COPPEAD/UFRJ

RELATÓRIO COPPEAD Nº 98

UM SISTEMA INTEGRADO DE COMPRAS - PRODUÇÃO - DISTRIBUIÇÃO

Jorge A. García Gómez*

Setembro 1982

* Professor Adjunto do Programa de Mestrado em Administração da COPPE/UFRJ.

O autor agradece o auxílio financeiro prestado pela FINEP, sem o qual esta pesquisa não poderia ter sido realizada.

I. INTRODUÇÃO

Até a data presente, muitos modelos têm sido desenvolvidos visando programar os sistemas de compras, produção e distribuição de forma isolada. Entretanto, o plano de compras de uma empresa depende única e exclusivamente de seu plano de produção. Ao mesmo tempo, o programa de produção da empresa depende do plano de distribuição que , por sua vez, depende da demanda de mercado. Com vendas flutuantes, um fabricante deverá ter produção flutuante, estoque flutuante, quantidades subcontratadas flutuantes ou uma combinação dessas alternativas. Algumas penalidades são associadas a essas flutuações, dependendo da indústria, produto sendo comercializado, característica do canal de distribuição, tipo de sistema de produção e política de compras mantida pela firma.

Em 1956, Bowman [1] apresenta um modelo de programação linear que, para resolver o problema de programação da produção, utiliza como insumos a quantidade de horas regulares, horas extraordinárias e subcontratação possíveis, num horizonte de planejamento não muito longo e para um só produto. Em 1970, Bailey [2] e Leenders [3] atacam o problema sob várias óticas, porém, abstraindo-se do problema da programação da produção e, considerando óbvia a dependência do plano de compras do plano de produção, partem da hipótese de que "Uma vez estimado o programa de produção ...". O mérito desses autores é que levam em consideração os efeitos inflacionários sobre a especulação em compras para se estocar-produzir. Em 1975, Bowersox, Smykay e La Londe [4] estudam o problema dos efeitos da demanda de mercado sobre as diferentes políticas de canal e sistema de distribuição física de uma empresa. Os modelos desenvolvidos por esses estudiosos apresentam resultados ótimos, quando aplicados isoladamente em cada um dos subsistemas para os quais foram especialmente desenvolvidos. Infelizmente, quando concatenados esses modelos num sistema integrado não apresentam resultados sequer satisfatórios. Isto se deve basicamente a duas causas, a primeira é o conhecido princípio de que a otimização das partes não conduz necessariamente a otimização do todo, e a segunda, é que cada um desses subsistemas (compras, produção, distribuição) pressupõe um conjunto de hipóteses nas quais os modelos descansam para poderem ter sua aplicação viável.

Esta pesquisa, sugere que o mesmo problema pode ser considerado como um problema de transporte tal qual Bowman apresentou, porém estendendo sua aplicação para multiperíodos e principalmente para multiprodutos. Mais ainda, os insumos da matriz de transporte do modelo de programação linear de Bowman são uma matriz que representa a previsão da demanda para multiperíodos/multiprodutos. O resultado da aplicação do modelo de transporte a esse problema é utilizado para gerar o plano de reabastecimento de estoques para multiperíodos/multipartes.

II. O SISTEMA EM ESTUDO

Todo e qualquer sistema de produção pode ser esquematicamente representado como na figura 1.

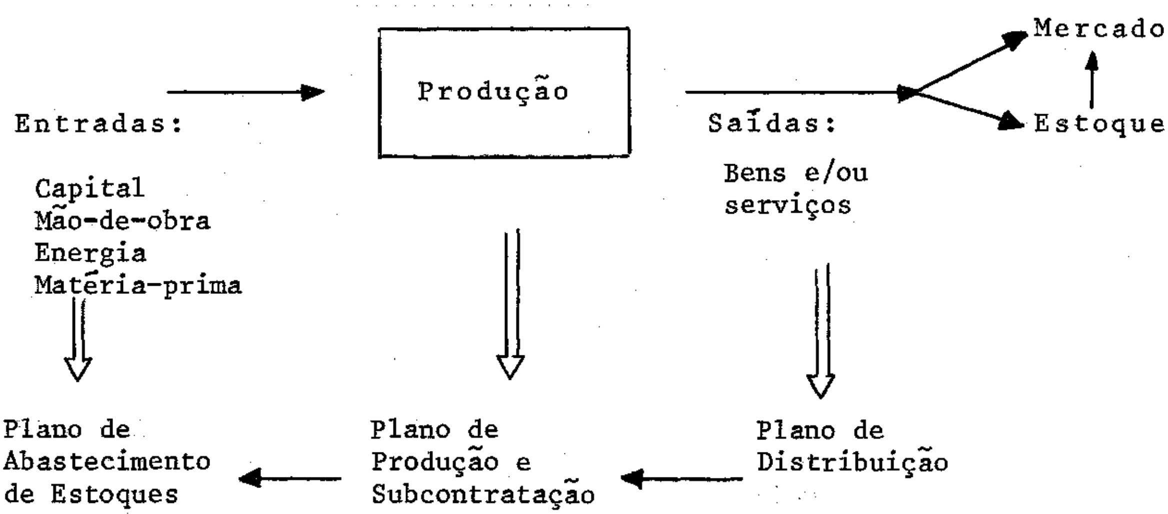

FIGURA 1

Sistema de produção

As entradas (insumos) para o sistema de produção de uma empresa são catalogadas em quatro grandes grupos: Capital, Mão-de-obra, Energia e Matéria-prima. Alguns autores consideram o capital como insumo único para o sistema de produção, já que com ele os outros insumos são adquiridos. O autor discorda dessa opinião pois os métodos de aquisição dos insumos diferem entre os grupos, isto é, a aquisição da mão-de-obra requer uma negociação e procedimento de compra diferente do que a aquisição da energia, da metodologia de compra da matéria-prima e do próprio capital [5]. O sistema de produção da empresa, formado principalmente pelo imobilizado, oferece tempo de máquina, o qual geralmente é escasso.

As saídas podem ser de dois tipos: Bens e/ou serviços. No caso de serviços não existe o estágio intermediário de estoque de produto acabado, indo diretamente o serviço do sistema de produção para o cliente.

O problema pode ser então considerado como a obtenção de um plano de abastecimento dos estoques de partes e componentes, que defina quantas unidades devem ser enviadas, de que produtos, para que mercado e, em que período de tempo. Da mesma forma, quantas unidades devem ser estocadas num período, assim como quantas unidades devem ser utilizadas para satisfazer a demanda deste período com unidades produzidas, em períodos anteriores. O plano de produção pressupõe a geração de um programa de produção de unidades, que devem ser fabricadas, para satisfazer a demanda deste período e para reposição do estoque, segundo as necessidades futuras. Finalmente, o plano de reabastecimento dos estoques pretende escalonar as reposições de partes e componentes através dos vários períodos de produção. Isto segundo o plano mestre de fabricação, facilitando a elaboração do fluxo de caixa necessário para estimar as necessidades de capital de giro da empresa. Observe que na figura 1 o fluxo de materiais vai da esquerda para direita, enquanto que o fluxo de informações vai da direita para esquerda.

III. O MODELO PROPOSTO

A matriz de demanda do sistema é representada como $A' = [a'_{ij}]$ onde a'_{ij} representa a demanda do produto i no j-ésimo período. A matriz A' é de ordem n x m sendo, portanto, n produtos para um horizonte de planejamento de m períodos. O Vetor coluna $b_T = (b_1, b_2, \ldots b_n)$, onde o subíndice T significando transposto, corrige as quantidades necessárias a partir das quantidades reais, isto é, em todo e qualquer processo produtivo tem-se uma certa quantidade de produtos refugados, diferenças entre capacidades reais e nominais de equipamentos de produção, fadiga, etc. que fazem com que a quantidade a ser produzida seja sempre maior que aquela demandada pelo mercado. Assim sendo, o produto

$$A = B \times A' \tag{1}$$

onde a_{ij} é a quantidade demandada real do produto i no período j. Note bem que $a_{ij} > a'_{ij}$ $\forall$ i = 1,2, ..., n e j = 1,2, ..., m. Mais ainda, por motivos de propriedades multiplicativas das matrizes se é forçado a definir

$$B = (\vec{b}_T \mid 0) \tag{2}$$

com ordem n x n. Mais especificamente, esse produto seria como

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ a_{n1} & a_{n2} & & a_{nm} \end{pmatrix} = \left(\begin{matrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ b_{n1} \end{matrix} \;\middle|\; \underset{n \times n-1}{O} \right) \times \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} & \cdots & a'_{1m} \\ a'_{2} & a'_{22} & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ a'_{n1} & a'_{n2} & & a'_{nm} \end{pmatrix} = B \times A' \tag{3}$$

Em continuação, mostra-se como o problema de programação da produção pode ser representado por uma tabela do modelo de transporte e pelo mesmo passível de ser resolvido por esse método. Os valores dentro da tabela 1 representam os custos unitários de "transporte" da linha-fonte para a coluna destino. Em efeito, cada tipo de produção, regular ou extraordinária, assim como subcontratação, pode ser considerada como uma fonte de fornecimento ou insumo. A demanda dos multiprodutos a cada período é considerada um destino. Nesta forma é possível calcular o custo de cada "embarque" viável como uma combinação de custos de produção, armazenagem e custo de subcontratação.

Certas "rotas" não viáveis são eliminadas devido a que não é possível obviamente produzir num período e enviar a produção deste período para satisfazer a demanda de períodos anteriores. O procedimento convencional pode ser utilizado para alocar a essas "rotas" não viáveis um custo extremamente alto, a fim de que as próprias considerações econômicas eliminem as rotas não viáveis da solução. Observe que para as rotas viáveis têm-se custos que variam com o período de tempo em questão, isto devido a que em países com reajustes salariais freqüentes, esses valores podem ser atualizados no modelo por meio de uma previsão e portanto ensaiar diferentes políticas salariais para estudar sua repercussão nos programas de produção.

Tabela 1

Custos unitário de "Embarque"

PERÍODOS DE PRODUÇÃO (FONTE)	PERÍODOS DE PRODUÇÃO (DESTINO) (1)	(2)	(3)	...	(n)	Estoque	Folga	CAPACIDADES TOTAIS
Estoque (0)	0	C_i	$2C_i$	...	$(n-1)\ C_i$	nC_i	0	Io
Regulares (1)	C_{r_1}	$C_{r_1} + C_i$	$C_{r_1} + 2C_i$	...	$C_{r_1} + (n-1)\ C_i$	$C_{r_1} + nC_i$	0	R_1
Extraordinárias (1)	C_{E_1}	$C_{E_1} + C_i$	$C_{E_1} + 2C_i$	...	$C_{E_1} + (n-1)\ C_i$	$C_{E_1} + nC_i$	0	E_1
Subcontratação (1)	$C_{S_{i1}}$	$C_{S_{i1}} + C_i$	$C_{S_{i1}} + 2C_i$	...	$C_{S_{i1}} + (n-1)\ C_i$	$C_{S_{i1}} + nC_i$	0	$S_{i1}, \dots S_{r1}$
Regulares (2)	M	C_{r_2}	$C_{r_2} + C_i$	...	$C_{r_2} + (n-2)C_i$	$C_{r_2} + (n-2)C_i$	0	R_2
Extraordinárias (2)	M	C_{E_2}	$C_{E_2} + C_i$	...	$C_{E_2} + (n-2)C_i$	$C_{E_2} + (n-1)C_i$	0	E_2
Subcontratação (2)	M	$C_{S_{i2}}$	$C_{S_{i2}} + C_i$	...	$C_{S_{i2}} + (n-2)C_i$	$C_{S_{i2}} + (n-1)C_i$	0	$S_{i2}, \dots S_{n2}$
Regulares (3)	M	M	C_{r_3}	...	$C_{r_3} + (n-3)Ci$	$C_{r_3} + (n-2)C_i$	0	R_3
Extraordinárias (3)	M	M	C_{E3}	...	$C_{E_3} + (n-3)C_i$	$C_{E_3} + (n-2)C_i$	0	E_3
Subcontratação (3)	M	M	$C_{S_{i3}}$	...	$C_{S_{i3}} + (n-3)C_i$	$C_{S_{i3}} + (n-2)C_i$	0	$S_{i3}, \dots, S_{n3}$
... ...	... ...	... ...	... ...	... ...	... ...	... ...	... ...	... ...
Regulares (m)	M	M	M	...	C_{r_m}	$C_{r_m} + C_i$	0	Rm
Extraordinárias (m)	M	M	M	...	C_{E_m}	$C_{E_m} + C_i$	0	Em
Subcontratação (m)	M	M	M	...	$C_{S_{im}}$	$C_{S_{im}} + C_i$	0	$S_{im}, \dots, S_{nm}$
Demanda total	$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1m}$	$a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2m}$	$a_{31}, a_{32}, \dots a_{3m}$	...	$a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nm}$	I_m	*	

I_i = Estoque ao fim do i-ésimo período de tempo.

R_i = Número máximo de unidades que podem ser produzidas durante o i-ésimo período de tempo com horas regulares

E_i = Número máximo de unidades que podem ser produzidas durante o i-ésimo período de tempo com horas extraordinárias.

S_i = Número máximo de unidades que podem ser subcontratadas durante o i-ésimo período de tempo

a_{ij} = Demanda do produto i no período j.

C_{r_i} = Custo unitário de produção com horas regulares no período i.

C_{E_i} = Custo unitário de produção com horas extraordinárias no período i.

$C_{S_{ij}}$ = Custo unitário de compra por unidade subcontratada do produto i no período j.

C_i = Custo unitário de armazenagem por período de tempo.

* = Folga total = $Io + \sum_{i=1}^{i=m} R_i + \sum_{i=1}^{i=m} E_i + \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=m} S_{ij} - \sum_{i=,}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m} a_{ij} - I_m$

Uma vez resolvido o problema de Transporte cujos custos foram representados na Tabela 1, têm-se como resultado a matriz $X = [x_{ij}]$ onde x_{ij} é a quantidade a produzir ou subcontratar do produto i no período j. Entretanto, devido a que o modelo é para multiperíodos/multiprodutos, a ordem da matriz é $(n \times m+2m+1) \times (n \times m+2)$ o que leva a uma matriz retangular. Mais ainda, o resultado obtido na matriz X só interessa na medida em que fornece a programação da produção dos n produtos em horas regulares, extraordinárias e estoque, assim como também a quantidade de produtos a ser subcontratada, no período, se este for o caso. Essa programação, por sua vez constitui a demanda, que o sistema de produção efetuará em termos de peças e componentes do estoque, nos diferentes períodos que compõem o horizonte de planejamento. Portanto, em cada um dos m períodos, n produtos serão produzidos ou subcontratados nas quantidades resultantes da programação inserida na matriz X sem ser a própria matriz X. Também não é a matriz A de demanda pois alguns produtos em certos períodos poderão ser subcontratados. Nesta forma, denomina-se como $D = [d_{ij}]$ a matriz resultante da programação X que subtrai da matriz A a quantidade de produtos a serem subcontratados a cada período. Assim, d_{ij} será a demanda em unidades do produto i no período j que o sistema de produção demandará do estoque de partes e componentes. D será de ordem n x m também.

O seguinte passo é explodir o programa de produção em partes e componentes a serem requisitados em cada um dos m períodos subseqüentes no horizonte de planejamento, ao estoque do sistema de produção. Essa explosão é obtida pela seguinte equação:

$$T = R \times D \tag{4}$$

onde $R = [r_{ij}]$ e r_{ij} é o número de unidades da parte i inseridas no produto j. Sendo k o número total de partes e componentes que o estoque do sistema de produção precisa para produzir os n produtos, então, pela própria definição de R, ela é de ordem k x n. Nesta forma, T é a matriz, de ordem k x m, que fornece o programa de necessidades de materiais nos próximos m períodos de planejamento. Observe que t_{ij} é a quantidade necessária da parte i para atender a demanda de fabricação no período j. Isto comumente é conhecido como planejamento das necessidades de materiais (PNM). Entretanto ainda não representa o que poderia vir a ser o programa de compras. O programa de compras deverá ser obtido como resultado das necessidades de estoque de partes e componentes.

IV. METODOLOGIA

Nesta seção será apresentada uma rotina de aplicação do método proposto e para tal, será utilizado o fluxograma abaixo:

Obtenha a matriz de demanda do mercado para os n produtos nos próximos m períodos.

$A = [a_{ij}]$; ordem n x m

↓

Obtenha a matriz de demanda real (Fator de segurança)

$A = B \times A'$; ordem n x m

↓

Aplique o método de transporte segundo o modelo apresentado na tabela 1 e obtenha a solução com

$X = [x_{ij}]$;

ordem $(nm + 2m + 1) \times (nm + 2)$

↓

Construir a matriz das necessidades de estoque de em termos de produtos

$D = [d_{ij}]$; ordem n x m

↓

Obtenha a matriz que determina o número de partes e componentes que um produto tem.

$R = [r_{ij}]$; ordem R x n

↓

Explodir o número de unidades demandadas ao estoque em partes e componentes

$T = R \times D$; ordem R x m

↓

T são as necessidades de R partes no estoque de matéria-prima para cada um dos m períodos futuros no horizonte de planejamento

Veja que a matriz T não é definida como o programa de compras a ser realizado nos próximos m períodos para cada uma das R partes que constituem o estoque de matéria-prima do sistema de produção. Na realidade, o programa de compras vai depender da política de estoques da empresa (tempo de reposição fixo ou quantidade de reposição fixo) [6], da taxa inflacionária no período [7] e principalmente do produto (parte) sendo comprado. Mesmo porque *commodities*, matéria-prima industrial e produtos especiais requerem políticas de compras diferentes [3]. A matriz T deve ser interpretada como as necessidades de partes e componentes que o sistema de produção demandará do estoque de matéria-prima para satisfazer a demanda de produtos acabados pelo sistema, em cada um dos m períodos de planejamento.

V. CONCLUSÕES

A presente pesquisa apresenta uma expansão do horizonte de aplicação do método de transporte de programação linear para o problema de abastecimento de estoque — produção — distribuição com m períodos de planejamento e n produtos. Mais ainda, considera o problema de aumento das necessidades de produtos demandados a um sistema de produção levando em conta a quantidade de produtos refugados, ineficiência do sistema, absenteísmo, etc. Por último, o modelo aqui apresentado mostra em forma integrada a elaboração de planos de abastecimento de estoques de matéria-prima e produtos terminados, assim como também planos e programas de produção para um horizonte de planejamento de multiperíodos sem esquecer os planos de distribuição dos produtos em estoque de produto acabado e clientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOWMAN, H.E. Production scheduling by the transportation method of linear programming. Operations Research, 4 (1), 1956

2. BAILY, P. & FARMER, D. Purchasing principles and techniques. 3. ed. London, Pitman, 1977.

3. LEENDERS, M.R. & ENGLAND B.W. Purchasing materials management. Homewood, Il., Richard D. Irwin, 1975.

4. BOWERSOX, D.J.; SMYKAY, E.W.; LA LONDE, B.J. Physical distribution management: the logistics of marketing. Toronto, MacMillan, 1969.

5. ZIMMERMANN, H. & SOVEREIGN, M.G. Quantitative models for produc- management. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1974.

6. MACHLINE, C. Compras, estoques e inflação. Revista de Administração de Empresas, 21(2): 7-15, abr.-jun. 1981.

7. ORLICKY, J. Materials requirement planning. New York, McGraw-Hill, 1975.