma solução que maximize o resultado econômico.

A aplicação do método ocorreu de forma simples, com a utilização de algoritmos programados em planilhas eletrônicas. Os algoritmos envolvem diversos parâmetros de

simples determinação, tais como: venda nos últimos meses, custo de estocagem, margem de lucro por produto, capacidade dos equipamentos instalados.

O algoritmo proposto considera os dados históricos de vendas, os quais permitiram obter uma previsão e esta foi comparada com os dados reais de vendas por um período de sete meses. A previsão de vendas foi feita utilizando um modelo que incorpora as parcelas usuais correspondentes a média, sazonalidade e tendência conhecido como suavização dupla de *Holt-Winters*. Os métodos estatísticos de suavização exponencial *Holt-Winters* são amplamente utilizados para fornecer previsões de curto prazo para os dados de vendas e os níveis de demanda, devido a sua simplicidade, baixo custo de operação, boa precisão, capacidade de ajustamento automático e rápido as mudanças na série temporal em análise.

Comparando valores previstos e observados, foi constatado um erro absoluto de previsão de 41%, o que confirma grande variabilidade nas vendas mês a mês. Ao interpretar estes valores, nota-se um percentual de erro mais elevados nos itens que possuem margem de lucro próxima ou inferior a zero. Isso significa que o método proposto neste artigo está sendo eficaz, uma vez que as ações para diminuir a venda e conseqüentemente a produção dos itens que possuem baixo valor agregado foram realizadas.

A fim de, simplificar a solução do algoritmo quanto a capacidade produtiva, os itens foram alocados em grupos conforme a similaridade ou compartilhamento dos equipamentos utilizados para fabricação, conforme apresentado no quadro 1.

Grupo	Descrição Produto	Equipamentos compartilhados
1	ITEM A	112, 113, 114, 116
	ITEM B	112, 113, 114, 116
	ITEM C	112, 113, 114, 116
	ITEM D	112, 113, 114, 116
2	ITEM E	109
	ITEM F	109
3	ITEM G	103
	ITEM H	103
4	ITEM I	105
	ITEM J	105

Quadro 1: Agrupamento dos itens por compartilhamento de equipamentos.

Ao realizar o agrupamento dos itens que possuem processos semelhantes é possível diminuir o número de variáveis que interagem no algoritmo, pois evita a realização do cruzamento de informações desnecessárias. Como é possível observar no quadro 1, o grupo 1 foi criado através da união de item que tinham por características o compartilhamento dos mesmos equipamentos e tempos de processamento semelhantes. O mesmo acontece para o grupo 2 e os demais. Este procedimento foi utilizado para reduzir o número de iterações no algoritmo, no entanto sabe-se que em outros casos e aplicações esta etapa pode não ser utilizada.

O segundo algoritmo tem como objetivo calcular o valor esperado de vendas, que é obtido através da resolução da integral apresentada na equação 1.

Para determinação da produção programada no período, utilizou-se as rotinas de programação linear implementadas em planilhas eletrônicas que, basicamente, cruzaram a capacidade fabril dos equipamentos disponíveis, e priorizam a produção dos itens que apresentam melhor margem de lucro. A tabela 1 apresenta as restrições de capacidade, valor agregado, representado pela margem de lucro do item e quantidade programada de produção, ligada a maximização da capacidade produtiva.

Tabela 1: Cálculo da produção programada, envolvendo as restrições de capacidade fabril e valor agregado.

Grupo	Descrição Item	Produção Programada (Kg)	Margem de Lucro	Capac. por item (Kg)	Capac. Equip. (Kg)
1	Item A	100.000	R\$ 1,12	100.000	450.000
	Item B	100.000	R\$ 0,90	100.000	
	Item C	200.000	R\$ 0,10	200.000	
	Item D	-	-R\$ 0,22	100.000	
	Total	400.000			
2	Item E	80.000	R\$ 10,35	80.000	100.000
	Item F	20.000	R\$ 1,19	100.000	
	Total	100.000			
3	Item G	10.000	R\$ 13,03	30.000	30.000
	Item H	20.000	R\$ 14,70	30.000	
	Total	30.000			
4	Item I	10.000	R\$ 18,10	10.000	120.000
	Item J	110.000	R\$ 2,44	120.000	
	Total	120.000			

4.2 Resultados da aplicação do método

A fim de comprovar a eficácia do método apresentado, este será comparado com outras duas situações, onde a quantidade a ser produzida varia conforme os critérios aplicados. A primeira situação converte a previsão de vendas (baseado somente nos históricos) na quantidade a ser produzida, sem considerar o valor agregado dos produtos. A segunda é baseada no conhecimento empírico dos programadores de produção da empresa, ou seja, sem nenhum método formal. E, por último, a aplicação da metodologia apresentada neste estudo. O resultado em cada uma das situações é obtido através de simulações. Nestas existem itens em que a margem de lucro é negativa, proporcionando resultados negativos.

O objetivo é otimizar o valor do resultado mensal, representado pela expressão 4:

$$\widehat{R}_{A,J} = \widehat{V}_{A,J} \times MC_{A,J} - \widehat{E}_{A,J} \times CE_{A,J} \quad (\text{eq. 4})$$

Conforme apresentado na tabela 2, a quantidade produzida programada foi baseada somente na previsão de vendas, baseada no histórico dos últimos 3 anos, não considerando o valor agregado dos produtos.

Tabela 2: Método de programação de produção baseado somente no histórico de vendas.

Item	Produção sugerida (Kg)	Qtde real vendida no período (Kg)	Qtd estocada (Kg)	Custo estocagem (R\$/Kg)	Resultado Simulado
Item A	28.804	40.469	-	R\$ 0,95	R\$ 32.299,99
Item B	10.738	13.153	-	R\$ 0,95	R\$ 9.711,16
Item C	173.632	124.342	49.290,78	R\$ 0,95	-R\$ 34.392,08
Item D	1.139	1.234	-	R\$ 0,95	-R\$ 250,63
Item E	59.789	43.119	16.670,22	R\$ 0,95	R\$ 430.569,33
Item F	7.426	13.632	-	R\$ 0,95	R\$ 8.810,96
Item G	2.494	5.707	-	R\$ 0,95	R\$ 32.492,87
Item H	1.986	2.252	-	R\$ 0,95	R\$ 29.192,19
Item I	9.199	5.987	3.212,07	R\$ 0,95	R\$ 105.339,26
Item J	82.820	57.339	25.481,29	R\$ 0,95	R\$ 115.424,48
TOTAL					R\$ 729.197,54

Na tabela 3, o resultado obtido se dá através de uma programação de produção baseada no conhecimento empírico dos colaboradores da empresa e nas restrições de capacidade fabril.

Tabela 3: Método de programação de produção baseado no conhecimento empírico dos colaboradores

Item	Produção sugerida (Kg)	Qtde real vendida no período (Kg)	Qtd estocada (Kg)	Custo estocagem R\$/Kg	Resultado Simulado
Item A	45.000	40.469	4.531	R\$ 0,95	R\$ 41.076,16
Item B	15.000	13.153	1.847	R\$ 0,95	R\$ 10.139,75
Item C	120.000	124.342	0	R\$ 0,95	R\$ 12.000,00
Item D	100.000	1.234	98.766	R\$ 0,95	-R\$ 94.099,35
Item E	60.000	43.119	16.881	R\$ 0,95	R\$ 430.369,22
Item F	12.000	13.632	0	R\$ 0,95	R\$ 14.238,74
Item G	15.000	5.707	9.293	R\$ 0,95	R\$ 65.532,46
Item H	4.500	2.252	2.249	R\$ 0,95	R\$ 30.960,98
Item I	3.466	5.987	0	R\$ 0,95	R\$ 62.749,67
Item J	19.000	57.339	0	R\$ 0,95	R\$ 46.268,64
TOTAL					R\$ 619.236,27

A tabela 4 corresponde aos resultados alcançados através da metodologia proposta neste estudo, considerando o valor agregado dos produtos. Como é possível observar, este método fornece o melhor resultado dentre as três maneiras apresentadas para calcular a produção programada.

Tabela 4: Método de programação da produção através da análise do valor agregado.

Item	Produção sugerida (Kg)	Qtde real vendida no período (Kg)	Qtd estocada (Kg)	Custo estocagem R\$/Kg	Resultado Simulado
Item A	28.839	40.469	-	R\$ 0,95	R\$ 32.339,26
Item B	10.753	13.153	-	R\$ 0,95	R\$ 9.724,59
Item C	95.180	124.342	-	R\$ 0,95	R\$ 9.517,98
Item D	0	1.234	-	R\$ 0,95	R\$ -
Item E	54.089	43.119	10.969,43	R\$ 0,95	R\$ 435.985,08
Item F	7.439	13.632	-	R\$ 0,95	R\$ 8.827,18
Item G	2.498	5.707	-	R\$ 0,95	R\$ 32.552,66
Item H	1.989	2.252	-	R\$ 0,95	R\$ 29.240,55
Item I	7.222	5.987	1.235,07	R\$ 0,95	R\$ 107.217,41
Item J	74.612	57.339	17.272,90	R\$ 0,95	R\$ 123.222,45
TOTAL					R\$ 788.627,15

Ao obter os resultados apresentados nas tabelas 2 a 4, é possível comprovar a utilidade do método aqui desenvolvido. A tabela 4, que representa a aplicação do modelo utilizando a análise de valor dos produtos, que apresentou o melhor resultado, seguido da aplicação apenas da previsão de demanda, também desenvolvida neste modelo, e por

último da programação de forma empírica. Neste último caso, é possível perceber que ocorre uma perda de aproximadamente R\$ 170.000,00, ou seja, deixa-se de ganhar 21% ao utilizar este método, comparado ao primeiro. Quando aplicada somente a previsão de demanda, a diferença é menor, em torno de R\$ 60.000,00, no entanto, ainda representa uma perda de 8% no resultado global, comparado ao modelo utilizando a análise de valor agregado.

5 CONCLUSÃO

O Planejamento de Produção é uma atividade importante, pois direciona tipos de produtos e quantidades a serem produzidos, em um determinado período. Esta deve acompanhar as tendências de mercado e buscar constantemente resultados positivos para a organização.

Visando alcançar esses objetivos, este trabalho apresentou um novo método para realização do plano mestre de produção e discutiu sua aplicação, mostrando detalhadamente as etapas a serem seguidas e as variáveis consideradas. A principal característica do método proposto é a integração de previsão de vendas, capacidade fabril e análise de valor agregado. O método se mostrou simples e de fácil aplicação.

O modelo apresentado neste artigo contempla múltiplos produtos, alocados em múltiplos equipamentos, que por sua vez, são ocupados, em geral, por mais de um produto. É importante salientar que o modelo opera com capacidade finita, uma vez que serve de suporte para empresas reais de manufatura. A demanda é tratada de forma estocástica e dependente do histórico de vendas. A produção é otimizada, a fim de maximizar o lucro do sistema, considerando as limitações de capacidade produtiva.

A aplicação do método atendeu às expectativas. O teste do método proposto comparou o mesmo com duas outras maneiras de programar a produção, sendo estas, quando a produção programada é exatamente igual a previsão de vendas (baseada somente em histórico) e quando não há nenhum método utilizado, apenas utilizando a restrição de capacidade máxima e o conhecimento empírico dos programadores de produção. Comparando os resultados obtidos diante de cada maneira de programação da produção observou-se que o método proposto gerou resultados econômicos superiores.

Por fim, vale mencionar que o trabalho realizado foi de grande importância para a empresa que foi objeto de estudo, uma vez que esta não possui um método para desenvolvimento do Plano Mestre de Produção, que atualmente baseia-se apenas no conhecimento empírico de seus colaboradores.

REFERÊNCIAS

BAGHERPOUR, M.; ZAREEI, A.; NOORI, S.; HEYDARI, M. Designing a control mechanism using earned value analysis: an application to production environment. **International Journal Advanced Manufacturing Technology**, v. 49, p. 419-429, 2010.

BERGAMO, E.; BATTAGLIA, D. Análise de valor e engenharia de valor: uma ferramenta de redução de custos em um projeto. **P&D em Engenharia de Produção**, v. 8 (3), p. 102-115, 2010.

BERRY, W. L.; WHYBARK, D. C.; JACOBS, F. R.; VOLLMANN, T. E. **Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management**, 5 ed. São Paulo: Bookman, 2005.

BONNEY, M. Reflections on Production Planning and Control (PPC). **Gestão & Produção**, v. 7 (3), p. 181-207, 2000.

BREMER, C. F.; LENZA, R. P. Um Modelo de Gestão de Referência para Gestão da Produção em Sistemas de Produção Assembly To Order – ATO e suas Múltiplas Aplicações. **Gestão & Produção**, v. 7 (3), p. 269-282, 2000.

CARVALHO, M. F.; SILVA FILHO, O. S.; FERNANDES, C. A. O. O Planejamento da Manufatura – Práticas Industriais e Métodos de Otimização. **Gestão & Produção**, v. 5 (1), p. 34-59, 1998.

CEZARINO, W.; SILVA FILHO, O. S. Geração de planos de produção via otimização seqüencial sub-ótima. **Gestão & Produção**, v. 14 (2), p. 239-252, 2007.

CHASE, R. B; JACOBS, F. R.; AQUILANO, N. J. **Administração da produção para a vantagem competitiva**, Porto Alegre: Bookman, 2006.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações, manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**, São Paulo: Atlas, 2004.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção: MRPII/ERP conceitos, uso e implantação**. São Paulo: Atlas, 2001.

FERNANDES, F. C. F. Identificação dos principais autores em planejamento e controle da produção por meio de um *Survey* com pesquisadores da área. **Gestão & Produção**, v.14 (1), p. 83-95, 2007.

FUSCO, J. P. A.; SACOMANO, J. B. **Operações e Gestão Estratégica da produção**. São Paulo: Arte & Ciência, 2007.

IP, W. H.; LI, Y.; MAN, K.F.; TANG, K. S. Multi-product planning and scheduling using genetic algorithm approach. **Computers & Industrial Engineering**, v. 38, p. 283-296, 2000.

KIM, Y.; BALLARD, G. Management thinking in the earned value method system and the last planner system. **Journal Management Engineering**, v. 26, p. 223-229, 2010.

MULA, J.; POLER, R.; GARCÍA-SABATER, J.P.; LARIO, F.C. Models for production planning under uncertainty: a review. **International Journal of Production Economics**, v. 103 (1), p. 271-285, 2006.

OLIVEIRA, R. C. F. **Gerenciamento de Projetos e aplicação da Análise de Valor Agregado em Grandes Projetos**. Dissertação (Mestrado) – USP. São Paulo, 2003.

PELLEGRINI, F. R.; FOGLIATTO, F. S. Passos para implantação de sistemas de previsão de demanda – técnicas e estudo de caso. **Produção**, v. 11 (1), 2001.

ROCHA, D. **Fundamentos técnicos da produção**. São Paulo: Makron Books, 1996.

RUBIO, A. L. **Planejamento e a programação da produção**: entendendo os conceitos e técnicas utilizadas nos diversos ambientes de produção, São Paulo: STS, 2002.

SEVERIANO, C. F.; DUNDA, M. F. E.; BATISTA, G. B. Análise das Abordagens sobre Medidas de Produtividade. **ENEGERP**, 1997.

SILVA FILHO, O. Estratégias Sequenciais Subótimas para Planejamento Agregado da Produção sob Incertezas. **Gestão & Produção**, v. 7 (3), p. 247-268, 2000.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

VANDEVOORDE, S. VANHOUCHE, M. A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics. **International Journal of Project Management**, v. 24, p. 289-302, 2005.

VIEIRA, G. E. SOARES, M. M. A new multi-objective optimization method for master production scheduling problems based on genetic algorithm. **International Journal Advanced Manufacturing Technology**, v. 41, p. 549-567, 2009.

VITNER G, ROZENES S, SPRAGGET S. Using data envelope analysis to compare project efficiency in a multi-project environment. **International Journal of Project Management**, v. 24, p. 323-329, 2006.

ARTIGO 2

Planejamento de Produção incorporando o conceito Elasticidade Preço-Demanda

Fernanda Romanzini (fernandaromanzini@gmail.com)

José Luis Duarte Ribeiro (ribeiro@producao.ufrgs.br)

Resumo:

Devido às constantes variações na demanda observadas nos mercados atuais, as organizações precisam executar planos de produção que incorporem as incertezas envolvidas. Neste artigo, é proposto um novo método de otimização do plano de produção tendo como principal avanço a utilização das curvas de elasticidade preço-demanda, associadas à capacidade produtiva disponível e aos custos fixos e variáveis de produção. Os resultados do método proposto são as definições dos preços ótimos de venda e do *mix* ótimo de produção, definido para maximizar o lucro da empresa. O método aplicado em uma empresa de manufatura, que fabrica materiais para o mercado da construção civil e apresenta forte impacto de promoções e descontos, teve como principal resultado a obtenção de um plano de produção sensível a variações nos preços de vendas praticados.

Palavras Chaves: Planejamento de produção; Elasticidade preço-demanda; Otimização do preço de venda; Programação matemática.

Abstract:

Due to the constant variability in demand observed in existing markets, organizations need to execute production plans that incorporate such uncertainties. In this paper, we propose a new method of optimizing the production plan. The main features of the proposed method are the use of price elasticity of demand curves associated with the available productive capacity and the fixed and variable production costs. The results of the proposed method are the definitions of optimal sale price and optimal production *mix*, established for maximizing company's profit. The method applied in a manufacturing company, which manufactures materials for the construction market and has strong impact of promotions and discounts, had as main result to obtain a production plan sensitive to variations in sales prices charged.

Key Words: Production planning; Price Elasticity of demand; Optimal sale Price; Mathematical Programming;

1 INTRODUÇÃO

As empresas de manufatura possuem práticas de mercado que exigem mudanças frequentes nas estratégias comerciais. Assim, essas estratégias são dinâmicas e necessitam ser interpretadas adequadamente para permitir decisões corretas referentes ao planejamento de produção. As alterações do mercado impactam diretamente nas quantidades de produtos demandados. Logo, os planos de produção precisam ser constantemente revisados e adequados. Na prática, a sinergia entre a gestão de operações e a área comercial pode ajudar a compreender o mercado e desenvolver ações sincronizadas com a estratégia da empresa, a capacidade de produção e a satisfação do cliente final (ALCANTARA, 2011).

Neste contexto, pode-se observar que as empresas produtoras de *commodities* dependem das variações dos preços para que haja alterações nas demandas de seus produtos. Essas empresas atuam conforme a elasticidade dos preços praticados no mercado. Logo, o planejamento de produção deve estar atrelado ao planejamento financeiro, pois as receitas geradas são advindas das quantidades comercializadas e estas, por sua vez, da quantidade de produtos disponíveis. No entanto, modelos integrando preços praticados à programação da produção ainda não são aplicados nas organizações, pois dependem da utilização de funções multi-objetivo que possam avaliar a capacidade produtiva e preços praticados (SHAPIRO, 2004).

Segundo Shapiro (2004), ao planejar é necessário considerar cenários formais e informais da cadeia, os quais são baseados em modelos que podem ser implementados e otimizados. No entanto, para aplicar métodos de planejamento de cenários formais, é necessário: (i) desenvolver modelos descritivos para que as previsões sejam consistentes e plausíveis, e (ii) utilizar dados precisos, que possa descrever apropriadamente os diferentes cenários de interesse.

Assim, um conceito importante a ser utilizado nos modelos de planejamento de produção é a elasticidade preço-demanda, que determina a relação entre o preço do produto e a demanda deste pelo mercado (LYSONS e GILLINGHAM, 2003). Conforme Mankiw (2009), a lei da demanda estabelece que, ao haver uma queda no preço de um bem, a quantidade demandada tende a aumentar.

Para tratar as variações de demanda ocorridas devido a variações no preço, o conceito de elasticidade preço-demanda pode ser utilizado e integrado ao planejamento de

produção. Essa integração propiciará previsões mais precisas, podendo considerar, inclusive, promoções ou campanhas na área comercial, realizadas para incentivar ou reduzir a venda, dependendo do objetivo da ação. Conforme Kaplan *et al.* (2010), para a maioria dos produtos de *commodities* e alguns outros produtos, os valores da elasticidade preço-demanda permanecem aproximadamente estáveis durante a vida útil de um produto.

As incertezas que cercam as organizações, quanto às previsões para os próximos períodos, tornam o processo de planejamento um tanto inseguro. Frequentemente, o processo de planejamento envolve muitas variáveis difíceis de serem calculadas. Por exemplo, nas organizações de médio porte, nos dias que precedem o final do mês ou o período em questão, é normal realizar reduções nos preços para atender metas de vendas e faturamento. Porém, estas ações, se não forem previstas com antecedência, influenciam negativamente no planejamento de produção, pois este não irá considerar apropriadamente essas variações, uma vez que seus históricos não incluem as mesmas (CARDOSO, 2012).

Neste artigo, os temas planejamento de produção e elasticidade preço-demanda serão abordados em conjunto, com o objetivo de resolver um problema real enfrentado em muitas organizações. O objetivo é definir preços ótimos para um conjunto de produtos, que conduza a um determinado *mix* de produção, respeitando a capacidade fabril e levando ao lucro máximo. A seção 2 apresenta uma revisão da literatura contemplando planejamento de produção e elasticidade preço-demanda. A seção 3 apresenta os procedimentos metodológicos. A seção 4 apresenta o método proposto para tratar o problema descrito. A seção 5 apresenta um estudo aplicado onde é utilizado o método proposto. Por fim, a seção 6 traz as conclusões deste estudo e indicações para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Elasticidade

Elasticidade é considerada uma medida que corresponde à variação da quantidade ofertada ou da quantidade demandada, dependendo dos seus determinantes. Assim, a elasticidade mede quanto uma variável pode afetar a outra. Trata-se de um número específico que informa a variação em percentual que poderá ocorrer em uma variável como reação a um aumento de um ponto percentual em outra variável (PINDYCK e RUBINFELD, 2010).

Todos os produtos possuem uma elasticidade ao preço. Os economistas classificam as mercadorias como elástica, inelástica e elástica unitária (STONE, 2008). Na demanda elástica o valor absoluto da elasticidade da demanda é maior que um. Demandas elásticas são muito sensíveis às variações de preço. A variação percentual da quantidade demandada é maior do que a variação percentual no preço. Na demanda inelástica o valor absoluto da elasticidade preço-demanda é menor que um. Nesse caso, a demanda inelástica não é muito sensível à variação no preço. Logo, a alteração percentual na quantidade demandada é menor do que a variação percentual do preço. Na demanda com elasticidade unitária, o valor absoluto da elasticidade preço-demanda é igual a um. A variação percentual da quantidade demandada é justamente igual à variação percentual do preço.

Elasticidade é um conceito simples da economia, no entanto, usualmente, não há muitas informações sobre a demanda de produtos específicos. Esse conceito é abordado através dos assuntos: Elasticidade preço-demanda, Cálculos da Elasticidade preço-demanda e Curvas de demanda (STONE, 2008).

2.2 Elasticidade preço-demanda

A elasticidade preço-demanda mede a variação da quantidade demandada em relação à mudança no preço (MANKIW, 2009). Estritamente, esse conceito é definido como a mudança percentual na quantidade demandada resultante de uma variação de 1% no preço (MANSFIELD e YOHE, 2006).

A demanda de qualquer bem ou mercadoria depende do que os consumidores estão dispostos a pagar por ele, logo, se o preço aumentar, há a possibilidade do bem em questão não ser mais adquirido. Sendo assim, a elasticidade reflete as muitas forças econômicas, sociais e psicológicas que moldam as preferências dos consumidores. Unindo as idéias de Mankiw (2009) e Stone (2008), observa-se que há cinco determinantes básicos para a elasticidade preço-demanda dos produtos, que são: a avaliação de produtos substitutos, o percentual da renda ou do orçamento doméstico que o consumidor deseja gastar com os produtos, os bens necessários versus bens supérfluos, as definições do mercado e o horizonte de tempo.

Mercadorias que possuem substitutos muito próximos provavelmente possuirão uma demanda mais elástica em relação ao preço, pois é fácil para os consumidores trocá-los por outros. Assim, a quantidade demandada poderia cair drasticamente. A importância

da mercadoria para o consumidor também é um fator relevante para estabelecer a elasticidade preço-demanda. Produtos que representam pouco valor no orçamento doméstico possuem uma demanda praticamente inelástica, pois o seu consumo permaneceria o mesmo e o impacto deste aumento seria muito pequeno. No entanto, não é a mesma situação de um aumento de 10% no aluguel, este faria grande diferença financeiramente, promovendo a rápida escolha por uma moradia mais barata. Os bens supérfluos tendem a ter demandas que são mais elásticas do que os bens necessários. Logo, com um aumento considerável nos itens de luxo, fará com que as pessoas deixem de fazê-los ou comprá-los. Entretanto, a classificação de supérfluo ou necessário depende não só de suas propriedades intrínsecas, mas também das preferências do consumidor (MANKIW, 2009; STONE, 2008; MANSFIELD e YOHE, 2006).

A elasticidade preço-demanda depende de como são traçados os limites nos mercados de atuação. Mercados definidos de forma restrita tendem a ter demanda mais elástica do que mercados definidos de forma aberta, uma vez que é mais fácil encontrar substitutos para bens definidos de maneira restrita (MANKIW, 2009).

Por fim, a elasticidade preço-demanda de uma mercadoria provavelmente dependerá da extensão do período a que a curva de demanda se refere. Os bens costumam apresentar demanda mais elástica em horizontes de tempo mais longos. Por exemplo, o aumento da gasolina, em um primeiro momento não irá resultar em variações drásticas no consumo. No entanto, com o passar do tempo, as pessoas começam a buscar alternativas, tais como transporte público, veículos com menor consumo de combustível ou transferência de sua residência para mais próximo do local de trabalho (STONE, 2008).

2.3 Calculando a elasticidade preço-demanda

Na literatura tradicional existem dois métodos para calcular a elasticidade preço-demanda. O primeiro calcula a elasticidade através da variação percentual da quantidade demandada dividida pela variação percentual do preço praticado. O segundo método realiza o cálculo utilizando o Ponto Médio (MANKIW, 2009; SALVATORE, 2003).

Considerando e como o coeficiente da elasticidade preço-demanda, ΔQ para a variação da quantidade demandada, e ΔP para a variação no preço, é possível utilizar a equação 1 para calcular a elasticidade:

$$e = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta P/P} = \frac{\Delta Q}{\Delta P} \times \frac{P}{Q} \quad (\text{eq. 1})$$

A elasticidade preço-demanda normalmente é um número negativo. Nesse caso, quando uma mercadoria aumenta de valor, a quantidade demandada por esta, geralmente diminui. Desta forma $\Delta Q/\Delta P$ é negativa e, portanto e é um valor negativo (PINDYCK e RUBINFELD, 2010).

O método do ponto médio calcula a variação percentual dividindo a variação pelo ponto médio (ou média) dos níveis inicial e final (MANKIW, 2009; STONE, 2008). A equação 2 expressa o método do ponto médio para calcular a elasticidade preço-demanda entre dois pontos, denotados por (Q_1, P_1) e (Q_2, P_2) :

$$e = \frac{(Q_2 - Q_1)/[(Q_2 + Q_1)/2]}{(P_2 - P_1)/[(P_2 + P_1)/2]} \quad (\text{eq. 2})$$

O numerador é a variação percentual da quantidade e o denominador é a variação percentual do preço.

2.4 Curvas de demanda

Os conceitos de curva de demanda e oferta têm se mostrado úteis, uma vez que ajudam a explicar as diferenças de preços aplicados sobre as mercadorias, além de contribuir para prever as consequências de certas mudanças nos preços praticados. As previsões podem ser testadas simulando situações reais, que normalmente permitem previsões razoavelmente exatas. Os economistas buscam, ainda, definir com maior exatidão o formato da curva de demanda, mais íngreme ou achatada, para aplicar em diversas finalidades (WALSH e STIGLITZ, 2003).

Ao observar as curvas de demanda, é possível entendê-las através do formato, conforme apresentado na figura 1. Quanto mais horizontal for uma curva de demanda que passa por um determinado ponto, maior será a elasticidade preço-demanda. Quanto mais vertical for uma curva de demanda que passa por determinado ponto, menor será a elasticidade.

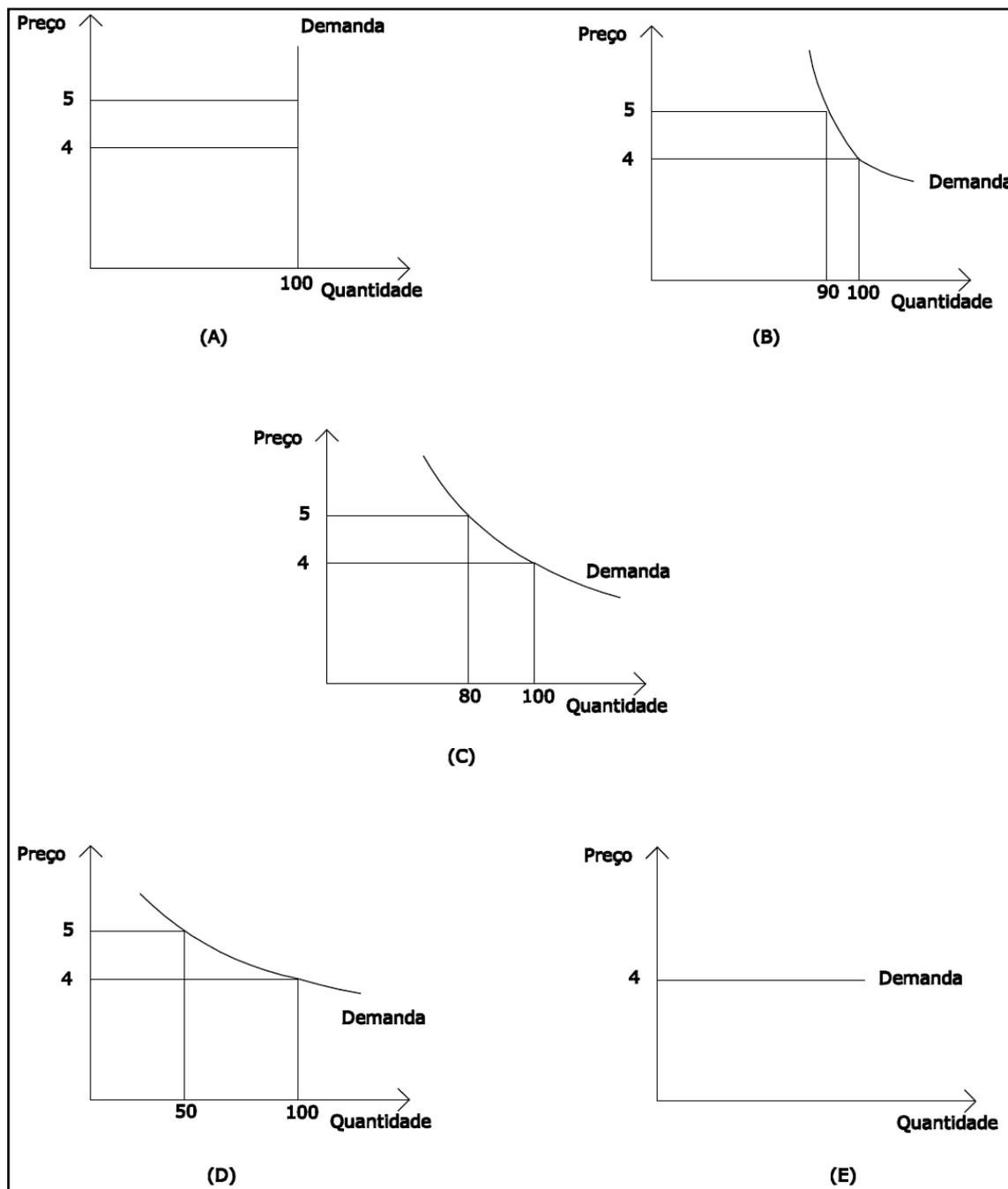


Figura 1: Ilustração das curvas de demanda.

Fonte: adaptado MANKIWI (2009).

Na figura 1, é possível entender as variações de cenários através da elasticidade preço-demanda. A curva A representa uma situação onde a demanda é perfeitamente inelástica, e a curva de demanda tem a forma vertical. Neste caso, a quantidade demandada é constante, independente de qualquer variação no preço. Conforme a elasticidade aumenta, a curva de demanda se torna cada vez mais horizontal, como é possível observar nos gráficos B, C e D. Já a curva E apresenta uma demanda perfeitamente elástica. Logo, qualquer alteração no preço proporciona grandes variações na quantidade demandada. Em

resumo, a curva A, representa uma demanda perfeitamente inelástica, com elasticidade igual a zero. A curva B, a demanda é inelástica, com elasticidade inferior a 1. A curva C demonstra uma demanda com elasticidade unitária, através da elasticidade igual a 1. A curva D apresenta uma demanda elástica com elasticidade maior do que 1. E a curva E, perfeitamente elástica, com elasticidade infinita.

2.5 Planejamento de Produção utilizando elasticidade preço-demanda

A demanda de um produto com um determinado preço para um pedido específico pode ser determinada pela elasticidade preço-demanda. Segundo Mangini, Moori e Perera (2007), as variáveis que promovem distúrbios na demanda podem ser diferenciadas em “causadoras” ou “amplificadoras”. Sendo a primeira responsável pelas distorções da demanda que são decorrentes do consumo aleatório do consumidor final, causadas pela incerteza nas escolhas e variação de preço. As variações de demandas nas organizações estão fortemente relacionadas aos consumidores finais que procuram produtos de baixo preço e promoções efetuadas pelas lojas varejistas. A segunda variável, amplificadora, é decorrente da falta de compartilhamento de informações entre as empresas que estão envolvidas na cadeia de suprimentos, gerando desequilíbrio dos estoques.

Há diversos fatores que contribuem para flutuação dos preços praticados no mercado, sendo algum deles: descontos, promoções e condições especiais de pagamento fornecidos pelo fornecedor. No entanto, estas ações resultam em aquisições, que não refletem uma necessidade imediata do consumidor, pois estes acabam por estocar os materiais. Lee, Padmanabhan e Whang (1997) indicam que estas promoções tendem a elevar os custos na cadeia de suprimentos, pois quando o preço do produto retornar ao valor normal comercializado, o cliente para de comprar até seu estoque diminuir, e a próxima aquisição poderá ser uma decisão mais racional.

Doyle (1986) já afirmava que a prática de campanhas promocionais gera grandes implicações gerenciais, visto que estas ações são realizadas no varejo sem estudo preliminar e sem a devida avaliação dos possíveis impactos que podem ocorrer no mercado. Uma das principais observações feitas após o período das campanhas é a queda das vendas nos meses posteriores a ação. Botelho (2005) propõe o uso de probabilidades previstas para serem utilizadas em simulações de ações promocionais, onde é possível alterar o valor das variáveis, como o preço, para simular as probabilidades resultantes em

determinados cenários, e com isso prever e avaliar situações futuras. Uma vez que se podem construir situações que se assemelham às táticas de promoções de preço num *mix* de mercado que já é conhecido. Assim, é possível obter como resultado os índices de participações de cada produto no mercado em análise.

Botelho (2005) indica que as promoções de preço devem possuir objetivos claros, e com ações muito bem descritas, pois muitas das ações têm efeito de captar novos consumidores para determinados produtos, e não o aumento da quantidade comprada por parte daqueles que já compram o produto. Logo, o domínio sobre a decomposição da elasticidade preço-demanda pode otimizar as promoções de preço no varejo, uma vez que fornece informações mais específicas (BAUMOL, 1977).

Kaplan *et al.* (2010) propõem a utilização da elasticidade preço-demanda nas decisões operacionais dos sistemas da cadeia de suprimentos, a fim de otimizar a complexa rede da cadeia de suprimentos. Segundo esses autores, os métodos tradicionais consideram separadamente as decisões que devem ser feitas em cada ponto da cadeia de suprimentos, ao invés de consideração integrada. O projeto de uma rede da cadeia de suprimentos foi abordado através de modelos de programação matemática, estabelecidos pelos autores citados.

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Quanto à natureza, esta pesquisa classifica-se como aplicada, na medida em que é orientada à solução de um problema prático, envolvendo a integração de aspectos associados à elasticidade preço-demanda e ao planejamento da produção. Quanto à abordagem, a pesquisa é predominantemente quantitativa, pois se apoia na base de dados da empresa e em fórmulas matemáticas. Quanto aos objetivos, classifica-se, predominantemente, como pesquisa explicativa, onde a ênfase é a construção de um modelo para planejar a produção considerando a elasticidade preço-demanda e as restrições do sistema produtivo. Por fim, quanto aos procedimentos, trata-se de uma pesquisa-ação, uma vez que os autores estiveram diretamente envolvidos no estudo e implementação da solução em um problema prático (SILVA, MENEZES, 2001).

Para desenvolvimento do método proposto, inicialmente foi realizada uma pesquisa na literatura com os temas relacionados ao estudo, sendo, os assuntos abordados, planejamento de produção, curvas de demanda e elasticidade preço da demanda. Na

construção do método, buscou-se relacionar os conceitos teóricos com as principais características envolvidas na aplicação prática, visando maximizar o resultado econômico da organização.

A otimização do preço de venda, visando maximizar o lucro, permite definir o melhor plano de produção do ponto de vista econômico. Este enfoque econômico é considerado importante, uma vez que o procedimento é claro, relativamente simples e o valor financeiro é relevante para todos os envolvidos.

O enfoque econômico, baseado na elasticidade preço-demanda e margens de lucro, permitem aos tomadores de decisão entender as grandezas envolvidas no processo de decisão. Adicionalmente, a integração destes conceitos com o planejamento de produção atende uma das limitações apresentadas pela literatura, a qual indica que modelos relacionando preços praticados à programação da produção ainda não são aplicados nas organizações (SHAPIRO, 2004). Além disso, o método proposto contempla a utilização de curvas de demanda que possibilitam conhecer os cenários formados pelos produtos analisados perante o mercado.

A construção do modelo iniciou após a coleta de dados contemplando um período de 12 meses. O levantamento dos dados foi realizado considerando a opinião de dois especialistas, que conhecem e estudam o mercado em análise há mais de vinte anos. As informações coletadas foram relativas às quantidades vendidas e seus respectivos preços médios nos períodos analisados. Os dados reunidos contemplaram três linhas de produtos de interesse, que apresentam características de mercado distintas. As informações relacionadas ao mercado de consumo foram obtidas através de entrevistas com os especialistas mencionados.

O modelo desenvolvido inclui um algoritmo que relaciona curvas de demanda, capacidade fabril, custos fixos e variáveis e margem de lucro de cada produto. Tendo como objetivo definir volumes de produção e *mix* de produtos que conduzam ao máximo resultado econômico para a organização. Após a construção do modelo foi realizado um teste prático em uma empresa que fabrica produtos para a construção civil.

4 MODELO PROPOSTO

O modelo proposto neste trabalho representa uma nova abordagem para o planejamento de produção, seguindo procedimentos relativamente simples, capazes de prever variações nos cenários e de fácil entendimento pelos tomadores de decisão. O modelo proposto, apresentado na figura 2, contempla cinco etapas: (i) Coleta de dados históricos e opinião de especialistas; (ii) Modelagem das curvas de elasticidade preço-demanda; (iii) Levantamento da capacidade produtiva; (iv) Levantamento de custos fixos e variáveis; e (v) Definição dos preços ótimos, respectivo *mix* de produção e lucro associado.

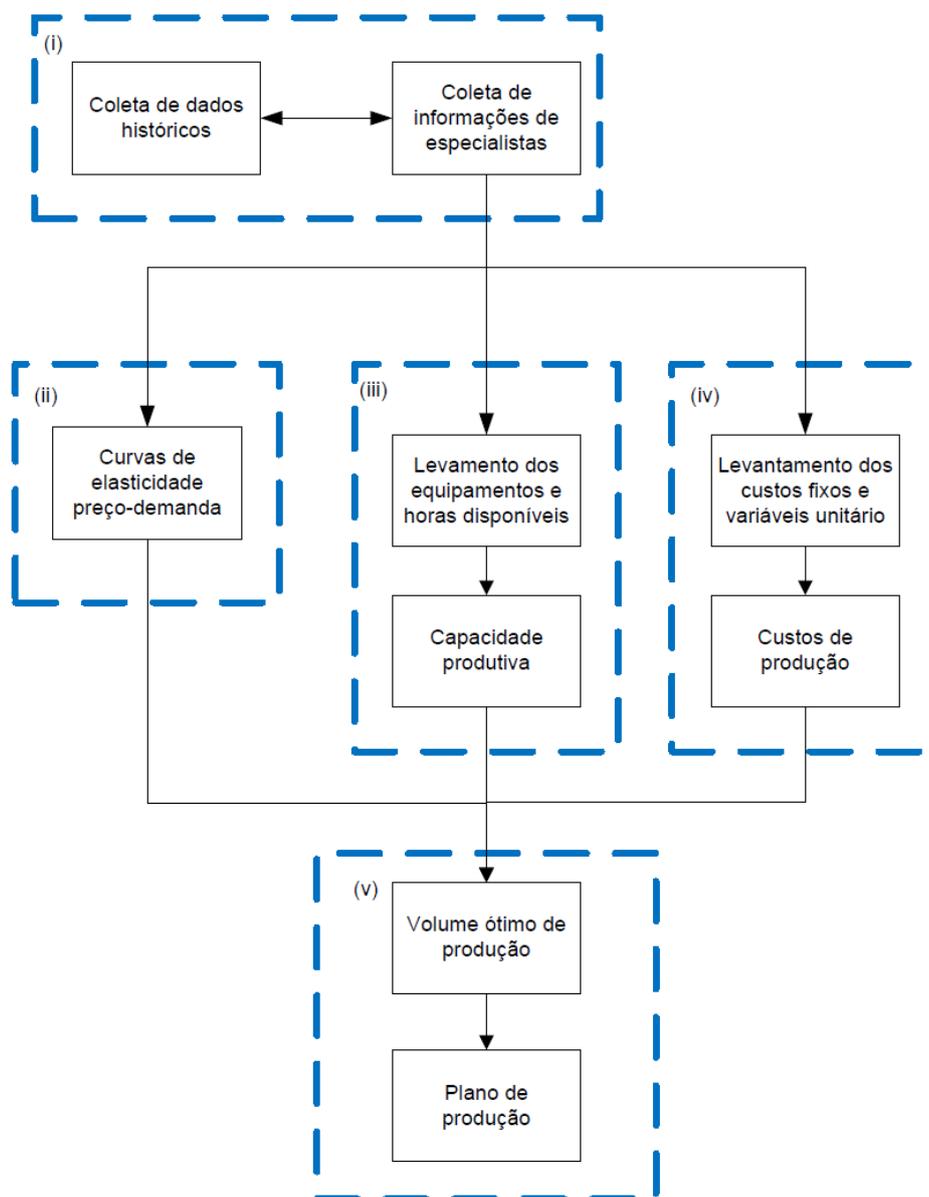


Figura 2: Desenho do modelo proposto.

Fonte: elaborado pelo autor.

A primeira atividade do modelo propõe a pesquisa de dados históricos da quantidade vendida e seus respectivos preços de venda. Isso visa assegurar informações quantitativas referentes a preço e volume de vendas ao longo do período analisado. Desta atividade, tem-se como resultado informações para desenhar as curvas de demanda. As quais foram validadas pelos especialistas da empresa.

Na sequência, são estabelecidas as curvas de demanda separadamente para cada produto em análise. Estas se utilizam de dados reais que necessitam serem tratados, para que sejam obtidas as curvas características de preço *versus* demanda. Vários modelos devem ser testados, e aqueles que fornecerem os melhores ajustes devem ser usados.

Modeladas as curvas de demanda em função dos preços e volumes comercializados ao longo do período de interesse, parte-se para a definição da capacidade fabril. Essa definição é feita considerando as horas produtivas da fábrica, número de equipamentos disponíveis, equipamentos ocupados por cada produto e tempo de produção por unidade de cada produto.

Através das informações de capacidade produtiva, e conhecendo a quantidade de cada produto a ser produzida, é possível estabelecer a ocupação de cada máquina. Esta é calculada considerando a quantidade a ser produzida dividida pela produtividade de cada equipamento. O resultado da ocupação é expresso em horas.

A atividade seguinte requer informações econômicas sobre os produtos em questão. Essas informações serão utilizadas no estudo de otimização do sistema. Para realizar a análise dos valores econômicos, podem-se utilizar os custos fixos da estrutura envolvida e os custos variáveis de cada produto. Isso permite calcular a margem de lucro de cada produto em estudo, já que a quantidade a ser produzida e vendida é conhecida através das curvas de demanda.

Em resumo, estabelecendo-se os preços dos diferentes produtos, através da curva de elasticidade preço-demanda, são definidas as quantidades a serem produzidas e vendidas. A produção dos diferentes produtos implica em custos fixos e variáveis. As vendas dos diferentes produtos implicam em receitas. A diferença entre receitas e custos estabelece o lucro. Existem restrições referentes à capacidade produtiva, então o preço dos produtos não pode ser estabelecido livremente. Ele deve ser estabelecido de forma a conduzir ao máximo lucro, o que está associado ao aproveitamento ótimo da capacidade produtiva.

O modelo desenvolvido permite a simulação dos cenários perante as variações na capacidade produtiva ou no preço dos produtos. Essencialmente, informadas as curvas de elasticidade preço-demanda e a capacidade produtiva, o modelo indica o preço ótimo, que conduz ao maior lucro operacional. Os cálculos realizados estão programados em planilhas eletrônicas e podem ser ajustados para reproduzir diferentes contextos fabris.

5 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da aplicação do método proposto em uma empresa fabricante de materiais em PVC para a construção civil. Os produtos contemplados são usados nos acabamentos de residências e lojas. A empresa possui atuação nacional na comercialização de seus produtos. No entanto, o mercado onde esta atua sofre variações constantes nos preços de venda. O objetivo principal da aplicação foi a indicação de preços de vendas dos produtos, volumes de produção e *mix* de produção que maximizem o retorno econômico. Paralelamente, a aplicação do modelo também permitiu estabelecer curvas que relacionam o lucro do sistema aos preços determinados para os produtos. Essas curvas revelam como o sistema, formado pelas linhas de produção e mercado, respondem as alterações nos preços dos três produtos em análise.

5.1 Coleta de dados históricos e opinião de especialistas sobre demanda dos produtos

Os dados históricos utilizados foram de um período de 12 meses, onde foi pesquisado o histórico de venda dos produtos em análise e seus respectivos preços praticados.

Os especialistas entrevistados são gestores da área comercial da empresa, e foram questionados sobre o real tamanho do mercado dos produtos em análise e qual deveria ser o preço mínimo para que este mercado fosse totalmente conquistado pela empresa. Cada produto possui diferentes nichos de clientes, logo as informações obtidas estão apresentadas no quadro 1.

Estas informações são essenciais para estruturação do modelo. E devem ser atualizadas sempre que houver alterações no nicho de mercados que os produtos avaliados estiverem inseridos.

	Produto 1	Produto 2	Produto 3
M (tamanho do mercado)	150.000 Kg	900.000 Kg	100.000 Kg
L (preço para conquistar todo mercado)	R\$ 9,00	R\$ 4,00	R\$ 8,20

Quadro 1: Tamanho do mercado e Preços dos produtos em análise.

5.2 Modelagem das curvas de elasticidade preço-demanda

A primeira etapa do método proposto envolve a obtenção das curvas de demanda de cada produto, a partir de dados históricos de preço de venda e respectiva quantidade vendida. Para realizar a modelagem das curvas de demanda, após vários testes, os melhores ajustes foram obtidos pelo modelo representado pela equação 3.

$$V = M \times \left(- \left(\left(\frac{PV-L}{A} \right)^B \right) \right) \quad (\text{eq. 3})$$

Onde V (kg) é a previsão de vendas; M (kg) é o tamanho total do mercado que seria conquistado se o preço fosse igual ou inferior a L ; PV (R\$/kg) é o preço de venda praticado; L (R\$/kg) é um preço mínimo, que conduziria a conquistar todo o mercado; enquanto A e B são os parâmetros que controlam a inclinação e curvatura da curva de demanda. A partir dos valores M e L já informados, as constantes A e B foram definidas usando rotinas de regressão não-linear.

Na figura 3 é possível observar as curvas de demanda dos três produtos em análise. Aplicando a equação 2 para cada um dos produtos, em diversos pontos das respectivas curvas, é possível observar que a demanda por estes itens é considerada inelástica em relação ao preço, uma vez que a elasticidade da demanda é inferior a 1, em todos os pontos das curvas.

Considerando esse resultado, é importante analisar as características da demanda dos produtos desta empresa. A demanda inelástica apresenta menor resposta às variações nos preços, comparado com a demanda elástica. Um aumento nos preços leva a uma diminuição na quantidade demandada, porém devido a uma menor sensibilidade as variações nos preços, a receita total aumenta. Já nas curvas de demanda elástica, o aumento nos preços proporciona uma diminuição na quantidade demandada em maior proporção que o aumento nos preços, assim a receita total diminui.

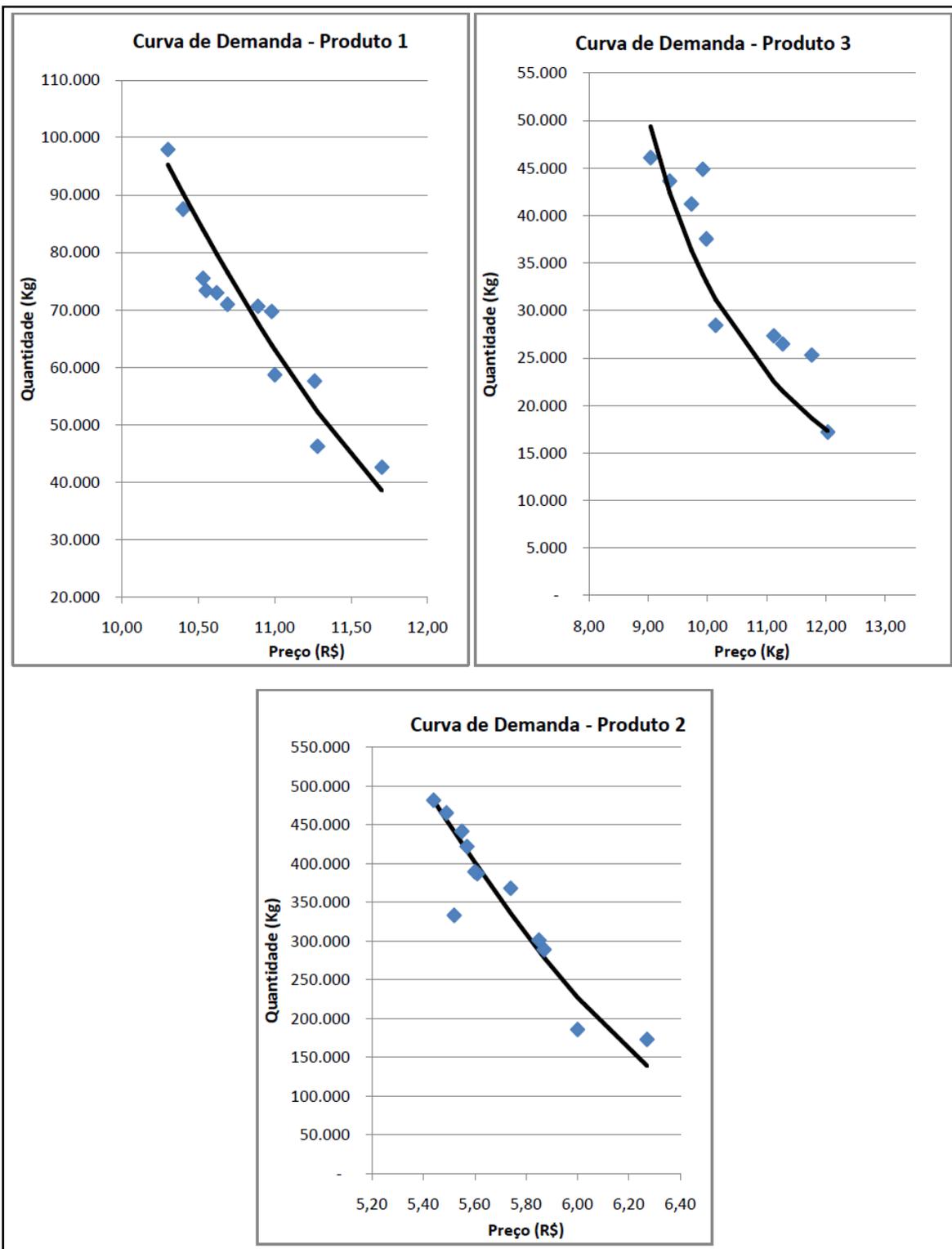


Figura 3: Curvas de demanda dos três produtos em análise.

Fonte: elaborado pelo autor.

5.3 Levantamento da capacidade produtiva

A capacidade produtiva foi obtida através de informações da área industrial da empresa. Os itens em análise mobilizam em sua produção quatro equipamentos, que são utilizados para produção de três tipos de produtos. Como é possível observar no quadro 2.

Produtos	Produto 1	Produto 2	Produto 3
Produtividade Máquina 1	550 Kg/h		100 Kg/h
Produtividade Máquina 2		360 Kg/h	200 Kg/h
Produtividade Máquina 3		360 Kg/h	
Produtividade Máquina 4		360 Kg/h	

Quadro 2: Produtividade dos equipamentos.

Após a listagem dos equipamentos e as respectivas produtividades, é importante que a capacidade produtiva seja calculada. Esta atuará como uma restrição do sistema, pois não é possível realizar uma produção superior à capacidade instalada no período. Para esses cálculos, foi utilizado o limite de 380 horas mensais disponíveis em cada máquina.

5.4 Levantamento de custos fixos e variáveis

As informações econômicas sobre os custos de produção dos produtos foram reunidas junto aos especialistas da área financeira da empresa. O quadro 3 apresenta os custos variáveis de cada produto. O custo fixo da estrutura organizacional para realizar a produção dos itens citados é de R\$ 500.000,00, sendo estes rateados entre os três produtos, proporcionalmente ao volume de venda de cada produto.

Produto	Produto 1	Produto 2	Produto 3
Custo variável por unidade	R\$ 6,70	R\$ 4,50	R\$ 6,45

Quadro 3: Custo variável dos produtos em análise.

Os custos possuem forte influência no cálculo do *mix* ótimo de produção, uma vez que o objetivo é maximizar resultado econômico, lucro.

5.5 Definição dos preços ótimos, *mix* de produção e lucro associado

Tendo em vista este cenário, a última etapa da aplicação do modelo proposto neste trabalho resulta na definição do preço ótimo de cada produto (e correspondente *mix* ótimo de produção), considerando as restrições da capacidade produtiva e visando maximizar o resultado econômico.

	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Total
Preço unitário	R\$ 9,5687	R\$ 6,3787	R\$ 12,8045	
M (Kg)	150.000	900.000	100.000	
L	R\$ 9,00	R\$ 4,00	R\$ 8,20	
A	2,2	1,75	1,5	
B	1,5	2,4	0,6	
Venda (Kg)	131.527	111.445	14.086	
Produção (Kg)	131.527	111.445	14.086	
Produtividade da Máquina 1 (Kg/hora)				
	550		100	
Produtividade da Máquina 2 (Kg/hora)				
		360	200	
Produtividade da Máquina 3 (Kg/hora)				
		360		
Produtividade da Máquina 4 (Kg/hora)				
		360		
Máximo				
Ocupação da Máquina 1 (h)	380	239	141	380
Ocupação da Máquina 2 (h)	380		310	380
Ocupação da Máquina 3 (h)	380		310	310
Ocupação da Máquina 4 (h)	380		310	310
Custo variável por unidade				
	R\$ 6,70	R\$ 4,50	R\$ 6,45	
Custo variável total	R\$ 881.233	R\$ 501.504	R\$ 90.854	R\$ 1.473.591
Custo fixo	R\$ 299.009	R\$ 170.164	R\$ 30.828	R\$ 500.000
Despesas totais	R\$ 1.180.241	R\$ 671.668	R\$ 121.682	R\$ 1.973.591
Receita	R\$ 1.258.542	R\$ 710.872	R\$ 180.363	R\$ 2.149.778
Lucro	R\$ 78.301	R\$ 39.205	R\$ 58.682	R\$ 176.187
Custo por unidade (variável + fixo)	R\$ 8,97	R\$ 6,03	R\$ 8,64	
Margem de lucro	6,63%	5,84%	48,23%	

Quadro 4: Resumo de cálculo do modelo proposto.

Com o auxílio de programação matemática é possível proceder o estudo de otimização, há diversos métodos matemáticos e procedimentos correspondentes de otimização para resolver este modelo, neste utilizou-se o algoritmo GRG (Gradiente Reduzido Generalizado). Conforme, Moore e Weatherford (2005) o algoritmo GRG é utilizado para resolver problemas não-lineares com restrições. Seu funcionamento parte do encontro de um ponto inicial, considerando o conjunto de restrições, na sequência busca uma direção ascendente ou descendente (modelos *Min*) até atingir um máximo (ou mínimo) ou atingir algum limite do conjunto de restrições, o algoritmo pode mudar a direção do movimento para continuar ascendente (ou descendente) e ao mesmo tempo

permanecer na região viável, conclui-se o algoritmo quando se encontra um ponto que satisfaz as condições ótimas necessárias. Um resumo dos resultados está apresentado no quadro 4.

Uma vez rodada a rotina de otimização, os preços unitários ótimos de vendas ficam estabelecidos, assim como o *mix* de produção ótimo e o lucro associado. Outro resultado interessante que pode ser obtido utilizando o modelo proposto é a análise de sensibilidade do sistema (lucro máximo) em relação ao preço de cada produto. Esse estudo foi realizado variando o preço de venda de um dos produtos e observando o comportamento do lucro máximo do sistema. O lucro máximo foi obtido ajustando-se os preços dos demais produtos.

Ao analisar-se o produto 1, foram realizados aumentos sucessivos no preço de venda e, em cada uma das alterações, calculava-se novamente o valor ótimo do preço de venda dos demais itens, a fim de obter o máximo lucro do sistema. Desta forma, obteve-se a curva apresentada na figura 4. É possível observar que, quando o preço de venda atinge seu valor ótimo, o sistema apresenta o melhor resultado, e, a partir deste ponto, o lucro sofre queda pronunciada. Isso ocorre pois, ao realizar aumentos sucessivos no preço do produto 1 acima do preço ótimo, a quantidade vendida diminui. Logo, como este item representa 50% da receita gerada no sistema, a não venda deste ocasiona expressiva queda no lucro. Mesmo ocasionando uma maior capacidade disponível para os demais produtos, estes não conseguem manter o lucro do sistema equilibrado, devido aos volumes de receita serem inferiores ao produto 1.

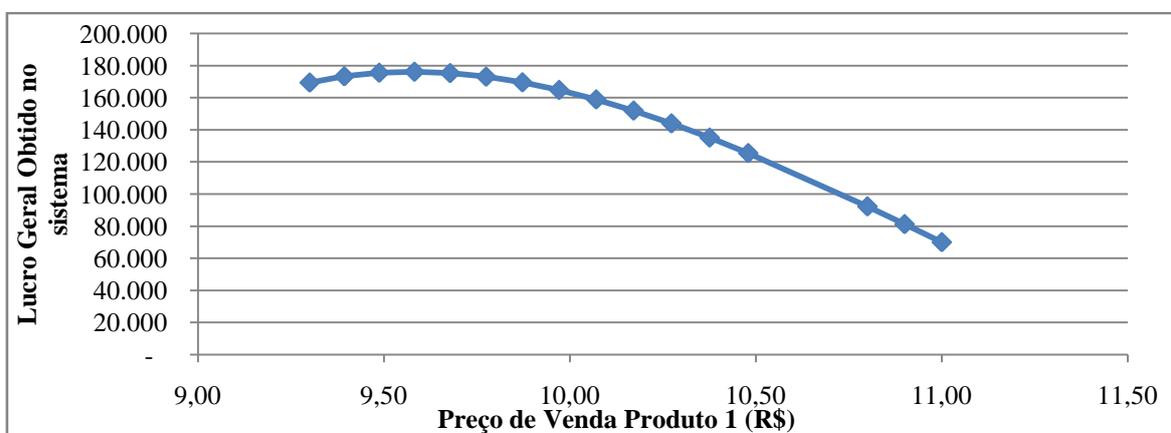


Figura 4: Lucro geral do sistema x Preço de venda produto 1.

Fonte: elaborado pelo autor.

Realiza-se a mesma análise para o produto 2. Ao realizar aumentos sucessivos neste item, observa-se que a venda sofre queda e conseqüentemente o lucro do sistema também reduz. Uma vez que os custos fixos do sistema se mantêm, e os demais itens não conseguem absorver estes valores, de maneira que possa estabelecer o sistema equilibrado, conforme ilustrado na figura 5.

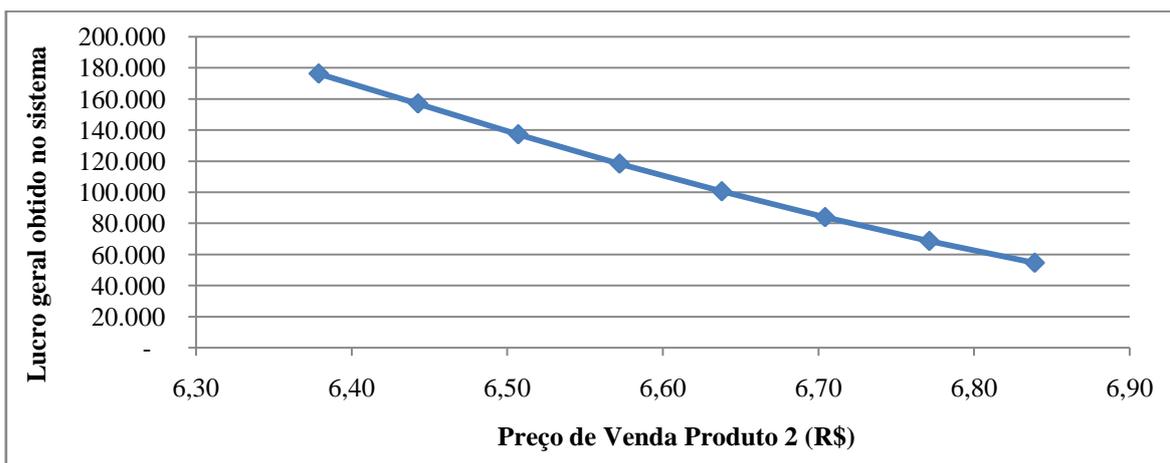


Figura 5: Lucro geral do sistema x Preço de venda produto 2.

Fonte: elaborado pelo autor.

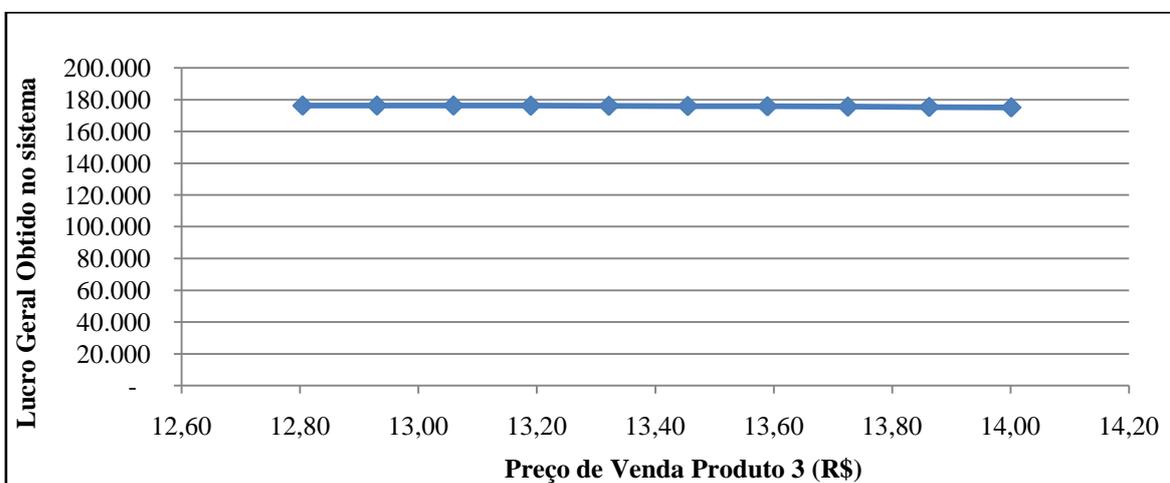


Figura 6: Lucro geral do sistema x Preço de venda produto 3.

Fonte: elaborado pelo autor.

Na figura 6 observa-se que, ao aumentar o preço do produto 3, o sistema consegue manter resultados próximos do máximo global. Quando há aumento no preço deste item, acima do preço ótimo, a quantidade vendida diminui e conseqüentemente o lucro associado a esse item também diminui. No entanto, como o produto 3 compartilha equipamentos com

os produtos 1 e 2, é possível aumentar a produção desses itens, o que compensa parcialmente a queda nos lucros associadas ao produto 3. O resultado final é um sistema robusto ao preço do produto 3, onde os preços dos demais produtos podem ser ajustados de forma a manter um lucro próximo do máximo global.

5 CONCLUSÃO

Empresas que querem ser competitivas devem adotar práticas de planejamento de produção que sejam flexíveis às constantes mudanças do mercado. Uma forma de atender esta necessidade é modelando e explorando os conceitos de elasticidade preço-demanda (KAPLAN *et al.*, 2010).

O presente artigo apresentou um modelo para obtenção de um plano de produção integrando aspectos relacionados à elasticidade preço-demanda, capacidade fabril e custos operacionais. O principal objetivo do modelo é apontar preços ótimos, que estarão associados a um *mix* ótimo de produção, que respeite a capacidade produtiva e conduza ao lucro máximo. O fato de o modelo proposto estar baseado em preços unitários e quantidades a serem produzidas torna a tomada de decisão mais simples, uma vez que estes são indicadores usuais nas organizações.

Através do modelo proposto, pode-se concluir que as intervenções nos preços de venda praticados devem ser realizadas com cautela pelos tomadores de decisão, uma vez que, em função das restrições na capacidade produtiva, a mudança no preço de um produto específico pode interferir de forma acentuada no lucro máximo operacional. Logo, as empresas devem estar atentas tanto à capacidade produtiva quanto à elasticidade preço-demanda de seus produtos.

Sugere-se para trabalhos futuros aplicar o modelo em linhas de produção maiores abrangendo uma maior quantidade de produtos e equipamentos. Outra sugestão é modelar de forma mais detalhada os custos industriais, pois isso pode permitir maior precisão na definição do lucro operacional.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, R. R. C.; MELO, D. C. Desafios da gestão da demanda na cadeia de suprimentos: um estudo no setor atacadista distribuidor de produtos de mercearia básica. **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**: Belo Horizonte, 2011.

BAUMOL, W. J. **Economic theory and operations analysis**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1977.

BOTELHO, D. Decomposição da elasticidade-preço no varejo com uso de dados escaneados. **Pesquisa Operacional**, v. 25 (2) p. 201-217, 2005.

CARDOSO, A. **Eliminando os picos artificiais de vendas**. Disponível em: <http://www.lean.org.br/artigos/63/eliminando-os-picos-artificiais-de-vendas.aspx>. Acesso em: 15/11/2012.

DOYLE, P. Measuring the true profitability of sales promotions. **Journal of the Operational Research Society**, v. 37 (10) p. 955-965, 1986.

MOORE, J. H.; WEATTFERFORD, L. R. **Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

KAPLAN, U.; TURKAY, M.; KARASOZEN, B.; BIEGLER, L. T. Optimization of supply chain systems with price elasticity of demand. **INFORMS Journal on Computing**, p. 1-12, 2010.

LEE, H.; PADMANABHAN, V.; WHANG, S. Information distortion in a supply chain: the bullwhip effect. **Management Science**, v. 43 (4), p. 546-558, 1997.

LYSONS, K.; GILLINGHAM, M. **Purchasing and Supply Chain Management**, 6 ed. Harlow: Prentice-Hall, 2003.

MANGINI, E. R.; MOORI, R. G.; PERERA, L. C. J. Uma análise investigativa do “efeito chicote” na cadeia de suprimentos da indústria alimentícia. **Encontro Nacional da Anpad**: Rio de Janeiro, 2007.

MANKIW, G. N. **Princípios de Microeconomia**. 5 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

MANSFIELD, E.; YOHE, G.W. **Microeconomia: teoria e aplicações**. São Paulo: Saraiva, 2006.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. **Microeconomia**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010.

SALVATORE, D. **Microeconomics: theory and applications**. 4 ed. New York: Oxford University Press, 2003.

SHAPIRO, J. F. Challenges of strategic supply chain planning and modeling. **Computers and Chemical Engineering**, v. 28, p. 855-861, 2004.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3 ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFRGS, 2001.

STONE, G. **Core Economics**. 19 ed. New York: Worth Publishers, 2008.

WALSH, C. E.; STIGLITZ, J. E. **Introdução à Microeconomia**. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

ARTIGO 3

Planejamento de Produção em problemas multi-produtos e multi-máquinas visando à maximização do desempenho econômico

Fernanda Romanzini (fernandaromanzini@gmail.com)

José Luis Duarte Ribeiro (ribeiro@producao.ufrgs.br)

Resumo:

Este artigo propõe um novo método que visa à maximização do resultado econômico operacional, através do planejamento de produção. O modelo utiliza um algoritmo de otimização que envolve quatro áreas de análise: mercado, produção, custos e por fim o resultado econômico. O objetivo é a maximização do lucro. A aplicação do modelo ocorre em uma empresa de manufatura que tem se caracterizado por alta variabilidade na definição dos preços de venda. Os resultados deste estudo indicam que pequenas variações nos preços de venda podem comprometer substancialmente os lucros globais do sistema produtivo.

Palavras Chave: Planejamento de produção; Elasticidade preço-demanda; Capacidade finita; Programação Matemática.

Abstract:

This paper proposes a new method for maximizing the economic operational profit through production planning. The model uses an optimization algorithm involving four areas of analysis: market, production, costs and economic results. The objective function comprises profit maximization. The application of the model occurs in a manufacturing company that has been characterized by high variability in selling prices. The results, this study, indicate that small deviations in sale prices may severely reduce production system global profit.

Key Words: Production planning; Price Elasticity of demand; Finite capacity; Mathematical programming.

1 INTRODUÇÃO

Ao relacionar assuntos envolvendo capacidade produtiva, estoques, produção e previsão de vendas, as empresas enfrentam futuros incertos, que dependem das condições de mercado, tais como: demanda, preço e custos associados a cada produto. Para lidar com as incertezas envolvidas, as empresas precisam buscar ferramentas apropriadas à sua realidade, que permitam planejar e programar a produção considerando as variações que ocorrem, tanto no ambiente externo, como interno (CHOD e RUDI, 2006; KAPLAN *et al.*, 2010).

Para diminuir seu custo operacional, prestar um serviço satisfatório aos seus clientes e sobreviver em um mercado globalmente competitivo, as organizações buscam continuamente a inovação em seus processos de decisão. Para isso, as organizações precisam relacionar as informações referentes à capacidade produtiva, estoques, produção, previsão de demanda, demanda e preço num mesmo sistema. Mais ainda, esse sistema deve possuir recursos para analisar essas informações e definir a quantidade a ser produzida, visando um resultado operacional ótimo para a organização (SHAPIRO, 2004).

Normalmente, decisões estratégicas são baseadas em previsões de demanda, utilizando planos de produção mais sofisticados que contemplam métodos para determinar o erro de previsão de demanda, através de distribuições em torno de um ponto da previsão ou um conjunto de possíveis cenários futuros. Para atenuar o impacto dos erros de previsão, é possível utilizar conceitos de capacidade flexível. Esta é muitas vezes instalada em empresa com *mix* de produtos diversificado, para combater cenários onde as incertezas de demanda são elevadas (BILLER, MURIEL e ZHANG, 2006).

Outra forma de tratar as incertezas da demanda é utilizando os conceitos de elasticidade preço-demanda. Conforme Liu, Shah e Papageorgiou (2012) a estratégia de preços é uma questão importante para a cadeia de suprimentos, especialmente quando a elasticidade preço-demanda é alta e o preço tem um efeito significativo sobre as exigências do produto. As decisões sobre os preços corretos a serem praticados são cruciais na gestão da cadeia de fornecimento. Embora haja alguns trabalhos na literatura que abordam a elasticidade preço-demanda junto a cadeias de fornecimento, nenhuma das obras citadas considera as flutuações de preços, que é uma das principais razões para o efeito chicote na cadeia de fornecimento (LIU, SHAH e PAPAGEORGIU, 2012).

Para otimizar o plano de produção, pode-se utilizar modelos que visem a maximização do resultado econômico operacional da organização. Os modelos de otimização podem buscar maximizar o lucro através da coordenação de volume de vendas e os respectivos preços, bem como as decisões sobre capacidade produtiva. Modelos desse tipo podem contribuir para equacionar os problemas associados à capacidade produtiva e incertezas na demanda, oferecendo soluções apropriadas para cenários de interesse. A contribuição pode ser particularmente importante quando os preços podem ser alterados mais rapidamente em comparação com alterações nos volumes de produção e fluxos de materiais (KANNEGIESSER *et al.*, 2009).

Neste artigo, o tema planejamento de produção é abordado juntamente com os assuntos elasticidade preço-demanda, previsão de demanda tratada de forma estocástica e otimização de *mix* de produção, visando entender e resolver um problema enfrentado em muitas organizações. O objetivo é definir um *mix* ótimo de produção associado a preços de venda ótimos para um conjunto de produtos, respeitando a capacidade fabril e levando em consideração os erros de previsão de demanda.

O texto está organizado conforme segue. Após esta introdução, a Seção 2 apresenta uma revisão da literatura contemplando o estado da arte sobre os temas e assuntos abordados. A Seção 3 apresenta o método proposto para tratar do problema descrito. A Seção 4 apresenta um estudo aplicado onde é utilizado o método proposto. Por fim, a Seção 5 traz as conclusões deste estudo e indicações para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Elasticidade preço-demanda aplicada ao planejamento de produção

A elasticidade preço-demanda é o conceito que determina a relação entre o preço do produto e a sua respectiva demanda. Esse conceito é usado para medir o grau de resposta da demanda quando houver alteração no preço. Os índices de elasticidades preço-demanda são quase sempre negativos, seguindo a lei da demanda, que determina que uma redução no preço do produto leva a um aumento na demanda do produto, e vice-versa (embora o índice possa ser positivo em alguns casos especiais). O coeficiente de elasticidade preço-demanda de cada produto em cada mercado é definido como a variação percentual na quantidade do produto demandada pela variação percentual no preço (LIU,

SHAH e PAPAEORGIU, 2012; LANNING *et al.*, 2000; BOTELHO, 2005). Um caso especial é apresentado pelos autores Almeida *et al.* (2010) que apresentam um modelo econométrico, utilizando o método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), para estimar a elasticidade das principais variáveis que afetam o preço da madeira para o processamento mecânico no mercado paranaense. Os resultados alcançados com o modelo indicaram uma sensibilidade inelástica ao câmbio e preço pago pelo mercado de celulose, sendo avaliado também pelo modelo, variáveis como renda per capita, taxa de câmbio e preço pago pelo mercado de celulose.

Kaplan *et al.* (2010) afirmam que a relação entre preço de venda e a demanda de um produto é estabelecida através da curva de elasticidade preço-demanda, onde a demanda surge como uma função não linear do preço estabelecido. Na cadeia de suprimentos, muitas vezes, esta relação é omitida no nível tático. No entanto, independentemente da curva ser ou não explicitada, o preço invariavelmente é um dos parâmetros mais importantes na determinação da quantidade demandada, conforme Tellis (1988) já afirmava.

A elasticidade preço-demanda pode sofrer alterações quando há venda em diferentes mercados geográficos ou diferentes segmentos de mercado, ou, ainda, quando são comercializados produtos com maior diferenciação em relação a seus concorrentes. As empresas investem seus recursos com base em previsões de mercados imperfeitos e, para obter as funções gerais de lucro, são considerados cenários com elasticidade preço-demanda constantes. Nestes casos, é possível prever os cenários de demanda considerando as alterações de preços praticadas nos respectivos mercados (CHOD e RUDI, 2006).

Kaplan *et al.* (2010) utilizam um modelo de otimização para integração da cadeia de suprimentos multiprodutos. O modelo proposto por esses autores inclui a elasticidade preço-demanda. Neste modelo a elasticidade preço-demanda pode ser considerada um valor fixo ou um valor variável ao longo do período. Neste modelo, o preço de venda de um produto é dado a partir de dados da demanda e elasticidade de períodos anteriores ao plano atual. Além disso, ao utilizar os dados de elasticidade de períodos anteriores, deve-se presumir que os valores de elasticidade preço-demanda de um produto permaneçam estáveis durante sua vida. Conforme Kaplan *et al.* (2010), esta suposição é válida para a maioria dos produtos de *commodities* e alguns outros produtos. Embora o modelo desenvolvido suporte diferentes valores de elasticidade preço-demanda, para limitar o

escopo da investigação, é assumido que o valor de elasticidade mantém-se constante durante toda a vida do produto. Supõe-se também que os varejistas tenham as suas exigências atendidas imediatamente pelo produtor ou prestador de serviço. Portanto, em qualquer intervalo de tempo, a demanda de um produto no varejo mantém a mesma quantidade de fluxo do produto. Embora o atendimento imediato da demanda não seja possível na maioria das vezes, um dos principais objetivos do modelo apresentado é de diminuir o tempo de resposta do sistema para o cliente e, na maioria das vezes, este tempo de resposta pode ser aproximado de zero.

Liu, Shah e Papageorgiou (2012) propõem um estudo de otimização para o planejamento da produção e distribuição na cadeia de fornecimento multi-produto sob incerteza de demanda. Esses autores consideram a elasticidade preço-demanda e desvios de demanda e inventário no contexto estudado. Para isso utilizam um modelo MILP baseado no Problema do Caixeiro Viajante (TSP) para modelar o sequenciamento ideal de produção, utilizando *setup's* dependentes.

A demanda de cada produto, nos seus respectivos mercados, é basicamente afetada pelos preços praticados. Para cada produto existente, há uma demanda inicial em um determinado período, a qual corresponde ao preço inicial do produto. Em cada período de tempo existem variados níveis de preço a serem praticados para cada produto. De forma geral, se o preço adotado for maior do que o preço inicial, a demanda final será menor do que a demanda inicial, enquanto que um nível de preço inferior ao inicial proporcionará uma demanda final maior. Neste problema, as demandas iniciais são incertas. Mas para diminuir o impacto do mercado são realizadas previsões de demanda, no início de cada período, juntamente com as definições dos preços a serem praticados no período, logo a demanda final pode ser prevista. Sendo assim, quando possível, é interessante manter um nível de preço estável, para evitar grandes alterações na demanda (LIU, SHAH e PAPAGEORGIU, 2012). Viswanathan e Wang (2003) estudaram as variações dos preços com base nos descontos oferecidos aos clientes, que podem ser tratados de duas formas: descontos por volume e desconto por quantidade. Afirmam que o motivo da oferta de descontos por volume consiste em aumentar a demanda, e conseqüentemente os lucros. Descontos por quantidade são, principalmente, oferecidos com a intenção de aumentar a quantidade do pedido, obtendo assim uma redução no custo de processamento dos fornecedores. No entanto, quando a elasticidade-preço da demanda é alta, os de desconto

por quantidade também pode resultar em uma maior demanda e, portanto, as receitas podem ser maiores.

Sadjadi, Yazdian e Shahanagui (2012) consideram que uma empresa pode maximizar o lucro através do dimensionamento ideal de lotes, estabelecimento correto de preços e boas decisões de marketing, apoiadas na flexibilidade e confiabilidade do processo de fabricação. Os autores afirmam também que, ao reduzir os custos, o preço pode ser proporcionalmente reduzido sem afetar a margem de lucro e, devido à elasticidade preço-demanda, as vendas aumentam. Isso conduz ao crescimento da receita e do lucro operacional.

Para empresas que fabricam e vendem *commodities*, como, por exemplo, produtos florestais ou petroquímicos, cujas vendas são conduzidas pelos preços, o modelo de otimização da cadeia de suprimentos pode ser estendido para otimizar decisões sobre *mix* de produtos, baseados em função da receita da empresa, advinda da relação elasticidade preço-demanda de cada produto. Para uma empresa que fabrica e vende produtos de consumo, a análise é mais detalhada, pois requer a integração do modelo de otimização com um modelo de campanha de marketing que possa prever a venda de produtos em função da publicidade, promoções, preços e os esforços da força de vendas (SHAPIRO, 2004).

Para maximizar os lucros operacionais, Jans, Degraeve e Schepens (2008), apresentam um modelo que visa à integração de informações de produção, de marketing e contábeis. O modelo desenvolvido incorpora programação matemática, com o objetivo de reduzir custos e maximizar o desenvolvimento de produtos. A formulação do problema tem como base uma decisão de investimento utilizando os conceitos de VPL (Valor Presente Líquido).

2.2 Processo de planejamento e otimização da produção

Perea-Lo, Ydstie e Grossmann (2003) descrevem um modelo preditivo estratégico para maximizar o lucro nas cadeias de suprimentos com multiprodutos. As principais características do modelo proposto envolvem a consideração do fluxo de materiais e informações internas do sistema. O modelo utiliza otimização dinâmica, que permite considerar simultaneamente os elementos da cadeia de suprimentos, suas interações em uma abordagem de horizonte variável, que contempla atualização das variáveis de decisão

sempre que surgem as alterações que podem afetar a cadeia de suprimentos. O objetivo do estudo é definir o plano de compras de materiais, a programação de produção, as políticas de sequenciamento e os níveis de estoque para a rede de distribuição, de modo que o lucro seja maximizado e o serviço seja o mais próximo possível do nível desejado pelo cliente. Para avaliar o lucro, é preciso considerar todas as fontes da renda e os custos associados com a operação. Logo, consideram-se as vendas como a fonte de renda, enquanto os custos envolvem a aquisição de matérias-primas, os custos de produção, os custos de manutenção de estoques, custos de armazenamento e o custo de transporte.

Os autores Kim e Lee (1998) também exploram problemas de capacidade ideal, quando há horizontes de planejamento com demandas fixas e preços dependentes. O objetivo do modelo proposto por esses autores é maximizar o lucro, através da determinação do preço de venda e o tamanho do lote ótimo. Leung (2007) propõe uma abordagem de programação geométrica para resolver problemas de determinação de lotes econômicos de produção. Assim, a programação geométrica, juntamente com considerações de flexibilidade e confiabilidade de processo, é aplicada para determinar as melhores decisões, visando reduções de custos.

Os conceitos tradicionais de estratégias de produção podem ser estendidos para considerar diversas estratégias de posicionamento das indústrias. Segundo Sen, Pokharel e Yulei (2004), para cada estratégia de produção, uma estratégia diferente na cadeia de suprimentos deve ser utilizada. Esse autor apresenta um modelo matemático baseado na integração dos conceitos de *build-to-stock* e *build-to-order*. Esse modelo ajuda a definir uma estratégia otimizada para produção, considerando também variáveis como: ciclo de vida do produto, alteração no preço e nível de serviço prestado. Baseado neste modelo também são realizadas simulações onde os resultados mostram a obtenção de desempenhos diferenciados em relação à lucratividade e nível de serviço ao cliente para cenários distintos.

Atualmente, as empresas operam com objetivos de negócio diferentes. Algumas, por exemplo, definem a maximização do resultado como seu principal objetivo final. Outras buscam aumentar sua participação no mercado ou alcançar maiores níveis de satisfação dos clientes. Todos estes pontos podem ser alcançados através de estratégias de preços bem desenvolvidas, que devem considerar três elementos básicos, custos, clientes e concorrência. Ações para obter uma gestão de custos integrada, um conhecimento

aprofundado sobre o comportamento do cliente e uma noção real sobre concorrência de mercado em uma estrutura unificada são a chave para o desenvolvimento de uma estratégia de preços e, conseqüentemente, a maximização do resultado operacional (LEVIS e PAPAGEORGIU, 2007).

Levis e Papageorgiou (2007) propõem uma metodologia para determinar as políticas de preços ótimas, tendo em consideração: a demanda dos produtos, custos de produção, disponibilidade de recursos, elasticidade preço-demanda, terceirização e concorrência. Hsieh, Liu e Wang (2010) apresentam um modelo que auxilia na definição estratégica de preço e descontos no curto prazo. O estudo desses autores investiga como a distribuição dos descontos e a elasticidade preço-demanda influenciam na obtenção do lucro.

Com o objetivo de simplificar a atividade de planejamento e programação de multiprodutos para períodos de longo prazo, Erdirik-Dogan e Grossmann (2008) apresentam um modelo que consiste em um algoritmo decomposto em níveis. Assim o problema original é dividido em níveis, o primeiro superior, que caracteriza o planejamento, e o segundo inferior que abrange programação da produção. Enquanto para o primeiro caso é aplicado um modelo de Programação Linear Inteira Mista (*MILP – Mixed Integer Linear Program*), o segundo utiliza modelos matemáticos. Ambos buscando a maximização de lucros relacionados a vendas, aliados a redução de custos com estoques, custos operacionais e custos de transição.

O problema de otimização da cadeia de suprimentos sob incerteza na demanda é um assunto relativamente novo, onde metodologias ainda estão emergindo. A abordagem mais popular é a programação de forma estocástica. Nessa linha, Papageorgiou (2009) apresenta modelos de programação matemática para problemas de otimização da cadeia de suprimentos na indústria de processo, que podem ser aplicados tanto no plano estratégico quanto no plano tático. Os modelos que incorporam incertezas são normalmente de grande complexidade e difícil solução.

Bose e Pekny (2000) apresentam uma metodologia baseada em planejamento e programação preditiva utilizando modelos de previsão e otimização. Conforme a proposição desses autores, ambos os modelos atuam em conjunto no ambiente de simulação que incorpora a incerteza presente nos sistemas reais. Os autores investigam um estudo de caso em uma cadeia de bens de consumo. Nesse caso, o processo de otimização

dá-se pela aplicação de técnicas de Programação Linear Inteira Mista (MILP), tendo como objetivo minimizar desvios de um nível de estoque alvo, o qual garante um nível de serviço desejado, aliado a minimização de custos com estoque.

Recentemente, Subramanian *et al.* (2013) propuseram a utilização do controle preditivo por modelos (MPC –*Model Predictive Control*), para a otimização da cadeia de suprimentos, especificamente voltado à gestão de estoques. Modelos dinâmicos são utilizados para prever resultados futuros otimizados, onde estes consideram as restrições e interações presentes no sistema. Baseado nos resultados previstos, esta abordagem permite identificar as melhores decisões operacionais para viabilizar o alcance do melhor resultado prático. Adicionalmente, o modelo proposto apresenta um conceito cooperativo, onde cada agente da cadeia toma decisões locais, porém o objetivo é voltado à otimização global da cadeia de suprimentos. Assim o objetivo do controle neste modelo foi de minimizar desvios dos níveis de estoque. Porém, os autores apontam a necessidade de implementar o MPC com variáveis de controle econômicas, uma vez que na prática a gestão da cadeia de suprimentos busca a otimização do desempenho econômico.

3 MODELO

Esta pesquisa, em sua natureza, classifica-se como aplicada, pois está focada na solução de um problema prático, envolvendo a integração de aspectos associados à elasticidade preço-demanda, previsão de demanda tratada de forma estocástica e otimização de *mix* de produção. A abordagem da pesquisa é predominantemente quantitativa, pois se apoia na base de dados de uma empresa e em fórmulas matemáticas. Quanto aos objetivos, esta pesquisa classifica-se como explicativa, onde a ênfase é a construção de um modelo para planejar a produção considerando a elasticidade preço-demanda e a capacidade produtiva. O procedimento da pesquisa enquadra-se como uma pesquisa-ação, pois os autores estiveram diretamente envolvidos no estudo e implementação da solução em um problema prático (SILVA e MENEZES, 2001).

Para desenvolvimento do método proposto, inicialmente foi realizada uma pesquisa na literatura com os temas relacionados ao estudo. Sendo, os assuntos abordados, a elasticidade preço-demanda aplicada ao planejamento de produção e o processo de planejamento e otimização da produção associados. Na construção do método, buscou-se relacionar os conceitos teóricos com as principais características envolvidas na aplicação

prática, visando maximizar o lucro da operação empresarial. O quadro 1 apresenta um resumo dos principais autores pesquisados, com o objetivo de realizar a comparação deste modelo com o que já está sendo apresentado na literatura.

Elaborado por:	Modelos apresentados:
ALMEIDA <i>et al.</i> (2010)	Método calcula a elasticidade preço-demanda, através do MQO.
BILLER, MURIEL, ZHANG (2006)	Modelo avalia investimentos na capacidade produtiva flexível ou dedicada, através da determinação do preço de venda em diferentes cenários da demanda.
BOSE, PEKNY (2000)	Previsão e otimização da cadeia da cadeia de suprimentos, através do Controle Preditivo por Modelos (CPM).
BOTELHO (2005)	Modelo calcula o índice de elasticidade preço-demanda, através de dois parâmetros: escolha da marca e quantidade comprada
CHOD, RUDI (2006)	Modelo maximiza o lucro, em ambientes de investimentos de recursos, com base em previsões de mercados incertos. Tem como base elasticidade preço-demanda com índice constante.
ERDIRIK-DOGAN, GROSSMANN (2008)	Modelo maximiza lucros, relacionando vendas e custos, em dois níveis, planejamento e programação da produção.
HSIEH, LIU, WANG (2010)	Investiga as principais influências provocadas pela elasticidade preço-demanda, através das variações no preço.
JANS, DEGRAEVE, SCHEPENS (2008)	Modelo maximiza lucros em um cenário de análise de investimentos, considerando custos, receitas, elasticidade preço-demanda como variáveis de decisão.
KANNEGIESSER <i>et al.</i> (2009)	Modelo integrado de otimização de resultados, tendo como principais variáveis o preço de venda e lotes de produção.
KAPLAN <i>et al.</i> (2010)	Modelo visa à otimização da cadeia, através dos efeitos da elasticidade preço-demanda nas decisões de produção e estoque.
KIM, LEE (1998)	Modelo aplica programação geométrica, com o objetivo de maximizar o lucro e definir o preço ideal, para dimensionar a capacidade produtiva fixa e variável.
PAPAGEORGIU (2009)	O estudo concentra em uma revisão de modelos de programação matemática para problemas de otimização da cadeia de suprimentos na indústria de processo, que podem ser aplicados tanto no plano estratégico, quanto no plano tático.
LEUNG (2007)	Modelo utiliza programação geométrica, para determinar lotes econômicos de produção, considerando flexibilidade e custos.
LEVIS, PAPAGEORGIU (2007)	Modelo determina políticas de preços ótimas, tendo em consideração: a demanda dos produtos, custos de produção, disponibilidade de recursos, elasticidade preço-demanda, terceirização e concorrência.
PEREA-LO, YDSTIE, GROSSMANN (2003)	O modelo maximiza lucro e o nível de serviço da cadeia de suprimentos, considerando as variáveis: receita e custos diversos.
SADJADI, YAZDIAN, SHAHANAGHI (2012)	Modelo utiliza programação geométrica para a maximização dos lucros, através do dimensionamento ideal de lotes, preços, flexibilidade e confiabilidade do processo de produção.
SEN, POKHAREL, YULEI (2004)	Modelo visa à otimização da cadeia de suprimentos, considerando: ciclo de vida do produto, alteração no preço, nível de serviço prestado e lucratividade.
SHAPIRO (2004)	Estudo investigativo sobre os desafios da aplicação da modelagem com análise quantitativa dos problemas de planejamento na cadeia de suprimentos.
LIU, SHAH, PAPAGEORGIU (2012)	Modelo para planejamento e maximização do lucro na cadeia de suprimentos, considerando incertezas na demanda, flutuações de preço e níveis de estoque.

SUBRAMANIAN <i>et al.</i> (2013)	Modelo utiliza MPC, para otimização da cadeia de suprimentos, com objetivo de minimizar estoques.
VISWANATHAN, WANG (2003)	Modelo maximiza lucros, através de políticas de descontos, em ambientes com demanda sensível ao preço de venda praticado.

Quadro1: Resumo dos principais autores.

A fim de entender o ambiente modelado, as principais premissas são elencadas: (i) a distribuição dos preços dos concorrentes mantém-se aproximadamente constante, pois há vários concorrentes, alguns podem reduzir o preço em um determinado mês, mas isso é aproximadamente compensado pelo aumento de preços que outros concorrentes aplicam no mês em questão; (ii) trata-se de um produto da construção civil, que pode ser usado tanto em novas construções como em reformas. Devido a esse aspecto, o mercado desse produto é pouco afetado por crises econômicas (considerando curto e médio prazo), de forma que o tamanho de mercado, no horizonte das previsões realizadas, pode ser considerado relativamente estável; (iii) o interesse é a maximização do lucro; outras considerações de caráter estratégico não são contempladas no modelo.

Para melhor entender o método utilizado neste artigo, foi criado um esquema que procura relacionar os temas abordados e as principais etapas que compõem a estrutura do modelo desenvolvido. Num primeiro momento procurou-se identificar as principais áreas que estão envolvidas, sendo elas: mercado, produção e custos. Sendo assim, é possível entender que a união das informações obtidas, em cada área, é responsável pela composição do resultado deste modelo, conforme está representado na figura 1.

No bloco de mercado, relacionam-se as informações do ambiente comercial. Nesta etapa, são obtidos os dados históricos de preço e demanda que são utilizados como base para compor as curvas de elasticidade preço-demanda. Estas, por sua vez, são utilizadas para obter a demanda esperada para o período, juntamente com o preço ótimo, que é obtido através de programação matemática. Calculado o volume esperado da demanda, este é associado ao volume ótimo de produção, que juntos são responsáveis por gerar a informação das vendas esperadas no período. No bloco de produção, inicialmente, parte-se da listagem dos equipamentos disponíveis, que na sequência são alocados para os produtos em análise. Esta informação, juntamente com o tempo, em horas, disponível, serve como base para o cálculo da capacidade produtiva disponível. Tendo conhecimento da capacidade produtiva disponível, e o volume esperado da demanda para o período,

citado anteriormente, é possível obter o volume ótimo de produção, que também é definido via programação matemática.

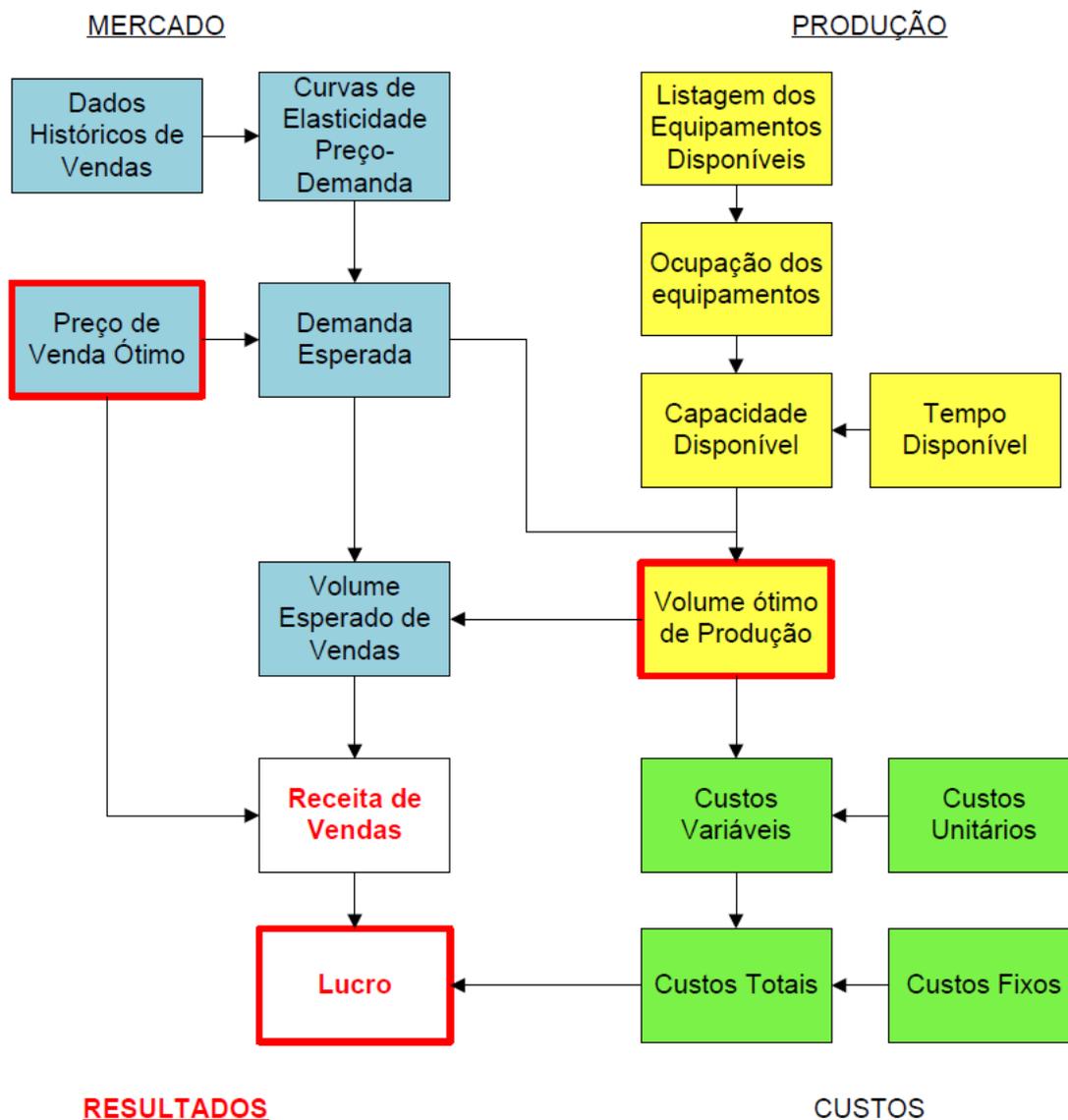


Figura 1: Etapas do modelo proposto.

Fonte: Desenvolvido pelos autores.

No bloco de custos, são obtidas as informações sobre os custos de fabricação unitários; estes, multiplicados às quantidades a serem produzidas, compõem os custos variáveis, juntamente com o custo de estocagem que é considerado, apenas quando o produto é estocado. Os custos fixos também são levantados. No entanto, de forma simplificada, estes são rateados entre as quantidades produzidas para que sejam somados aos custos variáveis unitários e, assim, o custo total do produto é obtido. No bloco

resultados ocorre à maximização do lucro, que depende basicamente da receita obtida e dos custos totais de fabricação. A receita é calculada através da multiplicação entre o preço ótimo, estabelecido pela programação matemática, e o volume esperado de vendas. No decorrer desta Seção, as etapas citadas e o formulário utilizado são apresentados mais detalhadamente.

Utilizando os dados históricos de vendas mensais, é possível obter as curvas de elasticidade preço-demanda de cada item auxiliando, assim, na previsão da demanda média em função do preço a ser definido. Após testar diferentes ajustes, a equação 1 forneceu melhores resultados e foi utilizada para calcular o valor esperado da demanda (\widehat{D}) do período.

$$\widehat{D}_i = M_i \times \left(- \left(\left(\frac{PV_i - L_i}{A_i} \right)^{B_i} \right) \right) \quad (\text{eq. 1})$$

Onde i refere-se ao produto (i é igual de 1 a n , n são os produtos fabricados e vendidos). M_i é o tamanho total do mercado para o produto i , representado pela unidade quilogramas (Kg), que seria conquistado se o preço fosse igual ou inferior a L_i ; L_i é um preço mínimo, dado pela unidade real por quilograma ($R\$/kg$), que conduziria a conquistar todo o mercado; enquanto A_i e B_i são os parâmetros que controlam a inclinação e curvatura da elasticidade preço-demanda. A partir dos valores M_i e L_i já informados pelos especialistas da empresa, as constantes A_i e B_i foram definidas, para cada produto, usando rotinas de regressão não-linear. O PV_i é o preço ótimo de venda ($R\$/kg$), obtido através da programação matemática, utilizando o algoritmo GRG (Gradiente Reduzido Generalizado) não linear e adotando como função objetivo maximizar o Lucro.

A próxima etapa no bloco de Mercado é o cálculo do Volume Esperado de Vendas (\widehat{V}_i) que pode ser calculado usando conceitos probabilísticos. Nesse estudo, para representar a distribuição de probabilidade da demanda $f(x)$, conforme ilustrado na figura 2, qualquer distribuição de demanda pode ser adotada para lidar com casos diversos. A variabilidade da demanda, também foi calculada, e é representada por σ_i .

Na figura 2, A_1 é representada pela equação 2, e A_2 pela equação 3. A estimativa de vendas é fornecida pela equação 4.

$$A_1 = \int_0^{P_i} f_i(x) dx \quad (\text{eq. 2})$$

$$A_2 = \int_{P_i}^{\infty} f_i(x) dx \quad \text{ou} \quad A_2 = 1 - A_1 \quad (\text{eq.3})$$

$$\widehat{V}_i = \int_0^{P_i} x f_i(x) dx + A_2 P_i \quad (\text{eq. 4})$$

Onde \widehat{V}_i corresponde a estimativa das vendas para o produto i ; x é a demanda; $f(x)$ é a distribuição de probabilidade da demanda para o produto i , e P_i corresponde ao valor ótimo de produção para o produto i , que conduz à maximização do lucro, respeitando as restrições de produção.

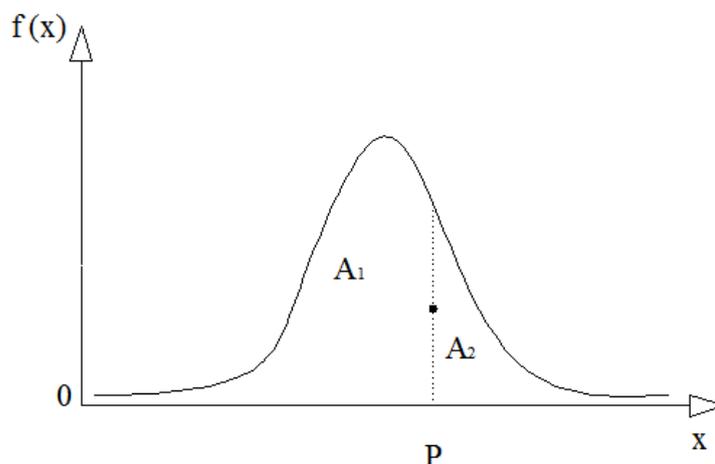


Figura 2: Curva de distribuição, utilizada para representar a demanda.

No bloco que envolve a Produção, inicia-se com a elaboração de listagem dos equipamentos disponíveis com suas respectivas restrições, capacidades e flexibilidades. Na sequência é definida a ocupação dos equipamentos, considerando as restrições dos produtos em estudo. Assim, cada produto irá ocupar um número de horas de cada equipamento.

Nesta etapa, são levantados dados referentes à produtividade de cada máquina, através do tempo necessário para a produção de cada produto do *mix* em estudo. Logo, fica estabelecida a capacidade fabril, que tem como principal função no modelo estabelecer o limite da quantidade a ser produzida, através do tempo disponível, pois trata-se de um modelo desenvolvido para lidar com plantas fabris com capacidade finita.

O cálculo dos volumes ótimos de produção (P_i) é obtido através de programação matemática, considerando a capacidade disponível e a previsão de demanda para o período. Logo, conforme explicado anteriormente, usando programação matemática definem-se os preços ótimos e volumes ótimos, visando maximizar o Lucro.

O valor esperado do Estoque para o produto i (E_i) corresponde à diferença entre o valor esperado das vendas e o volume ótimo de produção, conforme equação 5.

$$\hat{E}_i = P_i - \hat{V}_i \quad (\text{eq. 5})$$

O modelo também envolve os custos gerais da operação, representado no terceiro bloco da figura 1. Para isso são levantados os custos unitários variáveis (CUV_i) de fabricação e os custos fixos do sistema produtivo. Os custos variáveis unitários (CV_i) dependem do volume a ser produzido, conforme a equação 6.

$$CV_i = P_i \times CUV_i + \hat{E}_i \times CUE_i \quad (\text{eq. 6})$$

Os custos fixos, nesse estudo, são rateados proporcionalmente ao custo variável, os quais dependem da quantidade produzida e fornecem uma indicação do esforço mobilizado na produção de cada produto, onde CF_i é o custo fixo do produto i , CV_i é o custo variável do produto i , CV_T é o custo variável total e CF_T é o custo fixo total e estão representados na equação 7.

$$CF_i = \frac{CV_i}{CV_T} \times CF_T \quad (\text{eq. 7})$$

Então o custo total de cada produto i é calculado como o somatório do custo variável total e o custo fixos de i rateados. Logo, o custo total é o somatório dos custos totais de cada produto i , conforme equações 8 e 9, respectivamente.

$$CT_i = CV_i + CF_i \quad (\text{eq. 8})$$

$$CT = \sum CT_i \quad (\text{eq. 9})$$

A etapa dos resultados visa à otimização do Lucro Total (\hat{L}) do sistema, este que por sua vez depende diretamente das receitas das vendas e dos custos totais, conforme ilustrado na equação 10. As receitas das vendas são calculadas multiplicando os preços definidos para cada produto pelos volumes de vendas calculados para cada produto. O lucro depende tanto das receitas de vendas como dos custos totais, sendo calculado proporcionalmente ao Volume esperado de Vendas (\hat{V}_i).

$$\hat{L} = \sum (PV_i \times \hat{V}_i) - \sum CT_i \quad (\text{eq. 10})$$

4 ESTUDO APLICADO E DISCUSSÕES

Após a apresentação do modelo, buscou-se realizar a aplicação do mesmo. Nesta seção são apresentados os resultados da aplicação, que ocorreu em uma empresa fabricante de materiais em PVC para a construção civil. Os produtos abordados são utilizados nos acabamentos internos de residências e lojas. A empresa possui atuação nacional na comercialização de seus produtos. No entanto, a empresa observa variabilidade na demanda em decorrência da instabilidade na definição de seus preços de venda, pois a mesma não utiliza métodos formais de otimização de preços.

A aplicação do método inicia com a coleta dos dados na empresa em estudo. Três áreas da empresa foram consultadas: comercial, com os históricos de vendas e preços praticados; contabilidade, com as informações de custos gerais; e industrial, com as informações sobre capacidade produtiva.

Através dos dados históricos de venda, as curvas de elasticidade preço-demanda foram modeladas em função dos preços e volumes comercializados no período analisado. Isso foi feito aplicando a equação 1, que fornece a expressão da demanda para cada produto em análise. As informações sobre o mercado (variáveis M e L) foram obtidas em conversas com especialistas da área comercial, que possuem experiência neste mercado a mais de 20 anos. Logo, o cálculo de previsão de demanda, ocorre em duas etapas, a primeira envolve a modelagem das curvas de elasticidade preço-demanda, e a segunda envolve a previsão da demanda propriamente dita, que depende do preço estabelecido. Conforme explicado no modelo, outras variáveis estão envolvidas neste cálculo e são apresentadas na sequência. O quadro 3, mostra os resultados obtidos nesta etapa.

A próxima etapa no bloco de Mercado envolveu o cálculo do Volume Esperado de Vendas (\widehat{V}_i) para cada produto analisado. Nesse estudo, foi adotada uma distribuição triangular para representar a probabilidade da demanda $f(x)$, conforme ilustrado na figura 3. No entanto, qualquer outra distribuição de demanda poderia ser adotada para lidar com casos diversos. Os limites da distribuição triangular foram definidos conforme a variabilidade natural das vendas, extraída da análise do histórico de vendas. Os limites adotados foram estabelecidos como dois desvios padrões acima e abaixo do valor esperado da demanda.

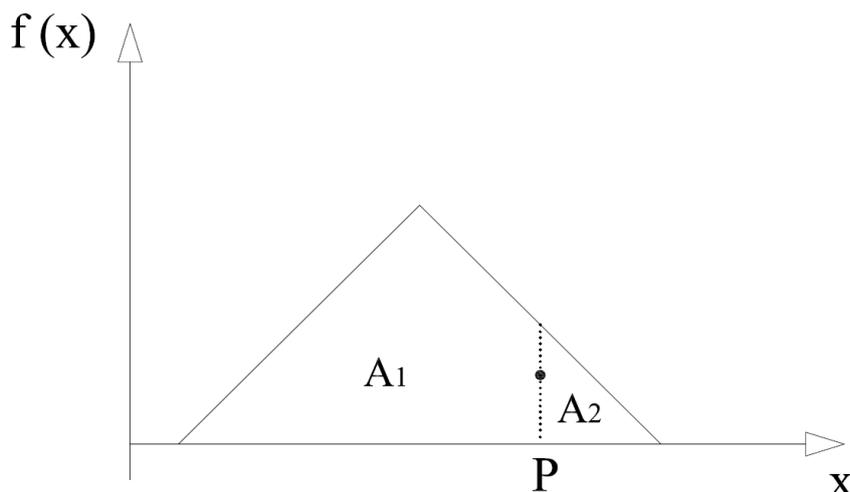


Figura 3: Curva de distribuição triangular, utilizada para representar a demanda.

Em paralelo à resolução das variáveis do bloco de mercado, foram levantados os dados referentes à área produtiva. A listagem dos equipamentos, com suas respectivas produtividades, segue no quadro 2, conforme informado pela empresa.

Produto	P1	P2	P3	Unidade
Produtividade da Máquina 1	550		100	Kg/hora
Produtividade da Máquina 2		360	200	Kg/hora
Produtividade da Máquina 3		360		Kg/hora
Produtividade da Máquina 4		360		Kg/hora

Quadro 2: Produtividade de Máquina

É possível observar que o produto P1 ocupa apenas a máquina 1 na sua fabricação. Já o produto P2 ocupa as máquinas 2, 3 e, enquanto o produto P3 ocupa as máquinas 1 e 2. Os produtos abordados possuem formatos e dimensões diferentes, por isso, as diferentes produtividades em um mesmo equipamento.

O fator limitante, neste estudo são as horas disponíveis para cada equipamento, que neste estudo são 380 horas mensais. Logo, é possível calcular a capacidade de produção de cada item.

Apesar de ser apresentado um modelo segregado em blocos, a aplicação do modelo é feita de maneira integrada. Na primeira etapa, conforme mencionado acima, aplica-se a equação 1, em que o preço de venda é uma variável a ser ajustada.

Paralelamente, os volumes ótimos de produção (P_i) são ajustados, também via otimização matemática, considerando a capacidade fabril e a demanda esperada, sendo que o ajuste de preços e volumes tem como objetivo maximizar do lucro do sistema.

Após pesquisa na área de contabilidade da empresa, as informações reais sobre os custos foram obtidas. Logo, aplicaram-se as funções propostas no modelo, e obtiveram-se os resultados apresentados no quadro 3.

O quadro 3 apresenta um resumo dos cálculos realizados. Os dados informados ao sistema estão apresentados na cor azul, as variáveis ajustáveis a serem otimizadas estão em vermelho, e a função objetivo a ser maximizada está em amarelo. Os demais dados são calculados conforme as equações apresentadas no modelo.

O modelo apresentado neste estudo contempla a relação entre importantes áreas das organizações: comercial, produção, e contabilidade. Ele trabalha as informações geradas em cada área de forma integrada. A aplicação deste modelo é de fácil entendimento e aplicação, no entanto requer a compilação de vários dados, logo é preciso que as áreas envolvidas possuam registro e acompanhamento das informações envolvidas.

Ao comparar este modelo com os temas abordados pelos autores pesquisados no referencial teórico deste artigo, percebe-se que os assuntos são tratados pela literatura, forma independente, ou não abordam todos os aspectos ressaltados neste estudo. Sendo assim, este modelo diferencia-se dos demais citados por apresentar um conjunto de informações de mercado associadas às curvas de elasticidade preço-demanda, à otimização capacidade produtiva disponível e aos custos de produção tanto fixos, quanto variáveis. O objetivo é otimizar preço de venda e volume de produção, visando à maximização do resultado econômico, o lucro, além de definir informações importantes ao tomador de decisão, tais como o volume esperado de venda.

O modelo desenvolvido é aplicado a plantas com múltiplos produtos e múltiplas máquinas, com capacidade finita, características dos ambientes empresariais atuais. Logo, é possível utilizá-lo para analisar a influência de alterações no preço sobre o Lucro global do sistema. Um exemplo desse tipo de análise é apresentado na tabela 1, onde se fixou o preço de venda do produto 1, em um valor diferente do ótimo, deixando que os demais sejam otimizados via programação matemática. É possível perceber que, ao indicar o preço mínimo que absorveria todo o mercado ($L_1=R\$9,00$), os valores ótimos de produção e o valor esperado de vendas se aproximam do volume total do mercado ($M_1=150.000$ Kg).

Produto	P1	P2	P3	Totais	Observações
Preço unitário (PV_i)	R\$ 9,63	R\$ 6,26	R\$ 13,29		Preços ótimos, definidos via programação matemática
Tamanho total do mercado (M_i)	150.000	900.000	100.000		Parâmetros da curva de elasticidade representa o máximo a ser comercializado
Preço Mínimo (L_i)	R\$ 9,00	R\$ 4,00	R\$ 8,20		Parâmetros da curva de elasticidade representa o preço mínimo para vender para todo o mercado
A_i	2,2	1,75	1,5		Parâmetros da curva de elasticidade
B_i	1,5	2,4	0,6		Parâmetros da curva de elasticidade
Previsão de Demanda (\hat{D}_i)	128.738	142.542	12.474		Função do preço unitário, conforme curva de elasticidade
Coef. de variação da Demanda (σ_i)	10%	9%	11%		Variabilidade natural da demanda em torno do valor previsto da demanda
Valor Ótimo de Produção (\hat{P}_i)	139.436	114.034	12.648		Valor ótimo de produção, definidos via programação matemática
Estimativa de vendas (\hat{V}_i)	127.881	114.034	12.140		Em função da previsão de demanda, coeficiente de variação da demanda e Produção (eq. 4)
Previsão de estoque (\hat{E}_i)	11.555	0	508		Diferença entre Produção e estimativa de vendas
Ocupação da Máquina 1 (horas/mês)	253,5		126,5	380,0	Limite de ocupação de 380 horas/mês
Ocupação da Máquina 2 (horas/mês)		316,8	63,2	380,0	Limite de ocupação de 380 horas/mês
Ocupação da Máquina 3 (horas/mês)		316,8		304,1	Limite de ocupação de 380 horas/mês
Ocupação da Máquina 4 (horas/mês)		316,8		304,1	Limite de ocupação de 380 horas/mês
Custo unitário de fabricação (CUF_i)	R\$ 6,70	R\$ 4,50	R\$ 6,45		Inclui custos de fabricação, sem considerar estocagem
Custo de fabricação (CF_i)	R\$ 934.221	R\$ 513.151	R\$ 81.580	R\$ 1.528.951	Varia linearmente com a Produção
Custo unitário de estocagem (CUE_i)	R\$ 1,85	R\$ 0,55	R\$ 1,70		Custos de deslocamento, armazenagem, eventuais perdas físicas e dinheiro parado
Custo de estocagem (CE_i)	R\$ 21.377	R\$ 0	R\$ 864	R\$ 22.242	Varia linearmente com o estoque
Custo variável total (CV_i)	R\$ 955.598	R\$ 513.151	R\$ 82.444	R\$ 1.551.193	Custos de fabricação e custos estocagem
Custo fixo rateado (CF_i)	R\$ 154.010	R\$ 82.703	R\$ 13.287	R\$ 250.000	Independente da Produção, total (fixo) rateado em função do custo variável
Custos Totais (CT_i)	R\$ 1.109.608	R\$ 595.854	R\$ 95.731	R\$ 1.801.193	Custos fixos + Custos variáveis
Receita total (\hat{R}_i)	R\$ 1.342.622	R\$ 713.578	R\$ 168.092	R\$ 2.224.291	Receita obtida sobre o valor produzido
Lucro Total (\hat{L}_i)	R\$ 213.704	R\$ 117.724	R\$ 69.451	R\$ 400.879	Lucro total obtido
Custo Unitário Total	R\$ 7,96	R\$ 5,23	R\$ 7,57		Custo Total inclui custo variável e custo fixo
Lucro Unitário	R\$ 1,67	R\$ 1,03	R\$ 5,72		
Lucro	21,00%	19,76%	75,59%	24,73%	

Quadro 3: Resumo dos resultados do modelo.

No entanto, ao comparar os valores obtidos nesta simulação com os resultados obtidos quando todos os preços são otimizados, percebe-se que essa estratégia não é interessante, pois acarretaria em um prejuízo de 22,6% em relação ao valor máximo do Lucro, obtido quando todos os preços praticados são ótimos.

O mesmo acontece se a empresa decidir realizar um aumento de aproximadamente 10% no preço do produto 1, em relação ao preço de venda ótimo. A margem de lucro unitária deste item aumenta em aproximadamente 2%, no entanto o Lucro Total do sistema sofre uma queda de 13,5%.

Logo, é possível perceber a importância do uso de métodos matemáticos de otimização, como o que está proposto neste artigo, para apoiar o tomador de decisão, uma vez que esses métodos consideram as situações reais de mercado, através dos parâmetros inseridos nas curvas de elasticidade preço-demanda, e a capacidade fabril. Outra vantagem do algoritmo proposto é que realizada a modelagem, diversas simulações de interesse podem ser executadas com rapidez, logo diversos cenários, envolvendo, por exemplo, alterações em preço ou nas restrições do sistema produtivo, podem ser analisadas com facilidade.

Tabela 1: Simulação 1 utilizando o modelo proposto

P1	Preço Unitário	Volume Produzido	Lucro Percentual Unitário	Venda esperada	Lucro Global	Varição do Lucro
Valor Ótimo	R\$ 9,62	136.628,19	21,2%	128.335,77	R\$ 406.384,66	
Valor Simulado 1	R\$ 9,00	153.564,83	10,8%	146.579,01	R\$ 314.502,27	-22,6%
Valor Simulado 2	R\$ 10,59	82.370,66	23,0%	79.123,31	R\$ 351.666,22	-13,5%

Outro exemplo que fortalece a importância do uso do modelo pode ser estabelecido alterando o preço do produto 2. Quando é feita uma redução no preço de venda deste produto, em aproximadamente 10% em relação ao preço ótimo, fixando-se este valor e permitindo que as demais variáveis sejam ajustadas pelo algoritmo, a fim de estabelecer um valor ótimo com esta nova condição, isso ocasiona um aumento de aproximadamente 3,4 vezes no volume demandado. Porém o volume a ser produzido indicado pelo algoritmo permanece próximo dos valores ótimos, o mesmo acontece com a venda esperada. Isso ocorre porque o modelo percebe que, se fosse produzido

integralmente o valor demandado, isso estaria associado a margens de lucro muito baixas para este item, mobilizando capacidade produtiva que é melhor utilizada nos demais produtos. Os resultados desse estudo podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2: Simulação 2 utilizando o modelo proposto

P2	Preço Unitário	Volume Produzido	Previsão Demanda	Venda esperada	Lucro Percentual Unitário	Lucro Global	Variação do Lucro
Valor Ótimo	R\$ 6,37	113.114,68	114.121,27	110.697,63	21,2%	R\$406.384,66	
Valor Simulado 1	R\$ 5,63	113.700,39	386.398,08	113.700,39	7,7%	R\$329.542,04	-18,9%

Essas análises revelam que mudanças relativamente pequenas nos preços podem ter influência considerável no lucro global do sistema e, portanto, o suporte de modelos matemáticos de otimização deve ser utilizado sempre que possível.

Observa-se que o modelo desenvolvido apresenta diversas vantagens, que serão discutidas a seguir.

Ao estudar o conceito de elasticidade preço-demanda, percebe-se que o mesmo não utiliza variáveis do ambiente externo da organização na sua formulação usual. Mas este modelo, para obter curvas mais próximas da realidade, foram inseridas as variáveis de mercado M_i , tamanho máximo de mercado para cada produto comercializado, e L_i , preço de venda mínimo para absorver todo o mercado do produto em análise, as quais são determinadas por especialistas do segmento de mercado que os produtos são comercializados.

Considera-se como uma vantagem do modelo proposto o tratamento estocástico da demanda, que é modelada em função do preço de venda e sua variabilidade natural, através de uma distribuição de probabilidade construída com base em históricos da quantidade vendida e preços praticados.

Outra vantagem importante deste modelo, pouco explorada na literatura, é a otimização simultânea de preços e volumes de produção associados a cada produto. Além disso, a determinação dos volumes ótimos de produção é feita considerando múltiplos produtos e as capacidades produtivas de múltiplos equipamentos utilizados na fabricação de múltiplos produtos.

A partir das informações de mercado, capacidade fabril e custos, inseridas no algoritmo, como apresentado no método deste artigo, busca-se a otimização do preço de venda e do volume a ser produzido, utilizando o Lucro como função objetivo a ser maximizada. Este objetivo do modelo coincide com o interesse usual das organizações, que visam à maximização do resultado econômico. Logo, o modelo apresenta resultados na linguagem financeira, que oferece maior apoio à gerência empresarial.

Por fim, uma vez estabelecido, o modelo permite realizar o estudo de diversos cenários rapidamente. Esses cenários podem contemplar alterações nos preços dos produtos (ver exemplos nas tabelas 1 e 2) ou alterações: na elasticidade preço-demanda dos produtos, na variabilidade da demanda, na capacidade fabril disponível, nos custos de fabricação, nos custos de estocagem e nos custos fixos.

5 CONCLUSÃO

Para que as empresas se mantenham competitivas em seus mercados, as mesmas devem estar constantemente revisando seus planos de produção, apoiadas em estratégias de maximização do resultado econômico. Logo o planejamento de produção deve estar fortemente ligado a área comercial, para realizar o atendimento da demanda considerando as preocupações da gerência empresarial, estabelecendo planos que viabilizem maior lucro para a organização.

Neste estudo, a maximização do resultado foi explorada através de um novo método de planejamento de produção. Esse método envolve a coleta de dados históricos referentes a preços e vendas, a obtenção das curvas de elasticidade preço-demanda, a definição da demanda esperada, da capacidade fabril e dos custos totais de produção. Ele tem como objetivos principais a definição dos preços ótimos de venda e dos volumes ótimos de produção, visando à maximização do Lucro no período. O modelo proposto viabiliza a tomada de decisão baseada em distribuições de probabilidades, aliado a opiniões de especialistas, o que promove maior segurança.

A aplicação do modelo proposto limita-se a indústria de bens manufaturados. Sua principal aplicação está voltada para plantas com múltiplos produtos, múltiplas máquinas e restrições na capacidade fabril, onde a demanda é variável e depende dos preços estabelecidos.

Sugere-se para trabalhos futuros estender o modelo para a cadeia de suprimentos, envolvendo fornecedores de diferentes níveis. O envolvimento de custos e restrições produtivas dos fornecedores propiciará um maior número de variáveis apontadas, maiores possibilidades de ajuste e, conseqüentemente, maior lucro para o conjunto de empresas envolvidas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. N.; SILVA, J. C. G. L.; ÂNGELO, H.; NUÑEZ, B. E. C. **Analysis of factors that influence the log price for mechanical process in the state of Paraná.** *Cerne, Lavras* v.16 (2), p. 243-250, 2010.

BILLER, S.; MURIEL, A.; ZHANG, Y. Impact of price postponement on capacity and flexibility investment decisions. **Production and Operations Management**, v. 15 (2), p. 198-214, 2006.

BOSE, S.; PEKNEY, J. F. A. Model predictive framework for planning and scheduling problems: a case study of consumer goods supply chain. **Computers and Chemical Engineering**, v. 24, p. 329-335, 2000.

BOTELHO, D. Decomposição da elasticidade-preço no varejo com uso de dados escaneados. **Pesquisa Operacional**, v. 25 (2), p. 201-217, 2005.

CHOD, J.; RUDI, N. Strategic investments, trading, and pricing under forecast updating. **Management Science**, v. 52 (12), p. 1913-1929, 2006.

ERDIRIK-DOGAN, M.; GROSSMANN, I. E. Simultaneous planning and scheduling of single-stage multi-product continuous plants with parallel lines. **Computers and Chemical Engineering**, v. 32, p. 2664-2683, 2008.

HSIEH, C.; LIU, Y.; WANG, W. Coordinating ordering and pricing decisions in a two-stage distribution system with price-sensitive demand through short-term discounting. **European Journal of Operational Research**, v. 207, p. 142-151, 2010.

JANS, R.; DEGRAEVE, Z.; SCHEPENS, L. Analysis of an industrial component commonality problem. **European Journal of Operational Research**, v. 186, p. 801-811, 2008.

KANNEGIESSER, M.; GÜNTHER, H. O.; BEEK, P. V.; GRUNOW, M.; HABLA, C. Value chain management for commodities : a case study from the chemical industry. **OR Spectrum**, v. 31, p. 63-93, 2009.

KAPLAN, U.; TURKAY, M.; KARASOZEN, B.; BIEGLER, L. T. Optimization of supply chain systems with price elasticity of demand. **INFORMS Journal on Computing**, p. 1-12, 2010.

- KIM, D.; LEE, W. J. Optimal joint pricing and lot sizing with fixed and variable capacity. **European Journal of Operational Research**, v. 109, p. 212-227, 1998.
- LANNING, S.; MITRA, D.; WANG, Q.; WRIGHT, M. Optimal planning for optical transport networks. **Philos Trans Roy Soc Lond Ser A–Math Phys and Eng Sci**, v. 358, p. 2183-2196, 2000.
- LEUNG, K. F. A generalized geometric-programming solution to “An economic production quantity model with flexibility and reliability considerations”. **European Journal of Operational Research**, v. 176, p. 240-251, 2007.
- LEVIS, A. A.; PAPAGEORGIOU, L. G. Active demand management for substitute products through price optimization. **OR Spectrum**, v. 29, p. 551-577, 2007.
- LIU, S.; SHAH, N.; PAPAGEORGIOU, L. G. Multiechelon Supply Chain Planning with Sequence-Dependent Changeovers and Price Elasticity of Demand under Uncertainty. **Wiley Online Library**, v. 58 (11), p. 3390-3403, 2012.
- PAPAGEORGIOU, L. G. Supply chain optimization for the process industries: Advances and opportunities. **Computers and Chemical Engineering**, v. 33, p. 1931-1938, 2009.
- PEREA-LO, E.; YDSTIE, B. E.; GROSSMANN, I. E. A model predictive control strategy for supply chain optimization. **Computers and Chemical Engineering**, v. 27, p. 1201-1218, 2003.
- SADJADI, S. J.; YAZDIAN, S. A.; SHAHANAGHI, K. Optimal pricing , lot-sizing and marketing planning in a capacitated and imperfect production system. **Computers and Industrial Engineering**, v. 62, p. 349-358, 2012.
- SEN, W.; POKHAREL, S.; YULEI, W. Supply chain positioning strategy integration, evaluation, simulation, and optimization. **Computers and Industrial Engineering**, v. 46, p. 781-792, 2004.
- SHAPIRO, J. F.; Challenges of strategic supply chain planning and modeling. **Computers and Chemical Engineering**, v. 28, p. 855-861, 2004.
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFRGS, 3ed. 2001.
- SUBRAMANIAN, K.; RAWLINGS, J. B.; MARAVELIAS, C. T.; FLORES-CERRILLO, J.; MEGAN, L. Integration of control theory and scheduling methods for supply chain Management. **Computers and Chemical Engineering**, v. 51, p. 4-20, 2013.
- TELLIS, G. J. The price elasticity of selective demand: A meta-analysis of econometric models of sales. **Journal of Marketing Research**. v. 25, p. 331-341, 1988.
- VISWANATHAN, S.; WANG Q. Discount pricing decisions in distribution channels with price-sensitive demand. **European Journal of Operational Research**. v. 149, p. 571-587, 2003.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

O tema desta dissertação, o planejamento de produção integrado à maximização do resultado econômico, é importante para manter as empresas competitivas nos mercados que atuam. O trabalho teve como principal objetivo desenvolver modelos que viabilizem a proposta deste estudo e aplicar os mesmos em cenários reais. A dissertação foi estruturada em três artigos, sendo que o conhecimento adquirido em cada artigo foi utilizado nos desenvolvimentos subsequentes.

No primeiro artigo, foi realizada uma revisão da literatura para identificar os assuntos em discussão e, na sequência, foram desenvolvidos dois algoritmos, um voltado ao cálculo de previsão de demanda e volume programado de produção e outro integrando as informações de capacidade produtiva e margem de lucro dos produtos abordados. O estudo teve como objetivo indicar os itens que propiciam maior retorno econômico para a organização, de forma que os mesmos possam ser priorizados nos planos de produção, enquanto se reduz ou se extingue os volumes dos produtos que apresentam margem negativa. Este estudo apresenta um resultado de aproximadamente R\$ 170.000,00 por mês ao se aplicar o método proposto, comparado com a forma empírica de planejamento utilizada pela empresa em análise.

No segundo artigo foi desenvolvido um modelo para a otimização das variáveis de preço de venda, visando à maximização do lucro. Este estudo integra um novo conceito às variáveis usualmente consideradas no planejamento de produção: as curvas de elasticidade preço-demanda. Estas possibilitam equacionar a demanda de forma coerente ao mercado em análise. O modelo deste estudo proporciona o entendimento do mercado, no qual a empresa está inserida, através da identificação das variáveis e o respectivo tratamento das mesmas. Ao aplicar o método, a empresa em estudo tem a possibilidade de praticar no mercado preço que melhor respondem ao resultado econômico da empresa.

O terceiro artigo apresenta um modelo que foi criado a partir das considerações feitas nos artigos anteriores. O referencial teórico deste artigo apresenta um estudo dos temas discutidos, incluindo a elasticidade preço-demanda aplicada ao planejamento de produção e o planejamento de produção voltado à maximização do resultado econômico. O algoritmo desenvolvido neste artigo caracteriza-se como inovador, pois otimiza

simultaneamente o preço de venda e os volumes ótimos de produção, a fim de maximizar o lucro do sistema. Além disso, o algoritmo contempla a venda esperada para o período que considera a capacidade finita da planta em análise e os volumes ideais de produção. Ao aplicar o modelo proposto diversas simulações puderam ser realizadas, a partir do resultado ótimo obtido. As análises destas simulações revelam que mudanças relativamente pequenas nos preços de venda resultam em influências consideráveis no lucro global do sistema e, portanto, o suporte de modelos matemáticos de otimização deve ser utilizado sempre que possível pelos tomadores de decisão.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

A aplicação dos modelos propostos neste trabalho esteve voltada à indústria de bens manufaturados. Sugere-se para trabalhos futuros desenvolver um modelo capaz de atender a cadeia de suprimentos, abordando os demais níveis. O envolvimento de custos e restrições produtivas dos fornecedores irá permitir equacionar um maior número de variáveis apontadas. A consideração de informações referentes aos fornecedores, tais como estoque, capacidade produtiva e custos de fabricação certamente irá propiciar maiores possibilidades de ajuste e, conseqüentemente, maior lucro para o conjunto de empresas envolvidas.