

## S U M A R I O

1. Histórico sucinto.....	81
2. A Pesquisa Operacional no Brasil.....	81
3. Natureza e Significado da Pesquisa Operacional.....	82
4. Problemas Típicos.....	85
5. Fases da Metodologia de um Projeto de Pesquisa Operacional	
5.1. Formulação do Problema.....	86
5.2. Construção do modelo.....	12
5.3. Obtenção da solução.....	13
5.4. Teste do modelo e avaliação da solução.....	14
5.5. Implantação e acompanhamento da solução.....	15
6. As Fronteiras da Pesquisa Operacional.....	16
7. Considerações finais.....	18
Referências Bibliográficas.....	19



## INTRODUÇÃO A PESQUISA OPERACIONAL

### **1. HISTÓRICO SUCINTO**

As sementes da Pesquisa Operacional foram lançadas há muitas décadas, logo após a Revolução Industrial, em tentativas de utilizar o método científico na gerência de sistemas e organizações de grande porte. As contribuições de Charles Babbage (1832), Henry Towne, Frederick W. Taylor e Frank Gilbreth, são bastante conhecidas no âmbito da Engenharia de Produção.

As vésperas da segunda Guerra Mundial (1939), o soviético L. V. Kantorovitch publicava extensa monografia sob o título "Métodos Matemáticos na Organização e no Planejamento da Produção". Na introdução dessa monografia escrevia o autor: "Há duas maneiras de se aumentar a eficiência do trabalho em uma oficina, em uma empresa, ou em todo um ramo da indústria. Uma maneira é por vários melhoramentos tecnológicos... A outra maneira, até o presente muito menos usada, é por meio de uma melhor organização e planejamento da produção...".

Entretanto, o inicio propriamente dito da Pesquisa Operacional, no mundo ocidental, é atribuído a iniciativas dos serviços militares, durante a Segunda Guerra Mundial. Entre essas iniciativas tem-se, por exemplo, estudos relacionados com o desenvolvimento e uso do radar, problema de alocação eficiente de recursos escassos às várias operações militares, problema da dieta, dentre outros. As equipes de "Analistas Operacionais", como foram denominadas naquela época, começaram a se expandir na Inglaterra, Canadá, Austrália e Estados Unidos. Foi também nesse período que ocorreu uma atividade global de planejamento a nível mundial, envolvendo dois conjuntos conflitantes de nações e mesmo aquelas que permaneceram afastadas do conflito, programaram suas atividades internas e de comércio exterior à luz da economia de guerra.

A partir de 1946, observou-se um rápido crescimento da Pesquisa Operacional, com o desenvolvimento de técnicas específicas tais como o método Simplex para a Programação Linear (Dantzig, 1947) e também devido ao grande progresso alcançado na computação eletrônica. A expansão da Pesquisa Operacional no ambiente acadêmico ocorreu, inicialmente, nos departamentos de Engenharia Industrial e nas Escolas de Administração de Universidades norte-americanas, e também, em menor escala, nas Universidades Britânicas.

### **2. A PESQUISA OPERACIONAL NO BRASIL - Origem e Evolução**

O inicio da Pesquisa Operacional no Brasil ocorreu aproximadamente dez anos após sua implantação na Inglaterra e Estados Unidos. Assim, em meados da década de 50 já existiam, em nosso país, professores com formação em engenharia, matemática e estatística, que se entusiasmavam com as novas técnicas relacionadas à Pesquisa Operacional, as quais aqui chegavam pela difusão natural do conhecimento científico. Alguns desses professores haviam estado nos Estados Unidos, onde havia uma verdadeira euf-

ria em torno da Pesquisa Operacional, acreditando-se ser ela a solução para quase todos os problemas de administração e gerência.

No âmbito das Universidades, a Pesquisa Operacional vem se desenvolvendo de forma similar à ocorrida nos USA, a partir de departamentos de Engenharia de Produção e Engenharia Industrial. Os primeiros cursos sobre técnicas de Pesquisa Operacional foram oferecidos ao nível de graduação a alunos das áreas de engenharia de Produção e Industrial (POLI/USP e ITA/SJ Campos), Economia (USP, UFRJ), Estatística (ENCE/RJ) e Computação (PUC/RJ), sendo, porém, com a criação dos Cursos de Pós-graduação que o ensino da Pesquisa Operacional se estabeleceu no país.

A divulgação da Pesquisa Operacional junto às empresas foi iniciada na forma de cursos e seminários dados pelos professores pioneiros da Pesquisa Operacional no Brasil, já no inicio dos anos 60. Também engenheiros, administradores de empresas e economistas, que haviam tido alguma formação em Pesquisa Operacional nas Universidades, ao se depararem nas empresas com problemas passíveis de serem resolvidos pelas técnicas de Pesquisa Operacional, procuravam seus ex-professores, que passaram, então, a exercer uma atividade de consultoria junto às empresas, desenvolvendo trabalhos comerciais. Esses fatos e também a influência exercida pelas empresas de capital estrangeiro, que tinham assessoria em Pesquisa Operacional no exterior, contribuiram para a divulgação do assunto nas empresas em geral. Em 1965, a Petrobrás criou o que provavelmente tenha sido o primeiro grupo formal de Pesquisa Operacional dentro de uma empresa.

A utilização da Pesquisa Operacional nas empresas tem encontrado algumas dificuldades. Nas grandes empresas, ela sempre esteve muito ligada ao planejamento, em seus diversos níveis. Nessas empresas, entretanto, mesmo sendo o planejamento reconhecido como um dos principais elementos do processo administrativo, existem conflitos relacionados à formulação dos objetivos e à determinação de como a empresa deve buscar a concretização desses objetivos. Há, também, uma certa resistência por parte de gerentes e de usuários de sistemas, cujas preocupações estão em "fazer", em "realizar" algo, sem "perder tempo" com metodologias (técnicas da Pesquisa Operacional) que desconhecem em parte. Além disso, existe, em geral, uma tendência em desenvolver modelos muito sofisticados, de difícil operação, o que tem provocado fracassos, que levam ao descrédito da Pesquisa Operacional. Tais situações geram conflitos de interesses, difíceis de serem resolvidos e no final, muitas vezes a solução é mais "política" do que técnica.

### 3. NATUREZA E SIGNIFICADO DA PESQUISA OPERACIONAL

#### Fenômenos Naturais e Artificiais

O homem procura, sempre que possível, estudar, explicar e controlar os fenômenos que ocorrem em seu meio ambiente. Tais fenômenos podem ser classificados de uma maneira elemental em: fenômenos NATURAIS e fenômenos ARTIFICIAIS ou ORGANIZACIONAIS.

Os fenômenos naturais, normalmente são objeto de estudo das ciências físicas e biológicas e são estudados através do Método Científico com a experimentação tomada no seu sentido restrito, envolvendo a manipulação física do objeto (ou fenômeno) em estudo.

Os fenômenos artificiais, podem ser considerados como "manifestações de caráter econômico e social", sendo portanto aqueles que normalmente ocorrem no âmbito das Empresas (organizações) e na maioria dos casos não permitem, no seu estudo, a manipulação física do objeto, característica da experimentação no sentido restrito.

Desta forma, o estudo dos fenômenos artificiais, na sua maior parte, deve ser feito através de um método que permita experimentação e observação dos resultados do experimento, mas que não dependa da manipulação física do objeto em estudo.

De forma geral, esse método denomina-se PESQUISA OPERACIONAL que pode ser definido com sendo a APLICAÇÃO DO MÉTODO CIENTÍFICO AO ESTUDO DOS FENÔMENOS ARTIFICIAIS OU DE ORGANIZAÇÃO.

### Características essenciais

Uma outra forma, mais específica, de se definir PESQUISA OPERACIONAL, seria: APLICAÇÃO DO MÉTODO CIENTÍFICO, POR EQUIPES INTERDISCIPLINARES A PROBLEMAS QUE DIZEM RESPEITO AO CONTROLE DE SISTEMAS ORGANIZADOS (HOMEM-MÁQUINA), COM A FINALIDADE DE OBTER AS SOLUÇÕES QUE MELHOR SATISFAZAM OS OBJETIVOS DA ORGANIZAÇÃO, COMO UM TODO.

A partir daí, emergem as três características consideradas essenciais da Pesquisa Operacional:

- I - Orientação para sistemas
- II - Emprego de equipes interdisciplinares.
- III - Aplicação do método científico a problemas de controle ou ao controle de sistemas organizados.

#### I - Orientação para sistemas

Em uma organização, observa-se que o comportamento de qualquer parte afeta as demais. Nem todos esses efeitos são imediatos ou significativos ou mesmo capazes de serem identificados.

A Pesquisa Operacional procura considerar todos os efeitos significativos, torná-los mensuráveis e avaliá-los como um todo.

#### II - Emprego de equipes interdisciplinares

Na verdade, não existem problemas específicos (no sentido de isolados e independentes) de produção, de vendas ou de finanças em uma organização. Existem apenas problemas, onde as diversas "especialidades" correspondem às diferentes maneiras de visualizá-los.

Diante disso, é desejável analisar e avaliar o problema segundo o maior número de pontos de vista possível, que correspondem às diversas "especialidades", pois todos têm uma contribuição a dar no sentido de se obter a melhor solução do problema. Eis a razão das equipes de pesquisa interdisciplinares.

### III - Aplicação do método científico

Nas Organizações Industriais, como já salientado, a experimentação característica do método científico tomada no sentido restrito, é geralmente impossível ou impraticável. Dessa forma, na maioria dos casos, deve-se empregar um método de pesquisa que não dependa da experimentação envolvendo a manipulação física do objeto em estudo.

Esse método se baseia na utilização de MODELOS, que constituem REPRESENTAÇÕES dos sistemas e de seus comportamentos.

Os modelos em Pesquisa Operacional normalmente assumem a forma de equações e inequações matemáticas, apresentando a seguinte estrutura básica:

$$U = f(X_i, Y_j), \text{ sendo}$$

U : utilidade ou valor do desempenho do sistema.

X<sub>i</sub> : variáveis que podem ser controladas

Y<sub>j</sub> : variáveis (ou constantes) que não podem ser controladas, mas que afetam U.

f : relacionamento entre U, X<sub>i</sub> e Y<sub>j</sub>.

Além disso, podem existir uma ou mais equações ou inequações que traduzem a condição de que algumas, ou todas as variáveis controladas só podem ser manipuladas (assumir valores) dentro de determinados limites. São as restrições do modelo.

A partir do modelo procura-se obter uma solução do problema, constituída dos valores das variáveis controladas que produzem o melhor desempenho do sistema, para determinados valores das variáveis ou constantes não controladas, respeitando as restrições do modelo.

A otimização, ou seja, a determinação da solução ótima do modelo, produz a melhor solução para o problema que foi modelado. Como o modelo normalmente não é a representação perfeita do sistema e do problema, a solução ótima do modelo também não será, necessariamente, a melhor solução para o problema.

Espera-se, entretanto, que a solução do modelo seja uma boa aproximação da solução ótima do problema e que seja, pelo menos, melhor que a política ou procedimento que ela (solução do modelo) irá substituir.

#### **4. PROBLEMAS TÍPICOS**

A Pesquisa Operacional tem sido aplicada a uma grande variedade de problemas, os quais, na sua maioria, são de natureza tática e não estratégica. A distinção entre problemas táticos e problemas estratégicos não é simples, uma vez que se baseia em três características, pelo menos, cada uma das quais podendo estar presente em vários graus.

Primeiro, um problema é mais tático que outro se sua solução produzir efeito de duração mais curta ou, o que é essencialmente a mesma coisa, se a solução pode ser modificada ou abandonada com facilidade. Quanto maior for o efeito da solução, tanto mais estratégico será o problema. Pode-se chamar esta característica de **ALCANCE** do problema.

Segundo, um problema é tanto mais estratégico quanto maior for a parte da organização diretamente afetada pela solução. Esta característica pode ser chamada **EXTENSÃO** do problema.

Finalmente, um problema é tanto mais estratégico quanto mais envolver a determinação de finalidades, metas ou objetivos. Todos os problemas envolvem a seleção de meios para a obtenção dos resultados desejados, mas muitos consideram esses fins como dados preestabelecidos. Na medida em que o fizerem, serão táticos. Esta característica pode chamar-se **ORIENTAÇÃO** do problema.

Não existem limites precisos nas escalas que representam as três características que distinguem os problemas táticos dos estratégicos. Portanto, na melhor das hipóteses poder-se-á dizer que um problema é mais tático ou estratégico que outro, em relação a cada uma destas características.

Por um lado, não existem dois problemas táticos exatamente iguais. Por outro lado, os problemas táticos tendem a agrupar-se em categorias bem definidas. Não existem dois problemas táticos iguais no que se refere ao **CONTEÚDO**. Tendem, entretanto, os problemas táticos a agrupar-se no que se refere à **FORMA**.

**FORMA** significa a maneira segundo a qual as propriedades do problema (variáveis e constantes) se **RELACIONAM**.

**CONTEÚDO** significa a natureza de tais propriedades.

Por exemplo, muitos pares de variáveis diferentes podem apresentar uma relação linear, sendo portanto semelhantes na **FORMA** e diferentes no **CONTEÚDO**.

Podemos separar a forma de um problema do seu conteúdo pelo processo denominado **ABSTRAÇÃO**. A linguagem pela qual expressa-se a forma assim abstraiada do conteúdo é a linguagem da matemática. Portanto, um modelo matemático de decisão é uma representação da **FORMA** de um problema. Deve-se notar, entretanto, que a abstração da forma exige o conhecimento do conteúdo do problema.

Uma consequência importante da aplicação da Pesquisa Operacional a uma grande variedade de problemas táticos é a verificação de que a maioria desses problemas pode ser representada por um pequeno número de problemas **TÍPICOS**. Como ocorrem com grande freqüência, desenvolveram-se técnicas para modelá-los e obter soluções a partir dos modelos.

Tais problemas típicos são:

- . ALOCAÇÃO DE RECURSOS
- . SEQUENCIAMENTO E COORDENAÇÃO
- . DIMENSIONAMENTO DE ESTOQUES
- . SUBSTITUIÇÃO E REPOSIÇÃO DE EQUIPAMENTOS
- . FILAS DE ESPERA
- . DETERMINAÇÃO DE ROTAS
- . SITUAÇÕES DE COMPETIÇÃO
- . BUSCA DE INFORMAÇÃO.

## 5. FASES DA METODOLOGIA DE UM PROJETO DE PESQUISA OPERACIONAL

Na execução de um projeto de Pesquisa Operacional, cinco fases devem ser consideradas:

- . FORMULAÇÃO DO PROBLEMA
- . CONSTRUÇÃO DO MODELO
- . OBTENÇÃO DA SOLUÇÃO
- . TESTE DO MODELO E AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO
- . IMPLANTAÇÃO E ACOMPANHAMENTO DA SOLUÇÃO.

### 5.1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Natureza de um problema - estrutura de uma situação problemática elementar.

- a) Deve existir um indivíduo, que ocupa um meio ambiente, a quem o problema pode ser atribuído. O meio ambiente é definido pelos valores das variáveis e constantes não controladas;
- b) Devem existir pelo menos duas linhas de ação ( $C_1$  e  $C_2$ ) que possam ser seguidas, cada qual definida por um ou mais valores das variáveis controladas;
- c) Devem existir pelo menos dois resultados possíveis ( $O_1$  e  $O_2$ ) associados à escolha, um dos quais é preferido (que seria o objetivo);
- d) As linhas de ação disponíveis devem proporcionar certas probabilidades de atingir o objetivo, as quais deverão ser diferentes, ou seja, as escolhas  $C_1$  e  $C_2$  devem apresentar probabilidades diferentes de atingir o objetivo desejado.

Com estas condições, afirma-se que o indivíduo tem um problema, quando ele não sabe qual é a melhor linha de ação e quer determiná-la.

Resumindo, um indivíduo tem um problema quando quer algo, dispõe de alternativas para alcançá-lo, cada uma apresentando probabilidade diferente de sucesso e está em dúvida quanto à linha de ação que deve escolher.

#### Aspectos que devem ser examinados para se formular um problema

- a) Quem toma a decisão;
- b) Quais os objetivos desejados, a partir dos quais é estabelecida uma medida de desempenho U, para avaliar as alternativas de ação;
- c) Quais aspectos da situação estão sujeitos ao controle de quem toma a decisão (as variáveis controladas) e dentro de que limites essas variáveis podem ser controladas (as restrições);
- d) Que outros aspectos do meio ambiente, envolvendo ou não pessoas, podem afetar os resultados das escolhas disponíveis (as variáveis e constantes não controladas).

Tais aspectos são examinados através de uma DIAGNÓSICO, composta de duas etapas:

- . Formulação de objetivos e;
- . Análise do sistema.

#### Formulação de objetivos

Os objetivos de uma organização podem ser de dois tipos: RETENTIVOS e AQUISITIVOS.

Objetivos retentivos são os que visam manter ou preservar recursos de valor (dinheiro, tempo, energia, equipamentos, etc.) ou estados (conforto pessoal, segurança, estabilidade no emprego). Estes objetivos relacionam-se com o que é consumido pelas alternativas de ação e que denominam-se INSUMOS ou ENTRADAS do sistema.

Objetivos aquisitivos visam adquirir recursos ou atingir estados que a organização não possui. Estes objetivos, por sua vez, relacionam-se com os PRODUTOS ou SAÍDAS do sistema.

Dessa forma, os objetivos da organização podem ser: MAXIMIZAR produtos, MINIMIZAR insumos ou MAXIMIZAR a diferença entre produtos e insumos.

#### Análise do sistema

A análise do sistema consiste no estabelecimento de uma descrição completa e exata das suas operações.

Tal análise pode ser executada através das fases seguintes:

- a) Determinação das necessidades e/ou desejos externos à organização, que ela procura satisfazer;
- b) Determinação da forma pela qual essas necessidades e/ou desejos são comunicados à organização e vice-versa;
- c) Determinação de como as informações referentes às necessidades e/ou desejos são registradas e transmitidas, dentro da organização.

### Tipos de problemas

O estabelecimento de um critério de decisão para avaliar a "melhor" solução de um problema, depende do grau de conhecimento dos resultados de que se dispõe. Existem três tipos de hipóteses e, portanto, tipos de problemas possíveis:

- a) CERTEZA: situações nas quais quem toma a decisão acredita que a cada linha de ação corresponde um único resultado.
- b) RISCO: situações nas quais quem toma a decisão acredita que a cada linha de ação podem corresponder diversos resultados, sendo suas probabilidades conhecidas ou de possível estimativa.
- c) INCERTEZA: situações nas quais quem toma a decisão não sabe que resultados podem ou devem ocorrer como consequência de cada linha de ação e, portanto, não pode atribuir probabilidades aos resultados possíveis.

### Representação matricial de um problema

		Resultados possíveis								
		0	0	2	.....	0	J	.....	0	n
Linhas de ação	C <sub>1</sub>									
	C <sub>2</sub>									
	C <sub>i</sub>									
	C <sub>M</sub>									

$U(O_j, C_i)$ : utilidade (medida do desempenho do sistema) que se obtém quando se consegue o resultado  $O_j$ , empregando-se a linha de ação  $C_i$ .

Nos problemas de RISCO, deverão ser determinadas (ou estimadas) as probabilidades de ocorrência de cada resultado  $O_j$ , para cada linha de ação  $C_i$ , notada por:

$$P(O_j / C_i) \text{ para } j = 1, 2, \dots, n \\ i = 1, 2, \dots, m.$$

### Problemas de RISCO

Considere-se o problema de decisão representado na matriz seguinte:

	0	1	2	
	1	2	3	
	2	1	4	
	3	6	5	
				matriz de ganhos

Na matriz,  $U(O_j, C_i)$  é a utilidade da diferença entre o produto ( $O_j$ ) e o insumo associado a  $C_i$ .

Observação: Se  $C_1$  e  $C_2$  exigissem o mesmo insumo, os ganhos numa dada coluna seriam iguais. O fato dos ganhos serem diferentes para a mesma coluna indica que as linhas de ação envolvem "custos" diferentes para atingir o mesmo resultado.

Considere-se ainda que:

$$P(O_1 / C_1) = 0,7 \text{ e } P(O_2 / C_1) = 0,3$$

$$P(O_1 / C_2) = 0,4 \text{ e } P(O_2 / C_2) = 0,6$$

### Critério de decisão: MAXIMA UTILIDADE ESPERADA.

Para cada linha de ação  $C_i$ , calcula-se a UTILIDADE ESPERADA:

$$U(C_i) = \sum_{j=1}^n U(O_j, C_i) \cdot P(O_j | C_i)$$

Adota-se, então, a linha de ação  $C_k$  tal que

$$U(C_k) = \max_{i=1}^k U(C_i).$$

Para o exemplo,

$$U(C_1) = 3 \times 0,7 + 6 \times 0,3 = 3,9$$

$$U(C_2) = 4 \times 0,4 + 5 \times 0,6 = 4,6 \text{, portanto}$$

$$C_k = C_2.$$

Observações:

- a) Este critério é geralmente aceito como o mais apropriado para situações que envolvem problemas de risco.
- b) O emprego deste critério não apresenta dificuldade, desde que os resultados sejam apresentados de tal forma que sejam eventos mutuamente exclusivos e exaustivos, ou seja, só um resultado pode ocorrer de cada vez e um tem que ocorrer necessariamente, como consequência de cada linha de ação.

### Problemas de CERTEZA

Neste tipo de problema, a cada linha de ação corresponde um único resultado (com probabilidade igual a 1).

O critério de decisão normalmente adotado é da MAXIMA UTILIDADE, sendo que para determinar a melhor linha de ação, basta conhecer qual dos resultados apresenta maior utilidade. Isto é válido para qualquer número de linhas de ação e resultados possíveis, desde que estes formem um conjunto mutuamente exclusivo e exaustivo.

Os modelos empregados neste tipo de problema são denominados DETERMINISTICOS, enquanto que os modelos dos problemas de risco são denominados PROBABILISTICOS.

Os modelos deterministicos são mais fáceis de construir e resolver, tanto que eles são freqüentemente empregados mesmo quando se sabe que a situação é probabilística.

Em alguns casos, a versão probabilística do problema pode conduzir a modelos cuja solução exata é impossível de se obter. Nesses casos, então, prefere-se adotar a solução exata de um modelo aproximado (determinístico) do que uma solução aproximada de um modelo exato (probabilístico), uma vez que a avaliação

das alternativas é normalmente mais favorável à primeira. Isto ocorre principalmente em problemas de Alocação de Recursos e Dimensionamento de Estoques.

### Problemas de INCERTEZA

#### . Critério MAXIMIN

Pelo critério MAXIMIN, a linha de ação a ser escolhida  $C_k$ , deverá ser tal que:

$$U(O, C_k) = \max_j \min_i U(O, C_{kj})$$

Por exemplo, considere-se a matriz de ganhos seguinte:

+-----+				
1   0   1   0				
1   1   1   2				
----- ----- ----- -----				
C   1   3   6				
1   1   1   1				
----- ----- ----- -----				
C   1   4   5				
2   1   1   1				
+-----+-----+-----+-----+				

$$\text{. linha } C_1 : \min_j U(O, C_{1j}) = 3 = U(O, C_{11})$$

$$\text{. linha } C_2 : \min_j U(O, C_{2j}) = 4 = U(O, C_{12})$$

Dessa forma,

$$\max_i \min_j U(O, C_{ij}) = 4 = U(O, C_{12}),$$

$$\text{Logo } C_k = C_2.$$

#### . Critério MAXIMIN GENERALIZADO

Por este critério, a linha de ação  $C_k$  deverá ser aquela associada ao seguinte valor:

$$\max_i \{ \alpha \max_j U(O, C) + (1 - \alpha) \min_j U(O, C) \}$$

onde  $0 \leq \alpha \leq 1$  é denominado INDICE DE OTIMISMO, pois,

se  $\alpha = 0$  -----> MAXIMIN

se  $\alpha = 1$  -----> MAXIMAX (critério otimista)

Por exemplo, considerando-se a matriz de ganhos abaixo e um índice de otimismo de 30 % ( $\alpha = 0,3$ ), ter-se-á:

			+-----+
			0   0
			1   2
			+-----+
	C		3   6
	1		
			+-----+
	C		4   5
	2		
			+-----+

. linha C :  $0,3 \times 6 + 0,7 \times 3 = 3,9$   
1

. linha C :  $0,3 \times 5 + 0,7 \times 4 = 4,3$   
2

dai,  $C_1 = C_2$ .

## 5.2. CONSTRUÇÃO DO MODELO.

Os modelos proporcionam descrições e explicações simplificadas e resumidas das operações dos sistemas que representam. Se fossem tão complexos e difíceis de controlar como o próprio sistema, não haveria nenhuma vantagem em utilizá-los. Felizmente pode-se em geral construir modelos que são muito mais simples que o sistema real e conseguir empregá-los para prever e explicar fenômenos com alto grau de precisão.

A razão disso é que, embora seja necessário um grande número de variáveis para prever um fenômeno com exatidão perfeita, um pequeno número dessas variáveis explica geralmente a maior parte dele. O problema, evidentemente, consiste em achar as variáveis certas (relevantes, significativas) e a relação correta entre elas.

### Tipos de modelos

De uma forma geral, os modelos podem ser classificados em: ICONICOS, ANALOGICOS e SIMBOLICOS.

Os modelos icônicos são aqueles em que as propriedades relevantes dos objetos reais são representadas como tais, geralmente com mudança de escala. Exemplos: fotografias, desenhos, mapas, "modelos" de aviões, automóveis, barragens, células, átomos, etc. Os modelos icônicos são geralmente específicos, concretos e difíceis de manipular para fins experimentais.

Os modelos analógicos usam um conjunto de propriedades para representar outro conjunto de propriedades. Curvas de nível em um mapa, por exemplo, são análogas das elevações de um terreno. Um sistema hidráulico poderá ser usado para representar um sistema elétrico ou de tráfego. Os gráficos e grafos são modelos analógicos que usam grandezas geométricas e posições para representar muitas espécies de variáveis e suas relações. Em geral, os modelos analógicos são menos específicos, menos concretos, porém mais fáceis de manipular que os icônicos.

Os modelos simbólicos usam letras, números e outros tipos de símbolos para representar as variáveis e suas relações. Constituem, portanto, o tipo de modelo mais geral e abstrato. São geralmente os mais fáceis de manipular, experimentalmente. Os modelos simbólicos tomam a forma de relações matemáticas, que refletem a estrutura daquilo que representam.

Em Pesquisa Operacional, procura-se sempre que possível estabelecer modelos simbólicos, não só porque são mais fáceis de manipular, como também porque produzem quase sempre resultados mais exatos que os modelos icônicos ou analógicos.

### Padrões de construção de modelos

A qualidade de um modelo depende, em grande parte, da imaginação e poder criativo da equipe de pesquisa, como também do conhecimento da estrutura do sistema em estudo e do grau de penetração que se tiver no funcionamento interno do sistema.

Dessa forma, não é possível ou aconselhável redigir um manual de instruções sobre a construção de modelos.

Apesar disso, quando se examina o que já foi feito sobre construção de modelos, certos padrões ocorrem, de forma que o seu conhecimento poderá auxiliar a construção do modelo particular para o sistema em estudo.

### **5.3. OBTENÇÃO DA SOLUÇÃO.**

Resolver um problema através de um modelo, consiste em determinar ou estimar os valores das variáveis controladas que OTIMIZAM a medida de desempenho do sistema.

### Tipos de soluções (métodos)

- a) Método DEDUTIVO: obtém diretamente a solução, a partir dos recursos da matemática clássica, tais como cálculo diferencial e diferenças finitas
- b) Método ITERATIVO: parte de uma solução inicial e de um conjunto de regras para melhorá-la. A solução inicial é, então, substituída pela solução melhorada e o processo se repete até que não seja mais possível melhorar a solução ou até que o custo dos cálculos adicionais não se justifique.
- c) SIMULAÇÃO : maneira de manipular um modelo (experimentação no modelo) para que "imite a realidade". Tem o seu fundamento na amostragem aleatória de possíveis valores de uma variável.
- d) JOGO DE OPERAÇÕES: Uma forma de simulação, na qual tomadores de decisão reais (pessoas) são observados em situações simuladas. Sua utilidade no que se refere à otimização é pequena, mas pode ser um instrumento heurístico (de investigação) importante para desenvolver modelos de sistemas que envolvem tomadores de decisão que interagem.
- e) OTIMIZAÇÃO EXPERIMENTAL : processo de experimentação no próprio sistema. Utilizado em situações em que não há possibilidade de se construir um modelo do problema, devido à sua complexidade ou à falta absoluta de informação a respeito da sua estrutura. Outras situações existem em que, apesar de poder se construir um modelo, não se consegue resolvê-lo nem por simulação.

### 5.4. TÉSIE DO MODELO E AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO

#### Teste do Modelo

Um modelo deve ser testado continuamente enquanto está sendo construído. Se o teste não for efetuado paralelamente à construção, o modelo tenderá a adquirir uma inviolabilidade durante seu desenvolvimento, que vai tornar difícil testá-lo objetivamente depois da conclusão.

Concluído o modelo, deve-se testá-lo como um todo. Se tal teste falhar, a natureza da deficiência deverá ser determinada e corrigida.

Os tipos de deficiências que um modelo pode apresentar, são:

- a) Pode incluir variáveis irrelevantes.
- b) Pode excluir variáveis relevantes.
- c) Uma ou mais variáveis relevantes podem ter sido avaliadas imprecisamente.

- d) Sua estrutura (função que relaciona o desempenho às variáveis controladas e às variáveis e constantes não controladas) pode estar errada.

As técnicas que se pode empregar na detecção desses tipos de deficiências, são de caráter estatístico, tais como: análise de regressão e correlação, análise de variancia e covariância.

### Avaliação da solução

Supõe-se que a solução de Pesquisa Operacional para um problema, produza um desempenho melhor do que alguns métodos alternativos (geralmente o que está em uso correntemente). A "aceitação da solução" pela pessoa encarregada de tomar a decisão depende mais da demonstração desta superioridade do que da apreciação dos métodos de pesquisa.

Basicamente, existem três formas de avaliar uma solução:

- a) Teste PROSPECTIVO: refere-se ao desempenho futuro e deve ser executado na menor parte do sistema que puder ser empregada efetivamente para este propósito.
- b) Teste RETROSPECTIVO: baseia-se na utilização de dados passados, onde se compara o desempenho do sistema que ocorreu, com o desempenho que ocorreria se a solução (que está sendo avaliada) tivesse sido aplicada naquelas condições.
- c) ANÁLISE DE SENSIBILIDADE: geralmente utilizada nos casos em que os testes anteriores não podem ou não apresentam condições de serem aplicados. Tal análise consiste em determinar em quanto as estimativas usadas (para a obtenção da solução) teriam que estar erradas para que a solução proposta se apresente menos satisfatória que o método de decisão alternativo.

### 5.5. IMPLANTAÇÃO E ACOMPANHAMENTO DA SOLUÇÃO.

Há uma tendência comum de considerar a implantação da solução de um problema, obtida por meio da Pesquisa Operacional, como atividade que se inicia após a pesquisa estar completa e na qual os pesquisadores já não têm responsabilidade maior. Entretanto, a pesquisa não deve ser considerada completa até que o objetivo seja efetivamente atingido, o qual se resume no aperfeiçoamento do desempenho do sistema.

Isto dificilmente ocorre a não ser que:

- a) As pessoas responsáveis pelo sistema aceitem a solução fornecida pela pesquisa (ACEITABILIDADE DA SOLUÇÃO);

- b) A solução seja implantada corretamente (IMPLEMENTAÇÃO);
- c) Sua eficácia seja mantida, mesmo que mudem as condições (CONTROLE).

## ACEITABILIDADE

A aceitação de uma solução proposta, depende de que a pessoa responsável pelo sistema a comprehenda. Esta comprehensão depende, por sua vez, do grau de participação dessa pessoa, no processo de pesquisa.

## IMPLEMENTAÇÃO

A implantação deve ser planejada e programada cuidadosamente. Deve-se preparar instruções detalhadas para todos os que nela participam. As instruções devem ser facilmente compreendidas e seguidas pelos que devem executá-las.

A COOPERAÇÃO PRODUZ UMA IMPLEMENTAÇÃO MELHOR DO QUE A COMPULSAO, portanto, é satisfatório que aqueles que devem implantar os resultados ou aqueles que serão afetados por estes resultados, saibam que seus interesses foram levados em consideração e possam sentir-se responsáveis em parte e identificarse com a solução.

## CONTROLE

Como o sistema e seu meio geralmente mudam, o controle da solução é necessário para assegurar a continuação do nível de desempenho obtido pela solução.

Estas alterações devem ser verificadas e, quando necessário, a solução deve ser apropriadamente ajustada a elas.

Um controle efetivo não somente possibilita, mas freqüentemente conduz a uma comprehensão melhor da DINAMICA DO SISTEMA. Isto, por sua vez, pode levar a aperfeiçoamentos do modelo e da solução dele derivada. O projeto de controles efetivos normalmente requer o domínio das técnicas da Estatística Matemática.

## 6. AS FRONTEIRAS DA PESQUISA OPERACIONAL

O crescimento da Pesquisa Operacional tem sido caracterizado pelo desenvolvimento técnico, pela ampliação da classe de sistemas organizados e da classe de problemas aos quais é aplicada. Assim, suas atuais fronteiras estão nas técnicas, nos tipos de organização e na classe de problemas que é atualmente atacada. Algumas dessas fronteiras são a seguir identificadas.

### 6.1. Problemas Estratégicos

Estratégia e tática são separáveis apenas em termos de concepção e não em termos de ação. Toda a decisão tática envolve uma escolha estratégica, embora esta possa ser implícita e inconsciente. Uma vez que os aspectos estratégicos das decisões são usualmente suprimidos, uma estratégia da organização freqüentemente emerge como uma consequência acidental de suas decisões táticas e não como um resultado de uma escolha deliberada e consciente.

A Pesquisa Operacional está cada vez se envolvendo com decisões estratégicas e com o desenvolvimento de estratégias explícitas para as organizações, de modo a melhorar a qualidade de suas decisões táticas e fazer com que mesmo as mais imediatas e urgentes destas últimas contribuam para as suas metas de longo prazo.

### 6.2. O Problema de Projeto de Sistemas

A Pesquisa Operacional tem tradicionalmente se envolvido com a determinação de soluções efetivas para problemas operacionais específicos. Tem desenvolvido melhores métodos, técnicas e ferramentas para este fim. Mas os pesquisadores operacionais têm descoberto que muitas de suas soluções não são implementadas e que daquelas que o são, poucas sobrevivem à tendência das organizações de retornarem aos métodos anteriores. Assim, a Pesquisa Operacional tem gradualmente entendido que sua tarefa não deve apenas incluir a solução de problemas específicos, mas também o projeto de sistemas de solução de problemas e implementação, que prevejam e previnam problemas futuros, identifiquem e resolvam os atuais, além de implementar e manter essas soluções em condições de mudança.

### 6.3. O Problema de Planejamento

Os pesquisadores operacionais têm entendido que a maioria dos problemas não surge isoladamente, mas faz parte de um sistema de problemas interdependentes. O processo de buscar soluções simultâneas interrelacionadas para um conjunto de problemas interdependentes é planejamento. Um esforço cada vez maior na Pesquisa Operacional está sendo dedicado ao desenvolvimento de uma metodologia racional para o planejamento, em particular na dimensão estratégica.

A maioria das organizações resiste a mudanças em suas operações ou em sua administração. A necessidade das organizações em descobrir melhores maneiras para fazer as coisas não é frequentemente tão grande quanto é a necessidade de maximizar o uso do que já se sabe ou se tem. A Pesquisa Operacional tem, então, se dedicado cada vez mais à questão da mudança em organizações.

#### **6.4. Tipos de Organização**

A Pesquisa Operacional tem se tornado cada vez mais ciente da necessidade em distinguir diferentes tipos de organização, uma vez que suas características afetam os mecanismos de resolução de seus problemas. Assim, a tendência em resolver problemas de organizações com uma estrutura única de decisão e comando, vai abrindo espaço para tentativas de desenvolver metodologias adequadas a organizações com decisão distribuída e que necessitam de negociação entre vários decisores, de modo a chegar a conclusões. Esta direção requer uma maior interação entre a Pesquisa Operacional e as ciências humanas e sociais.

Assim, à medida que a dimensão e o alcance dos problemas abordados pela Pesquisa Operacional aumenta, torna-se maior a importância da contribuição de outras disciplinas e interdisciplinas. Uma tentativa em propiciar uma integração da atividade científica parece ser uma preocupação da Pesquisa Operacional.

### **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este texto mostra que a Pesquisa Operacional é uma ciência aplicada, que utiliza técnicas científicas conhecidas ou as desenvolve quando necessário, tendo por base a aplicação do método científico. Portanto, não é correto dizer que a Pesquisa Operacional é um ramo da Matemática Aplicada e nem que ela se ocupa somente de funções gerenciais rotineiras.

Também, não se deve considerar a Pesquisa Operacional como uma enumeração de técnicas de solução quantitativa de certos modelos, bastante gerais, que se aplicam ao estudo de um amplo conjunto de problemas. A causa disto está, provavelmente, no fato de que os esforços de difusão e ensino concentram-se geralmente na descrição dos problemas típicos e suas técnicas de solução.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ACKOFF, R. L. e M. W. SASIENI - Pesquisa Operacional. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. RJ, 1977.
2. ELLENRIEDER, A. V. - Pesquisa Operacional - Almeida Neves Editora Ltda. RJ, 1971
3. HILLIER, F. S. and G. J. LIEBERMAN - Operations Research. Holden - Day, Inc. San Francisco - USA, 1974.
4. LOSS, Z. E. - O Desenvolvimento da Pesquisa Operacional no Brasil. Dissertação de Mestrado - UFRJ. RJ, 1981.