

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E GEOTECNIA**  
**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM LOGÍSTICA ESTRATÉGICA E**  
**SISTEMAS DE TRANSPORTE**

**PLANEJAMENTO AGREGADO DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE**  
**MANUFATURA DE EQUIPAMENTOS: *Produção Versus Demanda***

**Monografia**

**Marcelo Leocádio de Jesus**

**Belo Horizonte, 2014**

**Marcelo Leocádio de Jesus**

**DESENVOLVENDO UM PLANEJAMENTO AGREGADO DE PRODUÇÃO EM UMA  
INDÚSTRIA DE MANUFATURA DE EQUIPAMENTOS: Produção *versus*  
Demanda**

**Trabalho apresentado ao Curso de  
Especialização em Logística Estratégica  
e Sistemas de Transporte, da Escola de  
Engenharia da Universidade Federal de  
Minas Gerais, como requisito parcial à  
obtenção do Título de Especialista em  
Logística Estratégica e Sistemas de  
Transporte.**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Leise Kelli de Oliveira**

**Belo Horizonte, 2014.**

J58d

Jesus, Marcelo Leocádio de.

Desenvolvendo um planejamento agregado de produção em uma indústria de manufatura de equipamentos [manuscrito]: produção *versus* demanda / Marcelo Leocádio de Jesus. – 2014.

43 f., enc.: il.

Orientadora: Leise Kelli de Oliveira.

Trabalho apresentado ao Curso de Especialização Logística Estratégica e Sistema de Transporte, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Logística Estratégica e Sistemas de Transporte.

Inclui apêndice.

Inclui bibliografia.

1. Logística empresarial. 2. Pesquisa operacional. 3. Controle de produção. 4. Programação linear. 5. Tecnologia da informação. I. Oliveira, Leise Kelli de. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 658.7

---

**PLANEJAMENTO AGREGADO DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE  
MANUFATURA DE EQUIPAMENTOS: Produção *versus* Demanda**

**Marcelo Leocádio de Jesus**

**Este trabalho foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Especialista em Logística Estratégica e Sistemas de Transporte e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora.**

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Dr(a). Leise Kelly de Oliveira**

**Orientador**

**Prof. Dr. Leandro Cardoso**

**Avaliador**

---

## Sumário

LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	ii
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	iv
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Objetivo do trabalho .....	2
1.2 Estrutura de desenvolvimento da monografia .....	2
2 PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO .....	4
3 PESQUISA OPERACIONAL (PO) .....	8
3.1 Origem da PO .....	8
3.2 Técnicas de pesquisa operacional .....	9
3.3 Programação Linear .....	9
4 METODOLOGIA DO ESTUDO .....	11
4.1 Definição do Problema e Coleta de Dados.....	11
4.2 O modelo matemático .....	13
4.3 Derivando soluções a partir do modelo .....	14
4.4 Testando o Modelo .....	16
4.5 Preparando a aplicação do modelo .....	17
4.6 Implantar um modelo .....	18
4.7 Análise dos resultados.....	18
5 MINELAB S/A .....	19
5.1 O cenário de atuação da empresa .....	19
5.2 Apresentando o problema .....	20
5.3 Formulando o modelo matemático .....	23
5.4 Formulando o modelo matemático para maximizar o lucro .....	24
5.5 Formulando o modelo matemático para minimizar custos .....	25
5.6 Testando o modelo na linguagem de algoritmos.....	26
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	28
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
REFERÊNCIAS.....	33
APÊNDICE A – Modelagem da minimização do custo .....	34
APÊNDICE B – Modelagem da maximização do lucro .....	35

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Demanda departamento comercial.....	24
Tabela 2 - Resultado apresentado pelo GAMS .....	28

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Etapas fundamentais de um planejamento .....	5
Figura 2 - Etapas de um estudo de PO .....	11
Figura 3 - Procedimento para aplicação do modelo .....	17
Figura 4 - Fluxo do processo operacional .....	21

## RESUMO

Desde a revolução industrial, no século XVIII, o mundo passa por um crescimento exacerbado em toda complexidade organizacional. Para que as empresas se tornem mais competitivas é necessário que sejam estabelecidas metas que utilizem técnicas de estudo de previsões de demanda, desenvolver estratégias de gestão e planejamento integrado entre as áreas ligadas à produção da empresa. O objetivo proposto no desenvolvimento desta monografia é composto de três objetivos menores, mas, igualmente importantes: estudar um modelo matemático que possa representar um sistema de produção de uma empresa que fabrica equipamentos para análise de minerais, analisar os resultados e posteriormente verificar como o planejamento agregado de produção pode contribuir para o exercício da atividade empresarial de forma eficiente. A metodologia e as técnicas aplicadas neste trabalho estão fundadas em estudos realizados dos trabalhos referenciados e foram empregadas com o auxílio de um software computacional. A escolha da aplicação da técnica de programação linear, que figura dentre as ferramentas mais utilizadas pela pesquisa operacional, se deu através de uma análise relacionada ao problema da empresa estudada e à metodologia representada na literatura. O desenvolvimento de um planejamento agregado de produção tem sido essencial para resolução de problemas, dos mais simples aos mais complexos. Espera-se que através da realização de um planejamento agregado de produção seja possível fazer uma análise sobre a posição da empresa no mercado, definir as estratégias de gestão entre as áreas da organização, a fim de se estabelecer o objetivo a ser alcançado e definir os parâmetros de utilização dos recursos disponíveis para realização plena da atividade fim da organização.

Palavras-chave: Planejamento agregado de produção (PAP); Pesquisa operacional (PO); Planejamento e controle da produção (PCP); Programação Linear (PL); Tecnologia da Informação (TI).

## **ABSTRACT**

There has been an overgrowth across organizational complexity around the world since the Industrial Revolution, back in the 18<sup>th</sup> Century. In order to make companies more competitive it is necessary: to set up goals using demand forecasts study techniques, to put in place management strategies and integrated planning across the areas involved in the production process. The objective in developing this paper is made up of three equally important goals. First, to study a mathematical model that is able to represent a production system of business which manufactures equipment for mineral analysis. Second, to analyze the results, and, the last one is to check how the aggregate production planning can help the business to run smoothly. The methodology and techniques used in this study are based on studies covering referenced works, and techniques were employed using a specialized computer application. The choice of the use of Linear Programming technique, which is one of the most used tools for Operational Research, was made after analyzing the problems identified in the Study Business, and the methodology represented in the literature. Developing an Aggregate Production Planning has been an important step to troubleshooting businesses' problems, from simplest to the most complex ones. The intention with this study is that, by performing an Aggregate Production Planning, it is made possible to analyze the company's position in the market, to define management strategies for each area in the organization in order to establish an objective to be achieved and to define parameters of use for the resources available for the full performance of the core business of that organization.

**Keywords:** Aggregated Production Planning; Operational Research; Production Planning and Control; Linear Optimization; Information Technology.



## 1 INTRODUÇÃO

As dificuldades na gestão de qualquer negócio, seja no setor de comércio, indústria ou serviços, podem ser limitadas pela falta de conhecimento técnico e prático nas diversas áreas envolvidas. Para que a gestão seja eficiente é necessário estar atento às adversidades e/ou às exigências impostas pelo mercado.

Uma pesquisa divulgada pelo Ibram (Instituto Brasileiro da Mineração, 2012) apresenta resultado satisfatório no crescimento do setor de mineração nos últimos dez anos, que representa US\$ 55 bilhões em 2012 contra US\$ 5,5 bilhões em 2002. Essas oscilações de mercado que evidenciam o comportamento da oferta em relação à demanda exigem muita habilidade e conhecimento dos executivos e gestores de negócios.

O Ibram (2012) faz um alerta em relação à retração que o setor vem sofrendo em decorrência da crise mundial. O setor registrou uma queda expressiva de 15,5% nas exportações no primeiro semestre de 2012. Especialistas afirmam que a China é a principal responsável pelas exportações de toda a produção brasileira e o declínio gradual do consumo chinês de minério de ferro vem sendo evidenciado nos resultados.

Ainda assim, a previsão de investimentos no setor de mineração no Brasil chega a US\$ 75 bilhões entre 2012 e 2016. Essa importância representa 20% dos investimentos globais no setor.

Os estados brasileiros que mais se destacam no setor de mineração são: Minas Gerais e Pará, que respectivamente representam, 48% e 28% de toda a produção nacional.

Stilian (1964) faz uma breve exortação a respeito da responsabilidade de um planejamento ao destacar o trabalho coletivo. A integração das diversas áreas da organização contribui de forma efetiva para o sucesso do planejamento, ou seja, sem a realização de um planejamento contínuo, o gestor produzirá resultados inferiores ao ótimo, mesmo quando tal resultado é possível.

Em um cenário onde o mercado apresenta crescimento robusto e ao mesmo tempo sofre rupturas em índices elevados, projetar os investimentos de longo prazo e reavaliar os fatores internos e externos torna-se imprescindível para tornar um negócio mais competitivo.

Para Slack *et al.* (2008) planejar é formalizar um projeto com concretização esperada em determinado momento no futuro. Para a concretização deste plano é necessário estabelecer um plano de ações para o desenvolvimento da atividade fim. É nessa etapa que se faz um levantamento minucioso de

recursos, são avaliadas as ações e impactos que o projeto pode trazer antes, durante e até mesmo após sua execução.

Devido às dificuldades de uma empresa do setor industrial em decorrência do crescimento constante e acentuado no segmento de mineração e devido às exigências do mercado, é proposto um estudo sobre modelos de planejamento agregado da produção na fabricação de equipamentos de linha para um laboratório de análise mineral. A metodologia utilizada será o modelo de pesquisa operacional (PO) como uma ferramenta para o planejamento agregado da produção, com o objetivo de propor melhorias nos processos de produção dos equipamentos de sua linha industrial.

Neste trabalho será desenvolvido um modelo de planejamento agregado de produção utilizando o conceito de PO com foco tão somente sobre a fabricação de equipamentos de uma linha industrial de uma empresa que atua no segmento de mineração como principal fornecedora de equipamentos de laboratório em análises minerais.

### **1.1 Objetivo do trabalho**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar como o planejamento agregado de produção contribui para uma gestão mais eficaz e melhoria no processo produtivo de uma indústria.

São objetivos específicos deste trabalho:

- Desenvolver um modelo matemático, utilizando programação linear, para o planejamento agregado da produção;
- Executar o modelo de programação linear com a utilização de um software de linguagem computacional e analisar os resultados.

### **1.2 Estrutura de desenvolvimento da monografia**

Os capítulos propostos neste trabalho têm como objetivo auxiliar na compreensão da abordagem do tema proposto sob o ponto de vista referenciado na literatura pesquisada e a tratativa da PO para o desenvolvimento de um planejamento agregado, bem como a relação direta das técnicas utilizadas na busca de soluções de conflitos e no aperfeiçoamento de processos operacionais das organizações.

No capítulo 2 é abordado o conceito de planejamento agregado sob a ótica da gestão estratégica dentro das organizações. No capítulo 3 é apresentado o surgimento da PO como disciplina do campo das ciências exatas que estuda processos e operações internas e externas difundidas nos mais diversos setores da economia.

No capítulo 4 disserta sobre a metodologia de PO que norteou o desenvolvimento desta monografia. No capítulo 5 é apresentado o cenário da empresa estudada e onde é desenvolvido o planejamento agregado de produção dentro da metodologia proposta pela pesquisa operacional.

No capítulo 6 discorre uma análise sobre os resultados apresentados no relatório emitido pelo software “GAMS” utilizado na execução do modelo matemático para o desenvolvimento do planejamento agregado de produção.

Finalizando o trabalho sobre o tema proposto, no capítulo 7 estão apresentadas as considerações finais, que poderão ser ponderadas as circunstâncias favoráveis e desfavoráveis sobre a utilização da técnica de pesquisa operacional, tendo como objetivo o pleno conhecimento e melhor utilização de recursos na abrangência de toda a complexidade da cadeia produtiva da organização de forma a integralizar as atividades de todas as áreas da empresa com o objetivo de desenvolver estratégias de competitividade.

## 2 PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO

Para Stilian (1964), o planejamento e o controle da produção são funções de extrema importância em uma organização e, em grande parte, estabelecem o ritmo das atividades produtivas durante todo o ciclo de produção, para que a empresa funcione eficientemente.

Vollmann *et al.* (2006) *apud* Moreira Junior (2009) conceituam em um âmbito ainda mais abrangente, que o planejamento agregado da produção (PAP) é utilizado pelas empresas para gerenciar os recursos humanos, equipamentos e processos, visando ao atendimento da demanda de mercado, estabelecendo simultaneamente os volumes de produção, o estoque e a força de trabalho num horizonte finito de tempo.

Moreira Junior (2009) afirma que à medida que as empresas implantam sistemas de Planejamento e Controle da Produção (PCP), há uma evolução natural em direção às questões do planejamento global da produção convergente a outros módulos de sistema PCP, quanto mais intensas e diversificadas são as atividades empresariais, mais complexos são os processos e difícil à alocação de recursos para o bom desempenho da organização. Assim sendo, Vollmann *et al.* [35] (2006) *apud* Moreira Junior (2009), ressaltam a necessidade de integrar a área comercial e a área de produção através do planejamento agregado da produção. Os autores destacam que “o plano de vendas e operações relaciona objetivos estratégicos à produção e coordena os vários esforços de planejamento em um negócio, incluindo planejamento de marketing, planejamento financeiro, planejamento operacional, planejamento de recursos humanos, etc.” Por fim, concluem afirmando que: “se o plano de vendas e operações não representa um plano integrado interfuncional, o negócio pode não conseguir obter sucesso em seus mercados”, Vollmann *et al.* (2006, pg. 35) *apud* Moreira Junior (2009).

Moreira Junior (2009), em sua dissertação de mestrado, desenvolveu um modelo matemático para elaboração de planejamento agregado de produção e vendas em uma empresa siderúrgica produtora de aços especiais. A técnica utilizada na defesa de sua dissertação tem como função objetivo maximizar a margem de contribuição, apresentada na literatura como metodologia de programação linear, como técnicas que buscam solução ótima.

A dissertação foi fundamentada nos pilares do modelo da pirâmide, como apresentado na Figura 1, considerando-se que o planejamento agregado é responsável pela integração do nível estratégico com o nível operacional e ocorre dentro do nível tático. É importante observar que a integração do planejamento agregado ocorre na posição vertical, quanto ao alinhamento da gestão em nível estratégico, tático e operacional. Na posição horizontal, onde deverá ser garantido o alinhamento das decisões no mesmo nível, ou seja, no

nível operacional de acordo com as diretrizes específicas de cada área de conhecimento, como pré-definido nas áreas comercial, de produção e financeira, entre outras.



Figura 1 - Etapas fundamentais de um planejamento

Segue abaixo a relação entre os níveis representados na pirâmide acima.

Para que fique fácil o entendimento, é importante saber o que cada área de conhecimento irá fazer e posteriormente saber quem, ou seja, a pessoa que especificamente determina o que será realizado dentro de cada nível de planejamento.

No plano estratégico, as pessoas ligadas diretamente à alta gestão da organização determinam o que deverá ser realizado. Por exemplo, presidente, sócios e diretores, enfim, o corpo executivo da organização é que definirá quais as ações mais adequadas ao tipo de negócio ou atividade desenvolvida no mercado. Essa definição é baseada nas seguintes perguntas: (i) “Por que fazer?” e (ii) “Quando fazer?”

O próximo passo é integrar a decisão do nível estratégico ao nível tático com o objetivo de definir onde e como realizar as atividades definidas no processo anterior. A compreensão fica mais simples se respondidas às perguntas da seguinte maneira: (i) “Onde deverão ser empenhados os esforços e os recursos captados?” e (ii) “Como investir melhor os recursos e esforços captados?”

Deste modo os administradores, ou seja, os gerentes e ou coordenadores de área poderão fundamentar suas decisões na busca de uma solução melhor para os processos.

No nível operacional, a preocupação está voltada à execução das ações. O técnico de área deverá ser orientado pela gerência sobre as decisões tomadas no nível tático e então deverá colocar em prática o que lhe foi designado para que os resultados sejam apurados e acompanhados. Caso seja necessário, o próprio técnico deve fazer o controle para que ações corretivas sejam realizadas em tempo oportuno.

A pergunta a ser respondida neste caso é: O que fazer?

Nos primórdios da Segunda Guerra Mundial, empreenderam-se os estudos científicos de PO de forma intensificada, devido à necessidade de se proverem recursos necessários ao deslocamento e manutenção da tropa. O avanço da ciência na PO contribuiu de forma significativa para os diversos setores da economia, os comandos militar britânico e norte-americano solicitaram a incursão de cientistas com o objetivo de abordar os aspectos táticos e estratégicos sob a ótica de um planejamento de guerra. A partir desse período, a metodologia passaria a ser empregada em todos os segmentos, Hillier e Lieberman (2010). Segundo o autor, o sucesso obtido no avanço da PO foi decorrente de dois fatores.

O primeiro fator trata da criação e aprimoramento das técnicas de PO em que os autores Stilian (1964); Maynard (1970); Moreira (1990); Hillier e Lieberman (2010) apresentam em suas obras sob a ótica da abordagem científica e afirmam que as principais técnicas tiveram sua origem e evolução ocorridas entre os anos 1940 e 1950, e tiveram seus resultados avaliados como estado-da-arte por atingirem um elevado grau de satisfação no meio científico. Esse aspecto é muito amplo levando-se em consideração as variadas técnicas de PO encontradas na literatura, como está disposto no tópico 3.2 do próximo capítulo. Para que o leitor interessado tenha exímio conhecimento sobre o assunto, é necessário dispor de recursos técnicos, literários e científicos para o domínio acadêmico e prático do tema de PO.

O segundo fator, que é comumente denominado de revolução computacional, é referenciado por estudiosos da PO Stilian (1964); Maynard (1970); Moreira (1993); Contador (1998); Hillier e Lieberman (2010) como uma das principais ferramentas indispensável no desenvolvimento de um planejamento agregado envolvendo a metodologia de PO. Os autores mencionam em suas respectivas obras que o recurso da utilização de computadores e softwares sempre esteve presente na PO durante todo o processo de abordagem científica.

Hillier e Lieberman (2010) e Silva (2013), afirmam que este avanço se deu pela necessidade de processar uma grande quantidade de algoritmos, o que torna a PO cada vez mais complexa do ponto de vista de suas operações

### **3 PESQUISA OPERACIONAL (PO)**

Neste capítulo, será possível compreender como surgiu a PO, que muito contribuiu, contribui e pode contribuir ainda mais, para o desenvolvimento de planejamento agregado de produção nos processos operacionais dentro das organizações nas suas diversas áreas de atuação. Tanto na área externa como na área interna, no campo ou na cidade, na indústria, no comércio e nos serviços, no setor público ou setor privado, há muito a ser explorado pelas mais distintas áreas de conhecimento, de forma que possam obter resultados efetivos através de estudos realizados da PO (Hillier e Lieberman, 2010).

#### **3.1 Origem da PO**

A origem da PO se deu há muitas décadas, após várias tentativas de se iniciar o emprego na abordagem científica da gestão das organizações. Para Hillier e Lieberman (2010), a PO é uma vertente linha de estudo voltada a processos operacionais, resultante de um crescimento extraordinário das organizações favorecido pelo advento da Revolução Industrial. Os principais fatores que contribuíram diretamente para o desenvolvimento da PO foram os processos de divisão do trabalho e a segmentação de responsabilidades gerenciais. Os autores afirmam que os resultados foram surpreendentes e, juntamente com os pontos positivos, essa especialização trouxe novos problemas, estes, que ainda hoje ocorrem no cotidiano das organizações, com ocorrências de conflitos de múltiplos interesse.

Após o período da revolução industrial, esses procedimentos estenderam-se para o complexo ambiente da Segunda Guerra Mundial. Segundo Hillier e Lieberman (2010) o sucesso nos empreendimentos de armamento bélico ao término da Segunda Guerra através da PO, despertou interesse fora do ambiente militar. A integração de cientistas em um trabalho conjunto em uma operação de guerra teve como objetivo aplicar a abordagem científica com o intuito de lidar com problemas de aspectos operacionais e estratégicos, onde consultores de negócios trabalham em conjunto com as equipes científicas envolvidas no processo de PO. Essas equipes multidisciplinares introduziram o emprego da PO dentro das organizações nos diversos setores econômicos como indústria, comércio e governamentais.

O maior desafio empreendido na área militar durante a Segunda Guerra Mundial era gerir de forma eficiente os poucos recursos disponíveis para suprir as operações planejadas Hillier e Lieberman (2010). O autor afirma que um problema relativo a essas características é que na medida em que aumenta a complexidade e a especialização em uma organização, torna-se mais difícil alocar recursos para as diversas atividades da maneira mais eficiente para a organização como um todo. Problemas como estes e a necessidade de se



encontrar o melhor caminho para solucioná-los criaram condições propícias para o surgimento da PO.

### **3.2 Técnicas de pesquisa operacional**

Os autores Stilian (1964); Maynard (1970); Moreira (1993); Contador (1998) Hillier e Lieberman (2010) apresentam as técnicas de PO que podem ser utilizadas para desenvolver um planejamento agregado de produção em estudos de PO.

- Programação Linear
- Programação não Linear
- Teoria de filas
- Teoria de jogos
- Programação dinâmica
- Programação multiobjetivo
- Teoria das probabilidades
- Programação mista
- Problemas de transportes
- Programação quadrática
- Lógica simbólica
- Meta heurística
- Problema de estoque

Para realizar o estudo de PO é necessário realizar uma análise das operações considerando a atividade produtiva da organização e sua relação com o problema a ser estudado, para que seja definida a técnica adequada para desenvolver o planejamento agregado de produção (PAP). A justificativa pela escolha da técnica de programação linear poderá ser compreendida ao estudar sobre a técnica no tópico 3.3 e o problema da empresa estudada apresentada no tópico 5.3, no capítulo 5.

### **3.3 Programação Linear**

Desde 1950, a programação linear tem sido uma ferramenta bastante utilizada por empresas para resolução de problemas de PO. Stilian *et al.* (1964), define o modelo de programação linear como uma ferramenta ideal para resolução de problemas complexos de múltiplas equações algébricas.

Hillier e Lieberman (2010) definem que a programação linear pode ser representada por um modelo matemático cujas funções do problema apresentado sejam necessariamente lineares.

Para Hillier e Lieberman (2010), o papel principal da programação linear é a resolução de problemas de múltiplas variáveis de decisão que podem ser

linearmente integradas à função objetivo na qual se deseja a busca de uma solução ótima, seja com a maximização de lucros ou com a redução de custos na produção.

Durante os anos que se passaram desde a década de 1950 até os dias atuais, percebe-se que a maior evolução se deu no campo das ferramentas utilizadas para resolução de problemas de PO. As técnicas e as metodologias pouco sofreram alterações, mas, o desenvolvimento de tecnologias cresceu de modo surpreendente. A evolução computacional esteve, e está, presente em todos os setores da economia mundial.

- Hillier e Lieberman (2010) apresentam uma ordem de informações abordadas para planejar um modelo de programação linear. O usuário ou a equipe empenhada no projeto deve observar as seguintes informações:
  - Variáveis de decisão: As variáveis de decisão deverão ser quantificadas para servirem como parâmetro na formulação do modelo matemático, ou seja, são tudo aquilo que o gestor precisa responder para que seja feito um planejamento de quanto, quando e como produzir o efeito ou o resultado desejado.
  - Restrições: As restrições são tudo aquilo que limita a capacidade produtiva de maximizar ou reduzir os resultados operacionais. A restrição deve ser conhecida e também quantificada para que o modelo desenvolvido seja executado de forma eficiente.
  - Função objetivo: A função objetivo é a definição do modelo matemático desenvolvido no planejamento. O objetivo principal é alcançar os resultados esperados com a maximização de lucros ou a minimização dos custos.
  - Parâmetros do modelo: Os parâmetros são o conjunto de dados conhecidos e processados para que a equipe de PO tenha as informações necessárias disponíveis e em tempo hábil para a análise e tomada de decisões.

Em geral, a programação linear pode ser uma ferramenta utilizada para estreitar uma relação aparentemente distante entre a teoria e a prática. Ao permitir que o usuário desenvolva a habilidade de resolver problemas de maximização de lucros e a minimização de custos na PO, tornando possível analisar os relatórios obtidos, mesmo que eles não apresentem um resultado satisfatoriamente exato.

## 4 METODOLOGIA DO ESTUDO

Neste trabalho, utilizar-se a metodologia de pesquisa operacional para o desenvolvimento do trabalho. Hillier e Lieberman (2010) apresentam detalhadamente em sua obra as etapas desenvolvidas em um estudo de PO. A metodologia representada sinteticamente na Figura 2, descreve os procedimentos definido sobre o ponto de vista da abordagem científica conforme referenciado na literatura.

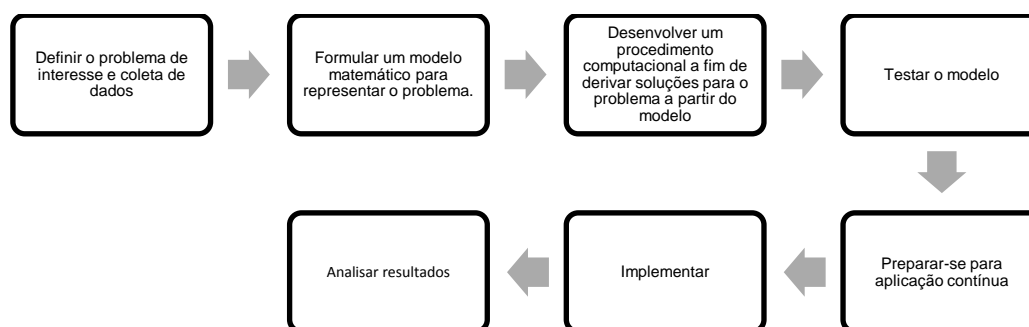


Figura 2 - Etapas de um estudo de PO

Seguindo as orientações indicadas por Hillier e Lieberman (2010) sobre a metodologia de estudo de PO, além de uma busca exaustiva em pesquisa sobre o tema encontrado na literatura, faz-se necessária a utilização de um software ou uma ferramenta de tecnologia em informática para execução e resolução do problema de PO a que se propõe neste trabalho. Toda a contextualização contida neste capítulo é baseada na literatura disponível dos autores Hillier e Lieberman (2010) e se refere às etapas apresentadas na Figura 2 e poderá ser aplicada integralmente no desenvolvimento deste trabalho.

### 4.1 Definição do Problema e Coleta de Dados

Os autores fazem uma comparação entre os exemplos estudados na literatura com os problemas práticos enfrentados pelas equipes de PO. Desse modo, fazem um alerta sobre as dificuldades que a equipe de PO encontra ao tentar definir o problema a ser estudado. Isto ocorre porque, na maioria dos casos, os problemas são descritos de modo vago e impreciso. A primeira coisa a ser feita é estudar o sistema relevante e desenvolver o enunciado bem definido do problema a ser estudado. Isso implica em determinar os objetivos a serem atendidos pelas operações da produção e também as restrições que deverão ser consideradas para o fim que se propõe o estudo de PO. É importante ressaltar que as decisões que determinam os objetivos, geralmente estão relacionadas à área de produção e outras áreas da organização que estejam diretamente ligadas a produção. Este processo de definição é determinante no resultado da pesquisa. É difícil obter uma resposta correta a partir de um problema incorreto.

Uma consideração importante a ser feita é que os membros da equipe de PO devem ser cuidadosos na forma de executar suas tarefas, pois, não é exclusiva da equipe a responsabilidade na definição do problema, bem como apresentar uma solução a tempo. Prima-se que a equipe da PO tenha o auxílio da gerência ou os tomadores de decisões com a apresentação de uma análise técnica do problema, acompanhada das possíveis recomendações. O fato é que através desses relatórios a gerência pode perceber uma série de alternativas atraentes e, ao mesmo tempo, contemplar valores que divergem de parâmetros adotados pela organização. Esses estudos só podem ser avaliados pela gerência devido à possibilidade do surgimento de conflitos entre (custo e benefícios), afirmam Hillier e Lieberman (2010). Por fim, a gerência avalia o estudo e suas recomendações levando em conta uma série de fatores intangíveis com base em seu melhor julgamento, o que torna determinante a definição dos objetivos apropriados ao identificar o problema, desenvolvendo uma sintonia perfeita entre a equipe de PO e a gerência, a fim de obter o apoio necessário para a continuidade do projeto.

Para Hillier e Lieberman (2010), a PO deve, por conceito, se preocupar com o bom andamento de toda organização e não somente com uma ou outra área de interesse dentro da empresa. Razão pela qual os objetivos formulados devem ser aqueles que abranjam do modo ideal toda a organização. O estudo de PO busca soluções ótimas para a empresa como um todo, o que nem sempre é conveniente quando se trata de um problema primário em uma determinada área da organização, esse processo é caracterizado como Subotimização. Em casos como este, é necessário tomar algumas precauções concernente aos objetivos específicos de cada área, caso haja conflitos desta natureza, deverá feita uma avaliação consistente e integrar todas as ações ao objetivo macro da empresa para análise e tomada de decisões. Segundo Hillier e Lieberman (2010), é possível constatar através de uma série de estudos realizados em corporações norte-americanas que a gerência tende a adotar o objetivo de lucros satisfatórios, combinados a outros objetivos em vez de focar na maximização do lucro no longo prazo. Alguns desses outros objetivos são o de manter lucros estáveis, significa aumentar ou manter a fatia de mercado, propiciar diversificação de produtos, a manutenção de preços estáveis, aumentar a autoestima dos trabalhadores, manter o controle familiar nos negócios e aumentar o prestígio da companhia.

Deve ser dada uma atenção específica a esses objetivos comuns da organização para definição de um estudo da PO. Hillier e Lieberman (2010) destacam a importância de alguns objetivos que distinguem às responsabilidades sociais dos motivos de lucro para o estudo de PO. As empresas que utilizam os recursos naturais renováveis, por exemplo, devem contemplar em seus projetos a produtividade sustentável, visando à garantia e

a manutenção de toda a cadeia independentemente da categoria ou de qual seja a natureza da atividade econômica.

Sobre a coleta de dados, Hillier & Lieberman (2010) alertam para os cuidados que os membros da equipe de PO devem ter, pois, nem sempre os dados estarão disponíveis no tempo necessário. O tempo empreendido pela equipe na coleta de dados para realização da PO é muito grande e a maior parte destes dados é necessária para o entendimento do problema e também para fornecer entradas para o modelo matemático. Nem sempre será possível obter os dados no início da PO por motivos diversos, como indisponibilidade das informações de forma sistemática ou até mesmo por nunca ter sido armazenados de modo que algumas dessas informações poderão surgir a qualquer momento durante a realização de estudo da PO.

Em contrapartida, os consultores de PO enfrentam um grande desafio, talvez o maior deles, seja a confiabilidade dos dados coletados. Devido ao expressivo crescimento dos bancos de dados em anos recentes dificultando a análise de relevância e padrões de interesse para o desenvolvimento da PO (Hillier; Lieberman, 2010).

#### **4.2 O modelo matemático**

Após a definição do problema pelo tomador de decisão, o passo a seguir é a formulação de um modelo matemático para análise do problema.

Para definição do modelo matemático, é necessário que o gestor tenha conhecimento sobre os tópicos fundamentais para o desenvolvimento do modelo adequado, a saber:

- Variáveis de decisão
- Função objetivo
- Restrições
- Parâmetros
- Análise de sensibilidade
- Programação linear

Os modelos matemáticos são representações idealizadas e expressas através de símbolos e de expressões matemáticas. Seu objetivo é representar cientificamente a essência de um problema a ser resolvido. Nesse caso, se houver  $N$  decisões quantificadas e relacionadas para serem tomadas, elas são consideradas como variáveis de decisão.

Consequente à medida de desempenho apropriada, cita-se como exemplo o lucro, que pode ser expresso como uma função matemática dessas variáveis de decisão denominada função objetivo.

Essas variáveis podem ser restritas a qualquer valor que lhes seja atribuído, que também deverão ser expressas na forma de modelo matemático para que seja representada por meio de inequações ou equações nas quais estejam representadas as suas restrições.

As informações constantes relativas às variáveis de decisão e a função objetivo são denominadas parâmetros e se limitam ao modelo, que passa então a ter como problema somente a definição dos valores relativos às variáveis de decisão de modo a maximizar a função objetivo.

O modo mais seguro para avaliar a solução apresentada pelo modelo é fazê-lo através da análise de sensibilidade, alternando os valores possíveis para cada parâmetro definido anteriormente. Essa análise permite ao gestor ter uma visão do resultado apresentado pelo modelo e também avaliar outros cenários possíveis, quando se tratar de uma variabilidade das informações, às vezes incertas, sobre planejamento de vendas apresentado pela área comercial e da capacidade produtiva desenvolvida pela área de produção.

Um problema de PO não possui obrigatoriamente um modelo específico na busca de uma solução. Ao longo do desenvolvimento, pode-se verificar a possibilidade de se utilizar dois ou mais modelos distintos para análise de um mesmo problema.

Em casos mais complexos, recomenda-se o estudo de um problema através da utilização de um modelo matemático de programação linear, onde a função objetivo e as restrições possuem características de funções lineares.

Um modo eficiente de desenvolvimento do modelo é iniciar com uma versão bem simples, e ir avançando gradativamente para modelos mais elaborados, à medida que se percebe a necessidade de uma reflexão mais próxima da real complexidade do problema.

### **4.3 Derivando soluções a partir do modelo**

Após definido o modelo matemático para o problema em questão, é necessário desenvolver procedimentos para derivar soluções do problema. Esse procedimento ocorre com auxílio de um software computacional utilizado como facilitador na busca dos resultados.

Os autores discorrem sobre a importância do estudo da natureza das soluções derivadas de um modelo matemático.

É comum em um estudo de PO a utilização do termo técnico Solução Ótima, ou, Melhor Solução Possível. É importante lembrar que a solução é ótima apenas para o modelo utilizado. Não existe um modelo que possa garantir uma solução ótima a ser implantado em um problema. Isso ocorre devido à

ocorrência das incertezas e vários fatores que contribuem para que a formulação do problema na prática seja distorcida do mesmo na teoria.

Os autores afirmam que de acordo com a indicação do cientista Herbert Simon, de que os resultados observados na prática são mais determinantes na satisfação do que nos resultados de otimização. Observa-se a importância da integração entre as áreas financeira, vendas e produção, para o desenvolvimento de um planejamento agregado. Para os autores, Simon descreve claramente a tendência de que os gestores busquem uma solução suficientemente boa para um problema específico. Assim, faz-se notório que uma solução satisfatória fica mais viável que se optar pela busca de uma metodologia de desempenho global dentre as diversas áreas de conhecimento na organização.

Hillier e Lieberman (2010) descrevem uma frase de um dos líderes de PO da Inglaterra que representa fielmente a busca por uma solução ideal para o modelo desenvolvimento. “Otimizar é a ciência do ideal. *Satisficing* é arte do factível” (Samuel Eilon).

Nos casos em que os custos e os prazos para os estudos de PO tomam dimensões maiores, utilizam-se ocasionalmente procedimentos heurísticos para encontrar uma solução sub-ótima.

Procedimentos heurísticos são desenvolvidos por métodos intuitivos e não garantem uma solução ótima para o problema. Ainda, é sempre necessária uma análise para apurar os resultados a fim de se certificar sobre os métodos utilizados no desenvolvimento do modelo determinado.

São listados abaixo os meios de análise mais comuns e utilizados para certificar sobre os resultados obtidos a partir de um modelo:

- Análise de pós-otimalidade
- Análise o-que-se
- Análise de sensibilidade
- Parâmetros sensíveis

A utilização de meta-heurística tem se tornado mais eficiente e efetiva no desenvolvimento de modelos específicos para a abordagem de determinados problemas, isso ocorre devido à melhoria nas estruturas e diretrizes estratégicas.

Dentre essas e tantas outras técnicas, destaca-se a utilização de softwares de tabulação para verificar o comportamento do problema em condições diversas. Como efeito de comparação em análise de pós-otimalidade, a utilização de planilhas de modo permite aos gestores desenvolver uma capacidade de análise mais criteriosa para a tomada de decisões.

O tema é bastante complexo e requer um estudo mais aprofundado. Na literatura, existe amplo material que discorre sobre o tema e que permite ao leitor compreendê-lo melhor.

#### **4.4 Testando o Modelo**

Testar o modelo não das tarefas mais simples. O desenvolvimento de modelos matemáticos de grandes dimensões e a preparação para testá-los exigem de todos os envolvidos uma disponibilidade total de habilidade e conhecimento. Esse processo se compara ao desenvolvimento de um grande programa de computador e ao colocá-lo em teste, certamente ocorrerão vários “bugs” até que se certifique que o programa pode ser executado com um nível de confiança satisfatório para as informações que serão disponibilizadas.

As correções sistêmicas ocorrem várias vezes até que seja definido o momento exato para a execução integral do modelo desenvolvido. As falhas identificadas durante a fase de teste são consideradas normais e fazem parte do aprimoramento do conhecimento de todos, pois, alguns aspectos de interrelacionamento talvez não tivessem sido estimados durante o estudo no desenvolvimento do modelo. Portanto, a importância de se testar inúmeras vezes o modelo antes de colocá-lo em funcionamento é fundamental para a correção do maior número de falhas possível.

Após certificar-se de que as principais correções foram eliminadas, duas importantes etapas são conclusivas para os testes do modelo:

- Validação do Modelo
- Teste de Retrospectiva

Para a validação do modelo, é importante que se atenham as características de cada organização, essa validação dependerá em grande parte da natureza do problema e também do modelo desenvolvido.

O teste de retrospectiva aborda um sistema mais prático ao utilizar dados históricos para avaliar o comportamento da reconstrução do problema no passado, determinar qual teria sido o desempenho do problema aplicado no modelo e analisar os resultados, caso estes tenham sido usados.

Neste caso, a equipe de PO deve-se atentar para os resultados obtidos com o teste de retrospectiva. Deve ser considerado que as informações obtidas para a validação do teste partiram da mesma base de dados que originou o modelo a ser utilizado no teste de retrospectiva. Desse modo, os parâmetros do modelo testado devem representar de forma distinta os resultados apresentados no passado, caso essa tendência se confirme, o modelo pode ser considerado consistente. Daí a necessidade de se documentar o processo de validação do modelo, assim fica mais acessível o retorno para diagnosticar



as ocorrências e certificar-se de onde pode haver correções necessárias para a validação definitiva do modelo.

#### 4.5 Preparando a aplicação do modelo

Esta é uma etapa complexa e muito técnica do ponto de vista operacional. Para a aplicação do modelo, é necessário instalar um sistema bem documentado, conforme prescrito pela gerência, que contemple as seguintes premissas:

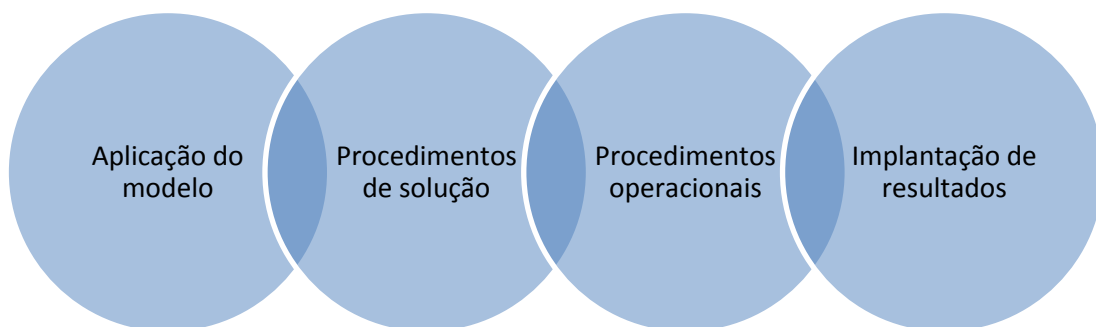


Figura 3 - Procedimento para aplicação do modelo

Este procedimento garante a integração total do sistema e mesmo que ocorram mudanças, o sistema poderá ser revisado periodicamente e solicitada solução numérica de modo frequente.

A estrutura para aplicar o modelo requer investimentos de grande porte e se tratando de tecnologia, nem sempre economizar é a solução. É necessário o uso integral de vários programas de computador. Sistemas de banco de dados e sistemas gerenciais fornecem dados de entradas atualizadas todas as vezes que for necessário a utilizar o modelo.

Estes sistemas são denominados sistema de apoio à decisão. Eles são instalados para dar suporte aos gerentes na tomada de decisões, além de fornecer relatórios gerenciais para análise e interpretação dos resultados.

Deve-se levar em conta que o prazo para todo o processo de desenvolver, testar e instalar um sistema computacional pode levar vários meses, dependendo do caso até anos. Essa demora se dá devido a mudanças durante o percurso do projeto e também a necessidade de manutenção do sistema por

adequação e atualização do modelo, dentre outros aspectos específicos da área.

#### **4.6 Implantar um modelo**

Após desenvolver um sistema, Implantá-lo pode parecer uma tarefa fácil, mas, não é simples como parece. É nessa fase que se torna imprescindível a participação de toda a equipe, pois é nessa fase que as possíveis falhas identificadas podem ser retificadas de acordo com a padronização do modelo para garantir que as soluções se traduzam de forma precisa.

O sucesso na implantação dependerá do suporte oferecido pela gerência administrativa com a gerência operacional, na verdade, esta é uma atividade responsiva que requer troca constante de informações entre a equipe de PO e a alta gestão da organização.

Um procedimento importante e imprescindível para o sucesso da implantação é a formulação dos processos definidos no modelo, que deve ocorrer dentro de uma formalidade e de modo responsável, observando os procedimentos adequados para implantar o sistema, em seguida, o gestor operacional reúne a equipe envolvida para determinar as responsabilidades e inicia-se então uma nova etapa dentro da organização.

Caso a implantação seja bem sucedida, o sistema poderá ser utilizado por muitos anos. Importante observar que são necessárias revisões periódicas e *feedback* ao longo do período de utilização do sistema, este procedimento dá aos gestores uma segurança maior ao se certificarem do comportamento do modelo e analisarem se os resultados apresentados pelo modelo são satisfatórios. Caso seja identificado algum desvio significativo, o modelo poderá ser revisto através da prática de análise de pós-otimalidade, como uma metodologia utilizada para orientação do processo de revisão.

#### **4.7 Análise dos resultados**

Essa fase é bastante peculiar, cabendo somente a cada organização apurar os resultados de acordo com a complexidade do problema em detrimento do modelo desenvolvido.

Os autores Hillier e Lieberman (2010) afirmam que a busca de resultados satisfatórios é uma tendência perceptível em todas as organizações, mesmo assim, não será possível descrever um modelo ideal para uma solução ótima. São muito específicos os meios utilizados para determinar o problema, desenvolver um modelo que seja mais próximo da realidade do problema, testar o modelo desenvolvido, implantar um sistema para execução do modelo e apurar os resultados com base no conhecimento teórico que pode, na prática, dar subsídio a informações necessárias para tomada de decisões.

## **5 MINELAB S/A**

MINELAB S/A é o pseudônimo pelo qual será identificada a empresa estudada.

A não divulgação do nome verdadeiro da empresa foi uma condição solicitada pela direção para a disponibilização dos dados, embora as informações e os dados apresentados sejam verdadeiros, considera-se em tempo que, as informações divulgadas neste trabalho não comprometerão as estratégias desenvolvidas pela gestão da empresa.

A empresa atua no setor industrial mais precisamente no desenvolvimento de projetos para empresas exploradoras de minerais para as quais fabrica e fornece equipamentos utilizados para pesquisa, processamento e análise de minerais.

Para melhor compreensão do leitor, a empresa citada, cujo nome passar a ser conhecido como MINELAB S/A, está localizada no parque industrial no município de Vespasiano-MG. A empresa de origem estrangeira atua no mercado brasileiro há cinco anos e sua principal atividade econômica é a fabricação de equipamentos utilizados por empresas de extração e laboratórios de análises minerais.

### **5.1 O cenário de atuação da empresa**

A MINELAB S/A. possui uma série de equipamentos que foram desenvolvidos para atender as necessidades diversas de seus clientes no mundo todo, isto, no que se refere ao desenvolvimento de projetos, tratamento e análise de minerais em geral. A empresa possui duas vertentes de produtos destinados ao seu mercado de atuação, sendo possível identificar duas características de seus principais clientes.

A primeira vertente se refere aos produtos de maior comercialização. São equipamentos que têm como destino final os laboratórios localizados em mineradoras e/ou os laboratórios que prestam serviços de análise de minerais para diversas empresas do segmento. Embora esses equipamentos possuam tecnologia de ponta, eles podem ser considerados equipamentos de pequeno porte, por terem sua utilização em ambientes internos e restrita à atividade a que se destina. Existem equipamentos que realizam operações semelhantes de grande porte, estes são utilizados em áreas externas, campos de extração mineral. A estes, porém, não se destina a atividade da MINELAB S/A. por não fazerem parte de sua linha de produtos oferecidos no mercado. Os equipamentos objetos de estudo deste trabalho estão relacionados na tabela 1, dispostos como tipos de máquinas no capítulo 5.

A segunda vertente é oriunda da área de projetos e tem como objetivo desenvolver em áreas externas ou internas no campo de extração mineral o

alinhamento de todos ou parte dos equipamentos produzidos pela MINELAB S/A. Em alguns casos será possível realizar algumas modificações técnicas visando atender a necessidade do cliente. Todas as solicitações e modificações poderão ser aceitas ou não, obedecendo às normas técnicas e de segurança, estabelecidas pela legislação federal e discutidas pelas áreas de engenharia da MINELAB S/A e da empresa interessada em contratar os serviços e o fornecimento de equipamentos.

O mercado oscila entre bons e maus momentos desde a crise financeira mundial de 2008. A MINELAB possui apenas um concorrente direto, o que comprova um alto nível de qualidade técnica desse concorrente se comparado aos concorrentes indiretos. Ainda sim, o mercado brasileiro pouco conhece a MINELAB S/A, tornando um desafio ainda maior caso a empresa queira estudar estratégias de competitividade no mercado de maneira mais expressiva. Além de explorar o potencial do mercado brasileiro, a MINELAB é responsável pelo abastecimento de todo o continente americano, ou seja, 80% de tudo o que é produzido aqui é exportado. Os demais concorrentes indiretos atuam especificamente no mercado interno e não possuem uma qualidade técnica que garanta a eficácia nos resultados obtidos na análise de minerais, observando que o objetivo principal dos clientes é exatamente o resultado advindo da não contaminação direta do material analisado.

A MINELAB comercializa seus produtos e garante ao cliente a veracidade das informações técnicas e acurácia nos resultados obtidos através de análise técnica realizada por empresas certificadas e especializadas no segmento.

Este trabalho será direcionado para um planejamento agregado e contemplará apenas a produção dos principais equipamentos de sua linha de fornecimento, ou seja, o produto acabado. Toda abordagem, seja ela literária ou prática a partir deste módulo, está relacionada à produção de equipamentos comercializados pela MINELAB S/A. As peculiaridades relacionadas à gestão integrada de estoques não serão abordadas neste tema.

## **5.2 Apresentando o problema**

A MINELAB S/A. possui uma linha modesta de equipamentos fabricados no Brasil. Os modelos foram desenvolvidos por outra unidade da empresa em outros continentes e adaptados às necessidades de clientes locais. Com o passar dos anos, a empresa foi adquirindo experiência e a confiança do mercado nacional, hoje, é uma referência no segmento e conhece os principais concorrentes. Para atender a demanda, a empresa realiza suas atividades conforme representado no fluxograma demonstrado na Figura 4.



Figura 4 - Fluxo do processo operacional

Analisando a Figura 4, pode-se identificar que parte do controle da receita da empresa inicia-se no departamento comercial, através da emissão de pedidos. O trabalho do departamento comercial se baseia no pronto atendimento ao cliente, em que, a partir da necessidade de aquisição de um equipamento, entra em contato com a MINELAB S/A para solicitar uma cotação para aquisição do produto desejado.

As etapas descritas abaixo se referem às atividades relacionadas a cada setor ligado diretamente à área de produção da empresa, para melhor compreensão do desenvolvimento da atividade fim da MINELAB S/A.

- Comercial=> Recebe solicitação de cotação; faz a cotação do pedido; aprova o pedido; coloca o pedido para produção.
- Produção=> Recebe o pedido da área comercial; analisa a necessidade de compra de matéria-prima e insumos; emite a ordem de produção para atender o pedido; finaliza a produção; envia o pedido atendido para o logística.
- Logística=> Recebe o pedido da produção; embala o pedido; providencia o embarque do pedido.

Um aspecto preocupante é que a empresa não possui fornecedores que garantam a sua capacidade produtiva e um controle de qualidade que mantenha um padrão de fornecimento especificado pela MINELAB S/A. Isto implica em gerenciar riscos a qualquer tempo, caso ocorra alguma adversidade em qualquer elo da cadeia produtiva, uma intervenção rápida terá de ser feita para evitar quebras maiores, o que nem sempre é possível.

A integração de relacionamento de todos os envolvidos na cadeia de abastecimento é de suma importância. Slack (2007) cita o case de uma empresa fabricante e distribuidora de componentes automotivos alemã, a *Robert Bosch GmbH*. A empresa solicita que seus fornecedores não empreguem mais do que 20% de seu faturamento para que não sejam dependentes da sua produção. Este modelo de absorção permite que a empresa compradora possa flexibilizar suas compras para cima ou para baixo de acordo com sua previsão de demanda.

A MINELAB S/A não possui estratégias definidas para compras e fornecimento de matéria prima e tampouco conhece a capacidade produtiva de seus fornecedores. Portanto, para haver uma sincronização na gestão de produção da empresa, seria necessário definir o modelo de gestão para planejamento e acompanhamento da produção. Nas condições atuais, a empresa segue uma linha de produção de acordo com a demanda, mas, de forma alguma se faz conhecido um planejamento integrado que forneça informações de fontes seguras com o objetivo de consolidar o processo produtivo da MINELAB S/A no Brasil.

Slack (2008) comenta uma demonstração de Jay Forrester sobre os interesses distintos das empresas em cada elo da cadeia de suprimento, o chamado efeito Forrester. Esse efeito se assemelha a uma brincadeira infantil muito conhecida como “telefone sem fio”. Percebe-se dentro desta dinâmica que existe uma preocupação em comum entre os elos da cadeia de suprimentos, o interesse de gerenciar suas taxas de produção, por isto, a distorção e os erros aumentam de acordo com o número de empresas existentes dentro da cadeia de suprimentos.

Em resumo, o departamento comercial cria uma estimativa para vendas partindo de metas estipuladas pela diretoria da empresa. Não há uma metodologia específica para desenvolver suas operações visando ao crescimento econômico e aumento de riquezas para a organização.

Moreira (1993) apresenta dois modos de desempenho organizacional para as empresas do segmento industrial. Estes modelos de desenvolvimento de organização no trabalho são atribuídos às empresas japonesas e denominam-se por “emprego vitalício” e a “promoção por senioridade”.

O primeiro modelo de organização descreve a estreita relação de empresa e empregado e destaca a importância que pessoa tem no destino da organização. Todos os esforços para a manutenção deste funcionário são realizados com o propósito de mantê-lo atualizado e de que possa sempre dar o melhor de si na busca por atingir as metas da empresa.

O segundo modelo de organização torna os processos mais dinâmicos e de modo que ocorram sempre no mesmo ritmo, considerando que as promoções

ocorram por idade, não existe um ambiente de competição interna e sim um espírito de colaboração para compartilhar conhecimento e experiência.

O histórico de organização de trabalho nas empresas brasileiras não é muito satisfatório. Segundo Moreira (1993), um estudo realizado na década de 80 apresentava um cenário precário em relação à qualidade e o custo da produção. A justificativa é que as empresas geralmente sediadas nas grandes cidades utilizavam mão de obra desqualificada, barata e abundante, não se dispendo de nenhum esforço para motivação e melhor utilização de recursos. O autor conclui dizendo que as empresas brasileiras desenvolvem sua administração de forma lenta e gradativa as atividades relativas ao novo modo de gestão da produção.

A MINELAB S/A possui uma equipe enxuta para a produção de todos os equipamentos de sua linha de produção. Composta por apenas (01) gerente de produção, (01) coordenador de produção e (01) montador. Esse contingente trabalha em regime de CLT com uma carga horária de 08 horas por dia, com disponibilidade de 05 dias por semana, 248 dias uteis no ano, totalizando 1984 horas disponíveis para o setor de produção.

Percebe-se então a necessidade de identificar e organizar os processos da MINELAB S/A com o objetivo de tornar a empresa mais competitiva e fazer conhecidas suas operações de forma que o gestor tenha consciência das atribuições de cada área ligada diretamente ou indiretamente à produção.

### **5.3 Formulando o modelo matemático**

Para formulação do modelo escolhido, é necessário observar atentamente o cenário de atuação onde a empresa está inserida. Contador (1998) alerta sobre a importância do trabalho integrado entre as áreas de conhecimento da organização ao se referir ao departamento de vendas suplantar as vendas em relação à capacidade produtiva da organização. Isto é preocupante pelo motivo de que parte dos pedidos poderão não ser atendidos no prazo. Nesta circunstância o modelo de PO obtém resultados mais satisfatórios ao utilizar a ferramenta de Programação Linear. Contador (1998) cita a programação linear possibilita maximizar os resultados com lucros melhores e ou a redução da soma total dos custos de sua produção.

Tendo em vista a perspectiva apresentada na tabela de dados fornecida pela área comercial da MINELAB S/A, sugere-se que seja formulado um modelo matemático que contemple as operações de maximização e minimização utilizando-se a ferramenta de programação linear. O objetivo é avaliar como o resultado da variação entre a maximização de lucro e a minimização de custos do planejamento de produção poderá ser ou não satisfatório na apuração dos resultados da MINELAB S/A.

É importante ressaltar que a MINELAB S/A não informou a metodologia utilizada para realizar a previsão de demanda, uma vez que apresentada a tabela de dados, sejam acatadas as informações nela contida e posteriormente seja derivado o modelo.

Tabela 1 – Demanda departamento comercial

Tipo Máquina	Demanda	Horas de produção	Horas disponíveis de produção anual	Custo (\$ unitário)	Vendas (\$ unitário)
M1	250	4	1984	\$ 15.000,00	\$ 27.000,00
M2	30	4		\$ 9.000,00	\$ 23.000,00
M3	10	4		\$ 24.500,00	\$ 39.000,00
M4	10	4		\$ 6.800,00	\$ 12.900,00
M5	10	4		\$ 35.000,00	\$ 59.000,00
M6	30	6		\$ 53.000,00	\$ 99.000,00
M7	55	1		\$ 2.300,00	\$ 4.500,00
M8	10	6		\$ 24.000,00	\$ 41.000,00

Fonte: Minelab

Para Moreira (1993), a organização dos dados em uma tabela é muito importante, este procedimento ajuda na interpretação do enunciado e possibilita entender melhor o problema. A disposição dos dados possibilita a elaboração e organização das informações quanto à identificação das variáveis, restrições e da função objetivo para formulação do modelo.

#### 5.4 Formulando o modelo matemático para maximizar o lucro

$$Max Lucro = \sum_i PV(i) - \sum_i C(i) \quad \text{Equação 1}$$

$$s. a. \sum_i H(i) \leq HD \quad \text{Equação 2}$$

$$\sum_i x(i) \leq D \quad \text{Equação 3}$$

$$x(i) \geq 0 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- $i$  representa o conjunto de máquinas do tipo  $M$ ;
- $HD$  é a quantidade de horas disponíveis no ano;
- $C$  indica o custo de produção de cada máquina;



- PV é o Preço de venda de cada máquina;
- D representa a demanda de máquinas do tipo (i);
- H são as horas de produção por máquina (i);
- X(i) é a quantidade total de máquinas a serem produzidas;

A primeira restrição (Equação 2) indica que o somatório das horas de produção do conjunto de máquinas deverá ser menor ou igual à quantidade de horas disponível no ano. A segunda restrição (Equação 3) implica que a produção deve ser maior que a demanda e a Equação 4 garante que o resultado seja positivo.

### 5.5 Formulando o modelo matemático para minimizar custos

$$\text{Minimizar custos } (Z) = \sum_i C(i) * X(i) \leq D \quad \text{Equação 1}$$

$$s. a. \sum_i (X) i * H(i) \leq HD \quad \text{Equação 2}$$

$$\sum_i X(i) \leq D \quad \text{Equação 3}$$

$$x(i) \geq 0 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- i representa o conjunto de máquinas do tipo M;
- HD é a quantidade de horas disponíveis no ano;
- C indica o custo de produção de cada máquina;
- PV é o preço de venda de cada máquina;
- D representa a demanda de máquinas do tipo (i);
- H são as horas de produção por máquina (i);
- X é a quantidade total de máquinas (i) a serem produzidas;

A primeira restrição (Equação 2) indica que o somatório das horas de produção do conjunto de máquinas deverá ser menor ou igual à quantidade de horas disponíveis no ano. A segunda restrição (Equação 3) implica que a produção total de máquinas deve ser menor ou igual à demanda e a Equação 4 garante que o resultado seja positivo.

Conforme proposto por Moreira (1993) pode-se verificar a linearidade entre as restrições e a função objetivo, desta forma é perfeitamente possível desenvolver um modelo que possa derivar de uma combinação observando as variáveis de decisão.

## 5.6 Testando o modelo na linguagem de algoritmos

Neste tópico, são verificadas as ferramentas essenciais no desenvolvimento da PO. Nessa fase será possível constatar na prática a aplicação de todo o referencial teórico que se baseia este trabalho, podendo correlacionar as estruturas apresentadas no capítulo 3.

Considera-se notável que na década de 1960, Stilian *et al.* (1964) já apresentavam uma relação peculiar com utilização de um computador para auxiliar na simulação de problemas de PO.

Analisando o histórico avanço da PO, Hillier e Lieberman (2010) afirmam que sem o auxílio de um software computacional seria difícil prosseguir com o planejamento. Embora as técnicas aplicadas em estudo de PO pouco sofreram alterações, a utilização de um software com padrões sofisticados para desenvolver cálculos de forma automatizada é imprescindível para o sucesso do planejamento.

Contador (1998) destaca a importância de tratar as informações de forma cautelosa e segura. O aumento da utilização de computadores para automatizar e processar os dados, está relativamente atribuído à redução de custo e à melhoria na capacidade de processamento dos aparelhos.

Surge então uma área da ciência voltada ao tratamento dos dados, com o objetivo de integrar métodos e técnicas de automação da informação, que passa a ser chamada de tecnologia da informação (TI).

Dentro do contexto de tecnologia da Informação, Contador (1998) aborda conceitos de informação e Sistemas de Informação, respectivamente.

A informação consiste no tratamento dos dados coletados de forma organizada e ordenada com o objetivo de gerar um contexto útil capaz de auxiliar o usuário na tomada de decisões.

Sistemas de informação (SI) se referem a um ambiente onde os dados são processados e de forma integrada pode fornecer ou disponibilizar as informações necessárias aos usuários.

Portanto, Maynard (1970) destaca que a maior dificuldade encontrada em uma equipe de PO está na comunicação entre o pessoal da administração com a equipe de (TI). Transformar essas habilidades em uma linguagem que todos possam compreender torna-se um desafio comum entre os membros da equipe de (PO).

Hillier & Lieberman (2010) trata os algoritmos e softwares computacionais com uma ferramenta indispensável no desenvolvimento de todo o processo da PO.

Brooke et al (1997) *apud* Silva (2013) e Hillier e Lieberman (2010) afirmam que na década de 1980 e início da década de 1990 houve um crescimento expressivo em variedade de linguagens para modelagem de PO. Elas se tornaram mais rápidas e mais objetivas, pois, os desenvolvedores destes tipos de software utilizavam algoritmos em forma de matrizes para tornar mais ágeis os cálculos destes modelos matemáticos, o que tornou o GAMS uma das mais utilizadas linguagens projetadas para o desenvolvimento e solução de modelos de programação matemática complexa.

Alguns autores como Hillier e Lieberman (2010), Moreira (1993) e Contador (1998) orientam que para resolução de problemas de PO, cuja complexidade seja menor, pode ser utilizado o software de tabulação da Microsoft, Excel e o programa Excel Solver que é uma versão aperfeiçoada do aplicativo de soluções de PO, mesmo que ainda um pouco mais complexo.

Como tantas outras técnicas de software de algoritmos desenvolvidos para resolução de problemas multivariáveis, sugere-se o GAMS por ser este mais acessível quanto ao licenciamento. Está disponível na internet a qualquer usuário que tenha interesse em desenvolver um trabalho de PO na versão gratuita.

O GAMS “*General Algebraic Modeling System*” é um software suficientemente capaz de resolver qualquer tipo de problema de PO. O desafio, então, passa a ser como formular o problema de PO no sistema GAMS.

Para a execução do planejamento agregado de produção através do software de linguagem computacional que possui características semelhantes à formulação do modelo matemático representado no tópico 5.5 e 5.6, o usuário deverá transcrever as informações contidas no modelo para o sistema de software computacional, como proposto nos apêndices A e B.

Silva (2013) foi sucinto ao representar fielmente em sua tese de doutorado as características de utilização modular do software GAMS na reprodução de diversas operações e necessidades organizacionais.

A modelagem matemática apresentada nas seções 5.5 e 5.6 estão representadas nos Apêndices A e B, respectivamente.

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, o objetivo é analisar e discutir os resultados emitidos através do relatório do planejamento de Minimização de custos e Maximização de lucro das atividades processadas pelo software GAMS. Para melhor compreensão e análise das operações é necessário a comparar a tabela de dados referente à demanda fornecida pela empresa Minelab S/A, conforme apresentado na tabela 1 e confrontá-los com o relatório dos resultados emitidos pelo software de linguagem de algoritmo do GAMS, representado nos apêndices C e D respectivamente.

Os modelos matemáticos desenvolvidos para o planejamento agregado de produção na empresa Minelab S/A estão representados nos apêndices A e B que correspondem às operações de Minimizar custos e Maximizar lucros respectivamente. Os resultados poderão ser analisados nas duas vertentes, conforme descrito abaixo:

A primeira vertente está relativamente restrita à função objetivo de Minimizar os custos de produção, onde, observa-se que a preocupação do gestor neste caso é tão somente ater-se quanto à utilização dos recursos ligados diretamente à produção de máquinas ou equipamentos de sua manufatura.

A segunda vertente é restrita à função objetivo de Maximização de lucros, onde os interesses de todos os envolvidos estão voltados para apuração final da receita nos melhores índices a serem analisados após a emissão do relatório com os resultados previstos para produção.

Tabela 2 - Resultado apresentado pelo GAMS

Máquinas	Demanda	Custos (\$)	Vendas (\$)	Lucros (\$)
M1	250	3.750.000,00	6.750.000,00	3.000.000,00
M2	30	270.000,00	690.000,00	420.000,00
M3	10	245.000,00	390.000,00	145.000,00
M4	10	68.000,00	129.000,00	61.000,00
M5	10	350.000,00	590.000,00	240.000,00
M6	30	1.590.000,00	2.790.000,00	1.380.000,00
M7	55	126.500,00	247.500,00	121.000,00
M8	10	240.000,00	410.000,00	170.000,00
Total		<b>6.639.500,00</b>	12.176.500,00	<b>5.537.000,00</b>

É possível verificar na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, que o software GAMS executou o processamento dos dados conforme os resultados apresentados no relatório correspondente à modelagem matemática de Minimização de custos e Maximização de lucros utilizando técnica de programação linear respeitando a representação dos modelos matemáticos dispostos nos apêndices A e B, respectivamente.

Para análise dos resultados apresentados nos relatórios de minimização de custos e maximização de lucro executados pelo software GAMS, é necessário comparar a tabela 1 com os dados apresentados na figura a seguir.

Observando o resultado para minimização de custos, a MINELAB S/A terá o valor monetário representativo na ordem de \$ 6.639.500,00 (seis milhões, seiscentos e trinta e nove mil e quinhentos) nos custos de sua produção, desse modo será possível alcançar o objetivo atingir as metas apresentadas pelo departamento comercial.

Para maximizar o lucro, a MINELAB S/A terá o valor monetário representativo na ordem de \$ 5.537.000,00 (cinco milhões quinhentos e trinta e sete mil) como resultado de suas operações financeiras relativas à sua produção, de modo que é perfeitamente possível alcançar o objetivo da empresa para atingir as metas apresentadas pelo departamento comercial.

Considerando os resultados apresentados pelo GAMS, pode-se se afirmar que nas operações de minimização de custos quanto à maximização de lucro é perfeitamente possível alcançar o objetivo a que se propõe o planejamento agregado de produção.

Para os autores Stilian (1964), Maynard (1970), Moreira (1993), Contador (1998), Hillier e Lieberman (2010) afirmam que através do PAP é possível realizar a integração das áreas possibilitando que a organização desenvolva estratégias de gestão financeira, comercial e de produção.

Considerando que os resultados apresentados pelo GAMS são exatamente iguais aos dados sugeridos na tabela 1 de demanda apresentada pelo departamento comercial da MINELAB S/A, conclui-se que a empresa terá sua produção atendida com capacidade plena na utilização dos recursos disponíveis dentro do planejamento desenvolvido pela empresa.

A importância na análise das informações geradas no desenvolvimento da PO é significativa para tomada de decisões, uma vez que o departamento de produção possui capacidade e força produtiva para atender a demanda e alcançar o objetivo pré-determinado pela gerência e a alta diretoria da empresa. De modo que a área comercial, de produção e financeira poderão discutir de modo fundamentado qual a melhor e mais segura fonte para captação de recursos financeiros e realizar os investimentos necessários para

a continuidade do processo produtivo da organização. Através do planejamento agregado de produção é possível realizar uma análise representativa para verificar a viabilidade de locação de mão de obra permanente ou temporária, terceirização total ou parcial da produção, para compras de suprimentos e insumos para fabricação de máquinas e equipamentos.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho proporcionou um conhecimento teórico que correspondeu na prática às expectativas propostas no desenvolvimento de um modelo de planejamento agregado de produção.

Os estudos de Stilian (1964); Maynard (1970), Oliveira (1993), Contador (1998), Hillier e Lieberman (2010) indicaram uma preocupação sobre a importância do planejamento e controle da produção em uma organização, onde os autores destacam em primeiro momento os principais objetivos que levam à realização de um planejamento, sendo o incremento das vendas, a maximização dos lucros e a minimização de custos

Além disso, para os autores Stilian (1964), Maynard (1970), Oliveira (1993), Contador (1998), Hillier e Lieberman (2010), o sucesso na execução de um bom planejamento agregado de produção está atribuído à organização da empresa como um todo. Os autores são unânimes ao apresentar respectivamente em suas obras a utilização de metodologias e as técnicas de PO nas mais diversas áreas de conhecimento.

A equipe de PO deverá planejar suas atividades de modo absolutamente integrado com as demais áreas da organização e observar atentamente a aplicação dos métodos e técnicas pré-definidos, com o propósito de atingir os objetivos e metas estabelecidos pela direção e pela alta gerência.

O sucesso no empreendimento da PO começa na gestão, onde os diretores e os executivos deverão selecionar os membros da equipe, estes por sua vez, deverão ser altamente qualificados e capacitados para executar as etapas do planejamento agregado de produção na busca de otimizar as operações dentro da organização.

O principal desafio na realização de um planejamento e controle da produção está no controle das informações, onde há maior necessidade de investimento e segurança para a manutenção e disponibilidade da mesma para os usuários, por se tratar de uma fonte integradora e alimentadora entre as áreas da empresa (Contador, 1998).

Passaram-se décadas desde o início da Segunda Guerra Mundial, onde se iniciaram os estudos de PO, desde então, as técnicas e as metodologias utilizadas para realização de um planejamento não tiveram grandes avanços como afirmam os autores Stilian (1964), Maynard (1970), Oliveira (1993), Contador (1998), Hillier e Lieberman (2010).

Segundo Brooke (1997) apud Silva (2013), o principal avanço que contribuiu significativamente para os estudos científicos direcionados a PO se deu nas áreas de suporte à tecnologia e ciência da informação, onde nas décadas de

1980 e 1990 foram desenvolvidos muitos softwares de linguagem de algoritmos voltados à resolução de problemas de produção.

Para Stilian (1964), Maynard (1970), Oliveira (1993), Contador (1998), Hillier e Lieberman (2010), a PO é uma área de conhecimento muito precária de profissionais desbravadores, o que demonstra uma oportunidade contundente para aqueles que desejam aprimorar seus conhecimentos teóricos e práticos nas mais diversas áreas de atuação.

A realização deste trabalho atendeu as expectativas ao alcançar os objetivos propostos na busca por desenvolver um planejamento agregado através da PO. Do ponto de vista prático e acadêmico, é possível desenvolver um planejamento agregado de produção com a utilização de outras técnicas de PO que possibilitem um estudo mais complexo das atividades da MINELAB S/A.

Ainda que seja um estudo de caso ou o desenvolvimento de um projeto mais complexo que poderá se estender por uma busca infinita de respostas para os seguintes questionamentos:

- Qual é a capacidade produtiva do fornecedor A, B ou C...?
- Qual será a quantidade ideal para estoque dos produtos tipo A, B ou C na fabricação dos equipamentos M1, M2, M3...M8?
- Como responder a necessidade de um mercado específico para o atendimento da demanda de determinado modelo de equipamento ou produto?

Estes questionamentos poderão ser respondidos em qualquer oportunidade e através da utilização de técnicas de PO como ferramentas que auxiliam no desenvolvimento de um planejamento agregado de produção, ou até mesmo planejamento financeiro, comercial, seja em uma indústria, no comércio ou no setor de serviços, certamente se encontrará uma resposta que servirá como orientação para a tomada de decisões dentro da organização.



## REFERÊNCIAS

CONTADOR, José Celso (Coord.). **Gestão de operações**: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa: produção industrial, construção civil, competitividade, mercado. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher: Fundação Vanzolini, 1998. 593p.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. 8.ed. São Paulo: McGraw-Hill: Bookman, 2010. 828 p.

MAYNARD, H. B; IIDA, Itiro. **Manual de engenharia de produção**. São Paulo: Edgard Blücher, 1970. 389 p.

**MODERNAS** técnicas de planejamento e controle da produção. São Paulo: Management Center do Brasil, 1964. 468p.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Thomson Learning, c1993. 619 p.

MOREIRA JÚNIOR, José Cecílio. **Programação linear no planejamento agregado de produção e vendas de uma indústria siderúrgica**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MCBR-89YH3G/jos\\_\\_cecilio\\_moreira\\_j\\_nior\\_disserta\\_\\_o.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MCBR-89YH3G/jos__cecilio_moreira_j_nior_disserta__o.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 29 Dez. 2012.

SILVA, Aneirson Francisco da. *et al.* Pesquisa Operacional: desenvolvimento e otimização de modelos matemáticos por meio da linguagem GAMS. São Paulo. Disponível em: < <http://www.feg.unesp.br/~fmarins/GAMS/apostilagams.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2014.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2002. 747p.

TALENTO, Aguirre; PEIXOTO, Paulo. Mineração fica dez vezes maior na década. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 25 dez. 2012. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/1206108-mineracao-fica-dez-vezes-maior-na-decada.shtml>>. Acesso em: 29 Dez. 2012.

## APÊNDICE A – Modelagem da minimização do custo

### SETS

i Quantidade de máquinas produzidas no período /M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8/;

### PARAMETERS

H(i) Horas de produção por máquinas

/ M1 4  
M2 4  
M3 4  
M4 4  
M5 4  
M6 6  
M7 1  
M8 6 /

C(i) Custo de produção de máquinas

/ M1 15000  
M2 9000  
M3 24500  
M4 6800  
M5 35000  
M6 53000  
M7 2300  
M8 24000 /

D(i) Demanda de maquinas

/ M1 250  
M2 30  
M3 10  
M4 10  
M5 10  
M6 30  
M7 55  
M8 10 /;

### SCALAR

Quantidade produzida dentro das horas disponíveis

/1984/;

### VARIABLES

X (i) DEFINE QUAL QUANTIDADE i DE MÁQUINA PRODUZIDA DENTRO DAS HORAS DISPONIVEIS

Z CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO;

POSITIVE VARIABLES X;

### EQUATIONS

FO FUNCAO OBJETIVO

Capacidade DEFINE QUANTO DE MAQUINAS PRODUZIR PARA ATENDER A DEMANDA

Demanda (i) DEFINE O CUSTO PARA ATENDER A DEMANDA;

FO ..  $Z = E = \sum(i, X(i) * C(i));$

Demanda (i) ..  $X(i) = G = D(i);$

Capacidade ..  $\sum(i, X(i) * H(i)) = L = \text{quantidade};$

MODEL PRODUCTION /ALL/;

SOLVE PRODUCTION MINIMIZING Z USING LP;

DISPLAY Z.L,X.L,X.M;

## APÊNDICE B – Modelagem da maximização do lucro

SETS

(i) Quantidade de máquinas Produzidas no período /M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8/

PARAMETERS

H(i) Horas de produção por máquinas

/ M1 4  
M2 4  
M3 4  
M4 4  
M5 4  
M6 6  
M7 1  
M8 6 /

C(i) Custo de produção de máquinas

/ M1 15.000,00  
M2 9.000,00  
M3 24.500,00  
M4 6.800,00  
M5 35.000,00  
M6 53.000,00  
M7 2.300,00  
M8 24.000,00 /

D(i) Demanda de maquinas

/ M1 250  
M2 30  
M3 10  
M4 10  
M5 10  
M6 30  
M7 55  
M8 10 /

TABLE

Quantidade (i) produzida dentro das horas disponíveis  
/1984/

VARIABLES

X (i) define qual quantidade i de máquina produzida dentro das horas disponíveis

y (D) define qual a demanda será atendida

Z custo total de produção;

POSITIVE VARIABLES X;

EQUATIONS

FO FUNCAO OBEJTIVO

Capac (i) define quanto de maquinas produzir em para atender a demanda

Demanda (C) DEFINE O CUSTO PARA ATENDER A DEMANDA;

FO .. Z =E= SUM((i),D(i)\*C(i))

Capac (i) .. SUM((i),X(i,d)) =L= N(i);

Capacidade (HD) .. SUM ((h,i), Y(i,d)) =L= P(i);

Demanda (d) .. SUM

\*Composicao (j) .. SUM ((i,j),C(j)\*X(i,j)=E= SUM(j,K), X(j,k)

MODEL PRODUCTION/ALL/;

SOLVE PRODUCTION MINIMIZING Z USING LP;

DISPLAY Z.L,X.L,X.M;