

# UTILIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR: UM ESTUDO PARA OTIMIZAR A GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Rodrigo Pereira de Oliveira (FACULDADE CESUC) rpo\_pereira@hotmail.com  
Mara Rúbia da Silva Miranda (UFMS) mara\_miranda@ufms.br

## Resumo

A busca pela otimização dos processos com o intuito de aumentar a produtividade e maximizar os lucros é a grande busca das organizações de sucesso. A programação linear tem sido utilizada para esses fins, já que consiste em métodos para resolver problemas de otimização, além de auxiliar os engenheiros a tomar decisões com relação aos recursos necessários. Neste sentido, o objetivo deste artigo é realizar uma modelagem utilizando a programação linear através do software LINDO para otimizar a processo de manutenção de uma empresa. Os resultados mostraram que o lucro da empresa pode ser otimizado se a empresa realizar a manutenção em outras variáveis, e que não há folga com relação ao número de funcionários. Foi possível concluir que uma simples programação pode auxiliar a empresa na tomada de decisão, e assim poder otimizar o seu processo.

**Palavras-Chaves:** Programação linear: Otimização de Processos: Manutenção.

## 1. Introdução

Segundo Azevedo (2007) os gestores estão dando mais atenção na manutenção de seus equipamentos, avaliando o impacto do sistema de manutenção no processo produtivo e, conseqüentemente, a disponibilidade dos equipamentos.

De acordo com Moro (2007) muito se discute a respeito da qualidade total em serviços, produtos e gerenciamento das empresas. Isto dá uma ideia da importância de se estabelecer um programa de manutenção, uma vez que máquinas e equipamentos com defeitos e/ou parados, os prejuízos serão inevitáveis, provocando: diminuição ou interrupção da produção, atrasos nas entregas, perdas financeiras, aumentos dos custos, insatisfação dos clientes e perda de mercado.

Ainda Moro (2007) relata que a opinião geral a cerca de 20 anos atrás era de que “manutenção é um mal necessário”, ou “nada pode ser feito para melhorar os custos de manutenção”. Mas as novas técnicas de gerenciamento e sistemas de manutenção tem mudado isso, reduzindo estes custos.

Segundo Almeida (2005) recentes pesquisas da efetividade da gerência da manutenção indicam que um terço de todos os custos de manutenção é desperdiçado como resultado de manutenção desnecessária ou inadequadamente realizada.

Diante desse contexto, nota-se a importância de se estabelecer um plano de manutenção para que a empresa contabilize seus custos e lucros. Observa-se também que a pesquisa operacional especificamente a programação linear pode auxiliar na solução destes problemas nas organizações.

Neste contexto, o objetivo deste artigo é desenvolver um modelo de programação linear que tenha como resultado um plano otimizado das quantidades de manutenções para maximizar o lucro da empresa. Para isso, foi realizado um estudo de caso numa empresa de manutenção situada no Estado de Goiás.

O desenvolvimento deste trabalho contribuirá para a divulgação da técnica de otimização na empresa em estudo, de forma a satisfazer as necessidades dos gestores e valorizar o papel do engenheiro de produção nas atividades empresariais.

## **2. Referencial teórico**

O problema escolhido neste estudo refere-se à prática da manutenção em equipamentos e a utilização da programação linear para solução de problemas. Desta forma, a pesquisa ateu-se aos seguintes temas: otimização de processos, programação linear, conceitos de manutenção, manutenção preventiva, manutenção corretiva e manutenção preditiva, importância da manutenção para o processo e *softwares* Lindo e Solver.

### **2.1. Programação linear**

A Pesquisa Operacional (PO) foi definida segundo Azevedo (2007) como a aplicação de um método científico em problemas operacionais. Uma aplicação da PO envolve:

- a) Construir descrições ou modelos matemáticos, econômicos e estatísticos de problemas de decisão e controle para tratar situações de complexidade e incerteza;
- b) Analisar as relações que determinam as consequências futuras prováveis de ações alternativas e planejar medidas apropriadas de eficácia de modo a calcular o mérito relativo de cada uma dessas ações (Simulação).

De acordo com Yoshida (1987) a programação linear pertence a uma classe de problemas chamada de otimização que visa maximizar ou minimizar uma função de várias variáveis que está sujeita a certas restrições. Essas funções e restrições podem ser representadas por expressões lineares, com isso é possível desenvolver métodos numéricos simples e eficientes sem a utilização de técnicas matemáticas clássicas de otimização.

Segundo Hillier (2006) esta técnica foi desenvolvida para fins de solucionar problemas de alocação de recursos, principalmente no período da segunda guerra mundial, a técnica funcionou muito bem para os estudos da época, mas somente em 1951 ganhou maior reconhecimento entre outros estudiosos.

A programação linear usa um modelo matemático para descrever o problema em questão. Portanto, ela envolve o planejamento de atividades para obter um resultado ótimo, isto é, um resultado que atinge o melhor objetivo especificado entre todas as alternativas viáveis.

Os métodos mais utilizados na programação linear são: A modelagem; Solução gráfica de problemas com duas variáveis e algoritmo simples para solução genérica de problemas de programação linear.

Segundo Andrade (2009) os estudos de programação linear permitem responder questões como:

- Qual quantidade de determinado produto entre vários existentes, que se deve produzir para maximizar o lucro;
- Com relação a algumas especificações, qual será a composição da mistura que corresponderia a minimização do custo total;

- Conhecendo certas condições de mercado (produtos, fornecedores e consumidores) qual o melhor circuito de distribuição de forma a minimizar o custo total.

Impostas condições de trabalho como: mão de obra entre as diferentes tarefas e especialidades e qual a melhor distribuição de forma que minimize despesas e maximiza a eficiência.

## **2.2. Manutenção**

A manutenção pode ser definida, segundo o dicionário Aurélio como: “As medidas necessárias para a conservação ou permanência, de alguma coisa ou situação” e ainda “Os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas”.

Segundo Lima (2006), o mais comum é definir a manutenção como “o conjunto de atividades e recursos aplicados aos sistemas e equipamentos, visando garantir a continuidade de sua função dentro de parâmetros de disponibilidade, de qualidade, de prazo, de custos e de vida útil adequado”. Nesta definição, de grande abrangência, a manutenção é caracterizada como um processo. Um processo que deve iniciar antes da aquisição e que tem como principal função o prolongamento da vida útil do equipamento ou sistema.

Para compreender os objetivos da manutenção é necessário entender porque a produção se preocupa tanto em cuidar das suas instalações. Assim, Slack (2002) apresenta os benefícios atingidos quando a manutenção é atuante:

- a) Segurança melhorada – diminui o risco às pessoas que atuam no ambiente;
- b) Confiabilidade aumentada – menos tempo perdido em conserto;
- c) Qualidade maior – equipamentos em melhor desempenho;
- d) Custos de operação mais baixos – alguns elementos de tecnologia funcionam melhor quando recebem manutenção regularmente;
- e) Tempo de vida mais longo – prolongar a vida efetiva das instalações;
- f) Valor final mais alto - instalações bem mantidas propiciaram em vendas de segunda mão para o mercado.

Conforme observado, ao programar a manutenção a organização contribui para melhorias que vão desde o aumento da produtividade até a redução de custos.

Existem três tipos de manutenção: preventiva, corretiva e preditiva. Para Lima (2006) a essência da manutenção preventiva é a substituição de peças ou componentes antes que atinjam a idade em que passam a ter risco de quebra. De acordo com Costa (2010) a manutenção preventiva conduz aos intervalos pré-determinados com o objetivo de reduzir a possibilidade de o equipamento situar-se em uma condição abaixo do nível requerido de aceitação. Esta manutenção pode tomar por base intervalos de tempo pré-determinados e/ou condições preestabelecidas de funcionamento, podendo ainda requerer que, para sua execução o equipamento seja retirado de operação.

Conforme Monteiro (2010) a manutenção corretiva visa corrigir, restaurar, recuperar a capacidade produtiva de um equipamento ou instalação, que tenha cessado ou diminuído sua capacidade de exercer as funções às quais foi projetado.

De acordo com Moro (2007) a manutenção preditiva é uma fase bem avançada de um plano global de manutenção. Refere-se ao processo no qual a intervenção sobre um equipamento ou sistema somente é realizado quando este apresente uma mudança na sua condição de operação. Significa prever as condições de funcionamento dos equipamentos permitindo sua operação contínua pelo maior tempo possível. Todo o controle se dá pela observação (monitoramento) destas condições, como por exemplo, pela observação do nível de ruído de um determinado mancal de rolamento.

### **2.3. Software Lindo**

Segundo Souza (2004) o software lindo é uma conveniente, mas poderosa ferramenta para resolver Problemas de Programação linear, inteira e quadrática. Um modelo lindo deverá conter os seguintes itens:

- a) Função objetivo (fo) que deverá iniciar com os comandos *max* para maximizar e *min* para minimizar e à frente deverá ser colocada a função objetivo;
- b) A declaração *subject to* (sujeito a) que pode ser substituído por *st* ou *s.t.* e logo após serão declaradas as restrições do problema;
- c) Para analisar deve-se declarar o comando *end*.

### **2.4. Solver da ferramenta Excel**

Ainda de acordo com Souza (2004) o Solver faz parte de um conjunto de programas algumas vezes chamado de ferramentas de análise hipotética. Com o Solver é possível localizar um valor ideal para uma fórmula em uma célula chamada de célula de destino em uma planilha. O Solver trabalha com um grupo de células relacionadas direta ou indiretamente com a fórmula na célula de destino. O Solver ajusta os valores nas células variáveis que se pode especificar de células ajustáveis para produzir o resultado especificado na fórmula da célula de destino. É possível também aplicar restrições para restringir os valores que o Solver poderá usar no modelo e as restrições podem se referir a outras células que afetem a fórmula da célula de destino.

## **3. Procedimentos metodológicos**

Segundo Lakatos (2005) a pesquisa é um procedimento reflexivo sistemático, controlado e crítico que permite descobrir novos fatos ou dados, relações ou leis, em qualquer campo do conhecimento.

A pesquisa, portanto, é um procedimento formal, com método de pensamento reflexivo, que requer um tratamento científico e se constitui no caminho para conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais. Toda pesquisa implica o levantamento de dados de variadas fontes, quaisquer que sejam os métodos ou técnicas empregadas. O levantamento de dados, primeiro passo de qualquer pesquisa científica, é feito de duas maneiras: pesquisa documental (ou de fontes primárias) e pesquisa bibliográfica (ou de fontes secundárias).

A pesquisa bibliográfica de acordo com Lakatos (2005) abrange toda bibliografia tornada pública em relação ao tema de estudo, ela não é uma mera repetição do que já foi dito ou escrito sobre certo assunto, mas propicia o exame de um tema sob novo enfoque ou abordagem, chegando a conclusões inovadoras.

Segundo Ventura (2007) o estudo de caso como estratégia de pesquisa é o estudo de um caso, simples e específico ou complexo e abstrato e deve ser bem delimitado. Pode ser semelhante a outros, mas é também distinto, pois tem um interesse próprio, único, particular. Destacam em seus estudos as características de casos naturalísticos, riscos em dados descritivos, com um plano aberto e flexível que focaliza a realidade de modo complexo e contextual.

O presente estudo será desenvolvido utilizando pesquisa bibliográfica e o estudo de caso, buscando assim obter o máximo de informações relacionadas ao objetivo do estudo.

#### 4. Resultados e Discussões

O problema que se deseja modelar é referente à limpeza técnica de motores e pistões que a empresa em estudo foi encarregada em um determinado período. Para esse serviço a empresa tem disponíveis os seguintes recursos:

Quadro 1 – Controle de produtos químicos

Produtos Químicos	Utilização (litros)			Disponível (litros)
	Diesel	Flex	Pistão	
<i>Simple Green</i> Temperado	1	2,5	1,4	10
<i>Simple Green</i> Puro	1,3	3	3	12
<i>Tonna S3</i>	2,3	1,2	1,5	6
Funcionários para essa atividade	3	2	3	8

Fonte: elaborado pelos autores

##### 4.1 Variáveis de decisão

X1 – Quantidade de manutenções motores diesel;

X2 – Quantidade de manutenções motores *flex*;

X3 – Quantidade de manutenções pistões.

##### 4.2 Função objetivo

Deseja-se determinar o plano de manutenção para os três serviços que utilizam os produtos apresentados na Tabela 1, conhecendo-se as receitas geradas em períodos anteriores, e com isso maximizar essas receitas. Levando em consideração, fatores tecnológicos que restringem o problema.

$$\underline{Max \ 1000x_1 + 1500x_2 + 2400x_3}$$

### 4.3 Restrições tecnológicas

- A primeira restrição é referente à utilização do produto *simple green* temperado que não pode ultrapassar 10 litros;

$$1x1 + 2,5x2 + 1,4x3 \leq 10$$

- A segunda restrição é referente à utilização do produto *simple green* puro, que não pode ultrapassar 12 litros;

$$1,3x1 + 1x2 + 3x3 \leq 12$$

- A terceira restrição é referente à utilização do produto Tonna S3, que não pode ultrapassar 6 litros.

$$2,3x1 + 1,2x2 + 1,5x3 \leq 6$$

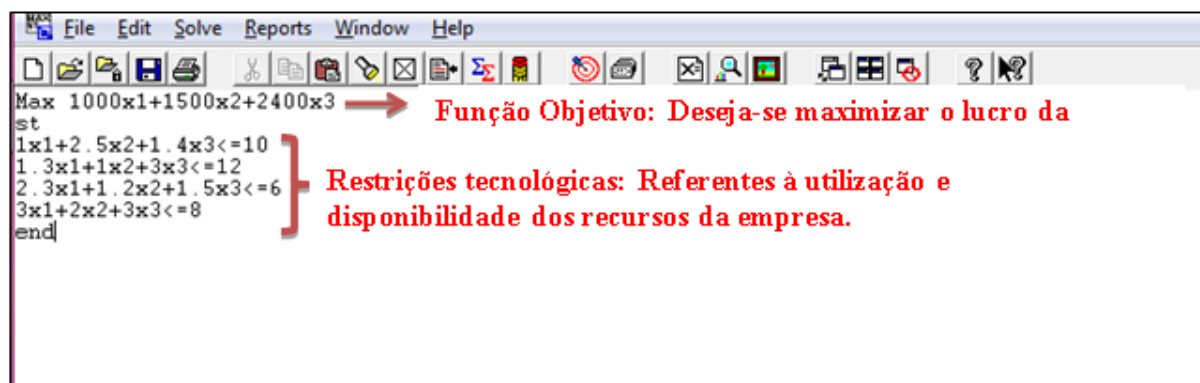
- A quarta e última restrição tecnológica diz respeito à quantidade de funcionários disponíveis para realizar a manutenção.

$$3x1 + 2x2 + 3x3 \leq 8$$

### 4.4 Modelagem matemática

A Figura 1 mostra a modelagem detalhadamente. Foi utilizado o software Lindo para a resolução do problema em questão.

Figura 1– Tela principal do LINDO



Fonte: elaborado pelos autores

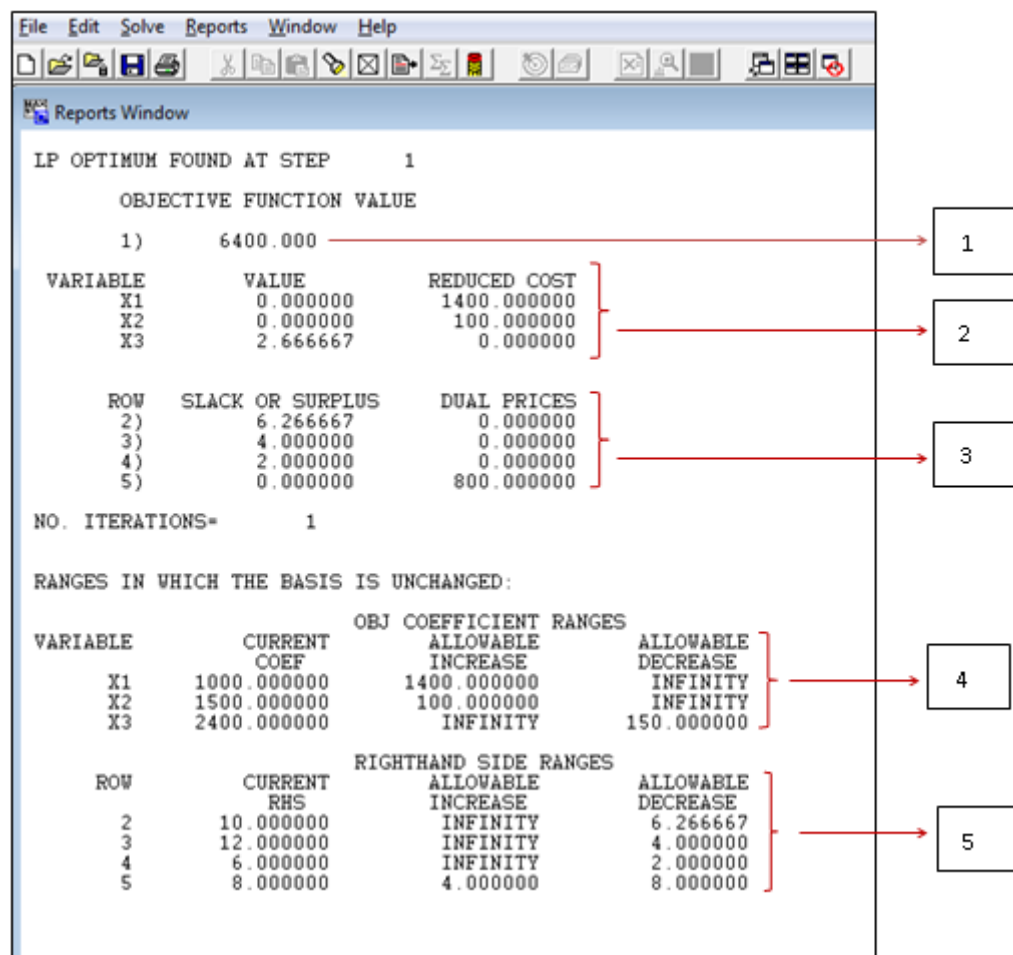
A Figura 2 mostra o relatório obtido após a primeira interação no software. Observa-se através da seta 1 que o resultado da maximização dos lucros da empresa, foi de R\$ 6.400. Esse valor otimizado é referente à empresa não realizar a limpeza técnica em motores a diesel e a *flex* (valores 0), e realizar limpeza técnica somente nos pistões. Esse valor é indicado pela seta 2.

Analisando ainda os dados referentes à seta 2, observa-se que há custos reduzidos de 1400 para a variável x1 (motores a diesel) e 100 para a variável x2 (motores a *flex*), que representa os valores que devem ser incrementados nos coeficientes das variáveis na função objetivo, para que essas duas variáveis participem da solução. A variável x3 (pistões) não apresentou custo reduzido, o que mostra que a mesma entrou na solução.

Os valores da seta 3 indicam a folga obtida com a disponibilidade das restrições tecnológicas: De 10 litros disponíveis do produto *simple green* temperado, restaram 6,26 litros. Dos 12 litros de *simple green* puro disponíveis para o processo, sobraram 4 litros. De 6 litros de Tonna S3 disponíveis sobraram 2 litros. Dos 8 funcionários disponíveis para o processo, foram todos utilizados, não apresentando folga no relatório.

Na seta 3 estão indicados também os valores do preço sombra, que há um valor apenas para a última restrição, referente a mão-de-obra, onde se houver o aumento de uma unidade na disponibilidade de 8 funcionários provocará um aumento de R\$ 800,00 na solução ótima.

Figura 2– Relatório gerado



Fonte: elaborado pelos autores

A seta 4 é referente aos limites inferiores e superiores dos coeficientes das variáveis da função objetivo. O coeficiente de R\$ 1000,00 (variável x1 – motores diesel) pode assumir valores entre infinito e 2400. O coeficiente de R\$ 1500,00 (variável x2 – motores *flex*) pode assumir valores entre infinito e 1600. E o coeficiente de R\$ 2400,00 (variável x3 – pistões) pode assumir valores de R\$ 150,00 a infinito.

A seta 5, refere-se aos limites inferiores e superiores das restrições tecnológicas. Os 10 litros do produto *simple green* temperado, pode assumir valores entre 3,74 e infinito. O produto *simple green* puro, pode assumir valores entre 8 e infinito. O tonna s3 pode assumir valores entre 4 e infinito e o número de funcionários pode assumir valores de 0 a 4 funcionários. Mantendo – se os valores dentro destes limites o preço sombra não se altera.

## 5. Considerações finais

A realização deste estudo possibilitou um maior entendimento de como a pesquisa operacional pode auxiliar na solução de determinados problemas. Um fator importante identificado também no decorrer da realização do estudo, foi que modelar um problema real, requer conhecimento do processo e dos fatores envolvidos nele.

Na empresa em estudo, não há uma área ou alguém responsável pelo estudo da otimização dos processos e esse foi um passo importante para que a empresa veja que existem técnicas e sistemas que podem auxilia-la na tomada de decisão.

O papel do engenheiro de produção nas empresas sem dúvida é muito importante. Este profissional está diretamente ligado aos assuntos de produção, então cabe a ele buscar métodos, técnicas e sistemas que melhore o seu processo.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Itajubá – MG: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 2005.

ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional: Métodos e modelos para a análise de decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2009.

AZEVEDO, A. A. **Otimização da Manutenção Preventiva em Linhas de Montagem: Estudo de Caso em uma Empresa de Manufatura Contratada do Setor Eletroeletrônico**. 2007. 113 f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

COSTA, A. H.; MARUYAMA, M.H; NETO, R.R.I. **Manutenção Preditiva**. Bauru - SP, 2010. 13 p.

HILLIER, F. S. e LIEBERMAN, G. J. (2006). **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8ª. ed. São Paulo: McGraw-Hill.

LAKATOS, E.M; MARCONI, M.A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6º edição, São Paulo: Atlas, 2005.

LIMA, F. A.; CASTILHO, C. N. **Aspectos da Manutenção dos Equipamentos Científicos da Universidade de Brasília**. Brasília – DF. Dissertação apresentada á faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação (FACE), Brasília – DF, 2006.

MONTEIRO, C.I.; SOUZA, L.R.; ROSSI, P.H.L. **Manutenção Corretiva**. Bauru – SP, 2010. 12 p.

MORO, N. **Apostila de Introdução a Gestão da Manutenção**. Florianópolis, 2007. 33 p.

SLACK, N. *et al.* **Administração da Produção**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOUZA, J.F.M. **Software de Otimização: Manual de Referência**. Ouro Preto, 2004.

VENTURA, M.M. **Estudo de caso como modalidade de pesquisa**. 2007.

YOSHIDA, L. K. **Programação linear**. São Paulo: Atual, 1987. 167 p.



