

PESQUISA OPERACIONAL APLICADA À ADMINISTRAÇÃO: RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ATRAVÉS DA PROGRAMAÇÃO DINÂMICA.

Fabiano Maury Raupp

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Tel.: (48) 331-9996 E-mail: fabianoraupp@hotmail.com

Artur Roberto de Oliveira Gibbon

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Tel.: (48) 331-9996 E-mail: argibbon@hotmail.com

Resumo:

The objective of the present article consist of identifying and analyzing the application of the operations research in the management through the resolution of a problem in the production with the dynamic programming. This application comes for a long time being discussed in the existent literature, but still little used by the resolutions managers problems. In the sequence, it approaches the conceptualization of operations research, dynamic programming, as well as, the function of the dynamic programming as one destined technique to optimize processes of decision of multipurpose of training.

Palavras-Chave: *operations research, dynamic programming, management*

1. Introdução

O ambiente onde as empresas encontram-se inseridas está continuamente sofrendo mudanças. Segundo Brunstein (1995, p.21), “nos últimos 40 anos, foram observadas grandes modificações nas tecnologias empregadas dos sistemas de produção, gerando substanciais alterações no ambiente interno; ao mesmo tempo, o ambiente externo, representado pelas exigências do mercado consumidor e pelas ações de concorrência, transformou-se, impondo novas necessidades, crescentes e complexas, para as empresas”.

Na tentativa de inserir-se nesse contexto, cada país passa por transformações a fim de participar do novo modelo. Sob essa perspectiva, uma das áreas que vem sofrendo grandes transformações é a empresarial, principalmente no aspecto competitivo. Acompanhando a direção destas mudanças, é possível perceber que a competição tende a ficar cada vez mais acirrada.

A intensificação da globalização e competitividade na economia mundial têm levado as empresas a se adaptarem às transformações exigidas pelo consumidor. Elas investem esforços na busca de uma nova estrutura organizacional, mais flexível para poderem competir.

Souza & Bacic (1995, p.307) apresentam importante interpretação a esse respeito:

A procura da flexibilidade produtiva está levando as grandes empresas a descentralizar suas operações, externalizando algumas etapas e integrando os fornecedores dentro de seu sistema empresarial. Do ponto de vista da lógica da busca do aumento da competitividade e da racionalização dos custos, vários problemas são apresentados quanto à integração vertical e à produção em uma única planta, à medida que os problemas exigem processos de fabricação mais complexos.

Assim, a área industrial foi um dos setores que mais evoluiu com essas mudanças, exigindo cada vez mais dos seus gestores aumento da eficiência dos sistemas de produção. Os responsáveis pela administração dessas empresas têm demonstrado preocupações com alguns fatores determinantes do negócio, como o custo a ser atribuído a um produto, controle de desperdícios na produção, entre outras. Tratam-se de questões importantes, vitais para o sucesso do negócio.

Neste sentido, o gerenciamento da produção passa a ser o principal determinante da eficiência das organizações na produção de bens e serviços. Segundo Slack (1996, p.34) “a função produção é central para a organização porque produz os bens e serviços que são a razão de sua existência”.

Apesar da empresa trabalhar com previsões e controles, em determinadas situações ela é surpreendida com o inesperado, ou seja, algo que não está dentro de suas previsões. Esses acontecimentos poderão constituir o que chamamos de limitação na produção. Essas se verificam como fatos ou acontecimentos que impedem o funcionamento normal da produção, dificultando a realização do que outrora foi previsto.

2. Utilização da pesquisa operacional na administração

Dentre as possibilidades utilizadas pela administração da produção na otimização dos resultados está a pesquisa operacional. Para Ehrlich (1991, p.13), a “Pesquisa Operacional é uma metodologia de estruturar processos aparentemente não estruturados por meio da construção de modelos. Utiliza um conjunto de técnicas quantitativas com o intuito de resolver os aspectos matemáticos dos modelos”.

Os estudos iniciais em Pesquisa Operacionais (P.O.) advêm das décadas de 50 e 60, com o avanço matemático e computacional. Também a II Guerra Mundial alavancou o desenvolvimento da P.O., pois os exércitos precisavam ser abastecidos de mantimentos e munição onde quer que estivessem. No decorrer do século XX a P.O. foi sendo aperfeiçoada nos países do primeiro mundo, sendo utilizada como uma “nova ciência de eficácia e eficiência”.

Daft (1999, p.486) define a pesquisa operacional como “um conjunto de modelos de decisão com bases quantitativas utilizadas para auxiliar quem toma decisões”. A pesquisa operacional se propõe, na área gerencial, à criação de modelos na solução de problemas das organizações. Porém, cita-se como limitação desta técnica a ambigüidade e subjetividade de muitas das suas decisões e a possibilidade desta não refletir a realidade da situação organizacional.

Existem diversas ferramentas que auxiliam a estruturar os modelos de resolução de problemas na P.O.. Entre elas, estão a análise de séries temporais, a programação linear, a programação PERT, a matriz *payoff* e os modelos de simulação. Dentre essas pode ser destacada, como de grande auxílio na otimização de recursos de produção escassos, a programação dinâmica.

3. Programação dinâmica

Quando se pretende analisar problemas operacionais, é conveniente considerar a idéia de um sistema, que tem um número de estados possíveis, e que evolui por estes estados. Por exemplo, num problema de manutenção e substituição de equipamentos, a máquina pode ser o sistema, e um estado pode ser definido por sua idade ou conservação.

Problemas operacionais deste tipo podem ser resolvidos através da programação dinâmica. No entanto, percebe-se a existência de dois tipos de problema solucionados pela mesma. No primeiro, as variáveis de estados são discretas e o período de otimização finito,

ou seja, problemas reais da engenharia e das ciências sociais que o sistema apresenta um estado inicial conhecido, sujeito a leis de controle também conhecidas. Esse tipo de problema é chamado de determinístico. Em outros, as leis de controle são sujeitas à atuação da natureza. Esses são os chamados problemas probabilísticos.

Destaca-se neste exemplo, um problema do tipo determinístico que busca a solução na programação dinâmica. O desenvolvimento do sistema será controlado, ou ao menos influenciado, pelo tomador de decisões, que a cada estado escolhe, de um conjunto de ações viáveis, aquela que lhe pareça mais conveniente.

Cabe lembrar que todo problema de programação dinâmica pode ser estruturado e desenvolvido com auxílio de *softwares*. Embora os sistemas desenvolvidos para tal fim sejam específicos para cada problema, em linhas gerais a estrutura é a mesma. Ehrlich (1991, p.219) aduz que a:

Programação dinâmica é uma técnica muito empregada em problemas que envolvem a otimização de problemas que podem ser modulados por uma seqüência de estados. Pode ser aplicada indiferentemente tanto a problemas lineares como a problemas não-lineares. Sua aplicabilidade é bastante geral, isto é, os tipos de problemas de programação solúveis por esta técnica são muitos, embora o método não seja sempre o mais eficiente.

Verifica-se, portanto, que a programação dinâmica mostra-se como uma técnica destinada a otimizar processos de decisão de multiestágios. De acordo com Bronson (1985, p.160):

Um processo de multiestágios é um processo que pode ser desdobrado segundo um certo número de etapas sequenciais, ou estágios, os quais podem ser completados de uma ou de diversas maneiras. As opções para se completarem os estágios são chamadas de decisões. Uma política é uma seqüência de decisões – uma decisão para cada estágio de processo. A condição do processo num dado estágio é dita o estado neste estágio. Cada decisão efetua uma transição do estado corrente para o estado associado ao estágio seguinte. Um processo de decisão multiestágio é finito se houver apenas um número finito de estágios no processo e um número finito de estágios associados a cada estágio.

Muitos destes processos de decisão de multiestágios apresentam retornos. Percebe-se, portanto, que o objetivo da análise de tais processos é a determinação de uma política ótima – a que resulte no melhor retorno total.

4. Resolvendo o problema de limitação na produção através da programação dinâmica: o caso da empresa WK

Com o intuito de exemplificar a utilização da programação dinâmica, adaptou-se um exemplo proposto por Martins (1994) onde se desenvolve a seguinte situação problemática: a empresa WK é uma empresa do ramo têxtil e fabrica cobertores e mantas. Sua linha de produtos é formada por: cobertor-casal, manta-casal, cobertor-solteiro e manta-solteiro.

Devido às turbulências do mercado e a expectativa na falta de mão-de-obra especializada para a confecção deste tipo de produto, os funcionários da fábrica resolveram fazer uma greve, o que fez com que a Empresa WK decidisse por uma demissão em massa. Das 800.000 horas de MOD (mão-de-obra direta) que eram necessárias para a confecção dos quatro produtos, restaram apenas 300.000 horas. Esta nova situação encontrada pela Empresa WK requer da mesma a utilização de uma estratégia de produção. Slack (1997, p.89) menciona que:

Quando uma organização articula sua estratégia é que ela fará um conjunto de coisas em vez de outro – que ela tomou decisões que comprometem a organização com um conjunto específico de

ações. A primeira coisa sobre estratégia, portanto, é que ela é um compromisso com a ação. Os gerentes tomam decisões o tempo todo, o que presumivelmente os comprometerá a fazer alguma coisa, mas nem todas são decisões estratégicas.

A falta de MOD ocasiona, portanto, uma limitação na capacidade produtiva, fazendo com que a empresa opte pela confecção de apenas alguns produtos, deixando de lado outros. Para Martins (1990, p.171), “se não houver limitação na capacidade produtiva, interessa o produto que produz maior Margem de Contribuição por unidade, mas, se existir, interessa o que produz maior Margem de Contribuição pelo fator limitante da capacidade”. Entende-se por margem de contribuição a capacidade que os produtos tem de cobrir os custos fixos (e despesas fixas) e ainda contribuir para o lucro do período.

Dentro desse arcabouço teórico, observando o exemplo proposto, ressalta-se a seguinte pergunta: qual o produto deve ter suas vendas incentivadas?

Consultando os dados da empresa WK foram obtidas as seguintes informações sobre os custos e despesas do último mês:

- mão-de-obra direta: \$ 170/unidade produzida;
- matéria-prima: \$ 200/Kg de lã utilizada;
- comissão de vendas: \$150/unidade vendida;
- os custos fixos são específicos para cada produto: cobertor-casal \$233.000, manta-casal \$ 190.000, cobertor-solteiro \$221.000, manta-solteiro \$316.000.

Os demais dados relevantes sobre os produtos são apresentados no quadro que segue:

| Produto | Quantidade | | | Preço Venda |
|-------------------|---------------------|-----------------|---------------------|----------------|
| | Tempo Fabricação | Lã Consumida | Volume Produzido | |
| cobertor-casal | 10,0 h/u | 3,5 Kg/u | 20.000 | \$1500/u |
| manta-casal | 5,0 h/u | 2,8 Kg/u | 40.000 | \$1300/u |
| cobertor-solteiro | 8,0 h/u | 2,5 Kg/u | 25.000 | \$1260/u |
| manta-solteiro | 4,0 h/u | 1,5 Kg/u | 50.000 | \$1000/u |

Quadro 1 – Dados relevantes dos produtos

Depois de analisados os custos e despesas relacionados aos produtos, bem como alguns aspectos relevantes, pode-se analisar no quadro que segue o lucro por unidade de cada produto:

| Produto | MOD | MP | Totais dos custos | Comissão s/ Vendas | Preço Venda | Lucro antes do Custo |
|-------------------|-------|-------|----------------------|-----------------------|----------------|-------------------------|
| | | | (-) custo fixo | | | Fixo |
| cobertor-casal | \$170 | \$700 | \$870 | \$150 | \$1500 | \$480 |
| manta-casal | \$170 | \$560 | \$730 | \$150 | \$1300 | \$420 |
| cobertor-solteiro | \$170 | \$500 | \$670 | \$150 | \$1260 | \$440 |
| manta-solteiro | \$170 | \$300 | \$470 | \$150 | \$1000 | \$380 |

Quadro 2 – Apuração do lucro por unidade de cada produto

Sabe-se que o mercado consome normalmente o volume produzido demonstrado no Quadro 1. Para isso, seriam necessárias 800.000 horas de MOD, ou seja, 200.000 horas de MOD para cada produto. No entanto, devido a demissão em massa causada pela greve, a empresa disponibiliza de apenas 300.000 horas de MOD. Com esta nova situação a empresa entende que poderá disponibilizar para cada produto as seguintes quantidades de MOD: zero hora, 100.000 horas ou 200.000 horas.

Com esta limitação na produção, são calculados os respectivos lucros ou prejuízo de cada produto associado a cada quantidade de horas disponibilizadas, apresentados no quadro a seguir:

| Disponibilidade Em horas | Lucro ou Prejuízo | | | |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------------|
| | Coberto- casal | Manta- casal | coberto- solteiro | manta- solteiro |
| 0 h | (233.000) | (190.000) | (221.000) | (316.000) |
| 100.000 h | 4.567.000 | 8.610.000 | 5.279.000 | 9.184.000 |
| 200.000 h | 9.367.000 | 16.610.000 | 10.779.000 | 18.684.000 |

Quadro 3 – Lucro ou prejuízo a partir das horas disponibilizadas

O lucro ou prejuízo total de cada produto é obtido multiplicando o lucro por unidade pela quantidade produzida de cada produto deduzindo deste resultado os custos fixos totais do respectivo produto.

Apresenta-se abaixo um exemplo do cálculo do lucro ou prejuízo, pegando como exemplo a disponibilização de 100.000 horas para o cobertor-casal:

| |
|---|
| <p>Lucro por unidade = 480</p> <p>Lucro Total = Lucro por unidade X Quantidade Produzida (-) Custos Fixos Totais</p> <p>Lucro Total = 480 X 10.000 (-) 233.000</p> <p>Lucro Total = 4.567.000</p> |
|---|

Quadro 4 – Lucro para o cobertor- casal com 100.000h disponibilizadas

Pode-se observar que, se não forem disponibilizadas nenhuma hora de MOD para os produtos, os mesmos terão prejuízos, ou seja, mesmo não produzindo quantidade alguma de determinado produto o mesmo continua incorrendo com os seus custos fixos, ocasionando deste modo o prejuízo. Pela sua própria natureza, os custos fixos ocorreram independente dos volumes produzidos, como também independente da fabricação ou não de um ou de outro produto.

Na programação dinâmica, antes de propor a solução para o problema faz-se necessário, inicialmente, a formulação do modelo que compreende a identificação dos seguintes aspectos: sistema, estágio, estado, ação, retorno, valor do estado, função de transição, função de recorrência e conjunto de ações viáveis. Abaixo é identificado cada um dos aspectos anteriormente citados:

- sistema: quantidade de horas de MOD;
- estágio: quantidade de produtos onde podem ser disponibilizadas as horas de MOD, ou seja, $n \in \{0,1,2,3,4\}$;
- estado: quantidade de horas de MOD disponível, ou seja, $i \in \{0,1,2,3\}$;
- ação: decisão de quanto de horas de MOD iremos disponibilizar para cada produto, ou seja, $k \in \{0,1,2\}$;
- retorno: lucro total ou prejuízo, ou seja, $y(n,i,k)$;
- valor do estado: representa o lucro mínimo obtido com a disponibilização de horas de MOD que estão disponíveis no momento.
- função de transição: $i \rightarrow t$, ou seja, $t = i (-) k$;
- função de recorrência: $f(n,i) = \text{Max } y(n,k) (+) (n (-) 1, t)$;
- conjunto de ações viáveis: $K_i = \{k \in \text{Inteiro} (0 \leq k, k \leq 2) \}$.

Depois de formulado o modelo, pode-se representar o problema através do uso de redes, as quais identificaram a melhor ação a ser tomada pelo gerente de produção, ou seja,

decisão de quantas horas de MOD serão disponibilizadas para cada produto. A programação dinâmica utilizada para otimizar processos de decisão de multiestágios baseia-se no princípio da condição de ótimo de Bellman. Segundo BRONSON (1985, p. 161) no princípio da condição de ótimo de Bellman “uma política ótima apresenta a propriedade segundo a qual, a despeito das decisões para assumir um estado particular num certo estágio, as decisões restantes a partir deste estado devem constituir uma política ótima”. A representação do problema através da utilização de redes, demonstrando os lucros ou prejuízos a partir das horas disponibilizadas para cada produto, está identificada na figura abaixo:

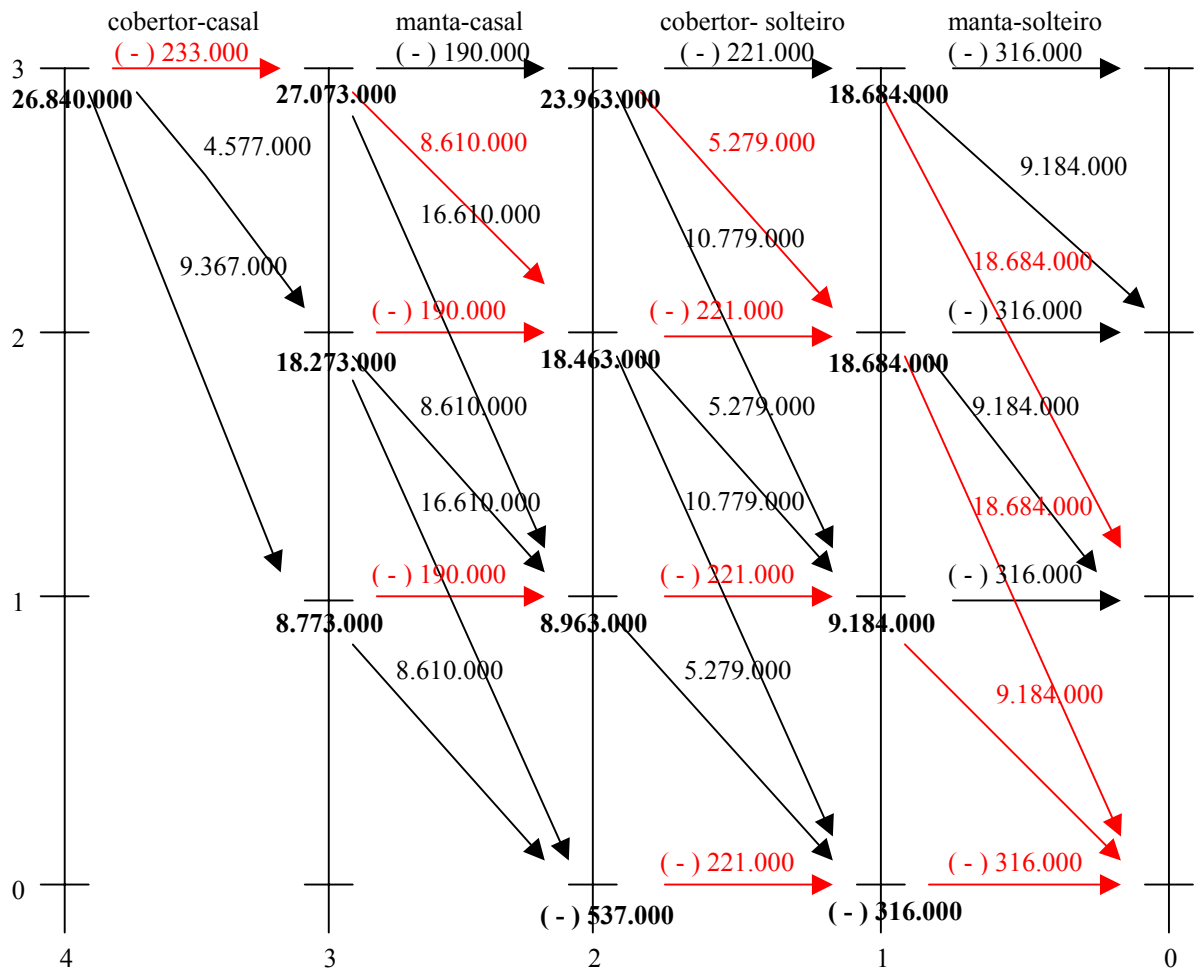


Figura 1: representação do problema da empresa WK..

Para se implementar o princípio da condição de ótimo, Bronson (1985, p.161) sugere o seguinte procedimento:

Parte-se do último estágio de um processo de n estágios e se determina a melhor política para se deixar aquele estado e completar o processo, supondo-se que todos os estágios anteriores tenham sido completados. Desloca-se, então, ao longo do processo, de trás para adiante, estágio por estágio. Em cada estágio determina-se a melhor política para se deixar cada estado e se completar o processo, supondo-se que todos os estágios precedentes foram concluídos e utilizando-se os resultados já obtidos para o estágio seguinte.

Com base na representação do problema através das redes verifica-se que, se forem tomadas as decisões que visam otimizar a situação, a empresa chegaria a um resultado ótimo de \$ 26.840.000 com a aplicação dos recursos escassos.

A partir da figura-1 pode-se realizar uma interpretação detalhada do problema. Analisando o último estágio (estágio 1), percebe-se que o tomador de decisões poderá disponibilizar, no estado 3, 0 hora, 100.000 horas ou 200.000 horas. Se disponibilizar 0 horas terá um prejuízo de (-) \$ 316.000, se disponibilizar 100.000 horas terá um lucro de \$ 9.184.000, se disponibilizar 200.000 horas terá um lucro de \$ 18.684.000, neste caso, a melhor decisão seria a de disponibilizar 200.000 horas e obter um lucro de \$ 18.684.000. No estado 2, também poderá disponibilizar, 0 hora, 100.000 horas ou 200.000 horas, assim, se disponibilizar 0 horas terá um prejuízo de (-) \$ 316.000, se disponibilizar 100.000 horas terá um lucro de \$ 9.184.000, se disponibilizar 200.000 horas terá um lucro de \$ 18.684.000, neste caso, a melhor decisão seria a de disponibilizar 200.000 horas e obter um lucro de \$ 18.684.000. No estado 1, poderá disponibilizar, 0 hora ou 100.000 horas, assim, se disponibilizar 0 horas terá um prejuízo de (-) \$ 316.000, se disponibilizar 100.000 horas terá um lucro de \$ 9.184.000, neste caso, a melhor decisão seria a de disponibilizar 200.000 horas e obter um lucro de \$ 18.684.000. No estado 0, poderá disponibilizar apenas 0 hora, tendo um prejuízo de (-) \$ 316.000, sendo esta a única solução existente. A partir desta análise, podemos verificar que as melhores decisões ficam em destaque (na cor vermelha), correspondendo, portanto, ao valor de cada estado, ou seja, \$ 18.684.000 para o estado 3, \$ 18.684.000 para o estado 2, \$ 9.184.000 para o estado 1 e (-) \$ 316.000 para o estado 0.

A análise do estágio dois é um pouco diferente do último estágio. Neste caso, as melhores decisões seriam obtidas somando-se o valor de cada decisão ao resultado ótimo obtido em cada estado do estágio anterior. Por exemplo, para obter o resultado ótimo de \$ 23.963.000 no estado 3, optou-se por somar o valor de \$ 5.279.000 a partir da disponibilização de 100.000 horas com o resultado ótimo de \$ 18.684.000 obtido no estado 2 do último estágio. As outras possibilidades para obter o resultado do estado 3 seria somando (-) \$ 221.000 e \$ 18.684.000, ou somando \$ 10.779.000 e \$ 9.184.000, o que corresponderia a resultados inferiores. O mesmo foi feito para os estados seguintes. A partir desta análise, pode-se verificar que as melhores decisões ficam em destaque (na cor vermelha), originando, portanto, o valor de cada estado, ou seja, \$ 23.963.000 para o estado 3, \$ 18.463.000 para o estado 2, \$ 8.963.000 para o estado 1 e (-) \$ 537.000 para o estado 0.

A análise do estágio 3 seria de forma idêntica ao do estágio dois. A partir das análises, verifica-se que as melhores decisões ficam em destaque (na cor vermelha), originando, portanto, o valor de cada estado, ou seja, \$ 27.073.000 para o estado 3, \$ 18.273.000 para o estado 2, \$ 8.773.000 para o estado 1.

Chega-se, portanto, ao estágio 4 com o valor de \$ 26.840.000, somando-se (-) \$ 233.000 e \$ 27.073.000. Para conhecer as ações que devem ser tomadas para chegar ao resultado de \$ 26.840.000, basta seguir o caminho feito apenas por setas vermelhas, disponibilizando 0 horas para o cobertor-casal, 100.000 para a manta casal, 0 hora para o cobertor-solteiro e 100.000 para a manta-solteiro.

Cabe ressaltar que neste problema utilizou-se a programação dinâmica determinística já que o resultado de cada decisão (em particular, o estado produzido pela decisão) foi conhecido exatamente.

5. Considerações finais

Muitas razões podem ser apontadas para as alterações que têm pressionado as organizações a modificarem seus processos. Dentre os quais a crescente variedade de produtos, o aumento das necessidades relativas à qualidade, a incorporação dos mecanismos computacionais, bem como, uma maior ênfase na satisfação dos clientes.

O que há em comum entre estes acontecimentos, aparentemente diversos, é a idéia de que eles contribuem no sentido de pressionar as empresas a um maior conhecimento e racionalização das suas atividades internas, para que obtenham um posicionamento consistente em relação ao mercado e ao mesmo tempo possibilitem obter uma maior rentabilidade para as empresas perante o mercado global.

Com o objetivo de maximizar os resultados da empresa quando há limitações na capacidade produtiva, os administradores de produção vêm utilizando há algum tempo a programação dinâmica, uma das muitas técnicas da pesquisa operacional.

Tem-se a perspectiva de que, a medida que os gerentes de produção agregarem estas técnicas no seu dia-a-dia, poderão lidar com os imprevistos, obtendo o máximo resultado a partir da aplicação dos recursos escassos.

Referências

- BRONSON, Richard. **Pesquisa operacional**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.
- BRUNSTEIN, Israel. Controladoria e competitividade. **I Congresso Brasileiro de Gestão Estratégica de Custos**. São Leopoldo, Unisinos, 1995. Anais..., p. 20-30.
- DAFT, Richard. **Administração**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.: 1999.
- EHRLICH, Pierre Jacques. **Pesquisa operacional: curso introdutório**. São Paulo: Atlas, 1991.
- MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de custos**. São Paulo: Atlas, 1990.
- MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de custos: livro de exercícios**. São Paulo: Atlas, 1994.
- SOUZA, Maria Caroline A. F. de & BACIC, Miguel Juan. Desenvolvimento da cooperação entre empresas como instrumento para enfrentar os custos da complexidade. **I Congresso Brasileiro de Gestão Estratégica de Custos**. São Leopoldo, Unisinos, 1995. Anais..., p. 304-308.
- SLACK, Nigel. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.