

Pesquisa operacional aplicada à viabilidade de produção de pedidos na indústria moveleira

Diego Ricardo Krohl (UNIVILLE/UDESC) diegorkrohl@gmail.com
Elton João Zierhut (UNIVILLE/UDESC) eltonzierhut@gmail.com
Brayam Luiz Batista Perini (UNIVILLE) braperini@gmail.com
Luiz Cláudio Dalmolin (UDESC) luiz.dalmolin@udesc.br

Resumo:

A aplicação da pesquisa operacional (P.O.) às mais diversas áreas, tem o objetivo de levar ao maior aproveitamento de recursos, pessoas ou processos. Esta necessidade de aproveitamento deu-se com o advento da segunda guerra mundial, onde países encontravam-se em situações extremas em busca das melhores soluções. Ainda anos depois com a revolução da informática foi possível criar modelos complexos que exigiam alta capacidade de processamento, possibilitando assim a Pesquisa Operacional uma abrangência cada vez maior. Neste trabalho é apresentado um estudo de caso que exigiu a formulação de um modelo de pesquisa operacional, onde foi utilizado o software *LINDO*, com o objetivo de chegar a maximização do lucro através de uma análise de viabilidade de produção de pedidos da indústria moveleira, possibilitando analisar a melhor solução de produção.

Palavras chave: Pesquisa Operacional, Indústria moveleira, *LINDO*.

Operational research applied to the production feasibility of applications in the furniture industry

Abstract

The application of operations research (OR) to the most diverse areas, is intended to lead to better utilization of resources, people or processes. This need to use came with the advent of World War II, where countries were in extreme situations in search of better solutions. Even years later with the computer revolution was possible to create complex models requiring high throughput, allowing the Operational Research an increasing extent. This paper presents a case study that required the formulation of a model of operational research, where we used the software *LINDO*, with the aim of arriving at profit maximization through a feasibility analysis of the production furniture industry applications, enabling analyze the best production solution.

Key-words: Operations Research, Furniture industry, *LINDO*.

1. Introdução

Devido à atual situação de crise econômica mundial, a preocupação em estar ativo no mercado e a frente da concorrência tem sido uma situação cada vez mais recorrente e vital para cada empresa. A qualidade em produtos e serviços passa a ser exigida em todos os níveis.

Uma grande aliada para que se mantenha a qualidade, e que pode ser aplicada a qualquer área, tanto gerencial como operacional, é a pesquisa operacional, que através do uso de modelos matemáticos, estatísticos e algoritmos auxilia na tomada de decisão.

O modelo do problema a ser solucionado exige o desenvolvimento da capacidade de interação entre seus agentes, com a quantidade de recursos e o ambiente de aplicação. Os modelos, dependendo de sua natureza, podem ser solucionados por métodos e técnicas matemáticas específicas. Algumas destas técnicas são: Programação Linear, Programação Dinâmica, Programação Inteira, Teoria dos Estoques, Teoria das Filas, Simulação, Teoria dos Jogos, Teoria dos Grafos, etc. (RAO, 1996).

Quando se trata do estudo e uso da pesquisa operacional, o foco principal é a modelagem, solução e análise de problemas decisórios, sendo que um estudo de caso completo corresponde à realização de experimentos matemáticos do modelo. Estes experimentos envolvem geralmente cálculos repetitivos, fazendo-se necessário o uso intensivo de ferramentas computacionais.

Este trabalho apresenta um estudo de caso do uso da pesquisa operacional, especificamente na indústria moveleira, baseando-se no uso da ferramenta *Lindo*, dados empresariais, e conhecimento prático no processo de produção.

2. Histórico Pesquisa Operacional (P.O.)

O termo Pesquisa Operacional é provindo do inglês, *Operational Research*. Para leigos no tema, o termo pesquisa operacional pode não expressar seu real significado, podendo ser confundido com outras formas de pesquisa, como por exemplo, uma pesquisa de campo. No entanto a Pesquisa Operacional é muito mais abrangente do que isso, pois visa atingir o melhor modo de utilizar recursos e processos, similares ou não, sejam eles de natureza técnica, política, econômica ou social para satisfazer as necessidades de seus administradores ou usuários.

A Pesquisa Operacional surgiu em meados da Segunda Guerra Mundial, quando militares ingleses e americanos precisavam alocar recursos escassos em suas na realização de suas atividades. Cientistas foram recrutados no intuito de desenvolverem métodos mais específicos para a resolução dos problemas estratégicos e táticos a que eram submetidos durante a guerra. (HILLIER, 1988).

A partir deste evento a Pesquisa Operacional teve uma grande evolução. Pesquisadores que participaram deste processo sentiram-se motivados a promover o desenvolvimento e aprimoramento de novas técnicas, em diversos outros ramos de estudo. Outro fator que ajudou o crescimento e disseminação da Pesquisa Operacional foi a revolução computacional, pois ali estava uma máquina capaz de resolver cálculos matemáticos milhares de vezes superiores a capacidade humana. (HILLIER, 1988).

3. Principais conceitos e etapas da Pesquisa Operacional (P.O.)

De acordo com (WAGNER, 1986), pesquisa operacional pode ser conceituada como uma abordagem científica para problemas de gênero administrativo, gerencial e tático. É possível, através de técnicas especializadas e métodos científicos, empregar e administrar dificuldades organizacionais que antes não eram tratados de forma científica. Para que se possa aperfeiçoar um determinado problema deve-se observar, modelar e formular precisamente, ou seja, deve-se especificar as variáveis relevantes ao problema, o que deve ser otimizado e quais as restrições pertinentes. Através de tais dados, é possível utilizar alguma heurística ou recurso matemático cabível, para buscar a melhoria da situação proposta.

A pesquisa operacional tem se mostrado grandemente útil as organizações, proporcionando-lhe inúmeras vantagens, suas ferramentas podem ser aplicadas nas mais variadas áreas. Como na alocação de pessoas e recursos, transporte, etc. A otimização destes processos dentro de uma estrutura organizacional pode diminuir satisfatoriamente os custos dos mesmos.

Segundo (WAGNER, 1986) na utilização de Pesquisa Operacional, devem ser seguidos alguns passos principais:

- a) Formulação do problema;
- b) Construção do modelo;
- c) Obtenção de uma solução para o modelo matemático;
- d) Transformação de uma solução matemática em decisão;
- e) Implementação dos resultados e atualização do modelo.

Já BRONSON (1985), propôs algumas etapas a serem seguidas para desenvolver a formulação do problema:

- 1º - Determinar a grandeza que se deve otimizar;
- 2º - Identificar todas as restrições e limitações que o problema propõe;
- 3º - Expressar as condições implícitas, ou seja, condições onde os valores devam ser não negativos e inteiros, como por exemplo.

Segundo (WAGNER, 1986), é na etapa de construção do modelo que se decide quais são os dados de entrada e saída. É onde interagem os elementos do problema através de fórmulas matemáticas. O modelo nada mais é que um escopo matemático para representar a realidade do problema.

Desenvolvido o modelo, é calculada a solução matemática para o problema, ou seja, são atribuídos valores às variáveis que otimizam um dos objetivos. A solução deve ser possível de ser executada, ou seja, o modelo não pode ser desenvolvido demasiadamente complexo que não possa ser resolvido com a ferramenta computacional em tempo admissível, pois em determinados casos a resolução ótima nunca é atingida, dessa forma deixa de ser a melhor opção. Ou até pequeno demais, pois não se consegue representar o problema através de poucos dados, ou especificações mal formuladas. (WAGNER, 1986).

A análise dos resultados deve ser revisada várias vezes após sua execução, pois deve-se considerar as condições do problema e possibilidade de alterações no cenário real. Isto servirá para aumentar a longevidade do modelo e de certo modo facilitará sua atualização quando necessário. (WAGNER, 1986).

Um dos problemas mais clássicos é o de transporte e distribuição utilizando a P.O., onde os métodos de Programação Linear são utilizadas para a construção do modelo. (HILLIER, 1988). Este tipo de notação utiliza-se de fórmulas matemáticas para representar os valores que envolvem o problema.

4. Métodos Matemáticos utilizados na Pesquisa Operacional (P.O.)

4.1. Programação Linear

A programação linear não pode ser interpretada como um método de programação computacional, ou seja, não se trata de uma linguagem de programação como Pascal e C. Refere-se à programação como planejamento, e o termo linear se refere ao tipo de função matemática utilizada.

A programação linear é um grupo de técnicas de otimização que envolve somente equações lineares, ou seja, de primeiro grau. Tenta-se de maneira ótima encontrar uma solução para atividades que tenham seus recursos escassos. Refere-se à otimização de um processo: os parâmetros que maximizem, como por exemplo: vendas e lucros, ou minimizem custos e distâncias. (WAGNER, 1986).

4.2. Algoritmos Exatos

São algoritmos que alcançam através de instruções soluções exatas (ótimas). São utilizados para problemas mais simples onde a resolução computacional se dá em um tempo tolerável. Desta forma não são usados em problemas grandes, ou seja, problemas que não podem ser solucionados em tempo computacional por ser de ordem não polinomial, e sim de ordem exponencial. A execução dos processos cresce tanto quanto suas entradas, tornando assim um problema intratável de se resolver computacionalmente. (SIMAS, 2005).

4.3. Heurísticas

A palavra heurística provém do grego heuriskein, e significa “o ato de descobrir”, ou seja, ficar claro, desvendar, descobrir algo. Soluções heurísticas são empregadas para solucionar problemas que exigem grande capacidade de processamento computacional em um tempo aceitável. Elas apresentam uma ou mais soluções viáveis que chegam o mais próximo possível de uma resolução ótima. (REEEVES, 1995).

Heurística trata-se de métodos ou algoritmos exploratórios para definição de problemas em que as soluções são descobertas pela avaliação do progresso obtido na busca de um resultado final. Se trata de métodos em que, embora a exploração seja feita de forma algorítmica, o progresso é obtido pela avaliação puramente empírica do resultado. Ganhos de eficácia, principalmente nos termos da eficiência computacional, no custo da precisão (SIMAS, 2005).

As heurísticas servem para diminuir o número de avaliações possíveis a serem feitas (SIMAS, 2005). Deste modo, não são utilizadas todas as possibilidades, sendo que algumas serão descartadas, ou seja, são relevadas apenas as entradas que não destoam as restrições.

Segundo (GENDREAU et al, 1994), heurísticas são muitas vezes baseadas em métodos para construção de rotas, métodos de duas fases e melhoramento da solução. Heurísticas na sua maioria utilizam métodos estruturados basicamente em critérios de custo mínimo, onde rotas são construídas visando um caminho mais curto, limitando assim o espaço de procura. (LAPORTE et al, 2000).

5. Ferramenta *Lindo*

5.1. O que é *Lindo*

LINDO (Linear, INteractive, and Discrete Optimizer) é relativamente simples, porém é uma ferramenta eficiente para resolver Problemas de Programação linear, inteira e quadrática.(JUNIOR et. Al, 2004).

5.2. Sintaxe de um modelo *Lindo*

Um modelo à ser analisado no *Lindo* deverá conter os seguintes dados:

- 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 deveremos declarar o comando END.

Algumas restrições é que as variáveis devem ser declaradas com no máximo 8 letras e nas linhas com as restrições deve ser colocado ")" logo após o nome da restrição.(JUNIOR, 2004).

5.3. Principais Comandos

Como já descrito existem os comandos que sempre serão utilizados para formulação do modelo como MAX e MIN, ST (*Subject To* – Sujeito à), e END. Ainda para auxiliar na formulação do problema podemos usar os comandos GIN ou INT, seguidos do nome da variável que tem a função de declarar que a variável em questão poderá apenas ter soluções inteiras. Outros comandos que podem ser necessários a utilização os comandos SUB e SLB, ambos devem ser seguido do nome da variável, e tem o objetivo de definirem valores máximos inferiores e superiores para cada variável respectivamente.

6. Estudo de Caso

O objetivo deste trabalho é descrever a solução encontrada para uma análise de viabilidade de produção de pedidos de uma pequena fábrica de móveis. A empresa em questão conta com 60 funcionários em sua área de produção, distribuídos em quatro setores, que efetuam processos distintos para a produção de móveis.

Na situação proposta, a empresa encontrou-se com excesso de pedidos para a produção mensal, onde, dentro de seus limites, seria necessária declinar a produção imediata de um ou mais pedidos aos clientes, para ser possível cumprir com os prazos dos demais. Pretende-se chegar ao maior lucro possível dentro deste determinado mês, a empresa optou por fazer um modelo matemático de pesquisa operacional para auxiliar na tomada de decisão, chegando assim, a uma solução ótima.

6.1 Descrição do Problema

Para melhor entendimento a descrição do problema foi dividida em alguns tópicos.

6.1.1. A Empresa

A empresa estudada divide suas atividades de produção em quatro setores distintos (preparação, usinagem, lustração e embalagem), com carga horária diária de oito horas. O setor de preparação é responsável pelo pré-corte e preparação da madeira, contando com dezesseis funcionários. A usinagem com vinte funcionários, é responsável pelas furações, molduras e pré-montagens. Ao setor de lustração, cabe a execução de pinturas e acabamentos, tendo doze funcionários. Ainda o setor de embalagem conta com doze funcionários para executar tal tarefa.

6.1.2. Foco do Problema

Com uma produção de oito horas diárias, e sendo uma fábrica que não comporta um grande número de funcionários, devido ao excesso de demanda de pedidos a empresa viu-se obrigada a escolher alguns pedidos para produção, tendo assim que abdicar aos demais. Dentro das condições propostas, espera-se que: um pedido só seja produzido caso for entregue por completo.

A partir de cálculos de desempenho padrão, foi estimado um tempo de horas de trabalho em cada um dos setores, para cada uma das linhas dos pedidos. Sendo quatro pedidos diferentes, cada um contendo determinado número de linhas de móveis variados, a tabela 1 mostra a descrição de cada pedido, com os respectivas estimativas de horas de trabalho para a produção em cada setor de cada uma das linhas.

	PREPARAÇÃO	USINAGEM	LUSTRAÇÃO	EMBALAGEM
Pedido 01				

	PREPARAÇÃO	USINAGEM	LUSTRAÇÃO	EMBALAGEM
<i>Linha Star – Conjunto Jantar</i>	270	400	340	130
<i>Linha Star – Jogo de Quarto</i>	340	470	130	130
<i>Linha Star - Cozinha</i>	340	470	200	200
<i>Linha Star – Conjunto Sala</i>	270	470	340	200
Pedido 02				
<i>Linha Colossus – Conjunto Jantar</i>	340	340	200	200
<i>Linha Colossus – Jogo de Quarto</i>	540	670	400	340
<i>Linha Colossus - Cozinha</i>	270	340	270	130
<i>Linha Colossus – Conjunto Sala</i>	340	340	130	130
Pedido 03				
<i>Linha Palace – Conjunto Jantar</i>	470	600	470	340
<i>Linha Palace – Jogo de Quarto</i>	470	540	400	340
<i>Linha Palace – Conjunto Sala</i>	540	470	470	340
Pedido 04				
<i>Linha Alderan - Conjunto Sala</i>	270	340	130	100
<i>Linha Alderan – Jogo de Quarto</i>	270	340	130	130

Tabela 1: Descrição dos Pedidos

6.1.3. Modelagem do Problema

De acordo com a solução proposta, a modelagem deve chegar a uma solução para a maximização do lucro mensal da fábrica, e para se chegar a tal solução, através dos orçamentos feitos pelo setor de finanças, foram coletados dados referentes aos lucros obtidos na produção de cada pedido, conforme a tabela 2:

<i>Pedido</i>	<i>Valor</i>
<i>01</i>	<i>R\$ 69.000,00</i>
<i>02</i>	<i>R\$ 71.000,00</i>
<i>03</i>	<i>R\$ 83.000,00</i>
<i>04</i>	<i>R\$ 29.000,00</i>

Tabela 2: Descrição dos Pedidos

Sabendo que de cada pedido só será encomendada uma remessa, com exceção do quarto pedido que caso seja conveniente o cliente solicitou duas remessas, obteve-se o seguinte modelo matemático, mostrado na figura 1.

```
MAX 69000P1 + 71000P2 + 83000P3 + 29000P4

ST

1810P1 + 1690P2 + 1610P3 + 680P4 < 3520
1220P1 + 1490P2 + 1480P3 + 570P4 < 2816
1010P1 + 1000P2 + 1340P3 + 330P4 < 2112
660P1 + 800P2 + 1020P3 + 260P4 < 2112

END

int P1
int P2
int P3
int P4

SUB P1 1
SUB P2 1
SUB P3 1
SUB P4 2
```

Figura 1: Formulação do Modelo – LINDO

O modelo apresentado mostra que, as maximizações dos lucros de cada pedido estarão sujeitas a que a, que soma das horas trabalhadas em cada setor para que todas as linhas de um pedido sejam produzidas, seja menor ou igual às horas de trabalho mensal disponíveis naquele mês, ou seja, tomando como exemplo o setor de usinagem que possui vinte funcionários, se soma o total de horas necessárias para produzir as linhas em cada pedido (pedido 01 = 1810, pedido 02 = 1690, pedido 03 = 1610 e pedido 04 = 680), e depois se multiplica o número de funcionários por sua carga horária diária e também pelo número de dias trabalhados no mês, obtendo o total de 3520 horas, chegando assim a expressão $1810P1+1690P2+1610P3+680P4<3520$.

Ainda são colocadas as restrições, que forçam que os resultados sejam números inteiros (exemplo: *int P1*), ou seja, não poderá ser produzido apenas parte de um pedido, e ainda a restrição que para todos os pedido, não devem ser produzidos mais de uma remessa (exemplo: *SUB P1 1*), com exceção do quarto (*SUB P4 2*).

6.1.4 Solução do Modelo

O modelo apresentado foi compilado pelo software LINDO, que apresentou a solução mostrada na figura 2.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	141000.0	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
P1	0.000000	-69000.000000
P2	0.000000	-71000.000000
P3	1.000000	-83000.000000
P4	2.000000	-29000.000000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	550.000000	0.000000
3)	196.000000	0.000000
4)	112.000000	0.000000
5)	572.000000	0.000000
NO. ITERATIONS=	28	
BRANCHES=	1	DETERM.= 1.000E 0

Figura 2: Solução do Modelo - LINDO

Com 28 iterações foi encontrada a melhor opção, que resulta em um lucro de R\$: 141.000,00 através da produção e uma remessa do pedido 3 e duas remessas do pedido 4.

Ainda analisando a figura 2 é possível visualizar na coluna “Slack or Surplus”, a folga na quantidade de horas de trabalho em cada setor (preparação = 550, usinagem = 196, lustração = 112 e embalagem = 572), estes números podem ser convertidos para horas de expediente apenas dividindo-os pelo número de funcionários do seu respectivo setor, assim chegamos à conclusão que, mesmo tendo chegado ao maior lucro possível, os setores de preparação, usinagem, lustração e embalagem, tiveram respectivamente 31:15, 9:48, 9:20 e 47:40 horas de folga.

7. Conclusão

No estudo de caso a modelagem é de suma importância, visto que na produção pode ser fabricado qualquer produto, basicamente com os mesmos tipos de recursos. A mesma análise prática é aplicada às máquinas e recursos humanos. A indagação primordial é qual a maneira para otimização de lucros? A Pesquisa Operacional através da construção do modelo busca solucionar essa questão, e em outros casos procura elucidar a maneira de minimização de custos e recursos em uma organização.

Esse trabalho teve como objetivo apresentar através da ferramenta *Lindo*, programação linear e pesquisa operacional, um modelo de gestão de produção, em que o administrador busca solucionar um problema real, simulando cenários e, conseqüentemente, melhorando o processo de tomada de decisões.

Sabendo-se das dificuldades enfrentadas pelas empresas, principalmente as de pequeno-médio porte, em analisar e dispor da melhor forma sua produção, a utilização das ferramentas computacionais aliadas à Pesquisa Operacional, auxiliam o gestor a maximizar os resultados com os recursos disponíveis, e ajuda na visualização dos produtos menos lucrativos da produção.

O estudo de caso apresentado, demonstra que através da ferramenta *Lindo* transforma dados em informações relevantes e úteis, direcionando as ações através dos resultados, e permitindo

a escolha ou redirecionamento de objetivos e estratégias que se traduzam em melhores resultados e maior retorno sobre a produção.

O administrador, de posse dessas informações, poderá gerenciar suas vendas e produção e, o que é mais importante, saber quanto vai ganhar ou perder ao vender determinado produto. Ao avaliar o quanto implicará no resultado quando uma das inúmeras variáveis possíveis é modificada, podendo estabelecer ações preventivas, tendo o controle de qual produto deve ser priorizado para obter-se o maior retorno.

8. Referências Bibliográficas

BRONSON, Richard. **Pesquisa operacional**. São Paulo, SP: Makron Books, McGraw-Hill, 1985. 318 p. ISBN 0-07-450-039-2.

CHAVES, Antônio A. **Modelagens Exata e Heurística para Resolução do Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios**. Universidade Federal de Ouro Preto Instituto de Ciências Exatas e Biológicas Departamento de Computação. Ouro Preto, MG. 2003.

COLARES, Flávio M.; SILVA, José L. Castro. **Uma Heurística Aplicada ao Problema do Caixeiro Viajante**. XXXVII Simpósio de Pesquisa Operacional. Gramado, RS. 2005.

GENDREAU, Michel; HERTZ, Alain; LAPORTE, Gilbert. **A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem**. Management Science 40, 1276-1290, 1994.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. [1. ed.] Rio de Janeiro: Campus, São Paulo, SP: Editora da Universidade de São Paulo, 1988. 805 p. ISBN 85-7001-143-1.

JUNIOR, Aloísio de Castro Gomes.; SOUZA, Marcone Jamilson.; **LINDO: Manual de Referência**. 2004.

LAPORTE, G.; GENDREAU, M.; POTVIN, J.; SEMET, F. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem **International Transactions in Operational Research**. 7,285-300,2.

RAO, S. S.; **Optimization: theory and practice**. 3. ed., New York, John Willey & Sons, 1996.

REEVES, C. R. **Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems**. McGraw-Hill, London, 1995.

SIMAS, Etienne P. L.; GÓMEZ, Arthur Tórgo. **Uma Solução para o Problema de Roteamento de Veículos Através da Pesquisa**. XXXVII Simpósio de Pesquisa Operacional. Gramado, RS. 2005.

WAGNER, Harvey M. **Pesquisa operacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 1986. 851 p. ISBN 85-7054-020-5