

O uso da programação dinâmica pela contabilidade de custos na otimização de recursos escassos

Fabiano Maury Raupp¹
Artur Roberto de Oliveira Gibbon²
Ilse Maria Beuren³

RESUMO

As empresas deparam-se constantemente com a necessidade de administrar a escassez de recursos, optando pela fabricação de um produto ou uma linha de produtos em detrimento de outros. Essas decisões requerem uma gama de informações onde se prioriza o melhor resultado, sob o ponto de vista da restrição da capacidade produtiva. O presente artigo pretende demonstrar a utilização da ferramenta programação dinâmica como apoio à contabilidade de custos. Por meio de um exemplo prático de restrição da capacidade produtiva, tenciona-se evidenciar a utilidade da programação dinâmica na resolução de problemas de limitação na produção. Primeiramente, enfatizou-se a importância da contabilidade de custos na gestão industrial, em especial na escassez de recursos. Após, fez-se uma incursão na Teoria das Restrições, bem como, na Margem de Contribuição e sua eficácia quanto há limitações na capacidade de produção. Na seqüência, discorreu-se sobre a pesquisa operacional, particularmente a programação dinâmica, e apresentou-se o exemplo prático de uma empresa de cobertores e mantas.

Palavras-chave: Programação dinâmica; Contabilidade de custos; Produção - escassez de recursos.

¹ Mestre em Administração pelo CPGA/UFSC; Professor do Departamento de Ciências Contábeis da UFSC

² Mestre em Administração pelo CPGA/UFSC; Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

³ Doutora em Contabilidade e Controladoria Pela FEA/USP; Professora Titular do Departamento de Ciências Contábeis da UFSC

1 INTRODUÇÃO

O ambiente onde as empresas encontram-se inseridas está continuamente sofrendo mudanças. Segundo Brunstein (1995), 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.

Neste sentido, Souza e Bacic (1995, p.307) citam que:

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.

A área industrial foi um dos setores que precisou evoluir com essas mudanças, exigindo aumento da eficiência dos sistemas de produção. Os responsáveis pela administração da produção 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 para o sucesso do negócio.

Neste sentido, o gerenciamento da produção passa a ser determinante da eficiência das organizações na produção de bens e serviços. Segundo Slack (1997, p.34), "a função produção é central para a organização porque produz os bens e serviços que são a razão de sua existência".

Em certos momentos, porém, as empresas precisam trabalhar abaixo de sua capacidade de produção, o que se chama de limitação na produção ou

restrição na capacidade produtiva. Essas se verificam como fatos ou acontecimentos que impedem o funcionamento normal da produção, dificultando a realização do que outrora foi previsto.

O presente trabalho visa elucidar a questão da escassez de recursos na linha de produção, através da aplicação da programação dinâmica e destacar a relevância da contabilidade de custos neste processo.

2 A CONTABILIDADE DE CUSTOS NA GESTÃO INDUSTRIAL

O gerenciamento dos custos tem sido primordial para o sucesso das organizações. Em relação ao atual cenário, o que se tem percebido é que as empresas que estão preocupadas com a competitividade global não colocam mais a contabilidade de custos como uma função secundária ou terciária. Entre seus objetivos, Matz, Curry e Frank (1974, p.31) destacam que:

Visto que trabalha com custos, orçamentos e análise de custo, a Contabilidade de Custos pode ser descrita como sócio principal, nas atividades de controle e nas fases de planejamento e de decisões, da empresa. A Contabilidade de Custos aplica os princípios contábeis da mesma forma que a Contabilidade Geral e fornece à administração registro detalhado, análise e interpretação das despesas efetuadas em conexão com a operação da empresa.

Assim, a Contabilidade de Custos tem-se tornado um componente essencial dentro do processo de gestão da empresa. Esta afirmativa é corroborada por Crepaldi (1999, p.18) quando destaca que

"no século XX, com a crescente complexidade do mundo empresarial, a Contabilidade de Custos está tornando-se cada vez mais importante na área gerencial da empresa, passando a ser utilizada no planejamento, controle de custos e na tomada de decisões".

Nesse novo ambiente empresarial, são necessárias informações de custos cada vez mais detalhadas e aprimoradas. Assim, as empresas estão se dedicando à melhoria de alguns aspectos críticos, tais como: melhor desempenho de produtos e processos, maior sensibilidade para o mercado, melhor gestão estratégica e operacional, entre outras.

Desse modo, onde as informações de custos são usadas para desenvolver estratégias que visam a obtenção da vantagem competitiva pela empresa, gerenciar custos com eficácia exige um enfoque profundo. No entanto, talvez

uma exigência maior por parte da Contabilidade de Custos, com ênfase no campo estratégico, tenha se iniciado com a crescente complexidade das indústrias, bem como, dos custos industriais. Franco (1991, p.143) define custos industriais como "o conjunto dos dispêndios que a empresa industrial tem com o material, a mão-de-obra e os gastos gerais incorridos na fabricação de seus produtos".

A primeira fase dos custos industriais ocorre no momento em que a indústria consome a matéria-prima, aplicando sobre esta a mão-de-obra. Os gastos com matéria-prima e os salários aplicados na produção constituem o que se chama de custo primário. Ao custo primário são adicionados outros gastos relacionados ao funcionamento da indústria, tais como impostos, energia elétrica, água, combustíveis, etc., formando, então, o custo industrial (Franco, 1991).

Apesar da evolução que teve no gerenciamento dos custos industriais, problemas relacionados à linha de produção ainda perseguem o dia-a-dia das organizações. Entre esses, pode-se destacar a questão de escassez de recursos como a mais recorrente.

Com efeito, Leão (1997, p.27) afirma que "os problemas econômicos inexistiriam se pudesse ser produzida uma quantidade infinita de cada bem, e os desejos humanos pudessem ser plenamente satisfeitos".

Na realidade, o que se percebe com mais freqüência, na atualidade, é que a escassez de recursos, naturais ou não, é uma constante no dia-a-dia das organizações, fazendo com que os gestores tenham que buscar a otimização dos recursos no gerenciamento da produção.

3 A ESCASSEZ DE RECURSOS SOB A ÓTICA DA CONTABILIDADE DE CUSTOS

A contabilidade de custos não é alheia a falta de recursos nas organizações. Aliás, cabe ao departamento de custos oferecer informações aos gestores, no sentido de melhor aproveitar as limitações da capacidade produtiva, sob a ótica do custo de produção.

Slack (1997, p.346) define capacidade de uma operação como "o máximo nível de atividade de valor adicionado em determinado período de tempo, que o processo pode realizar sob condições normais de operação".

A restrição desta capacidade é definida por Slack (1997, p.346) como "as partes que estão trabalhando na sua capacidade 'máxima' que são as restrições de capacidade de toda a operação". O autor revela ainda que, "dependendo da natureza da demanda, diferentes partes de uma operação podem ser forçadas a sua capacidade máxima e atuam como uma restrição para toda a operação".

Por sua vez, a contabilidade de custos vem discutindo e ampliando o seu arcabouço teórico com relação às restrições de capacidade de produção, seja

através da Teoria das Restrições (Theory of Constraints - TOC) ou, através do uso da margem de contribuição nas limitações da capacidade produtiva.

3.1 Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições (TOC) foi desenvolvida na década de oitenta pelo físico israelense Eliyahu Goldratt, baseada em três requisitos: ganho (contribuição), inventário e despesas operacionais.

O ganho corresponde ao índice no qual o sistema gera dinheiro através das vendas. O inventário equivale ao conjunto de ativos da organização, abrangendo os estoques, imobilizados e intangíveis. As despesas operacionais são os custos de transformação mais a mão-de-obra direta, juntamente com as demais despesas administrativas.

Certos conceitos que a TOC trouxe para o mundo empresarial não são novos, como é o caso da maximização do ganho por unidade de restrição, e o uso dos resultados sobre a base do custeio variável.

Segundo Gonzálles (1999, p.25), "a Teoria das Restrições é uma nova forma de pensamento no âmbito gerencial, enquanto apresenta uma metodologia fundamentada no ganho e não no custo". Mais do que isso, a TOC procura esclarecer a questão restrição da capacidade produtiva, inerente a qualquer linha de produção. Nesse sentido, Gonzálles esclarece que a palavra chave para definir a tese fundamental da Teoria das Restrições é a restrição.

Ruhl (apud GONZÁLLES, 1999, p.4) afirma que a tese fundamental da TOC está em que: "as restrições determinam a performance de algum sistema, portanto, os gerentes não deveriam focalizar-se na redução de custos, e sim no gerenciamento das restrições do sistema".

A TOC está focalizada em cinco passos, dentre os quais ressalta-se o primeiro: identifique a(s) restrição(ões) do sistema. Neste sentido, Gonzálles elucida que todo sistema deve ter, pelo menos, uma restrição, pois, caso contrário, seu ganho seria infinito. A autora afirma que "deve-se dar prioridade àquelas que tenham a ver com a obtenção de uma maior margem de contribuição".

Entre as hipóteses que suportam a TOC, ressalta-se a que admite a existência de três tipos de restrições: recursos escassos gargalo, recursos não gargalo, e recursos com restrição de capacidade.

Gargalo, segundo Ruhl (apud GONZÁLLES, 1999, p. 6), é "aquele recurso cuja capacidade é igual ou menor do que a demanda colocada nele". O conceito de gargalo e restrição muitas vezes se confunde, pois a diferença entre ambos está na aplicação de cada um. Utiliza-se mais o termo gargalo aplicado à produção, enquanto a palavra restrição é mais adequada a aspectos ligados a fornecedores, normas, procedimentos, mercados, etc.

Recursos com restrição de capacidade ainda não são gargalos, porém se não forem gerenciados convenientemente irão se tornar gargalos. Ainda sob

este aspecto, a TOC supõe que as organizações possuem poucos recursos com restrição de capacidade, o que facilita o seu controle.

Pelo exposto, percebe-se a preocupação da Teoria das Restrições com o gerenciamento dos gargalos e restrições da capacidade como forma de maximizar os resultados das organizações, agregando a essas limitações um grau de importância na busca pelo lucro. Esta visão é contemplada, na contabilidade de custos, pelo uso do conceito de margem de contribuição, que fornece informações valiosas sobre o quanto cada produto contribui para a formação do lucro, sendo muito utilizado quando há restrições na capacidade produtiva.

3.2 A contribuição marginal e as limitações na capacidade de produção

Na perspectiva gerencial da contabilidade, a utilização da margem de contribuição (ou contribuição marginal) tem-se destacado por produzir importantes informações aos gestores. Segundo Martins (2000), a margem de contribuição é a diferença entre a receita e o custo variável de cada produto; é o valor que cada unidade efetivamente traz à empresa de sobra entre a sua receita e o custo que de fato provocou e lhe pode ser imputado sem erro.

Como resultado da aplicação deste conceito, pode-se segmentar a análise de rentabilidade dos produtos, linhas de produtos, territórios, clientes e outros segmentos da organização. Leone (2000a, p.366) afirma que

"os custos atribuídos a esses segmentos serão exatamente os custos que não podem ser reduzidos ou eliminados", e que "serão mais lucrativos os segmentos do negócio ou da atividade que oferecem maior margem de contribuição".

Com efeito, o emprego da margem de contribuição torna-se uma ferramenta eficaz na tomada de decisão, especialmente se analisada sob a ótica unitária e total, que abrange o estudo de todos os produtos da organização.

O êxito desta ferramenta é ainda maior quando há limitações na capacidade de produção. Sobre o conceito de margem de contribuição, Iudícibus (1998, p.183) afirma que:

O conceito de margem de contribuição total ou unitária tem suas vantagens, mas precisa estar acoplado a outro conceito, ou seja, o fator limitativo da capacidade (...) precisamos investir insumos no produto que apresente a melhor margem de contribuição por fator limitativo de capacidade.

Sob esta ótica, Leone (2000b, p.380) destaca que se existirem fatores limitativos de produção, "o contador de custos deverá produzir o indicativo que relaciona a margem de contribuição e o fator limitativo". Assim, quando

for de interesse da empresa ou necessidade desta em combinar as quantidades produzidas, este indicativo deverá ser levado em conta.

Nesse sentido, deve-se dar preferência aos produtos que aproveitem melhor o fator limitativo da produção, observando não a margem de contribuição unitária ou total, mas sim a margem de contribuição por fator limitativo de capacidade. Iudicibus (1998, p.186) ressalta que

"esta constatação permite-nos adotar, dentro das limitações de nossa capacidade instalada, decisões que maximizam os lucros, pois levam-nos a alocar nossa limitada capacidade nos produtos efetivamente mais lucrativos".

4 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. Entre essas pode ser destacada, como de grande auxílio na otimização de recursos de produção escassos, a programação dinâmica.

5 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, no exemplo a seguir, 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, entre 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. Bronson (1985, p.160) explica que:

Um processo de multiestágios é um processo que pode ser desdobrado segundo um certo número de etapas seqüenciais, 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.

6 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), em que 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 as 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 mão-de-obra direta (MOD), que eram necessárias para a confecção dos quatro produtos, restaram apenas 300.000 horas. Esta nova situação encontrada pela Empresa WK requer 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 (1994), 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 têm 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:

- a) mão-de-obra direta: \$ 170/unidade produzida;
- b) matéria-prima: \$ 200/Kg de lã utilizada;
- c) comissão de vendas: \$150/unidade vendida;
- d) 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 na TAB 1.

TABELA 1
Dados relevantes dos produtos

PRODUTO	TEMPO FABRICAÇÃO	QUANTIDADE LÃ CONSUMIDA	VOLUME PRODUZIDO	PREÇO VENDA
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

Fonte: Os autores

Depois de analisados os custos e despesas relacionados aos produtos, bem como alguns aspectos relevantes, pode-se analisar na TAB. 2 o lucro por unidade de cada produto.

TABELA 2
Apuração do lucro por unidade de cada produto

PRODUTO	MOD	MP	TOTAIS DOS CUSTOS (-) CUSTO FIXO	COMISSÃO S/ VENDAS	PREÇO VENDA	LUCRO ANTES DO CUSTO 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

Fonte: Os autores

Sabe-se que o mercado consome normalmente o volume produzido demonstrado na TAB. 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, é calculado o respectivo lucro ou prejuízo de cada produto associado a cada quantidade de horas disponibilizadas, apresentados na TAB. 3:

TABELA 3
Lucro ou prejuízo a partir das horas disponibilizadas

DISPONIBILIDADE EM HORAS	COBERTOR- CASAL	LUCRO OU PREJUÍZO		
		MANTA-CASAL	COBERTOR-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

Fonte: Os autores

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, na TAB.4, um exemplo do cálculo do lucro ou prejuízo, considerando a disponibilização de 100.000 horas para o cobertor-casal.

TABELA 4
Lucro para o cobertor- casal com 100.000h disponibilizadas

Lucro por unidade = 480
Lucro Total = Lucro por unidade X Quantidade Produzida (-) Custos Fixos Totais
Lucro Total = 480 X 10.000 (-) 233.000
Lucro Total = 4.567.000

Fonte: Os autores

Pode-se observar que, se não for disponibilizada 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 desse 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. Na seqüência mostra-se cada um dos aspectos anteriormente citados:

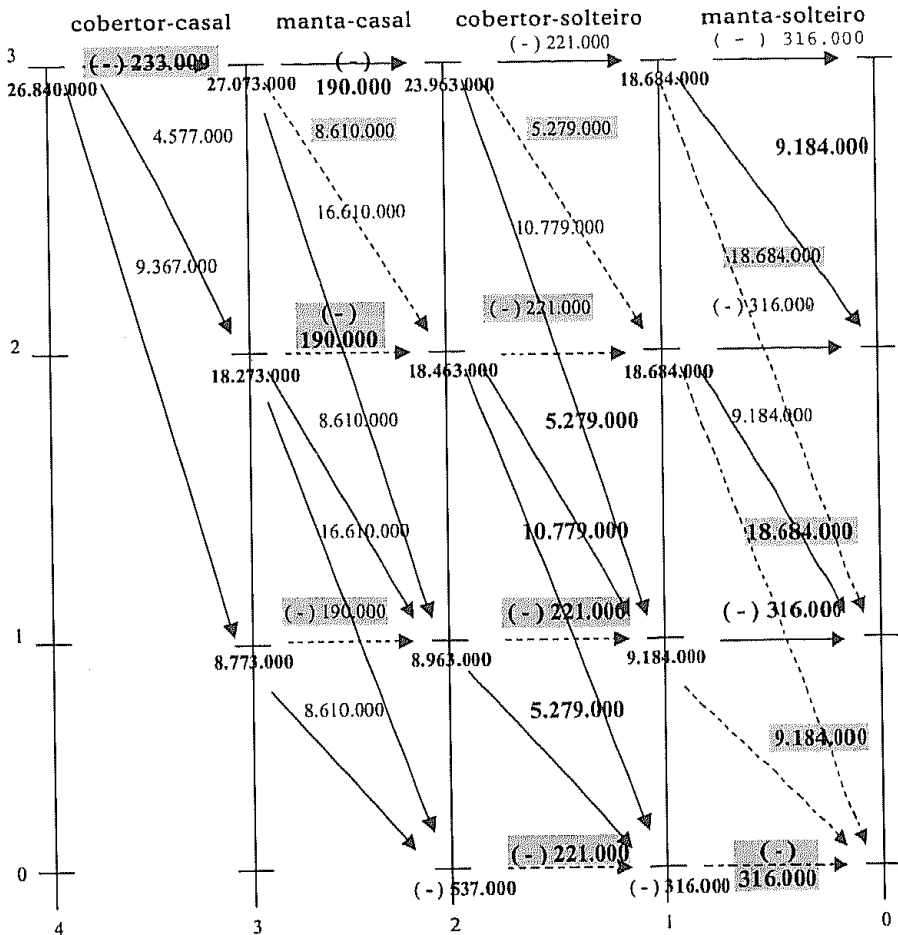
- a) sistema: quantidade de horas de MOD;
- b) estágio: quantidade de produtos onde podem ser disponibilizadas as horas de MOD, ou seja, $n \in \{0,1,2,3,4\}$;
- c) estado: quantidade de horas de MOD disponível, ou seja, $i \in \{0,1,2,3\}$;
- d) ação: decisão de quanto de horas de MOD iremos disponibilizar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

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 FIG. 1.

FIGURA 1
 Representação do problema da empresa WK.



Fonte: Os autores

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 por meio 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 FIG. 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 cinza, com linha pontilhada), 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 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 o prejuízo de \$ 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 cinza, com linha pontilhada), originando, portanto, o valor de cada estado, ou seja, lucro de \$ 23.963.000 para o estado 3, lucro de \$ 18.463.000 para o estado 2, lucro de \$ 8.963.000 para o estado 1 e prejuízo de \$ 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 cinza, com linha pontilhada), originando, portanto, o valor de cada estado, ou seja, lucro de \$ 27.073.000 para o estado 3, lucro de \$ 18.273.000 para o estado 2 e lucro de \$ 8.773.000 para o estado 1.

Chega-se, portanto, ao estágio 4 com o lucro de \$ 26.840.000, somando-se o prejuízo de \$ 233.000 e o lucro de \$ 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 pontilhadas, 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.

7 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 a 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 várias técnicas da pesquisa operacional.

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

8 REFERÊNCIAS

- BRONSON, Richard. *Pesquisa operacional*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.
- BRUNSTEIN, Israel. Controladoria e competitividade. *Congresso Brasileiro de Gestão Estratégica de Custos*, 1., 1995, São Leopoldo: Unisinos, 1995. p. 20-30.
- CREPALDI, Silvio Aparecido. *Curso básico de contabilidade de custos*. São Paulo: Atlas, 1999.
- DAFT, Richard. *Administração*. Rio de Janeiro: LTC, 1999.
- EHRlich, Pierre Jacques. *Pesquisa operacional: curso introdutório*. São Paulo: Atlas, 1991.
- FRANCO, Hilário. *Contabilidade industrial*. São Paulo: Atlas, 1991.
- GONZÁLLES, Patrícia Gonzálles. Teoria das restrições sob um enfoque de tomada de decisão e de mensuração econômica. *Congresso Brasileiro de Custos*, 6., 1999. São Paulo: USP, 1999. CD-Rom.
- IUDÍCIBUS, Sérgio de. *Contabilidade gerencial*. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 1998.
- LEÃO, Luciano de Castro Garcia. A programação dinâmica aplicada à contabilidade. *Revista Enfoque e Reflexão Contábil*, Maringá - PR, v.15, n 15, p.27-37, 1997.
- LEONE, George Guerra. *Custos: um enfoque administrativo*. 13., Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 2000a. v.1.
- LEONE, George Guerra. *Curso de contabilidade de custos*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000b.
- MARTINS, Eliseu. *Contabilidade de custos*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2000.
- MARTINS, Eliseu. *Contabilidade de custos: livro de exercícios*. São Paulo: Atlas, 1994.
- MATZ, Adolfo; CURRY, Othel J.; FRANK, George W. *Contabilidade de custos*. São Paulo: Atlas, 1974.

SOUZA, Maria Caroline A. F. de; BACIC, Miguel Juan. Desenvolvimento da cooperação entre empresas como instrumento para enfrentar os custos da complexidade. *Congresso Brasileiro de Gestão Estratégica de Custos*, 1., 1995. São Leopoldo: Unisinos, 1995. p. 304-308.

SLACK, Nigel et al. *Administração da produção*. São Paulo: Atlas, 1997.